

Б. М. ШМАКИН

**ПЕГМАТИТОВЫЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ЗАРУБЕЖНЫХ
СТРАН**

Б.М.ШМАКИН

ПЕГМАТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

4780



МОСКВА "НЕДРА" 1987



Шмакин Б.М. Пегматитовые месторождения зарубежных стран. — М.: Недра, 1987. — 224 с., ил.

Описаны многочисленные пегматитовые месторождения Азии, Северной Америки и Южной Африки. В их числе уникальные комплексные редкометалльные месторождения Берник-Лейк в Канаде и Бикита в Зимбабве, танталовые месторождения Мозамбика, сподуменовые пегматиты США, мусковитовые пегматиты Индии, месторождения драгоценных камней Мадагаскара. Приведены данные по геологии, минералогии и геохимии пегматитов, характеристика их прогнозных ресурсов и добычи.

Для научных работников, занимающихся изучением геологии месторождений редких элементов, мусковита и драгоценных камней, минералогов, геохимиков.

Табл. 29, ил. 45, список лит. — 50 назв.

Рецензент: *М.В. Кузьменко*, д-р геол.-минер. наук (Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов)

Гранитные пегматиты, как известно, продолжают оставаться единственным промышленным источником цезия, мусковита и многих драгоценных камней, дают более половины мирового производства лития, бериллия и тантала, значительные количества керамического сырья и материала для производства синтетических аналогов минералов. Поэтому внимание геологов-практиков и научных работников к пегматитам не ослабевает. Однако пегматитовые жилы являются чрезвычайно сложными объектами для поисковых и разведочных работ. По образному выражению известного американского геолога Р. Джанса, пегматиты вызывают восхищение и отчаяние у лиц, встречающихся с ними в практической и исследовательской работе. В связи с этим так важно знание хорошо изученных пегматитовых месторождений, встречающихся в разных геологических условиях.

Приступая к написанию настоящей работы, автор поставил перед собой задачу дать в руки геологов-практиков и научных работников материалы по наиболее полно исследованным зарубежным пегматитовым месторождениям. При описании таких объектов по возможности приводятся геологические планы, разрезы и зарисовки соотношений структур или зон, дается минералого-геохимическая характеристика пегматитов, а в некоторых случаях — и экономические характеристики: содержания полезных компонентов, запасы и качество сырья.

Конечной целью книги является вооружение геологов сведениями о типичных пегматитовых месторождениях, эксплуатирующихся в развитых капиталистических и развивающихся странах, в том числе об уникальных мировых пегматитовых объектах, таких как Бикита в Зимбабве и Берник-Лейк в Канаде, как месторождения мусковита в Индии и драгоценных камней на Мадагаскаре. В заключительной главе анализируются некоторые геохимические особенности зарубежных месторождений, излагаются точки зрения отечественных и иностранных специалистов на генезис пегматитов.

Настоящая книга явилась результатом многочисленных поездок автора на месторождения мусковита, редких металлов и драгоценных камней Индии, Непала, США, Канады, Австралии, Анголы, Зимбабве, Мадагаскара, Мозамбика.

В большинстве случаев во время пребывания на пегматитовых месторождениях удавалось не только осмотреть горные выработки и познакомиться с графическими материалами, но и собрать коллекции образцов пегматитов и вмещающих пород. Часть образцов была получена от зарубежных ученых или руководителей горнодобывающих предприятий и фирм. Эти коллекции были обработаны в лабораториях Института геохимии Сибирского отделения АН СССР (СибГЕОХИ) и дали интереснейший

сравнительный геохимический материал, поскольку анализы выполнялись теми же методами, что и при изучении отечественных пегматитовых месторождений. Некоторые результаты сравнительных исследований пегматитов из различных регионов были изложены автором в монографиях [23, 25] и статьях. Однако значительная часть материалов, полученных в последние годы по странам Африки, а также новые данные по пегматитам Индии и Непала пока не были опубликованы.

При подготовке данной книги кроме собственных наблюдений автора были использованы публикации зарубежных исследователей, которые особенно важны при описании классических месторождений (Бразилия, Заир, западная часть Австралии). Однако наибольший интерес для читателя представляют, естественно, авторские наблюдения. Известно, что даже краткое посещение месторождений или обнажений горных пород дает геологу подчас больше, чем чтение самых подробных описаний этих объектов. Истина познается в сравнении, и лучше, если это сравнение делается одними глазами или одними приборами.

Идею написания этой книги поддержал известный советский ученый в области пегматитовых месторождений профессор А.И. Гинзбург. Большую помощь в подборе материала для книги автору оказали Е.Г. Проценко, Л.Н. Россковский, Г.А. Топунова и Г.А. Черкашина. В.Е. Рябенко дал ценные советы по разделу, касающемуся описания пегматитов Монгольского Алтая.

В классической монографии А.Е. Ферсмана [20], и по сей день являющейся истинной энциклопедией по гранитным пегматитам, приведены материалы по месторождениям США (шт. Мэн) и ряда стран Европы. Однако книга не исчерпывается рассмотрением данных по пегматитам различных регионов. При описании отдельных типов пегматитов А.Е. Ферсман приводит многочисленные примеры по месторождениям Австралии, Америки, Африки (особенно юго-западной Африки) и некоторых стран Азии: Индии, МНР, Японии и др. Уже в то время было ясно, что пегматиты распространены на всех континентах и как важно „применение единого общего масштаба для всех пегматитовых полей“ [20, стр. 11].

Большое значение для ознакомления с зарубежными пегматитовыми месторождениями имело издание на русском языке монографии американских исследователей Е. Камерона, Р.Джанса, А. Мак-Нейра и Л.Пэйджа „Внутреннее строение гранитных пегматитов“ и сборника статей бельгийских геологов Н. Варламова, Ж. Жедваба, М. Легре и др. „Пегматиты Центральной Африки“. Эти работы позволили широкому кругу советских геологов не только узнать особенности многих месторождений, освоенных в годы второй мировой войны, но и познакомиться с генетическими представлениями зарубежных авторов.

Понимая важность изучения разнообразных месторождений редких элементов в других странах, К.А. Власов организовал в Институте минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) специальную группу для обобщения материалов по геологии зарубежных месторождений. Эта группа во главе с С.Е. Колотухиной выпустила серию работ по Африке, Южной Америке, Австралии, п-ову Индостан и Канаде. Главное внимание в этих сводках уделялось геологии континентов и геологическому контролю размещения месторождений. Были приведены также некоторые данные по минералогии и геохимии, экономические сведения по запасам и добыче отдельных видов сырья. В числе других в этих книгах описаны и пегматитовые объекты, однако месторождения мусковита, поделочных и драгоценных камней в них не рассматривались. В монографии „Поля редкометалльных гранитных пегматитов“ [13] приведен большой материал по отечественным и зарубежным месторождениям. Несмотря на краткость отдельных описаний, эти данные очень полезны для сравнения месторождений, развитых в породах различного состава и разного возраста, но и они касаются лишь отдельной группы пегматитов.

В опубликованных ранее монографиях автора [23, 25] была дана минералого-геохимическая характеристика мусковитовых и редкометалло-мусковитовых пегматитов Индии, разнообразных по специализации пегматитов США. Однако и в этих работах проявилось стремление охва-

тить как можно более широкие районы и многочисленные пегматитовые поля, не останавливаясь детально на описании отдельных, наиболее типичных объектов.

В отличие от упомянутых работ, в настоящей книге главное внимание уделено наиболее типичным пегматитовым месторождениям редких металлов, мусковита, кварца и драгоценных камней. Они описаны с максимально возможной степенью детальности.

Последовательность описания отдельных типов пегматитов весьма условна, в какой-то мере определяется современной промышленной значимостью пегматитовых месторождений.

Классификационной основой для группировки пегматитов служит классическая схема А.И. Гинзбурга и Г.Г. Родионова, подразделивших пегматиты по глубине их формирования на миароловые-хрусталеносные (глубина – около 3 км), редкометальные (3,5–5 км), мусковитовые (5–8 км) и редкоземельные (> 8–9 км). В современной классификации кроме глубинных уран-редкоземельных пегматитов выделяют также редкоземельные гипабиссальные ниобий-иттриевые [13], а также переходную группу редкометально-мусковитовых пегматитов ([23]).

Классификация группы редкометальных пегматитов на отдельные типы является чрезвычайно сложным делом [11, 13, 20]. Учитывая дискуссионный характер группировки пегматитов по текстурно-структурным признакам или по соотношениям породообразующих минералов, а также имея в виду, что в данной книге описаны примеры пегматитовых тел той или иной промышленной специализации, автором была взята за основу типизация М.В. Кузьменко [13]. В соответствии с ней выделяются следующие месторождения: 1) комплексные (бериллий-литий-цезий-танталовые); 2) собственно литиевые (бериллий-тантал-литиевые) и 3) бериллиевые (тантал-бериллиевые). Фтор-литиевые, а также уран-редкоземельные и ниобий-иттриевые пегматиты, как не имеющие в настоящее время самостоятельного промышленного значения, в книге не рассматриваются. Дополнительно к перечисленным трем типам редкометальных пегматитов автор счел целесообразным выделить тантал-олово-литиевые месторождения, обладающие целым рядом индивидуальных особенностей. Отдельные главы посвящены редкометально-мусковитовым, собственно мусковитовым месторождениям и месторождениям самоцветов в пегматитах.

Вопросы региональной геологии при детальном описании типов месторождений не рассматриваются. В связи с этим автор остановился на некоторых проблемах размещения и геологического контроля пегматитовых поясов и полей в специальной главе, предваряющей характеристику промышленных типов пегматитовых месторождений.

Уже давно было установлено, что пегматиты встречаются в пределах континентальной коры повсеместно — от Гренландии на севере до Антарктиды на крайнем юге. Если даже говорить только о промышленных пегматитовых месторождениях, то и они распространены весьма широко. Достаточно упомянуть слюдоносные пегматиты СССР и Индии, литиевые пегматиты Австралии, США, Канады и многих стран Африки, пегматиты с драгоценными камнями Бразилии и Мадагаскара. Пегматиты же, служащие источником крупнокристаллического полевого шпата и кварца для керамической промышленности, развиты практически везде, где есть выходы глубинных кристаллических пород кислого состава.

Как было показано А.И. Гинзбургом, И.Н. Тимофеевым и Л.Г. Фельдманом [5], пегматиты возникали на протяжении всей истории земной коры — от архея до кайнозоя. Поскольку докембрийское пегматитообразование длилось не менее 2 млрд. лет, а фанерозойское — чуть более 500 млн. лет, подавляющая часть известных месторождений пегматитов имеет древний возраст. Однако неправильно полагать, что основной практический интерес представляют только древние пегматиты [17]. Известны данные [5], убедительно доказывающие, что пегматитовые месторождения значительных масштабов формировались по крайней мере в шести возрастных интервалах: 2800–2600, 2100–1900, 1750–1600, 1150–1000, 450–400 и 300–200 млн. лет назад (рис. 1). Если учесть также седьмой — альпийский период развития крупнейших месторождений лития в Афганистане [15] и многочисленных пегматитов Европы, то тезис о более или менее равномерном распределении эпох пегматитообразования в истории Земли можно считать доказанным.

К настоящему времени известны достаточно надежные геологические факторы контроля тех или иных пегматитовых месторождений. Далее они кратко изложены для каждого из четырех* континентов, при этом особое внимание обращено на состав пород, вмещающих пегматиты, и крупные контролирующие структуры.

ПЕГМАТИТОВЫЕ ПРОВИНЦИИ АВСТРАЛИИ

Все пегматитовые месторождения континента приурочены к древней Австралийской платформе. Возрастной диапазон формирования этих докембрийских месторождений весьма значителен — от 3000 до 600 млн. лет (по данным абсолютной геохронологии), причем наиболее древние пегматиты отмечены на юго-западном побережье, а самые молодые — в северо-восточном штате Квинсленд [22].

*Пегматиты Европы в книге не рассматриваются.

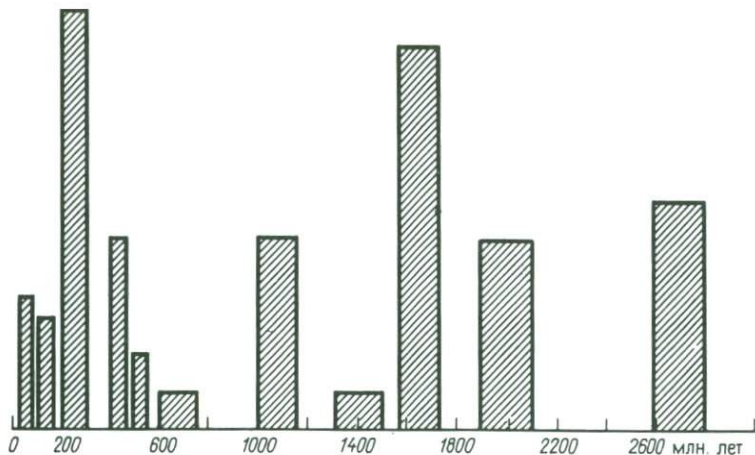


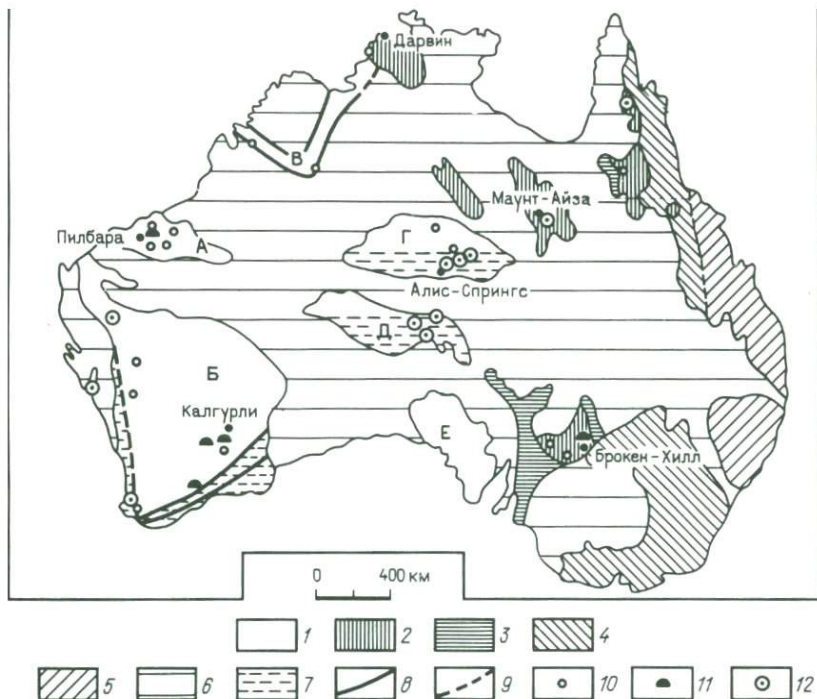
Рис. 1. Диаграмма интенсивности пегматообразования во времени (в абсолютном летоисчислении). По [5].

Вертикальная амплитуда соответствует числу известных пегматитовых провинций данного возраста

На Австралийской платформе принято выделять Западно- и Централь-но-Австралийский щиты, а в их пределах — отдельные блоки, сложенные архейскими и нижнепротерозойскими породами. Именно к этим блокам тяготеет большинство пегматитовых месторождений, объединенных в четыре крупные пегматитовые провинции. Кроме того, пегматитовые поля и пояса имеются в северной части платформы (блок Кимберли-Дарвин), в районах известных рудных месторождений Брокен-Хилл и Маунт-Айза, а также на северо-востоке континента, в пределах докембрийского блока Джорджтаун. Таким образом, всего в Австралии насчитывается восемь пегматитовых провинций разной величины (рис. 2).

Западно-Австралийский щит

Самая крупная пегматитовая провинция Австралии — Йилгарн — размещается в пределах одноименного южного блока Западно-Австралийского щита. Она же представляет наибольший интерес как источник лития и тантала [21]. Катархейское складчатое ядро блока Йилгарн сложено метаморфизованными вулканогенно-осадочными породами, в разрезе которых выделяют зеленокаменные и „белокаменные“ (молагноподобные) толщи. Среди этих пород распространены архейские гранитогнейсовые купола, к которым тяготеют поля редкометалльных пегматитов. С севера, запада, юго-запада и юго-востока ядро блока Йилгарн обрамлено зонами глубинных разломов, вдоль которых в протерозое развивались процессы тектономагматической активизации. К таким зонам активизации приурочены пегматиты преимущественно мусковитовой и редкометалльно-мусковитовой специализации.



ис. 2. Схема размещения месторождений Австралии. По С.Е. Колотухиной, Л.И. Яповской, А.В. Рожанец:

– архейские ядра и блоки: А – Пилбара, Б – Йилгарн, В – Кимберли, Г – Аранта, – Масгрейв, Е – Голер; 2 – протерозойские складчатые пояса и срединные массивы; 3 – верхнепротерозойский складчатый пояс Аделаида; 4 – Лакланская нижнепалеозойская складчатая система; 5 – верхнепалеозойская складчатая система Нью-Англия; 6 – палеозойский и мезо-кайнозойский платформенный чехол; 7 – зона активизации в архейских блоках; 8–9 – разломы: 8 – главные, 9 – предполагаемые; 10–12 – месторождения пегматитов: 10 – танталосодержащие, 11 – литиевые, 12 – бериллоносные

Обширное пегматитовое поле Кулгарди находится в центральной части блока Йилгарн, вблизи от золото-теллурического месторождения Кулгарди. В его пределах известно четыре крупных пегматитовых месторождения: Кэтлин-Крик, Лондондерри, Маунт-Мэрион и Сперговиль. Они содержат сподумен, амблигонит, петалит, лепидолит и относятся к типичным редкометальным пегматитам, концентрирующим большое количество лития, хотя эксплуатировались также на берилл, колумбит, микролит, плавиковый шпат. Среди пегматитовых тел поля Кулгарди имеются пологие крутопадающие жилы разной мощности и протяженности, но все они являются секущими по отношению к вмещающим породам – метаморфозованным туфам, лавам и осадочным образованиям.

Месторождение Кэтлин-Крик приурочено к крупному пологопадающему плитообразному пегматитовому телу со средней мощностью около

10 м. Из рудных минералов главную роль играет крупнокристаллический сподумен; присутствуют лепидолит, берилл, колумбит, микролит, циннвальдит.

Месторождение Лондондерри также представлено единой пегматитовой жилой, содержащей очень крупные (масса до 1500 т) кристаллы калиевого полевого шпата, а также петалит, альбит, циннвальдит, берилл, колумбит.

На месторождении Маунт-Мэрион, в отличие от двух первых, выявлено несколько пологих плитообразных жил. Жильная зона протягивается на 4 км при мощности каждого тела от 1,5 до 3 м; запасы оксида лития в главном рудном минерале месторождения — сподумене — не менее 1 млн. т. Кроме того, в жилах присутствуют берилл, колумбит, лепидолит.

Месторождение Сперговиль — это единое крупное тело, в нем наряду со сподуменом и колумбитом развиты обычный берилл и его прозрачные разновидности, включая аквамарин.

К северо-востоку от поля Кулгарди, в районе г. Норсмен, известны литиевые пегматиты со значительным количеством касситерита. Они отличаются также тем, что кроме аксессуарных минералов, характерных для жил, описанных ранее, содержат биотит, гранат и турмалин.

На юго-западе провинции Йилгарн находится пегматитовое поле Гринбушес — одно из крупнейших по запасам тантала [31]. Вмещающими породами здесь являются архейские гранитогнейсы, амфиболиты и амфиболовые сланцы. Пегматитовые тела — также архейского возраста (2700 млн. лет) — пространственно и генетически связаны с биотитовыми гранитами, нередко альбитизированными. Жилы характеризуются крупными размерами (до 5 км в длину) и значительными концентрациями касситерита, танталита, воджинита, колумбита. Особенностью месторождения является наличие самостоятельных „грейзеновых зон“, состоящих из кварца и слюды с вкрапленностью касситерита и танталита в ассоциации с турмалином.

На месторождении Гринбушес кроме коренных разрабатываются крупные россыпные залежи касситерита и танталита, образовавшиеся при разрушении пегматитов и „грейзенов“. Некоторые россыпи возникли еще в средне- или позднепротерозойское время („древний аллювий“) в прибрежной части мелководного моря или озера; им свойственны очень высокие содержания рудных минералов.

Западнее месторождения Гринбушес располагается пегматитовое поле Белингап, относящееся к группе полей, сформировавшихся в зонах протерозойской тектономагматической активизации. Вмещающие архейские породы представлены амфиболитами, сланцами, гранитогнейсами, дайками аплитов и долеритов. Секущие их пегматитовые тела позднепротерозойского возраста (1100 млн. лет) имеют редкометалло-мусковитовую специализацию; они разрабатывались на слюду, полевой шпат и берилл.

В северо-западном обрамлении блока Йилгарн находится еще один участок развития позднепротерозойских пегматитов — пояс Йинни тарра длиной около 80 км и шириной до 25 км. Возраст пегматитовых тел

1000—940 млн. лет. Это разнообразные по размерам и залеганию жилы, содержащие значительные количества мусковита, а также биотит, турмалин, гранат, беррил и колумбит. В некоторых пегматитовых телах встречаются минералы висмута. Крупнокристаллический мусковит представлен двумя разновидностями: рубиновой (более высокого качества) и зеленой.

Из других участков распространения пегматитов в зонах тектономагматической активизации заслуживает внимания поле Нортгемптон, где возраст пегматитов 1190 млн. лет. Поле расположено в западном обрамлении блока Йилгарн. Здесь разрабатывались два месторождения листового мусковита: Аджана и Малиню. Значительную часть слюды составлял высококачественный рубиновый мусковит.

Провинция Пилбара размещается в пределах одноименного северного блока Западно-Австралийского щита. По размерам этот блок значительно меньше блока Йилгарн, но достаточно богат пегматитовыми месторождениями. Метаморфизованные вулканические и осадочные породы катархея представлены массивными и сланцеватыми амфиболитами, железистыми кварцитами, аспидными сланцами. Породы смяты в субмеридиональные складки и включают гранитогнейсовые купола. Редкометалльные пегматиты имеют возраст 3000—2700 млн. лет и связаны с гранитными интрузивами того же возраста.

Главнейшие месторождения провинции в совокупности образуют крупный субмеридиональный пегматитовый пояс протяженностью около 100 км. В его пределах самым южным является пегматитовое поле Уоджина (Воджина), далее к северу следуют месторождения Пилгангура, Табба-Табба и Стрелли.

Пегматитовое поле Уоджина сложено метаморфическими породами серии Уоррауна: железистыми кварцитами, сланцами и амфиболитами, смятыми в крутые складки северного и северо-восточного простирания. Эти породы прорваны многочисленными секущими и согласными дайками гранитов и пегматитов. Основная часть пегматитовых тел сосредоточена в полосе длиной 6—7 км. К востоку от них расположен гранитный массив, в котором развиты зоны альбитизации, содержащие акцессорный танталит. Главное рудное тело длиной 700 м и мощностью до 10 м (в раздуге до 100 м) имеет меридиональное простирание и залегает в массиве амфиболитов. Строение его сложное: наблюдаются секущие мусковит-альбитовые зоны с лепидолитом и танталитом. Основная же масса пегматита сложена пегматоидными гранитами, состоящими из калиевого полевого шпата, альбита, кварца, мусковита и биотита.

Танталит на месторождении представлен высококачественным манганотанталитом, кроме того, встречаются воджинит, цезиевый берилл, лепидолит, литиофиллит, касситерит, апатит, разнообразные гранаты. Большой интерес вызывает то обстоятельство, что танталит отмечается и в альбитовых апофизах в кровле и подошве пегматитового тела, а также в смежных трещинах. В зальбандах, на границе с вмещающими зеленокаменными породами, часто наблюдается биотит. Линзы кварца приурочены в основном к контактовым частям главного тела.

Месторождение Пилгангура находится на расстоянии около 25 км к северу от поля Уоджина примерно в такой же геолого-структурной обстановке. Пегматитовое поле вытянуто в северо-северо-восточном направлении на 5 км при ширине 800 м и представлено несколькими жильными сериями, сложенными гранитными и пегматитовыми телами, явно секущими по отношению к вмещающим сланцам, кварцитам и рассланцованным основным лавам. Многие жилы безрудны, редкометалльные тела содержат сподумен, лепидолит, касситерит, танталит-колумбит, а в участках альбитизации — берилл. В большинстве случаев редкометалльная минерализация приурочена к внешним зонам более мощных жил и связана с кварцевыми линзами и обособлениями. Но есть случаи, когда эта минерализация распределена в пределах пегматитового тела равномерно, причем касситерит и танталит-колумбит всегда ассоциируют со сподуменом и альбитом.

Месторождение Табба-Табба находится примерно в 85 км к северу от поля Уоджина в том же пегматитовом поясе. Метаморфические породы смяты здесь в складки северо-восточного простирания, а пегматитовые жилы контролируются системой разломов северо-западного простирания с падением на северо-восток. Имеются крупные массивы мелкозернистых гранитов, к которым тяготеют серии пегматитовых тел. Главное рудное тело прослежено на 600 м при видимой мощности до 60 м. Оно полого падает на северо-восток и сложено преимущественно крупнозернистым кварц-микроклиновым пегматитом с подчиненным количеством биотита и мусковита. Отмечаются участки гранитовой и аплитовой структур. В осевой части жилы находятся кварцевые линзы с редкометалльной минерализацией: бериллом и танталитом. Эти минералы вместе с лепидолитом сосредоточены в мелкозернистой кварц-мусковит-альбитовой зоне.

Месторождение Стрелли, расположенное в северной части пегматитового пояса, по геологическому строению сходно с соседним месторождением Табба-Табба. Метаморфические породы, представленные железистыми кварцитами, сланцами и многочисленными пластами измененных основных лав, интродуцированы гранитами, пегматитовыми и кварцевыми жилами. Пегматитовые тела имеют северо-северо-восточное простирание, согласное с простиранием вмещающих пород, но по падению они обычно секущие. Пегматиты сложены кварцем и микроклином с подчиненным количеством мусковита, в центральных частях жил содержат многочисленные кварцевые линзы. Редкометалльная минерализация — танталит, микролит, берилл, касситерит, лепидолит, тапиолит, дьюфренит — тяготеет к этим линзам; ее распространение ограничено существенно альбитовыми или кварц-мусковит-альбитовыми зонами, окружающими кварцевые ядра.

Главное пегматитовое тело месторождения прослежено на 600 м при ширине выходов от 25 до 180 м. В жиле отмечаются ксенолиты биотитовых сланцев, сохраняющие ориентировку вмещающих пород. Кварцевые линзы распределены по всему объему мощного пегматитового тела. С юга на север количество кварцевого материала возрастает, а на северном продолжении тела наблюдаются кварцевые линзы без редкометалльной

минерализации. В пределах главного тела танталит локализован в мусковит-кварцевых агрегатах, размещающихся на контактах кварцевых линз или выполняющих трещины в кварце и окружающих кварц-микроклиновых зонах. Кроме того, танталит встречается в составе мелкозернистого кварц-мусковит-альбитового комплекса, слагающего тела неправильной формы (типа штокверков) в пределах кварц-микроклиновой зоны или на ее контакте с кварцевыми линзами.

Центрально-Австралийский щит

Провинция Аранта объединяет пегматитовые месторождения, приуроченные к одноименному северному блоку Центрально-Австралийского щита. Блок Аранта сложен метаморфическими породами архейского возраста, преимущественно гнейсами. С ними связаны разнообразные гранитные породы и редкометалльные пегматиты. Южная часть блока в протерозое и раннем палеозое претерпела тектоно-магматическую активизацию. Здесь встречаются мусковитовые и редкометалльно-мусковитовые пегматиты.

Редкометалльные пегматиты провинции Аранта изучены недостаточно. Во время второй мировой войны из нескольких пегматитовых тел этого района (вблизи ж.-д. станции Делни и в нескольких пунктах к северо-востоку и северу от г. Алис-Спрингс), а также из россыпей было получено значительное количество танталитовых концентратов. Кроме танталита здесь отмечаются касситерит, галенит и минералы висмута.

Слюдоносные пегматиты провинции Аранта образуют в южной части блока крупный пегматитовый пояс, в пределах которого выделяются два пегматитовых поля. Месторождения этого района являются практически единственным источником мусковита, добываемого в Австралии.

Пегматитовое поле Хартс-Рейндж расположено примерно в 200 км к востоку от г. Алис-Спрингс. Многочисленные пегматитовые тела позднепротерозойского (700–600 млн. лет) и раннепалеозойского (около 400 млн. лет) возраста залегают в сланцах и гнейсах толщ Ириндина и Бреди. Пегматитовые жилы обычно секущие, имеют северо-северо-западное простирание. Для них характерно зональное строение, причем мусковит промышленного качества чаще всего приурочен к всياщим контактам тел. Пегматиты состоят из калиевого полевого шпата, плагиоклаза, кварца и мусковита; биотит встречается в подчиненном количестве. Акцессорные минералы представлены гранатом, турмалином, бериллом, монацитом, самарскитом и бетафитом. Мусковит пегматитов поля Хартс-Рейндж имеет высокое качество.

Поле Пленти-Ривер размещается в 80 км к северо-востоку от предыдущего. По составу вмещающих пород и пегматитов оно аналогично полю Хартс-Рейндж, но число жил здесь намного меньше. Мусковит локализован в краевых зонах или рассеян по всей мощности тел. Зональность более четко выражена в относительно мощных жилах.

Провинция Масгрейв находится в пределах одноименного южного блока кристаллических пород Центрально-Австралийского щита. Как и блок Аранта, блок Масгрейв сложен архейскими метаморфическими породами,

подвергшимся процессам гранитизации. Складчатые структуры этого блока имеют преимущественно меридиональную ориентировку.

Пегматиты в пределах провинции многочисленны, но образуют в основном небольшие тела. Они тяготеют к крупным гранитным интрузивам, в частности к краевым частям массивов чарнокитовой серии Эрнелла. Формирование гранитоидов связывают с тектономагматической активизацией в зонах широтного простирания. Время активизации — позднепротерозойское (1070—750 млн. лет).

По специализации среди пегматитов провинции выделяются редкометально-мусковитовые и мусковитовые (поле Калгера), редкометальные — с танталитом и бериллом (поля Сентинел-Хилл и Гранит-Даунс) и редкоземельные — с ортитом (поле Эрнелла). Изучены они слабо. Все названные пегматитовые поля расположены в восточной части блока Масгрейв.

Север Австралийской платформы

Провинция Кимберли-Дарвин объединяет три района развития пегматитов, приуроченные к выходам архейских пород среди более молодых отложений Австралийской платформы. Это дугообразное по форме ядро Кимберли ограничено с обеих сторон крупными разломами (см. рис. 2).

Пегматитовый пояс протягивается к юго-западу от порта Дарвин на расстояние около 100 км при ширине до 10 км. Пегматиты имеют докембрийский возраст (2500 млн. лет). Редкометальная минерализация представлена амблигонитом, бериллом, касситеритом, колумбитом и танталитом.

На самом северном месторождении провинции — Финнис-Ривер — известны многочисленные пегматитовые жилы. Они обычно зональные, причем редкометальная минерализация (касситерит, колумбит) тяготеет к краевым зонам.

Примерно в 15 км к юго-западу находится пегматитовое поле Уэст-Арм, где наблюдается большое число жил с касситеритом и танталитом. Содержание последнего невысоко, кристаллы обычно мелкие, но иногда встречаются очень крупные (до 600 г).

Месторождение Энтерпрайз, расположенное в 40 км к юго-востоку от предыдущего, отличается высокими содержаниями лития, причем этот элемент входит в состав фосфата лития — амблигонита. Кроме того, жилы содержат колумбит и танталит, отмечается берилл. По-видимому, пегматиты с амблигонитом распространены в пределах пояса очень широко, поскольку они были обнаружены и далее к юго-западу, примерно в 45 км от поля Энтерпрайз (Маунт-Литчфилд).

В самой южной точке провинции, на расстоянии около 800 км к юго-западу от порта Дарвин, находится месторождение Маунт-Докрелл. Пегматиты в этом районе еще более древние (2700 млн. лет). Изучены они недостаточно, но их редкометальная специализация проявлена четко: встречается литиофилит, добывались касситерит и танталит-колумбит.

В западной части провинции, примерно в 100 км к востоку от г. Дерби, известен участок развития мусковитовых пегматитов — Нейпир-Даунс.

Пегматитовые жилы залегают здесь в гранитогнейсах. Слюда имеет красноватый оттенок и относится, по-видимому, к типу рубиновых слюд.

Провинция Маунт-Айза размещается на площади одноименного протерозойского срединного массива, в окрестностях крупного полиметаллического месторождения Маунт-Айза. Здесь выделяются два пегматитовых поля, иногда называемые поясами [19]. Пространственно и генетически пегматиты связаны с гранитами комплекса Сибелла, возраст которых 1550 млн. лет. Они прорывают метаморфические породы группы Хэслингден (1700–1650 млн. лет), вышезалегающие слои Джуденан и другие породы протерозоя Австралии – карпентария [19].

Пегматитовое поле Майка-Крик приурочено к северному выклиниванию гранитного массива, имеющего площадь около 80 км². Пегматитовые жилы располагаются вдоль контактов гранитов или целиком во вмещающих породах: гнейсах, амфиболитах, сланцах различного состава, реже – в кварцитах. Поле вытянуто на 15 км в субмеридиональном направлении при ширине около 3 км. Пегматитовые тела залегают, как правило, согласно с вмещающими породами, простирающимися в меридиональном направлении. Однако встречены и секущие участки и жилы.

По специализации пегматиты поля Майка-Крик – типичные редкометально-мусковитовые. Они содержат и промышленный мусковит, и значительные количества берилла. Кроме того, во многих жилах присутствует касситерит, а в отдельных телах встречены колумбит, танталит, берtrandит, монацит, минералы висмута.

Поле Гала-Крик находится в 25 км к югу от поля Майка-Крик в сходной геологической обстановке. Здесь выделяются две полосы интенсивного проявления пегматитовых жил. Западная полоса (после Биг-Ривер) протягивается с северо-западном направлении на 6 км при ширине 100 м. Она представлена несколькими жильными сериями и отдельными телами пегматитов, разделенными маломощными пачками вмещающих пород – мусковитовых и амфиболовых сланцев. Восточная полоса (поле Макеллар) ориентирована в том же направлении и прослежена примерно на 12 км при максимальной ширине 70 м. Число вскрытых пегматитовых жил в этой полосе невелико, что связано с плохой обнаженностью. Вмещающие породы – сланцы и амфиболиты; изученные жилы имеют крутое падение.

По минеральному составу пегматиты поля Гала-Крик аналогичны пегматитам поля Майка-Крик. Промышленный интерес представляют мусковит и берилл; последний приурочен к обогащенным мусковитом зонам, локализованным вокруг кварцевых обособлений. Акцессорные минералы – турмалин, апатит, берtrandит, графтонит, танталит-колумбит. Обращает на себя внимание отсутствие касситерита и танталита.

Провинция Джорджтаун выделяется в одноименном протерозойском срединном массиве, находящемся в северо-восточной части континента. Район сложен метаморфическими породами, аналогичными породам провинции Маунт-Айза. Пегматитовые поля провинции Джорджтаун пространственно и генетически связаны с позднепротерозойскими (1200–600 млн. лет) гранитами, которые приурочены к зонам разломов.

В южной части провинции в позднепротерозойских (1100—1000 млн. лет) пегматитах известны два месторождения тантала. Танталит встречается в составе кварц-мусковит-альбитовых зон пегматитов, а также в аллювиальных и элювиальных россыпях, тяготеющих к коренным месторождениям. Севернее, на п-ове Кейп-Йорк, имеется несколько месторождений мусковита; в частности, в 60 км к западу от г. Мангана в сланцах докембрия развиты мусковитоносные жилы длиной по простиранию до 100 м при ширине выхода 10 м. В 170 км северо-западнее г. Лора размещается месторождение Морехид-Ривер. Здесь в сланцах и кварцитах северо-западного простирания залегают многочисленные слюдоносные жилы того же направления длиной до 120 м при мощности до 30 м.

Срединный массив Брокен-Хилл

Провинция Брокен-Хилл находится в западной части шт. Новый Южный Уэльс, в районе одноименных протерозойского срединного массива и рудной провинции с крупнейшими свинцово-цинковыми месторождениями. Большую часть срединного массива слагают породы нижнего протерозоя, метаморфизованные в условиях гранулитовой и амфиболитовой фаций. С интенсивным региональным метаморфизмом, происходившим 1700 млн. лет назад, связаны калиевый метасоматоз, образование гранитов и безрудных пегматитов, представленных межпластовыми или согласными телами. Примерно в это же время формировалась сульфидная минерализация: ее возраст 1640—1620 млн. лет. Граниты Манди-Манди и ассоциирующие с ними редкометальные пегматиты полей Булкумата-Бимбури, Эгебек и Эуриови возникли 1560—1530 млн. лет назад. С регрессивным метаморфизмом, сопровождавшим процессы тектономагматической активизации района (500 млн. лет) связаны складкообразование, перекристаллизация в зоне рассланцевания и внедрение мусковитовых пегматитов поля Такаринга.

Пегматитовое поле Булкумата-Бимбури находится в 100—120 км к западу от г. Брокен-Хилл. Здесь известны десятки пегматитовых тел, расположенных в нижнепротерозойских сланцах и гнейсах вокруг гранитного батолита Булкумата, реже — в гранитах. Большинство пегматитовых жил имеет согласное залегание, однако на участке Уипераминга-Хилл серии параллельных жил секут сланцеватость. Размеры тел невелики — несколько десятков метров по простиранию и несколько метров по мощности. Во многих жилах присутствуют кварцевые ядра. Промышленный интерес в этом поле представляли берилл, кристаллы которого локализовались обычно по периферии кварцевого ядра, урановая минерализация (уранинит, гуммит, метаотенит и др.) и полевые шпаты. Кроме того, в жилах района встречены минералы рядов танталит — колумбит, пироксид — микролит, а также ильменорутит с повышенными содержаниями тантала и ниобия.

Поле Эгебек размещается в 50 км к юго-западу от г. Брокен-Хилл. Метаморфический комплекс Уилльям (1700 млн. лет) пронизан многочисленными пегматитовыми телами, имеющими форму даек и линз. По

специализации пегматиты поля относятся к редкометалльно-мусковитовым. Здесь добывались калиевый полевой шпат, берилл и мусковит; в некоторых жилах отмечается колумбит.

Поле Эуриови расположено в 60–70 км к северу от г. Брокен-Хилл. Это поле типичных редкометалльных пегматитов, где одним из главных минералов является амблигонит. Попутно с ним из пегматитов добывали берилл, мусковит, а также небольшое количество микролита и воробье-вита (рудник Трайдент).

ПЕГМАТИТОВЫЕ ПРОВИНЦИИ АЗИИ

Наибольший интерес среди достаточно многочисленных пегматитовых месторождений зарубежной Азии представляют пегматитовые провинции, расположенные в пределах Индийской и Китайской древних платформ, альпийского Гималайского складчатого пояса, а также в складчатых сооружениях Монгольского Алтая и северной части МНР. За пределами этих крупных регионов известны лишь отдельные пегматитовые поля, не имеющие сколько-нибудь важного промышленного значения.

Индийская платформа

4780
0844
Значительная часть Индийской платформы, занимающая почти всю территорию п-ова Индостан и о. Шри-Ланка, представляет собой древний щит, называемый обычно Индостанским. Именно к нему приурочены все пегматитовые месторождения. В литературе имеются описания их геологического положения, минералогии и геохимии [13, 23], но детальные характеристики пегматитовых полей и отдельных жил отсутствуют.

В пределах Индостанского щита можно выделить пять крупных пегматитовых провинций (рис. 3): наиболее древнюю раннепротерозойскую Майсурскую (2300–2000 млн. лет), протерозойские Неллурскую (1600–1500 млн. лет) и Бихарскую (1100–700 млн. лет), рифейско-вендские Южноиндийско-Шриланкскую и Раджастханскую (865–600 млн. лет). Во многих провинциях отмечаются и меньшие цифры абсолютного возраста (600–450 млн. лет), определенного по минералам пегматитов, соответствующие, по-видимому, времени раннепалеозойской тектономагматической активизации. Кроме перечисленных провинций целесообразно кратко описать также недавно изученное небольшое по размерам Восточно-Гатское поле редкометалльных пегматитов докембрия (Орисская пегматитовая провинция). Оно расположено на границе штатов Мадхья-Прадеш и Орисса, недалеко от г. Джагдалпур.

Майсурская провинция объединяет пегматитовые поля преимущественно редкометалльно-мусковитовой специализации, приуроченные к полосе развития архейских метаморфических пород Дхарварской системы. Она протягивается на несколько сотен километров в субмеридиональном направлении по территории шт. Карнатака через г. Майсур до северной части шт. Тамилнад (окрестности городов Бавани и Салем).

Возраст гранитов и пегматитов провинции либо около 2300 млн. лет

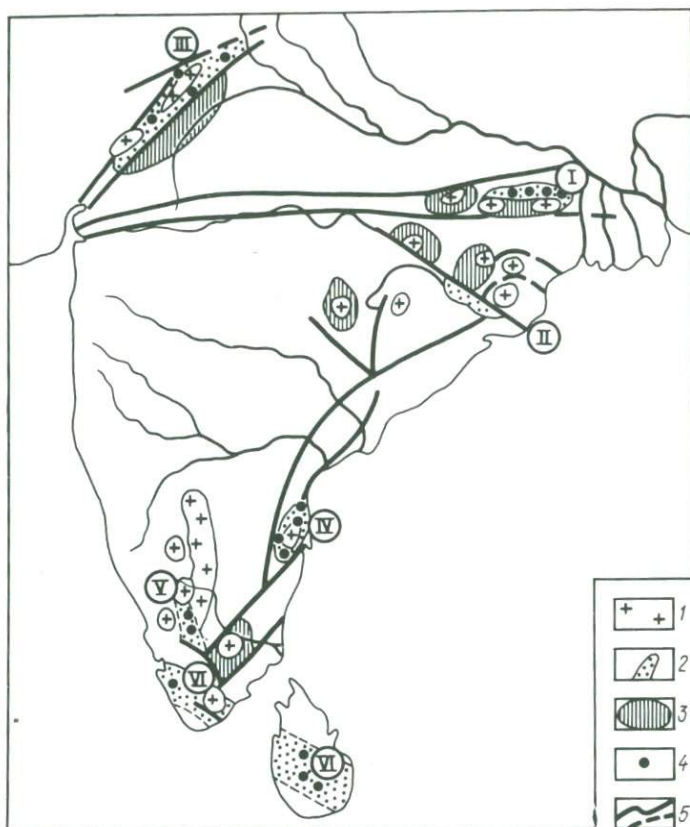


Рис. 3. Схема размещения пегматитовых провинций и поясов Индии. По [13]:

1 — граниты; 2 — пегматитовые провинции: I — Бихарская, II — Орисская, III — Раджастанская, IV — Неллурская, V — Майсурская, VI — Южноиндийско-Шриланкская; 3 — другие районы развития пегматитов; 4 — крупнейшие месторождения; 5 — главные разломы

(клошпетские граниты, верхнедхарварские пегматиты), либо 790—720 млн. лет (граниты Чамунди, редкометалльно-мусковитовые пегматиты ряда полей). Можно предполагать, что в позднем докембрии пояс подвергся тектономагматической активизации.

Среди пегматитовых тел Майсурской провинции преобладают секущие жилы линзовидной формы; длина их обычно до 120 м (иногда до 300 м), мощность до 20 м (редко до 40 м). Как правило, наблюдается зональность, имеется кварцевое ядро, калиевый полевой шпат преобладает над плагиоклазом. Распространены также согласные маломощные мусковит-плагиоклазовые жилы длиной до 100 м, мощностью не более 3 м. Пространственная связь пегматитов с гранитными массивами и зональность пегматитовых полей проявляются в том, что количество пегматитового материала возрастает при приближении к этим массивам, а жилы с муско-

витом и другой минерализацией (берилл, колумбит, реже уранинит, лепидолит) наиболее часто встречаются на расстоянии 2–4 км от них, тогда как вблизи гранитоидов обычно размещаются „пустые“ пегматиты.

Вмещающие породы минерализованных пегматитовых тел — преимущественно биотитовые и гранат-биотитовые гнейсы, реже амфиболиты, пироксениты. На контактах с мусковитсодержащими жилами гнейсы подвергаются мусковитизации, окварцеванию, а амфиболиты и пироксениты — соответственно биотитизации и амфиболитизации.

Неллурская провинция имеет сравнительно небольшие размеры: примерно 100 км в длину и 20 км в ширину. Этот пегматитовый пояс приурочен к гнейсово-сланцевой толще, протягивающейся в северо-северо-западном направлении вдоль хр. Восточные Гаты (шт. Андхра-Прадеш). Среди пород толщи преобладают меланократовые роговообманковые и биотитовые сланцы, присутствуют маломощные пласты кварцитов и лейкократовых сланцев. Н.Мукерджи и М.К. Рао отмечают, что 70 % пегматитовых жил залегают в биотитовых сланцах, но эти породы часто формировались в результате биотитизации амфиболовых пород в экзоконтактах пегматитов. В западной части пояса встречаются многочисленные выходы гранитов, с которыми генетически связаны пегматиты.

Наиболее яркая особенность провинции — наличие в пегматитовых жилах наряду с „рубиновым“ мусковитом зеленой слюды высокого качества. Причиной такой окраски Н.Мукерджи и М.К. Рао считают наличие примеси хрома, заимствованного из многочисленных силлов основного состава, превращенных при метаморфизме в амфиболиты и „эпидиориты“. Кроме мусковита в пегматитовых телах обнаружены берилл, самарскит, колумбит, ортит и др. Берилл и самарскит добываются в значительных количествах попутно со слюдой. Любопытно, что масса отдельных кристаллов самарскита достигает нескольких килограммов, а из пегматитового тела, расположенного вблизи пос. Утукур, добыто несколько тонн этого редкого минерала.

Возраст метаморфических пород, вмещающих пегматиты Неллурской провинции, раннепротерозойский (1570–2600 млн. лет). Граниты и пегматиты провинции сформировались, по-видимому, около 1600 млн. лет назад, но определенные по минералам пегматитов значения абсолютного возраста варьируют в широких пределах — от 2000 до 1480 млн. лет. Определения калий-аргоновым методом по мусковиту и калиевому полевому шпату дают возраст всего 590–560 млн. лет, но эти данные менее надежны. Многие авторы считают пегматиты Неллурской провинции самыми древними из мусковитоносных пегматитов Индии, поскольку для некоторых аналогичных по специализации пегматитов Майсурской провинции получен возраст 790–720 млн. лет.

Бихарская провинция является крупнейшим в мире поставщиком листового мусковита, источником ряда редких металлов. Она протягивается более чем на 300 км в субширотном направлении при ширине до 50 км. Основная часть провинции находится на территории шт. Бихар (окрестности городов Кодарма, Гиридик и др.), но ее восточный фланг размещается в шт. Западный Бенгал, а западный — в шт. Мадхья-Прадеш. На

этой площади эксплуатируется несколько сотен рудников по добыче мусковита, имеются десятки обогатительных фабрик.

Месторождения слюды в данном районе известны с глубокой древности, они детально описаны в литературе и продолжают изучаться индийскими геологами. Ряд крупных пегматитовых тел разрабатывается одновременно на мусковит и берилл, на мусковит и уранинит, колумбит, висмутин. Это типичные редкометалльно-мусковитовые пегматиты. Подавляющая же часть слюды добывается из собственно мусковитовых пегматитов. Как и в других слюдоносных регионах, здесь есть и калишпатсодержащие зональные, секущие пегматитовые тела, и маломощные мусковит-плагиоклазовые жилы. Особенностью Бихарской пегматитовой провинции является явное преобладание второго типа мусковитоносных тел.

Вмещающие породы пегматитов — преимущественно докембрийские сланцы (гранат-биотитовые, силлиманитовые, двуслюдяные, амфиболовые), а также слюдистые кварциты, гнейсы, амфиболиты и так называемые „гранулиты“ (кальциево-силикатные породы, содержащие цоизит, диопсид, голубовато-зеленую роговую обманку). Наиболее важный этап метаморфизма пород здесь совпадал с Дхарварским орогенезом (2500—2300 млн. лет). Однако многие значения абсолютного возраста метаморфических пород находятся в пределах 1100—900 млн. лет.

Гнейсы и параамфиболиты плато Чхота-Нагпур в шт. Бихар, для которых определены значения 972—700 млн. лет [23], близки по возрасту к гранитам этого района (860—758 млн. лет). Примерно такие цифры (980—670 млн. лет) получены по минералам пегматитов Бихара. По-видимому, они отражают время последней позднепротерозойской фазы метаморфизма, сопровождавшегося формированием гранитов и пегматитов.

Граниты провинции обычно крупнозернистые двуполевошпатовые, содержат биотит и (или) роговую обманку. Как правило, они характеризуются гнейсовидной текстурой и по традиции называются „купольными гнейсами“, поскольку часто слагают куполообразные холмы. Но по происхождению и составу это настоящие граниты, с чем соглашался и автор термина „купольные гнейсы“ Т. Холланд. Граниты имеют ультраметаморфическую природу и соответствуют гранитам формации мигматитов амфиболитовой фации древних платформ (по Ю.А. Кузнецову).

Пространственная связь пегматитов с гранитами подчеркивается зональностью пегматитовых полей и наличием пегматитов лишь на участках развития „купольных гнейсов“. На удалении более 15 км от гранитных массивов пегматитовые тела обычно отсутствуют. На максимальном расстоянии от гранитных массивов наблюдаются мусковит-плагиоклазовые жилы, ближе размещаются инъекционные пегматитовые тела, содержащие плагиоклаз, калиевый полевой шпат, биотит и мусковит. Внутри гранитов пегматитовые жилы обычно не содержат мусковита, а среди полевых шпатов резко преобладает калиевый.

Как уже упоминалось, наибольшим распространением в Бихарской провинции пользуются маломощные согласные мусковит-плагиоклазовые жилы, образующие серии параллельно или кулисообразно расположенных тел. Они, как правило, окружены так называемыми „слюдяными сланца-

ми" (мусковитизированные и окварцованные вмещающие породы).

Вторым по распространенности типом пегматитовых тел являются линзовидные или неправильной формы инъекционные жилы длиной 60–300 м (иногда до 800 м) и мощностью 5–15 м (редко до 50 м), содержащие калиевый полевой шпат и биотит. Среди них преобладают ориентированные субпараллельно простиранию вмещающих пород, но секущие их по падению или на отдельных участках. Развита косо- и поперечно-секущие инъекционные жилы.

Южноиндийско-Шриланкская провинция в качестве единого пегматитового района выделена С.Е. Колотухиной, В.И. Моралевым, Г.А. Топуновой в 1975 г. Пегматитовые поля юга Индии (штаты Керала и Тамилнад) и о. Шри-Ланка приурочены к сходным по составу и возрасту дохарварским метаморфическим породам — „гнейсам фундамента“, обычно относимым к раннему архею.

В пределах южной части п-ова Индостан широко развиты породы кондалитовой серии: кристаллические сланцы, кварциты (в том числе гранатовые), кальцифиры и мраморы, метаморфизованные в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций. В группе кристаллических сланцев преобладают „кондалиты“ — кварц-гранат-силлиманитовые породы, содержащие графит. Кроме того, в районе развиты чарнокитовые (гиперстеновые) гнейсы и гранитогнейсы самых верхних частей дохарварской толщи.

Аналогичный характер имеют метаморфические породы о. Шри-Ланка. В основании разреза залегают гранулитовые гнейсы серии Виджаян, над ними — толща кондалитов, гиперстеновых гнейсов и кристаллических сланцев с прослоями мраморов и кварцитов серии Хайлэнд; они перекрываются гнейсами Кадуканавы, близкими по составу гранитогнейсам п-ова Индостан.

Сходны также граниты и пегматиты двух районов, образовавшиеся в конце докембрия. Широко развиты чарнокитовые разновидности гранитоидов, с которыми, по мнению некоторых исследователей [46], генетически связаны все пегматиты. Здесь нет типичных мусковитовых и редкометаллических пегматитов, а главный интерес представляют разнообразные драгоценные камни: хризоберилл, аквамарин, рубин и сапфир (в том числе их звездчатые разновидности), топаз, циркон, гранат, разновидности кварца. Кроме того, во многих жилах отмечается значительное количество непрозрачного берилла и других редкометаллических минералов: колумбита, монацита, ксенотима, фергусонита, торита. По своей специализации пегматиты провинции относятся преимущественно к уран-редкоземельным и редкометалло-мусковитовым.

Особенностью всего региона является высокая степень выветривания коренных пород, в связи с чем драгоценные камни добываются и из аллювиальных и пролювиальных россыпей. Шри-Ланка поставляет на мировой рынок большое количество ювелирного материала, уступая в этом только Бразилии.

Из пегматитовых месторождений юга Индии наиболее хорошо изучены хризоберилловые пегматиты поля Бонакорд в окрестностях г. Тируванантапурама и пегматиты Одара, содержащие берилл и колумбит.

Наиболее продуктивные на драгоценные камни пегматиты Шри-Ланки сосредоточены в юго-западной части острова, возле г. Ратнапура. Мусковит хорошего качества известен в пегматитах Пиннауала вблизи г. Валангода.

Раджастханская провинция, расположенная на территории шт. Раджастхан в западной части Индии, характеризуется наибольшим разнообразием пегматитов. Она протягивается на 320 км в северо-восточном направлении вдоль хр. Аравали от г. Дунгапур на юго-западе до района столицы штата — г. Джайпур. Ширина провинции до 100 км. В пределах этой площади известны десятки тысяч пегматитовых жил, работают рудники по добыче мусковита (более 200), руд редких металлов, поделочных и драгоценных камней. Обрабатывающая промышленность сосредоточена в городах Аджмер, Бильвара, Джайпур, Кекри.

Пегматитовые поля известны в самых древних — доараваллийских — гнейсах архея, гнейсах и сланцах араваллийской системы (нижний протерозой), кварцитах, филлитах и мраморах делийской системы (средний протерозой), рифейских метаморфических породах серии Аждабгарх. На геологических картах [27] контуры пегматитовых полей пересекают границы разновозрастных толщ, но четко проявлена пространственная связь пегматитов с постделийскими гранитами комплекса Мевара, имеющими абсолютный возраст 960—745 млн. лет (рубий-стронциевый метод). Определенные по минералам пегматитов Раджастхана значения абсолютного возраста варьируют в основном от 865 до 700 млн. лет, но есть отдельные значения 600—580 млн. лет.

Раджастханская провинция отличается относительно низкой степенью метаморфизма пород, вмещающих пегматиты, — обычно не выше эпидот-амфиболитовой фации. Другая особенность провинции — более широкое проявление редкометальной минерализации в пегматитах. Здесь встречаются и в той или иной степени извлекаются не только мусковит и берилл, но также колумбит, уранинит, циртолит, лепидолит, сподумен, касситерит, самарскит, фергусонит, монацит, торит и другие минералы.

По специализации пегматитовые тела данной провинции относятся преимущественно к редкометально-мусковитовым, но широко развиты собственно мусковитовые пегматиты, присутствуют и редкометальные. В некоторых жилах встречается прозрачный хризоберилл, изумруд и другие драгоценные разновидности берилла. Отдельные пегматитовые тела разрабатываются на каолин (в зоне выветривания) и другое керамическое сырье — полевые шпаты, кварц, кварц-полевошпатовые агрегаты.

Пегматитовые тела, как правило, крупные, особенно жилы редкометально-мусковитовой специализации. Преобладают крутопадающие зональные тела линзовидной или пластинчатой формы площадью от 100 × 20 до 300 × 60 м (максимальная 700 × 100 м). Мусковитовые жилы имеют меньшие размеры, а мусковит-плаггиоклазовые, как и в Бихарской провинции, — малую мощность (1—5 м).

Вмещающие породы на контактах с минерализованными пегматитовыми телами подвергаются изменениям. Наиболее интенсивно проявлены процессы мусковитизации вблизи мусковит-плаггиоклазовых жил. Мощность зон микроклинизации, мусковитизации и окварцевания вокруг

крупных калишпатсодержащих тел мусковитовых пегматитов достигает 20 м. Менее выражены эти процессы в экзоконтактах редкометалльно-мусковитовых жил, а для собственно редкометалльных пегматитов контактовые изменения не характерны и мощность измененных пород обычно ограничивается первыми дециметрами, и только в мраморах и основных породах измеряется метрами.

Восточно-Гатское пегматитовое поле имеет относительно небольшие размеры — до 40 км в длину при ширине полосы развития пегматитов 10–15 км. Оно находится на участке горной системы Восточные Гаты между г. Джагдалпур (шт. Мадхья-Прадеш) и г. Джейпур (шт. Орисса).

Район сложен архейскими метаморфическими породами формации Тулсидонгар — разнообразными гнейсами, андалузитовыми и мусковитовыми кристаллическими сланцами, кварцитами, амфиболитами. Редкометалльные пегматиты залегают преимущественно в амфиболитах, реже — в гнейсах. В западной части поля (Бастарский пегматитовый район, шт. Мадхья-Прадеш) наблюдается приуроченность пегматитовых жил к гранитам, а в восточной (район Мундагуда, шт. Орисса) граниты не встречаются. Общее число закартированных пегматитовых тел в поле — более двухсот.

Для этого района типичны секущие крутопадающие пегматитовые тела линзовидной или пластинчатой формы. Их длина от нескольких метров до 500 м, мощность — до 30 м. В крупных жилах, как правило, проявлена зональность: в центре — кварцевое ядро (в редкометалльных пегматитах — с амблигонитом), вокруг него — крупноблоковая кварц-калиево-полевошпатовая зона с кристаллами берилла, а по периферии — либо обогащенная мусковитом существенно олигоклазовая, либо альбит-лепидолитовая зона.

Гималайский складчатый пояс

В горных сооружениях альпийского возраста, отделяющих Индийскую платформу от других крупных тектонических регионов Азии, встречаются многочисленные пегматиты с разнообразной минерализацией. Л.Н. Россовский и С.И. Коноваленко выделили на этой территории Южно-Азиатский пегматитовый пояс [14], позднее названный мегапоясом. Он протягивается более чем на 3000 км от Афганистана (на западе) до Таиланда (на востоке). Как отмечают упомянутые авторы, отдельные регионы пояса сильно различаются между собой по геологическому строению и возрасту пород. Объединение их в единую геологическую структуру вряд ли правомочно, но для целей совместного регионального рассмотрения в данном описании вполне возможно.

В пределах Гималайского пояса выделяются отдельные пегматитовые пояса и поля (второго порядка): Нуристанский, Гиндукушский, Южно-Памирский, Каракорумский пояса, Кашмирское поле в Индии, несколько пегматитовых полей в Непале, отдельные пегматитовые поля в Бутане, Бирме и Таиланде.

По специализации пегматиты пояса относятся к четырем формациям: слюдоносной, редкометалльно-мусковитовой, редкометалльной и с драго-

ценными камнями. Пегматиты слюдоносной формации распространены в выступах фундамента складчатой зоны. Они связаны с зонами гиганто-мигматитов предположительно протерозойского возраста. Мусковитовые пегматиты залегают в виде отдельных жил и жильных зон в гнейсах и сланцах амфиболитовой фации метаморфизма. Характерным примером таких пегматитов является месторождение Соруби в Афганистане [14]. Размеры пегматитовых тел следующие: длина по простиранию — десятки и сотни метров, мощность — от 1 до 10 м. Они массивны или имеют слабо выраженную зональность. Промышленный мусковит встречается в кварц-мусковитовом комплексе и в виде пегматоидной слюды.

Типичные редкометалло-мусковитовые пегматиты развиты в полях Панчмане и Джагат к северу и северо-востоку от г. Катманду (Непал). Пространственно и генетически пегматитовые жилы связаны с лейкократовыми турмалиновыми гранитами, прорывающими метаморфические породы формации Бхимпхеда — гнейсы и кристаллические сланцы. Это относительно небольшие линзовидные пегматитовые тела, обычно с кварцевым ядром. Берилл и мусковит приурочены к крупноблоковой зоне вокруг ядра или концентрируются вдоль контактов жил. Развита также зона графического кварц-калиево-полевошпатового пегматита. Мусковит встречается и в клиновидных кристаллах, и в кварц-мусковитовом комплексе. Качество его невысокое, цвет — зеленовато-серый или светло-зеленый. Длина отдельных кристаллов берилла — до 1 м, но обычно не превышает нескольких сантиметров. Прозрачные разновидности редки. Малое количество берилла не позволяет считать пегматиты бериллоносными объектами.

Такие редкометалло-мусковитовые пегматиты не представляют сколько-нибудь значительного промышленного интереса. Причиной того, что концентрации мусковита, берилла и других минералов не достигают в этих полях промышленных значений, является, возможно, „распыление“ полезных компонентов в характеризующихся огромными объемами массивах лейкократовых гранитов. В гранитах постоянно присутствуют пегматоидные выделения, содержащие акцессорные минералы бора, бериллия, урана, тория и редких земель, но содержания их, как и крупнокристаллического мусковита, невысоки.

Редкометалльные пегматиты широко распространены в Афганистане, преимущественно в Гиндукуше. Они связаны с крупными плутонами гранитоидов, образовавшихся в процессе альпийской тектономагматической активизации [15]. Пегматитовые жилы залегают в кровле плутонов, среди песчано-сланцевых пород каменноугольно-триасового возраста. Это серии плитообразных тел, линзы, жилы неправильной формы. Мощность тел — от 1 до 60 м, длина может достигать 5 км. Четко зональные тела редки, обычны массивные и полосчатые жилы.

По составу пегматиты Афганистана разделены на следующие группы: 1) олигоглаз-микроклиновые с биотитом, мусковитом, шерлом и малым количеством берилла (безрудные); 2) альбитизированные микроклиновые с мусковитом, шерлом и рудоразборным бериллом; 3) альбитизированные микроклиновые с гнездами лепидолита, сподумена, полихром-

ного турмалина (месторождения драгоценных камней); 4) альбитовые с лепидолитом, танталитом, сподуменом, поллуцитом (танталовые руды); 5) сподумен-микроклин-альбитовые и сподумен-альбитовые (литиевые руды); 6) лепидолит-сподумен-альбитовые с полихромным турмалином, танталитом и поллуцитом (цезиевые и тантал-цезиевые руды).

В пределах полей пегматитов обычно наблюдается зональное размещение жил, выражающееся в смене существенно микроклиновых пегматитов, располагающихся вблизи массивов гранитов, альбитовыми, сподумен-альбитовыми и лепидолит-сподумен-альбитовыми по мере удаления от них.

По данным Л.Н. Россовского и др., на территории Афганистана известно более 20 пегматитовых полей площадью 10–800 км², которые группируются в три пегматитовых пояса: Бадахшанский, Гиндукушский и Нуристанский. В каждом поле выявлены десятки, а иногда и сотни пегматитовых жил. В совокупности они образуют литиеносную провинцию (одну из крупнейших в мире), богатую также бериллием, цезием, танталом и драгоценными камнями.

Кроме редкометальных пегматитов, содержащих драгоценные камни (кунцит, воробьевит, аквамарин и др.), в Гималайском поясе имеются и специфические пегматиты с драгоценными камнями. Это прежде всего так называемые „глубинные пегматиты“ с сапфиром и рубином [15], приуроченные к выступам архейского фундамента; для них не установлена четкая генетическая связь с гранитными массивами. Небольшие (длина – десятки метров, мощность – первые метры) массивные, существенно плагиоклазовые пегматитовые тела залегают в кальцифирах, магнетитовых или доломитовых мраморах. Сапфиры и рубины обычно встречаются в экзоконтактовых флогопитовых или тремолитовых оторочках пегматитовых тел. Такие пегматиты образуют месторождения драгоценных разновидностей корунда в Индии (Кашмир), Бирме и Таиланде.

Другая разновидность пегматитов с драгоценными камнями – пегматиты с полихромным турмалином и аквамарином, лишенные редкометальной минерализации. Примерами пегматитовых жил этого типа являются разрабатываемые месторождения драгоценных камней в восточной части Непала (в верховьях р. Сабхай). По специализации основной массы пегматитовых тел – микроклин-олигоклазовые турмалин-биотитовые пегматиты (месторождение Хьякуле) или турмалин-мусковитовые с акцессорным бериллом (месторождение Факува). На стадии аутометасоматического изменения в пегматитах образуются полости с кристаллами аквамарина, полихромного турмалина и кварца. Именно эти кристаллы и служат объектом добычи небольших старательских артелей.

Китайская платформа

Современные сводные описания геологии и полезных ископаемых КНР, к сожалению, отсутствуют. По косвенным данным (сводки по горной промышленности, международной торговле и т.п.) в КНР из пегматитов добывают мусковит, берилл, минералы лития, тантала, цезия. Здесь эксплуатируются мусковитовые, редкометальные и редкометально-мусковитовые пегматиты, имеются ниобий-редкоземельные.

В пределах Китайской платформы распространены месторождения всех четырех перечисленных пегматитовых формаций. Хорошо изучены, например, пегматиты восточной части хр. Циньлин (к югу от г. Сиань). Здесь известно несколько тысяч пегматитовых жил, среди которых выявлены тела с промышленными концентрациями лития, рубидия, цезия, бериллия и тантала [41]. Пегматитовые поля приурочены к осевой части каледонского широтного антиклинория, контролируются зоной глубинного разлома и сопровождающих его опережающих разрывных нарушений. Вмещающие породы представлены биотит-амфиболовыми сланцами, гнейсами, мраморами, пироксенитами, габбро и перидотитами.

Кроме пегматитов, лишенных промышленной минерализации, Луан Шивей [41] выделяет еще пять типов пегматитов: ниобий-редкоземельный, бериллий-ниобиевый, бериллий-мусковитовый, литий-бериллиевый и цезий-танталовый. В пегматитах двух последних типов средние содержания (в %): лития — около 0,5, бериллия — 0,02, тантала — до 0,018, ниобия — до 0,011, цезия — до 0,2; в остальных концентрации бериллия не превышают 0,008 %, хотя этот элемент и входит в названия типов, а содержания лития изменяются от 5 до 63 г/т.

В качестве примера приведем описание одного из пегматитовых полей в провинции Фуцзянь [39]. В его пределах несколько десятков пегматитовых жил приурочены к пачке синийских метаморфических пород, залегающих между двумя крупными гранитными массивами. В гранитах отмечается лишь небольшая часть жил исключительно биотит-микроклин-плагиоклазового состава. Выявлена зональность размещения пегматитов в пределах поля: по мере удаления от гранитов биотит-микроклин-плагиоклазовые жилы сменяются мусковит-плагиоклаз-микроклиновыми, затем альбитизированными со сподуменом и, наконец, интенсивно альбитизированными. Пегматитовые тела обычно залегают согласно с вмещающими породами и имеют полосчатую текстуру.

В альбитизированных пегматитах встречаются колумбит, танталит и микролит, причем значения отношения тантала к ниобию увеличивается с ростом степени альбитизации. Из других минералов интерес представляют берилл, амблигонит и варисцит. Содержание Ta_2O_5 в интенсивно альбитизированных пегматитах достигает 0,08 % (при 0,02 % Nb_2O_5).

Пегматиты различной специализации отмечены и в более древних породах Китайской платформы: в архейских и протерозойских (система Утай) толщах. В частности, пегматиты широко развиты среди архейских пород на плато Шаньси (хр. Люляншань, округ Дайхэлин в северо-восточной части плато и другие участки). Другим известным районом распространения пегматитов является хр. Большой Хинган, где архейские гнейсы пронизаны гранитными и пегматитовыми дайками.

Монголо-Алтайский пояс

В южной части горной системы Монгольский Алтай (в пределах КНР) описываемый пегматитовый пояс — один из крупнейших. Его длина более 450 км при ширине 20–80 км. Геологическая структура пояса, строение

и состав пегматитов достаточно подробно описаны [13], поэтому далее будут рассмотрены лишь некоторые главные особенности данной провинции.

Монголо-Алтайский пегматитовый пояс приурочен к юго-западному обрамлению одноименного антиклинория каледонского возраста, однако граниты и пегматиты связывают с позднепалеозойским этапом тектономагматической активизации. Пегматитовый пояс контролируется крупной антиклинальной структурой северо-западного простирания и ограничивающими ее параллельными зонами смятия.

Отдельные пегматитовые поля пояса (всего их более 30) отличаются по условиям локализации и характеру связи с гранитными массивами. Юго-восточная группа полей приурочена к кристаллическим сланцам и гнейсам нижнего палеозоя, пространственная связь с гранитами здесь проявлена слабо. Центральная группа полей четко связана с южным контактом крупного массива позднепалеозойских гранитов или с их небольшими штоковидными выходами. Именно в этой группе развиты крупные полнодифференцированные пегматитовые тела с комплексной редкометальной минерализацией. Здесь же отмечаются промышленные концентрации мусковита. Некоторые пегматитовые поля этой группы имеют достаточно четкую специализацию. В западной и северо-западной группах пегматитовые поля известны как в пределах юго-западного борта антиклинория, так и обрамляющей его зоны смятия. Пегматиты локализованы и внутри материнских гранитов, и в десятках километров от них. Преобладающим распространением пользуются безрудные пегматиты существенно микроклинового типа с бериллом, реже встречаются жилы с бериллом и тантало-ниобатами, как, например, поле Чанкур-Джайляу в долине р. Иртыш.

Жильные зоны бериллового типа приурочены обычно к краевым частям крупных материнских гранитных массивов и чаще отмечаются на западном и восточном флангах пегматитового пояса. Кроме того, они локализуются в экзоконтактах материнских массивов, где связаны с лейкократовыми гранитами дополнительной интрузивной фазы. Жилы пегматитов с комплексной минерализацией расположены на периферии зональных пегматитовых полей, окружающих гранитные массивы, залегающие в ядерной части антиклинальной зоны, или размещаются в останцах кровли небольших гранитных массивов.

В юго-восточной части горной системы Монгольский Алтай, находящейся уже на территории Монгольской Народной Республики (Южно-Монгольская металлогеническая провинция), известно значительное количество хрусталеносных пегматитов. Это Барунхурайско-Аджибогдинская хрусталеносная зона, где месторождения пьезокварца и горного хрусталя приурочены к пегматитам позднего палеозоя. Они связаны с каменноугольными гранитоидами барунхурайского комплекса. В пределах нескольких гранитных массивов насчитываются сотни „камерных“ пегматитовых тел, значительная часть которых содержит хрусталеносные гнезда. В этом же регионе выявлены непромышленные редкометалло-мусковитовые и мусковитовые пегматиты (Булганский пояс).

Северо-Монгольская провинция

На территории МНР гранитные пегматиты пользуются широким распространением. Здесь размещаются многочисленные непромышленные проявления мусковитовых, редкометалльно-мусковитовых и редкометалльных пегматитов, но главное значение имеют пегматиты хрусталеносной формации. Преобладающая часть пегматитов, кроме уже упомянутой хрусталеносной зоны на западе МНР, располагается на севере страны.

Пегматитовые тела сосредоточены в основном в двух крупных хрусталеносных поясах: Хэнтэйском и Восточно-Монгольском. Первый приурочен к одноименному сводовому поднятию и протягивается на 600–700 км при ширине 200–270 км. Здесь выявлена крупная Приулан-Баторская группа месторождений горного хрусталя (Горихо, Дзун-Баян, Жан-Чублин и Арцгол), связанных с Хэнтэйскими гранитными массивами жанчублинского комплекса раннего мезозоя (220–205 млн. лет). За пределами этой группы известны десятки других месторождений и рудопоявлений. Пегматиты и вмещающие их граниты хорошо изучены в геологическом и геохимическом отношении [3, 7], но в основном они выработаны.

Восточно-Монгольский хрусталеносный пояс примыкает к Хэнтэйскому с юго-востока, охватывает восточную часть Центрально-Монгольской складчатой системы и прослежен в северо-восточном направлении на 950 км при ширине 250–300 км. На этой площади имеется 24 месторождения хрусталеносных пегматитов, контролирующихся гранитными массивами хайдельгерханского комплекса средне-позднеюрского возраста (245–170 млн. лет). Как и в Хэнтэйском поясе, хрусталеносные полости в пегматитах здесь в основном отработаны старателями. Кроме кварца в них встречаются берилл, топаз, флюорит.

Мусковитовые пегматиты на территории МНР распространены достаточно широко. На северо-западе страны (хр. Хан-Хухэй) известны два проявления мусковита, приуроченные к верхнепротерозойским и нижнепалеозойским гнейсам и прорывающим их раннепалеозойским гранитам. К западу от г. Улан-Батор, в долине р. Батуин-Гол обнаружено около 10 проявлений мусковита в пегматитовых жилах среди гнейсов и сланцев нижнего палеозоя, интродуцированных позднепалеозойскими гранитами. Наконец, в районе сомона Шараин-Дуганг (р. Шараин-Гол) размещается Шараингольская группа слюдоносных жил, включающая пять проявлений мусковита в пегматитах среди гранитов раннепалеозойского возраста.

Проявления редкометалльно-мусковитовых пегматитов, содержащих наряду с мелкочешуйчатым мусковитом берилл и касситерит, известны в нескольких участках на севере МНР. Следует упомянуть пегматиты в Южно-Хэнтэйском рудном районе (к юго-востоку от г. Улан-Батор), верховьях р. Орхон (к юго-западу от г. Цэцэрлэг), ряд жил в Хэнтэй-Керуленской пегматитовой провинции [7].

Редкометалльная пегматитовая формация представлена в МНР в основном танталоносными пегматитами [3, 9]. Кроме минералов группы танталит-колумбита в них встречены микролит, оловотанталит. Сопутствующими минералами являются берилл, касситерит, лепидолит, топаз, турма-

лин. Танталоносные пегматиты распространены достаточно широко, но предварительно изучены лишь три пегматитовых поля: Хух-Дель-Ула (в районе ж.-д. станции Чойрэн, 25 жил, площадь поля 6 км^2), Унчкульское в Ихэ-Хайрханском рудном районе (к юго-западу от г. Улан-Батор, площадь поля 90 км^2) и Бэрхинское в экзоконтакте Дурулгуевского гранитного массива (на северо-востоке МНР, площадь поля более 5 км^2). Средние содержания тантала в некоторых участках пегматитов достигают $0,02\%$ при отношении ниобия к танталу от 2 до 0,1.

Своеобразные топаз-лепидолит-альбитовые пегматиты из группы натриево-литиевых редкометалльных пегматитов описаны Л.Н. Россовским и др. в 305 км к юго-востоку от г. Улан-Батор. Здесь на площади $1,5 \times 2 \text{ км}$ обнаружено 13 секущих и согласных пегматитовых тел в сланцах силуродевонского возраста. Кроме породообразующих минералов обнаружены характерные для редкометалльных пегматитов аксессуарные: касситерит, колумбит-танталит, микролит, берилл. Средние содержания (в %): олова (по 23 пробам) — $0,22$; оксидов бериллия — $0,043$; ниобия — $0,015$; тантала — $0,08$; лития (по шести пробам) — $0,93$.

ПЕГМАТИТОВЫЕ ПРОВИНЦИИ АФРИКИ

Геологическое строение этого континента и структурное положение крупнейших месторождений редких элементов в его пределах довольно широко освещены в специальных публикациях — [16] и др. Достаточное внимание уделено и пегматитовым объектам. Излагаемый далее материал приводится с учетом сделанной ранее группировки месторождений с некоторыми дополнениями и изменениями.

В пределах Африки можно выделить шесть крупных пегматитовых провинций (рис. 4): в Северной и Западной Африке — 1) Марокканско-Малийскую вдоль ее западного побережья, 2) Нигерийско-Сахарскую, простирающуюся к северу и северо-востоку от устья р. Нигер; в Центральной и Юго-Западной Африке — 3) Центрально-Африканскую, охватывающую большую группу месторождений в Заире, Уганде и граничащих с ними странах, 4) Юго-Западную, включающую пегматитовые поля Анголы, Намибии и западной части ЮАР; в Восточной Африке — 5) Эфиопско-Сомалийскую, 6) Зимбабве-Мозамбикскую; некоторые исследователи выделяют также Мадагаскарскую провинцию.

Северная и западная Африка

Марокканско-Малийская провинция. В Марокко гранитные пегматиты, содержащие мусковит и редкие металлы, встречаются среди докембрийских пород в сводовых частях антиклиналей. Слюдяные сланцы, филлиты, гнейсы и мигматиты прорваны гранитами двух типов: Азгуэтрзи (с темноцветными минералами) и Тазенахта (лейкократовые). С последними связаны пегматиты, содержащие мусковит, берилл, танталит и тапиолит, а также апатит и другие фосфаты. Из отдельных месторождений следует отметить пегматитовую жилу Ангарфа, где в течение одного года было добыто 200 т берилла. Для пегматитовых тел характерно зональное строе-



Рис. 4. Схема размещения главнейших пегматитовых месторождений Африки:

1 – пегматитовые поля; 2 – границы пегматитовых провинций: I – Марокканско-Малийской, II – Нигерийско-Сахарской, III – Центрально-Африканской, IV – Юго-Западной, V – Эфиопско-Сомалийской, VI – Зимбабве-Мозамбикской

ние: всегда присутствует кварцевое ядро, окруженное крупнокристаллической полевошпатовой зоной. В этой зоне обычен берилл, а на контакте с ядром часто отмечаются крупные кристаллы мусковита.

Эта провинция включает пегматитовые проявления Мавритании и прослеживается далее на территории Сенегала и Мали. Вдоль границы этих государств, в метаморфических породах нижнепротерозойской формации Бирримия, широко развиты гранитные массивы, к которым тяготеют пегматитовые поля. Среди многочисленных пегматитовых тел встречаются жилы мусковитовой, редкометально-мусковитовой и редкометальной формаций. Практический интерес представляют только редкометальные пегматиты со сподуменом. Это крупные тела, в которых запасы ли-

тивной руды, подсчитанные до глубины 20 м, составляют 1,3 млн. т. Кроме главного рудного минерала в пегматитах присутствуют колумбит-танталит, амблигонит, касситерит, турмалин, апатит, гранат.

Для выделяемой в данном районе биотит-мусковит-турмалиновой разновидности пегматитов характерны такие акцессорные минералы, как монацит и торит. В пегматитах этой разновидности, а также в мусковит-турмалиновых пегматитах встречаются также колумбит-танталит и касситерит. Берилл распространен незначительно. Мусковит нередко образует крупные кристаллы, но количество его невелико.

На юге Мали, возле г. Бугуни, расположен крупный пегматитовый район, в котором насчитывается более 100 сподуменосодержащих жил. Это плитообразные крутопадающие тела мощностью 2–8 м, протягивающиеся на десятки и сотни метров. Жила Сенсекуру прослежена по простираю более чем на 1500 м. Возраст пегматитов и материнских биотитовых гранитов примерно 2 млрд. лет. Пегматитовые тела залегают обычно в нижнепротерозойских сланцах, кварцитах или в архейских гранитах и гранодиоритах.

Кроме главных минералов, в том числе сподумена, содержание которого варьирует от 15 до 25 %, в пегматитах Бугуни установлены касситерит, берилл, вольфрамит, тапиолит, фергусонит, эшинит, ортит, колумбит и др. Содержание оксида лития в сподумене составляет 6,5–7 %, что позволяет считать литиевые руды района достаточно богатыми.

На юге Марокканско-Малийская провинция включает многочисленные пегматиты Республики Кот-д'Ивуар. По данным Х.Адама, пегматитовые жилы этого района, как правило, относительно невелики по размерам и содержат убогую олово-танталовую минерализацию, но к ним тяготеют россыпные месторождения колумбит-танталита. Кроме того, в пегматитах имеются минералы лития и бериллия, распределение которых изучено пока недостаточно.

Нигерийско-Сахарская провинция. На огромных пространствах пустыни Сахара пегматиты встречаются практически в каждом горном массиве, где на дневную поверхность выходят породы древнего складчатого фундамента Африканской платформы. Они выявлены, в частности, в пределах нагорьев Ахаггар в южной части Алжира и Тибести на севере Чада, на плато Ифорас на северо-востоке Мали, в ряде массивов на севере и западе Судана. Хорошо известны пегматиты в северной части плато Джос — крупного олово- и танталосодержащего района Нигерии, а также в районе Икерре на юго-западе Нигерии. Описаны в литературе пегматиты на территориях Бенина и Того, а также на севере Камеруна (район Майо-Дарле) и в Центральноафриканской Республике.

Объединение разнообразных по специализации пегматитов, расположенных на такой большой территории, весьма условно. Тем не менее, по мнению изучавшего пегматиты Африки бельгийского геолога Н. Варламова [49], пегматитовые поля Сахары, размещающиеся на значительном расстоянии, обладают рядом сходных черт: близки по составу вмещающие метаморфические породы докембрия с заключенными в них древними гранитоидами, во многих полях присутствуют молодые посттектоничес-

кие граниты типа Таурирт (по названию гранитного комплекса в южной части Алжира).

Судя по многочисленным определениям абсолютного возраста, среди пород фундамента выделяются как относительно древние гнейсы, граниты и пегматиты (2200–1700 млн. лет), так и рифейские гнейсы и амфиболиты (650–600 млн. лет), прорываемые так называемыми древними гранитами (580–550 млн. лет), с которыми часто ассоциируют пегматиты с оловянной и ниобиевой минерализацией. Но наряду с одновозрастными гранитам пегматитами (590–540 млн. лет) известны и поздние пегматиты „кристаллического основания Нигерии“ (390–315 млн. лет). Молодые граниты, пересекающие все породы основания, включая относительно древние граниты и пегматиты, имеют абсолютный возраст около 170 млн. лет. Считается, что с этими гранитами связано происхождение оловянно-танталовой минерализации на плато Джос и в некоторых других участках провинции.

По промышленной специализации пегматиты Нигерийско-Сахарской провинции относятся к мусковитовой, редкометалльно-мусковитовой и редкометалльной формациям. Характерной особенностью провинции является отсутствие редкометалльных пегматитов натриево-литиевого типа, содержащих промышленную литиевую минерализацию. Как правило, редкометалльные пегматиты имеют тантал-бериллиевую или олово-танталовую специализацию.

Типичные мусковитовые пегматиты описаны на севере Судана. Они известны с 1940 г., а в 1968–1972 гг. детально изучались специалистами ООН, которые оценили 18 месторождений мусковита. Пегматитовые тела в этом районе явно магматического происхождения, но залегают обычно согласно с вмещающими породами. Кроме породообразующих минералов пегматиты содержат турмалин, берилл, апатит. Жилы, как правило, зональные — с кварцевым ядром, окруженным кристаллами микроклина и пегматитом графической структуры. Размер кристаллов мусковита — до 20 см в поперечнике; преобладает слюда с характерным „ельчатым“ рисунком. Месторождения эксплуатировались; в г. Хартуме работает слюдяная фабрика.

В качестве примера можно привести описание редкометалльных пегматитов поля Икерре, расположенного вблизи одноименного города (юго-запад Нигерии). В этом районе известно крупное (до 2 км в поперечнике) зональное „массивное“ пегматитовое тело, а вокруг него — большое число маломощных (от 50 см до нескольких метров) жил в слюдяных сланцах и гнейсах. В главном пегматитовом теле имеется кварцевое ядро, окруженное кварц-полевошпатовым крупноблоковым и графическим пегматитом, а по контакту с вмещающими сланцами наблюдается зона кварц-турмалинового состава. Из полевых шпатов преобладает альбит. Кроме перечисленных минералов в пегматитах установлены мусковит (кристаллы размером до 10 см в поперечнике), гранат, апатит, циркон, берилл, касситерит, колумбит-танталит. Состав и строение маломощных пегматитовых жил такие же, как и в главном теле, но из полевых шпатов здесь преобладает микроклин. По представлениям нигерийских геологов В.Эмо-

фуриета и Г.Матеиса, главное тело поля представляет собой апикальную альбитизированную часть гранитного массива, а маломощные жилы сформировались в результате инъекции богатого калием расплава.

Центральная и Юго-Западная Африка

В Центрально-Африканской провинции, протягивающейся более чем на 1500 км в северо-северо-восточном направлении от Замбии через Заир, Бурунди, Руанду и Уганду, сосредоточены крупнейшие в Африке резервы лития, а также многочисленные месторождения олова, тантала, бериллия и многих других редких металлов.

В геолого-структурном отношении данная пегматитовая провинция связана с крупными выходами докембрийских пород преимущественно протерозойского возраста (1400–1300 млн. лет), прослеживающимися вдоль субмеридиональных разломов рифтовой системы оз. Танганьика и находящихся к северу от него озер Киву, Эдуард и Мобуту-Сесе-Секо вдоль границы Заира с Руандой и Угандой.

Редкометалльные пегматиты Заира в экономическом отношении играют главную роль в Центрально-Африканской провинции. Пространственно и генетически они связаны с мусковитовыми и двуслюдяными посторогенными докембрийскими гранитами (1000–800 млн. лет), распространенными в провинциях Киву и Шаба. Запасы редких металлов – тантала, бериллия и лития – представляют большой практический интерес. Так, запасы тантала в 60-х гг. составляли в Заире 47 тыс. т (третье место в мире), а в настоящее время – 23 тыс. т. Запасы лития в стране оценивались в 1976 г. в 2340 тыс. т, а в 1978 г. и позднее – более чем в 3 млн. т, в том числе 60 млн. т руды с содержанием 0,6 % металла были отнесены к промышленным запасам, а 460 млн. т таких же руд – к прогнозным.

Главным источником лития является крупный пегматитовый пояс Манон-Китотоло в административной провинции Шаба (бывшая Катанга). Пегматиты приурочены к экзоконтакту гранитов. Большая часть из них залегает в слюдяных сланцах, а меньшая – в гранитах. Это плито- и лакколитообразные тела, по простиранию согласные со сланцеватостью вмещающих пород, но секущие по падению. Отдельные наиболее крупные пегматитовые тела прослежены до 5 км в длину при ширине около 400 м. Пегматиты, как правило, зональны. Наиболее четко выделяются три зоны: краевая кварц-мусковитовая, промежуточная, сложенная мелкозернистым альбитом и содержащая различные тантал-ниобаты, касситерит, берилл, и центральная кварц-микроклиновая со сподуменом в виде призматических и удлинённых таблитчатых кристаллов до нескольких метров в длину. Выделяют две генерации сподумена. Первая ассоциирует с кварцем, альбитом и микроклином, а вторая – с мусковитом, альбитом и ураноцирцитом. Встречаются также тапиолит, танталит, торолит, микролит и многие другие минералы.

В административной провинции Киву наиболее известно месторождение Лугулу, богатое пегматитами комплексного и сподуменового типов. В Заире из комплексных пегматитов в настоящее время добывают

ся основное количество тантала. А те пегматитовые тела, в которых отмечается высокое содержание сподумена (например, в Ниетебу — до 35 %, в Лубликва — до 50 %, в Ниамбембе — до 60 %), могут разрабатываться и на литий. Помимо тантало-ниобатов и сподумена в пегматитах присутствуют также берилл, минералы урана и тория, разнообразные редкометалльные фосфаты.

Месторождение Кобо-Кобо в районе Камитунга, находящееся также в провинции Киву, в 50-х и 60-х гг. считалось крупнейшим бериллиевым месторождением мира, содержащим также касситерит, колумбит и радиоактивные минералы. Как и месторождение Лугулу, оно локализовано в слюдяных сланцах и амфиболитах докембрийского возраста (1200–1100 млн. лет), приурочено к антиклинальной структуре и размещается вблизи гранитного массива, возраст которого 1000–850 млн. лет.

В восточных районах Бурунди и Руанды развиты многочисленные, преимущественно редкометалльные пегматитовые месторождения. Как указывает Н. Варламов [49], геологическая ситуация в Бурунди и Руанде аналогична таковой в провинции Киву, расположенной по другую сторону рифтовой зоны. Выявлена даже аналогия пегматитов районов Мухинга в Бурунди и Маниемы в южной части провинции Киву, а также пегматитов районов Буджуму и Кулуту в Руанде и Камитунга на севере провинции Киву.

Пегматиты Бурунди и Руанды занимают ведущее место по добыче амблигонита (фосфат лития). Другими важными полезными компонентами пегматитов являются сподумен, берилл, танталит, касситерит, лепидолит. Обычно по комплексу рудных минералов выделяют два типа пегматитов: 1) со скоплениями амблигонита, крупнокристаллического берилла и танталита; 2) со сподуменом и мелкокристаллическим бериллом. Оба типа содержат касситерит, который ранее был главным рудным минералом региона.

На территории Руанды наблюдается отчетливо пространственная связь пегматитов с гранитами крупного (75 x 30 км) массива Ньянза, относящегося, как и другие материнские граниты района, к урундийскому комплексу. Установлена зональность пегматитовых полей: в пределах гранитного массива находятся пегматиты с биотитом, в экзоконтакте — с биотитом и турмалином, а редкометалльные пегматитовые тела располагаются на расстоянии нескольких километров от контактов. Длина пегматитовых тел измеряется обычно сотнями метров, а мощность — десятками (редко более 100 м). Вещающие породы весьма разнообразны по составу, но преобладают гнейсы и сланцы, относящиеся к эпидот-амфиболитовой фации регионального метаморфизма.

В Уганде имеются многочисленные пегматитовые поля с разнообразной редкометалльной минерализацией, описанные А. Коли, Н. Куном, А. Ридманом и П.Ловенштейном. К наиболее известным среди них принадлежат поля Анколе и Кигези, размещающиеся на юге страны, вблизи границы с Руандой. Здесь зональные пегматитовые тела, обычно неправильной формы, залегают в сланцах и гнейсах. В них, как правило, присутствуют кварцевое ядро, к которому тяготеют альбитовые гнезда с танта-

литом и микролитом. Литиевая минерализация представлена сподуменом и амблигонитом. Из акцессорных минералов следует отметить фергусонит, эвксенит, самородный висмут.

К западу от г. Кампала выделяется пегматитовый пояс с пегматитами различной специализации. Наиболее важное значение в этом поясе имеют месторождения Мбале, известное как источник берилла, и Нампейо-Хилл — танталовых руд. В последнем развит бисмутотанталит, называемый также угандитом.

Наконец, на северо-востоке Уганды располагается пегматитовое поле Каабонг с богатыми берилловыми жилами. Отдельные находки берилла имеются и на примыкающей к Уганде территории Кении, но они не представляют сколько-нибудь значительного промышленного интереса.

Юго-Западная провинция. Некоторые исследователи объединяют пегматиты Намибии и западной части ЮАР и пегматиты Центрально-Африканской провинции в единый Трансафриканский пояс [13]. Однако учитывая, что в пределах этого пояса пегматиты развиты дискретно (отсутствуют на территории Ботсваны и в северо-восточной части Намибии), а также принимая во внимание наличие пегматитовых полей в центральной и южной частях Анголы, Б.М. Шмакин считает возможным выделить самостоятельную Юго-Западную пегматитовую провинцию.

В геологическом отношении территория этой провинции достаточно однородна: она сложена докембрийскими породами фундамента Африканской платформы. На территории Анголы и в нижнем течении р. Оранжевой выявлены очень крупные массивы „древних“ докембрийских гранитоидов. Аналогичные гранитоиды наблюдаются вдоль атлантического побережья у границы Анголы с Намибией и в центральной части Анголы. По данным А. Холмса и Л. Каэна, абсолютный возраст „древних“ гранитоидов — около 1000 млн. лет, а наиболее молодых гранитов района Кариб-Омаруру в Намибии — 800—700 млн. лет.

На территории Южно-Африканской Республики, по левобережью р. Оранжевой, протягивается пегматитовый пояс Намакваленд — Гордония. Пегматиты этого пояса играли для ЮАР главную роль в добыче берилла; кроме того, здесь имеются значительные запасы лития и тантала, а в ряде жил отмечается мусковит.

Вмещающими породами пегматитовых полей являются кристаллические сланцы, кварциты, граувакки и амфиболиты архейской системы Кейс. Они прорваны посторогенными гранитами Намаквалендского батолита, с которыми пространственно и генетически связаны пегматиты района. По форме и размерам пегматитовые тела весьма разнообразны. Максимальная длина одной из них 4,5 км при мощности в несколько десятков метров. Часть пегматитов развита в гранитах, но наибольший интерес представляют тела, выявленные в нескольких километрах от гранитного массива. Они зональны и всегда имеют кварцевое ядро, внешние их зоны интенсивно альбитизированы. На максимальном удалении от гранитов наблюдаются кварц-шеелит-турмалиновые жилы.

Промышленное значение в пегматитах имеют берилл, минералы ряда танталит-колумбит, сподумен, амблигонит, мусковит и лепидолит. В ка-

честве попутного сырья могут извлекаться минералы висмута и редких земель. Известны пегматитовые тела со значительными концентрациями эвксенита и монацита, представляющие собой самостоятельные месторождения редкоземельных элементов.

На правом берегу р. Оранжевой, на территории Намибии, находится пегматитовое поле Намаленд. По геологическому строению и возрасту пород оно аналогично полю Намакваленд, составляющему западную часть уже описанного пояса Намакваленд – Гордония. В пределах рассматриваемого поля среди вмещающих пород, наряду с кристаллическими сланцами, кварцитами и амфиболитами, присутствуют диориты. Размеры пегматитовых тел – до 300 м в длину при мощности до 20 м. Жилы зональны, обычно имеют кварцевое ядро и примыкающую к нему зону блокового микроклин-пертита. Из промышленных минералов главную роль играет берилл, могут извлекаться минералы лития и мусковит.

К наиболее известным пегматитовым месторождениям Намибии относятся месторождения района Карибиб–Омаруру в округе Дамараленд. Данный район представляет собой часть пегматитового пояса, протягивающегося в юго-западном направлении от горного массива Эронго до Атлантического побережья. Вмещающими породами являются кварциты, мраморы и кристаллические сланцы системы Дамара и метаморфизованные эффузивные породы комплекса Абабис. Пегматиты связаны с наиболее молодыми гранитами третьей интрузивной фазы.

По морфологии и размерам пегматитовые тела весьма разнообразны: одни прослеживаются на многие сотни метров, другие имеют незначительную длину и весьма сложную форму – с раздувами и пережимами. Обычны зональные жилы с обособлениями кварца в центре или в всячем зальбанде тела. По минерализации это явно комплексные пегматиты, содержащие берилл, колумбит-танталит, касситерит, разнообразные минералы лития (сподумен, амблигонит, петалит, лепидолит, трифилит), поллуцит, микролит и многие другие минералы [36]. Отмечаются самородный висмут и висмутин. По данным различных авторов, запасы руд в Намибии достигают (в тыс. т): лития – 550, бериллия – 50, поллуцита – 50.

Пегматиты Анголы изучены недостаточно. В южной части страны, вблизи границы с Намибией, известны многочисленные находки пегматитовых жил с бериллом, мусковитом, минералами ниобия и тантала, фосфатами лития, железа и марганца. Достаточно широко распространены в стране пегматиты, содержащие амазонит и разнообразную редкоземельную минерализацию: эвксенит, фергусонит, самарскит.

В 60 км к северо-востоку от г. Луанда, в районе ГЭС на р. Данде, расположено пегматитовое поле Мабубаш (Мабубас). Докембрийские метаморфические породы района представлены гнейсами, кварцитами, известняками и слюдяными сланцами. Поле площадью около 2 км² включает более 20 секущих пегматитовых тел длиной до 400 м и мощностью до 20 м. Еще одно поле, аналогичное по составу вмещающих пород и пегматитов, находится в том же районе, примерно в 10 км к северо-востоку от г. Кашито, где в карьере Микузело в 60-х гг. добывались кварц и мусковит. Пегматиты здесь зональны, обычно имеют кварцевое ядро (с мак-

симальными размерами в длину до 100 м при мощности до 15 м), зону графических сростаний калиевого полевого шпата с кварцем, содержащую биотит и участки кварц-мусковитового агрегата. По характеру минерализации пегматиты обоих полей могут быть отнесены к неспециализированным или мусковитовым. В них отлагаются турмалин, гранат, апатит, изредка берилл, силлиманит, пирит, ильменит, циркон.

Восточная Африка

По данным Е.А. Долгинова, И.В. Давиденко, А.В. Развальяева и Н.А. Стихотворцевой, пегматиты **Эфиопско-Сомалийской провинции** относятся к вендско-позднепалеозойской возрастной группе, характерной для всей Красноморско-Мозамбикской зоны активизации (абсолютный возраст пегматитов 650–450 млн. лет). Вмещающие породы имеют архейский и раннепротерозойский возраст и представлены пироксеновыми или лейкократовыми гнейсами, пироксенитами, амфиболитами и кристаллическими сланцами. Пространственной или генетической связи пегматитов с древними гранитами не выявлено. Распределение пегматитовых полей подчинено структурному плану зоны активизации.

На территории Эфиопии известно около 10 слабо изученных пегматитовых полей, содержащих мусковит, берилл, сподумен, танталит, гранат и турмалин. Все они залегают в гнейсах серии Гариборо или в аналогичных по составу породах. Бериллоносные пегматиты отмечены в провинциях Эритрея (месторождение Шилики), Харар (Биссидимо-Вэлли), Сидамо (Гидра-Вэлли), мусковитовые – в провинциях Воллега (месторождение Маречи), Эритрея и Харар.

В Сомали основным районом распространения пегматитов является полоса на севере страны – от границы с Джибути до г. Босасо, где выделено пять пегматитовых полей, локализованных в лейкократовых гнейсах, сланцах, амфиболитах и гранитоидах фундамента. Здесь распространены мусковитовые (поля Бонское, Бур-Мадинское и Лафаругское), бериллоносные (поля Сигибское и Дарбурук-Иссутуганское) и колумбит-касситеритовые (месторождение Маджиян близ г. Босасо) пегматиты. Пегматитовые поля ориентированы в широтном или северо-западном направлениях согласно с выходами гнейсов и сланцев. То же простирание имеют наиболее крупные (длина до 100 м, мощность 10–20 м) тела, но промышленная минерализация чаще наблюдается в зональных секущих телах субмеридионального простирания. В них проявлены кварц-мусковитовый и альбитовый замещающие комплексы, присутствуют берилл, колумбит, касситерит, реже литиевый мусковит, лепидолит, кукеит. На месторождении Маджиян развита серия пегматитовых тел длиной до 700 м при мощности всего 1 м. Содержание касситерита на некоторых участках достигает 5 %, отмечен колумбит.

По-видимому, к этой же провинции следует отнести мусковитовые и редкометалльно-мусковитовые пегматиты в восточной части Кении (месторождение мусковита Султан-Хамуд и близкие к нему объекты). Вмещающими породами здесь являются интенсивно метаморфизованные

гнейсы основания и системы Усагара. Абсолютный возраст пегматитов 600—500 млн. лет.

Пегматиты с бериллом известны в округе Мачакос (к юго-востоку от г. Найроби), севернее г. Наньюки, к северо-западу от г. Гарба-Тула и в других районах на востоке Кении. В ряде жил вместе с бериллом отмечены повышенные концентрации колумбита. Пегматиты с берилл-колумбитовой минерализацией выявлены в районе г. Китале, вблизи границы с Угандой, но этот район относится, по мнению автора, к Центрально-Африканской пегматитовой провинции.

Пегматитовые пояса на территории Танзании также принадлежат к разным провинциям. В то время как Западный пояс, объединяющий пять крупных пегматитовых полей (Будали, Тунгва-Мкуле, Убенде-Сибвеса, Уфила, Ньомбе-Тукуйи), является юго-восточным ответвлением Центрально-Африканской провинции и естественным продолжением пегматитовых полей Руанды и Бурунди, Восточный пояс Танзании может рассматриваться вместе с пегматитами востока Кении. Пегматиты Восточного пояса (здесь 18 пегматитовых полей, в том числе крупное поле Улугуру) имеют мусковитовую специализацию и локализируются в интенсивно мигматизированных, богатых алюминием гнейсах и анортозитах.

Зимбабве-Мозамбикская провинция. Эта провинция размещается на территории Зимбабве, Мозамбика, южных частей Танзании (пегматитовое поле Начингвеа-Масаси) и Малави, северо-восточной части ЮАР (Трансвааль).

В Зимбабве и ЮАР метаморфические породы являются древнейшими на континенте: их абсолютный возраст 3400—2900 млн. лет. Это сильно измененные вулканогенные образования с прослоями яшм, железистых кварцитов и кристаллических сланцев, интродуцированные основными и ультраосновными породами. Огромные площади заняты древними гранитоидами, внедрявшимися в несколько этапов. Только самые поздние из этих гранитоидов по составу близки к нормальным кислым гранитам, а более древние — к кварцевым диоритам, тоналитам и гранодиоритам. За верхний возрастной предел гранитоидов района принимают абсолютный возраст редкометальных пегматитов Зимбабве — 2850 млн. лет.

На северо-востоке ЮАР — в Трансваале — пегматиты наблюдаются в катархейских породах системы Свазиленд, сложенной амфиболитами, кварцитами, кристаллическими сланцами, гнейсами и измененными основными эффузивами. Встречаются серпентинизированные ультраосновные породы. В западной части района пегматиты имеют обычно уран-редкоземельную специализацию (давидит, самарскит, пироклор, фергусонит, эвксенит), вблизи границы со Свазилендом выявлены редкометальные пегматиты, содержащие литиевую минерализацию (месторождение Ошоек), а на севере Трансвааля наиболее распространены пегматиты с бериллом и тантало-ниобатами. В районе хр. Мурчисона добывались изумруды, но в настоящее время эти месторождения уже истощены.

На территории Зимбабве пегматиты развиты очень широко. К востоку от г. Масвинго, в юго-восточной части страны, находится одно из двух крупнейших в мире комплексных месторождений лития, цезия и танта-

ла – Бикита (его характеристику – см. гл. 2). К северу и востоку от столицы страны г. Хараре известно несколько месторождений комплексного редкометального сырья и лития: Бенсон, Мотобо, Грин-Мамба и др. На западе Зимбабве протягивается пояс редкометальных пегматитов Камативи, богатых литием, оловом и танталом. По специализации он очень близок оловянному поясу Чома в южной части Замбии. Наконец, на севере Зимбабве прослеживается пояс мусковитовых и редкометально-мусковитовых пегматитов Урунгве.

Геолого-структурное положение пегматитовых полей различается на востоке и западе Зимбабве. К востоку от Великой дайки пегматиты приурочены к зеленокаменному поясу архейских метаморфических пород и связаны с гранитами, возраст которых 2850–2600 млн. лет. На западе пегматитовые пояса Камативи и Урунгве находятся в пределах так называемого метаморфического пояса Замбези, где граниты и пегматиты формировались в несколько этапов (от 2000 до 450 млн. лет).

На территории Мозамбика пегматиты распространены севернее 20° ю.ш. Здесь и в южной части Малави прослеживаются пегматитовые поля, представляющие собой северо-восточное продолжение пегматитовых поясов Зимбабве. Пегматитовые поля приурочены к Мозамбикской серии метаморфических пород верхнего архея – нижнего протерозоя: разнообразным сланцам, гнейсам, кварцитам и амфиболитам. Прорывающие их граниты имеют абсолютный возраст 630–600 млн. лет, а пегматиты – 530 и 480 млн. лет.

Пегматиты весьма разнообразны по специализации; среди них преобладают редкометальные, но имеются редкометально-мусковитовые и мусковитовые. В ряде районов отмечены пегматитовые месторождения редких земель, пьезокварца и драгоценных камней. Пегматиты с различной минерализацией располагаются в пределах полей с четким проявлением пространственной зональности [16].

В тектонической зоне Лурио и к югу от нее (округ Мозамбик) преобладают пегматиты, не имеющие промышленной специализации, иногда содержащие в качестве акцессорных минералов берилл и ортит. Пегматиты примыкающего с востока к Зимбабве округа Вила-Пери всегда содержат касситерит, а в некоторых случаях – давидит, уранинит, стибиотанталит. Севернее, в округе Тете, содержание урановых минералов в пегматитах было так велико, что отдельные месторождения (Катиפו, Маву-дези) более двух десятилетий разрабатывались на уран. Пегматиты прилегающих районов Малави также уран-редкоземельные.

Между тектонической зоной Лурио и главным редкометальным районом страны Алту-Лигонья (округ Замбезия) развиты уран-редкоземельные пегматиты с самарскитом, эвксенитом, бетафитом, ортитом, монацитом, ксенотимом. Иногда в них присутствуют берилл и колумбит. Аналогичные пегматиты встречаются и к югу от района Алту-Лигонья, но непрерывного кольца обрамления зоны редкометальных пегматитов редкоземельными не наблюдается. Намечается и „второе кольцо“ обрамления в виде полей мусковитовых и редкометально-мусковитовых пегматитов Ниессе, Исабела, Нахия и Нихире. Кроме мусковита они содержат берилл

(иногда аквамарин), колумбит, самородный висмут, циркон, монацит, ксенотим.

Своеобразная зональность наблюдается и в самом пегматитовом районе Алту-Лигонья. Комплексная редкометальная минерализация свойственна месторождениям в центре района: Муяне, Нахора, Муано, Намакотша, Мурропаси. Наряду с поллуцитом, бериллом, колумбитом, танталитом, микролитом, цветными турмалинами они содержат петалит, сподумен, амблигонит и лепидолит. На месторождениях Морруа и Марропино, расположенных к юго-западу от центра района, петалит и амблигонит не встречаются, но выявлены прозрачные разновидности сподумена — кунцит и гидденит — и берилла — воробьевит и аквамарин; появляется бисмоклит. Далее к юго-западу (месторождения Жинамас, Мурруле, Илодо) набор редкометальных минералов еще более сокращается, но отмечается самородный висмут, а в пегматитах Мугеба и Мокуба много аквамарина (часть жил района более подробно будет охарактеризована в следующих главах).

Из редкометальных пегматитов Мозамбика было добыто и поступило на мировой рынок до 15 тыс. т лепидолита, до 10 тыс. т берилла, многие сотни тонн танталита и микролита. Кроме того, из пегматитов этой страны извлекались висмут, монацит, самарскит, мусковит, каолинит, драгоценные камни. Сведения о запасах отдельных видов сырья крайне ограничены, но геологические перспективы пегматитов представляются весьма значительными.

Мадагаскарская провинция. Несмотря на некоторые черты сходства пегматитов Мадагаскара и Мозамбика (многие авторы рассматривают их совместно), огромная территория острова, особенности его геологического строения и наличие более 300 пегматитовых полей с самой разнообразной минерализацией позволяют рассматривать этот регион как отдельную пегматитовую провинцию.

Основная часть территории Мадагаскара, кроме широкой полосы развития мезо-кайнозойских осадочных пород вдоль западного побережья, сложена древними (3200—2700 млн. лет) метаморфическими образованиями систем Андроijen, Вохибури и Графит и метаморфизованными палеозойскими породами. Максимальное число пегматитовых полей приурочено к кварцитам и мраморам системы Вохибури. Пегматиты Мадагаскара явно посторогенны и связаны преимущественно с гранитами зон тектономагматической активизации пород фундамента. Абсолютный возраст большинства пегматитов 560—480 млн. лет, что соответствует времени проявления основной стадии активизации, определившей современные особенности геологического строения острова.

Мусковитовые пегматиты тяготеют к восточному побережью острова и преимущественно развиты в северо-восточной части страны (поля Андравори, Андремона, Амбахисотри, Анкарафа). Несколько полей имеется в районе г. Таматаве и к востоку от г. Анцирабе. В южной части острова выявлено лишь одно поле — Соасеранана. Кроме мусковита и шерла мусковитовые пегматиты содержат касситерит, самоцветное сырье и золото.

Широко распространены редкометально-мусковитовые пегматиты с рудоразборным бериллом и (или) его драгоценными разновидностями, с колумбитом и мусковитом; касситерит для Мадагаскара не характерен. Поля берилл-мусковитовых и берилл-колумбитовых пегматитов слагают Западный пегматитовый пояс протяженностью более 600 км, прослеживающийся от Бас-Маеварано на севере до Транороа на юге. На двух самых крупных месторождениях пояса Малакиалина и Ампадрамаика было добыто 2500 т берилла. Одно из пологих линзообразных тел поля Малакиалина имеет длину 470 м и мощность до 40 м, но обычно длина жил не превышает 100 м, а мощность — 20 м. Большой интерес представляет поле Берере (в северной части пояса), содержащее значительные количества танталита и берилла.

Редкометальные пегматиты Мадагаскара по преобладанию одного из литиевых минералов подразделяются на сподуменовые, амблигонитовые и лепидолитовые. Представителем сподуменовых пегматитов являются пегматиты поля Анжанабонаина (к юго-западу от г. Бетафу), где выявлены сподумен, воробьевит, цветные турмалины, циннвальдит, данбурит, амазонит, самородный висмут. Сподумен извлекался не в качестве литиевого сырья, а как драгоценный камень (кунцит). В других полях сподуменовых пегматитов присутствуют лепидолит, гамбергит, битиит, родицит, эвксенит, блонстрандин. Многие минералы образуют кристаллы в полостях. В качестве самоцветного сырья используются и цветные разновидности кварца.

К группе амблигонитовых пегматитов относятся, например, три крупных зональных тела поля Бевахандрано. В этих телах вокруг кварцевого ядра сосредоточены скопления амблигонита, лепидолита, цветных турмалинов, берилла, колумбита, причем многие минералы встречаются в виде крупных кристаллов.

В лепидолитовых пегматитах (поля Тсилаизина, Соарано) имеются бериллы и турмалины разной окраски, апатит, гранат, колумбит, топаз, самородный висмут. Иногда (поле Амбатомаларано) кроме этих минералов отмечаются также хризоберилл, эвксенит, блонстрандин, монацит.

Максимальная концентрация пегматитов с литием наблюдается в субширотной зоне между городами Анцирабе и Амбатифинандрахана (Центрально-Мадагаскарский пегматитовый узел). К северу и югу от полей литиевых пегматитов выявлены поля редкоземельных пегматитов, которые, в свою очередь, сменяются преимущественно редкометально-мусковитовыми пегматитами. Такое распределение пегматитов различной специализации аналогично установленному в районе Алту-Лигонья (Мозамбик), но причины его пока не ясны.

Редкоземельные пегматиты обрамления Центрально-Мадагаскарского пегматитового узла образуют северную и южную группы. В северной группе выделяется поле Амбатотфотси; главное тело этого поля представляет собой шток (площадь 230 × 100 м), значительную часть которого занимает центральное кварцевое ядро. В окружающей ядро полевошпатовой оторочке содержатся крупные скопления бетафита, кристаллы берилла, а также ураноторит, бисмутосферит, малакон, блонстрандин. В других по-

лях северной группы встречаются колумбит, ильменорутит, стрюверит, бетафит, ампангабит, ксенотим, монацит, ортит, эвксенит, фергусонит, приорит, оранжеит.

В южной, редкоземельной группе наблюдаются сотни пегматитовых тел, включая известные месторождения Бетафо, Самирези, Ворондоло. Здесь обнаружены такие минералы, как бетафит, самирезит, эвксенит, фергусонит, самарскит, ортит, оранжеит, колумбит, самородный висмут.

Уран-редкоземельные пегматиты с высокими содержаниями урана и тория сконцентрированы на юго-востоке Мадагаскара, в районе г. Форт-Дофин. Промышленные скопления ураноторита имеются в полях Ампатимена, Итакефа, Сахахара, Белилани, а уранинита – в пегматитах Бемасоандро, Амбодибонара, Бефарафара, а также в районе оз. Алаотра.

Для Мадагаскара характерны очень высокая насыщенность вмещающих пород пегматитами и крупные размеры отдельных пегматитовых полей (Берере – 60 км²; Малакиалина – 300 км²). Ресурсы пегматитового сырья этой провинции очень велики, хотя систематических данных о промышленных запасах по существу нет. Другая особенность провинции – чрезвычайно широкое развитие в пегматитах процессов образования друзовых полостей, с чем связано исключительное богатство страны драгоценными и полудрагоценными камнями, музейными образцами минералов.

ПЕГМАТИТОВЫЕ ПРОВИНЦИИ СЕВЕРНОЙ АМЕРИКИ

В пределах Северной Америки выделяются три главные тектонические области, различающиеся по строению, истории развития, составу слагающих их пород и металлогении: 1) Центральный стабильный регион (по Ф. Кингу), в который входят Канадско-Гренландский щит и область Внутренних низменностей США, составляющие Северо-Американскую платформу; 2) орогенная область Аппалач; 3) орогенная область Кордильер (рис. 5).

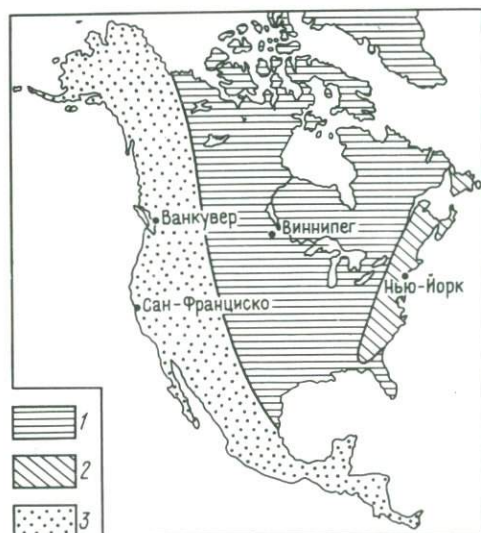


Рис. 5. Тектонические области Северной Америки:

1 – Центральный стабильный регион; 2–3 – орогенные области: 2 – Аппалач, 3 – Кордильер

Центральный регион

Основание Центрального стабильного региона сложено докембрийскими породами. Выходы фундамента наблюдаются на южном окончании Канадско-Гренландского щита (северные штаты США к западу от озер Мичиган и Верхнее). Гранитогнейсы, развиты в окрестностях городов Мортон и Монтевидео, в долине р. Миннесоты, возраст которых 3800 млн. лет, являются древнейшими породами Северной Америки. Некоторые геологи сопоставляют эти породы с гнейсами Амитсок из Гренландии (их возраст 3800–3600 млн. лет). Преимущественным же распространением (штаты Миннесота, Висконсин) пользуются полевошпатовые и амфиболовые гнейсы. Метаморфизм (до амфиболитовой и гранулитовой фаций) сопровождался интенсивной складчатостью и внедрением гранитных плутонов, возраст которых 2700–1700 млн. лет.

На территории Канады также широко развиты глубоко метаморфизованные вулканогенно-осадочные (зеленокаменные) породы, прорванные гранитами с абсолютным возрастом 2700–2400 млн. лет. С ними связаны многочисленные поля гранитных пегматитов различной специализации.

Группировка пегматитов по отдельным провинциям в пределах территории Центрального стабильного региона в той или иной мере условна. Учитывая промышленное значение месторождений и следуя более ранним публикациям [8, 25], автор выделил на территории США провинцию Блэк-Хиллс и четыре пегматитовых провинции на территории Канады (с запада на восток): Йеллоунайф, Флин-Флон, Виннипег-Нипигон и Абитиби.

В области Внутренних низменностей, занимающих центральную часть США, докембрийское основание скрыто под более молодыми и слабо дислоцированными породами нижнего и среднего палеозоя, а во впадинах — и нижнего протерозоя. По Ф. Кингу, континентальная платформа кембрийского времени протягивалась в западном направлении далеко за пределы Северо-Американской платформы и, вероятно, включала нынешние Скалистые горы и плато Колорадо.

Характерная особенность этой области — наличие докембрийского трансконтинентального свода, ограниченного двумя крупными линейными зонами северо-восточного направления и сопровождающегося многочисленными зонами более мелких разрывных нарушений. Последние ориентированы почти перпендикулярно ограничениям свода. Широко развиты в пределах свода позднепротерозойские гранитоиды (их возраст 1600–1500, иногда 1100–1000 млн. лет). С ними пространственно и генетически связаны месторождения пегматитов, наиболее интересными среди которых являются пегматиты хр. Блэк-Хиллс.

Пегматитовая провинция Блэк-Хиллс приурочена к куполообразному поднятию, которое окончательно сформировалось в ларамийское время. Вдоль тектонических швов, обрамляющих это поднятие, и сосредоточены главные месторождения провинции. Эти месторождения, наряду со слюдой и керамическим сырьем, содержат олово и комплекс редких металлов: литий, бериллий, тантал, ниобий, цезий, рубидий, уран и редкоземельные элементы.

Пегматиты хр. Блэк-Хиллс пространственно и генетически связаны с гранитами штока Харни-Пик, которые, по мнению многих геологов, являются выходом на поверхность большой глубокозалегающей гранитной интрузии. Слагающие ее граниты представлены лейкократовыми, двуслюдяными и мусковитовыми, альбит-олигоклаз-микроклиновыми разновидностями. Распространены также пегматоидные граниты (гранит-пегматиты). Из полевых шпатов в них преобладает калиевый. Отмечается чередование „прослоев“ пегматоидного гранита с гранитом, обогащенным альбит-олигоклазом.

Более 1000 пегматитовых тел хр. Блэк-Хиллс объединяются в три главных района вокруг городов Кистоун, Кастер и Хилл-Сити. Их общая площадь составляет примерно 65 км². В районе г. Кистоун (к северу и западу от массива Харни-Пик) развиты преимущественно комплексные редкометалльные пегматиты. Вокруг г. Хилл-Сити преобладают оловоносные и мусковитовые пегматиты, а в районе г. Кастер сосредоточены литиевые и комплексные редкометалльные пегматиты.

Распределение пегматитов разного типа коррелируется с метаморфической зональностью, которая, в свою очередь, обусловлена температурной зональностью в поле материнских гранитоидов массива Харни-Пик.

Провинция Йеллоунайф расположена в северо-западном блоке Канадско-Гренландского щита. В районе развиты осадочные и вулканические метapelорды раннего архея, прорванные гранитоидами с возрастом 2600–2500 млн. лет. Это пегматоидные двуслюдяные и мусковитовые граниты. Пегматитовые поля размещаются в экзоконтактах гранитных массивов, причем в ореоле крупнейшего гранитного плутона Спероу-Лейк выявлено зональное распределение метаморфических пород и пегматитов. Бериллово-вые пегматиты наблюдаются в гранитах и в залегающих в экзоконтакте породах силлиманитовой зоны метаморфизма. Далее, в породах жедритовой и кордиеритовой зон, находятся тантало-ниобий-бериллиевые и комплексные литийсодержащие пегматиты. Наконец, на максимальном удалении от гранитного плутона концентрируются литиевые и оловоносные пегматиты, частично локализующиеся в породах кордиеритовой, а в основном – внешней биотитовой зоны.

В провинции отмечаются тысячи пегматитовых тел с максимальной длиной 1000 м и мощностью до 20 м. Однако в каждом пегматитовом поле имеется лишь несколько промышленно ценных жил – таких, как месторождения Прелюд-Лейк, Блейсдел-Лейк, Росс-Лейк. Это зональные комплексные пегматитовые тела, содержащие литий, бериллий, олово, цезий, тантал и ниобий.

В провинции Флин-Флон, находящейся к северо-западу от оз. Виннипег, известно единственное пегматитовое поле площадью 2,5 × 3 км с бериллиевым месторождением Бёрч-Портидж [8]. Район сложен архейскими гранитоидными сериями Киссинью, которые прорваны аплитовидными гранитами с возрастом 2600–2400 млн. лет. Пегматитовые тела здесь относительно невелики: длина – до 200 м, мощность – первые метры. Это преимущественно зональные тела с кварцевым ядром и тантал-бериллиевой минерализацией. Берилл, слагающий мелкокристаллические линзы

или гнезда, приурочен к центральной кварцевой или к окружающей ее кварц-полевошпатовой зонам. В незональных жилах берилл встречается в составе кварц-калиево-полевошпат-альбитового агрегата. Неподалеку от месторождения Бёрч-Портидж выявлены и другие рудопроявления бериллия.

Провинция Виннипег-Нипигон является крупнейшей и наиболее важной в практическом отношении пегматитовой провинцией Канады. Она занимает большую площадь на юге страны, между озерами Виннипег и Верхнее. Максимальным развитием на этой территории пользуются архейские гранитоиды и прорывающие их пегматоидные граниты с возрастом 2400–2300 млн. лет. Площадь метаморфизованных вулканогенно-осадочных пород основного состава составляет менее 10 % общей площади провинции.

Одно из крупнейших в мире месторождений комплексных редкоземельных пегматитов Берник-Лейк, известное также под названием Танко, входит в состав пегматитового поля Кэт-Лейк – Виннипег-Ривер, расположенного на западе провинции, в южной части шт. Манитоба [29]. В поле насчитывается до 1000 пегматитовых тел, сгруппированных в несколько месторождений. Большинство жил локализуется в метабазах (амфиболиты, андезиты, базальты) и амфиболовых сланцах вблизи контактов крупных гранитоидных массивов.

Кроме комплексного месторождения Берник-Лейк, детальное описание которого приводится в следующей главе, в состав поля входят существенно литиевые месторождения Гурон-Клайм и Сильверлиф, бериллий-тантал-литиевые месторождения Шетфорд-Лейк и Грир-Лейк. Для всех месторождений характерно зональное строение пегматитовых тел, разнообразии литиевых и акцессорных минералов.

Широко распространены пегматиты и на всем пространстве между озерами Берник и Нипигон. Минералы лития, берилл, танталит отмечены во многих участках, однако практического значения большинство проявлений пока не имеет.

В восточной части провинции, между северо-западным берегом оз. Верхнее и оз. Нипигон, расположено еще одно крупное поле редкоземельных пегматитов литиевой, бериллиевой или бериллий-литиевой специализации. Район сложен архейскими метаморфическими породами, прорванными гранитными интрузивами. Зональность пегматитового поля выражается в смене существенно литиевых пегматитов литиево-бериллиевыми и бериллиевыми по мере увеличения степени метаморфизма вмещающих пород. Наряду с зональными пегматитовыми телами в этом поле распространены и слабо дифференцированные жилы.

Провинция Абитиби находится в районе одноименного озера, к северо-востоку от оз. Гурон. Здесь развиты многочисленные пегматитовые тела бериллиевой, литиевой и тантало-ниобиевой специализации. Особенностью провинции является присутствие в пегматитах значительных количеств молибденита, а также висмутовой минерализации.

Район сложен архейскими вулканическими и осадочными метакордами зеленосланцевой фации метаморфизма. Прорывающие их гранитоиды

имеют возраст 2650–2500 млн. лет. Пегматиты пространственно тяготеют к последним фазам гранитоидов, содержащим повышенные количества калиевого полевого шпата.

Пегматитовый пояс Прейсак-Лакорн насчитывает несколько пегматитовых полей, расположенных в контактовой зоне одноименного гранитного батолита. В пределах полей наблюдается зональность в распределении пегматитовых жил. В эндоконтакте преобладают берилловые пегматиты, в экзоконтакте — литиевые, а на некотором удалении — пегматиты с оловянной и молибденовой минерализацией. В хорошо дифференцированных пегматитовых телах, наряду со сподуменом, бериллом, молибденитом, встречаются также ниобо-танталаты, иногда поллуцит, фенакит и минералы висмута.

Второй пегматитовый пояс провинции называется Абитиби-Тимискаминг. Он также приурочен к зоне контакта гранитов с аргиллитами и граувакками, преобразованными в кварц-мусковитовые сланцы со ставролитом и кианитом. Пегматитовые тела обычно зональны, имеют бериллиевую или бериллий-литиевую специализацию и часто содержат молибденит. В отличие от пегматитов пояса Прейсак-Лакорн, они почти не содержат олова.

Орогенная область Аппалач

Эта область приурочена к Аппалачскому складчатому поясу, который с юго-востока и юга окаймляет Центральный стабильный регион и, по предположению американских геологов, соединяется со складчатым поясом на восточном берегу Гренландии, составляя таким образом единое складчатое обрамление Северо-Американской платформы. Орогенная область Аппалач прослеживается от шт. Алабама в США до о. Ньюфаундленд (Канада) на расстояние примерно 3200 км. По простирацию складчатого пояса наблюдается чередование выступов и впадин фундамента, т.е. горстов и грабенов. Наиболее крупные горсты (от 640 до 960 м в длину) расположены в Новой Англии, штатах Пенсильвания, Теннесси, Северная Каролина и Южная Каролина.

Наибольшая — до 650 км — ширина выходов кристаллических пород в Аппалачах наблюдается на северо-востоке, в Канаде. На территории США она сужается (минимальная около Нью-Йорка), а далее к юго-западу опять увеличивается до 400 км. В этом районе Аппалачский складчатый пояс разделяется на продольные зоны: Аппалачское плато, Осадочные Аппалачи, Блу-Ридж, Кристаллические Аппалачи и Прибрежную равнину. Аппалачское плато представляет собой активизированную краевую зону древней платформы; прослеживающиеся к востоку от него осадочные Аппалачи по составу слагающих их слабо метаморфизованных пород сходны с плато.

В ядре антиклинория Блу-Ридж залегают породы среднего докембрия — различные гранитоиды с ксенолитами кристаллических сланцев и гнейсов, образовавшиеся за счет перекристаллизации осадочных и вулканогенных пород. Абсолютный возраст гнейсов и гранитов 1100—

800 млн. лет. На крыльях этой структуры развиты породы верхнего докембрия.

Кристаллические Аппалачи являются наиболее интересным районом распространения гранитных пегматитов, с которыми связаны месторождения слюды, керамического сырья, олова, лития и бериллия, тантала и других редких металлов.

Пегматитовые поля образуют в Аппалачах пояс, который с незначительными перерывами прослеживается на тысячи километров. Наибольшее сосредоточение пегматитов наблюдается в США: в Новой Англии, штатах Северная Каролина и Южная Каролина (район плато Пидмонт). Отдельные промышленные пегматитовые поля известны на территории Канады, а также в юго-западной части Аппалач.

По совокупности геологических особенностей и характеру полезной минерализации в пределах Аппалачей выделяются две пегматитовые провинции: Новой Англии и Пидмонт — Блу-Ридж.

Провинция Новой Англии (штаты Мэн, Нью-Гемпшир, Массачусетс, Коннектикут в США и Новая Шотландия в Канаде) отличается широким развитием пегматитовых месторождений различной специализации. Они разрабатывались на слюду, керамическое сырье, а затем на олово и редкие металлы (литий, бериллий, тантал, цезий). Редкометалльные пегматитовые месторождения Новой Англии обычно представлены бериллиевыми, литиевыми и комплексными пегматитами.

Определение возраста пород Северных Аппалач показало, что они формировались в интервале от 600 до 125 млн. лет. Разные исследователи выделяют в этом районе до девяти этапов геологического развития, однако основными из них являются только три, соответствующие таконскому, акадскому и аллеганскому этапам орогенеза.

На западе провинции прослеживается узкая миогеосинклинальная зона, сложенная нижнепалеозойскими карбонатными породами, перекрытыми таконскими сланцами. Эта зона отделяет выступы докембрийского фундамента платформы на Канадско-Гренландском щите и в горах Адирондак от докембрийского антиклинория Зеленых гор. Районы локализации пегматитовых месторождений обычно сложены биотит-гранатовыми сланцами, реже — амфиболитами. Метаморфические породы прорваны телами гранитоидов преимущественно пермо-карбонового возраста [25]. Гранитоиды, с которыми пространственно и генетически ассоциируют пегматиты данной провинции, связаны с наиболее поздними фазами гранитов серии Нью-Хэмпшир. Состав гранитоидов варьирует от габбродиоритов до аляскитов, но преобладают кварцевые монзониты, гранодиориты и различные, главным образом нормальные, граниты.

Промышленные пегматиты провинции Новой Англии группируются в многочисленные пегматитовые поля, протягивающиеся от района г. Мидлтаун в шт. Коннектикут (США) до района г. Нью-Рос в пров. Новая Шотландия (Канада). В настоящее время они практически не эксплуатируются, хотя содержат значительные запасы редких металлов.

Провинция плато Пидмонт — Блу-Ридж занимает большую часть шт. Виргиния и прослеживается к юго-западу по территории штатов Се-

верная Каролина, Южная Каролина, Джорджия и Алабама. Юго-восточные участки плато Пидмонт перекрыты отложениями Прибрежной равнины, а юго-западные — отложениями Мексиканской низменности.

Среди магматических комплексов плато Пидмонт в штатах Северная Каролина и Южная Каролина выделяются следующие породы, различающиеся по составу и возрасту: 1) гранитогнейсы доаппалачского основания, развитые в районе хр. Блу-Ридж (абсолютный возраст 1320 млн. лет); 2) кислые и субщелочные породы, слагающие наиболее распространенные кембро-силурийские интрузии, хорошо изученные в южной и центральной частях шт. Северная Каролина (560—410 млн. лет); 3) граниты, формировавшиеся синхронно с эпохой среднепалеозойского (девонского) метаморфизма (350 млн. лет); 4) постметаморфические гранитоиды, габброиды и сиениты (305 млн. лет); 5) триас-юрские долериты, образующие посттектонические дайки. В центральной части Северной Каролины, в поясе Шарлотт, преобладают лейкократовые адаметеллиты, имеющие возраст 413—386 млн. лет.

Породами, вмещающими пегматиты, являются кристаллические сланцы, ортоамфиболиты, реже милониты, ультрамилонитовые брекчии и катаклазиты. Эти породы подвергались двум фазам деформации и метаморфизма. Первая, таконская, сопровождалась прогрессивным метаморфизмом (амфиболитовая фация), вторая, акадская, проявилась менее интенсивно и отличается более слабым метаморфизмом (зеленосланцевая и эпидот-амфиболитовая фации).

В метаморфических породах плато Пидмонт локализуются крупнейшие месторождения лития, олова и других полезных компонентов. В первую очередь следует упомянуть олово-литиевый пояс Кингс-Маунтин (его называют также олово-сподуменовым поясом Каролин), в пределах которого работают два самых крупных в США литиевых рудника. Севернее, в хр. Блу-Ридж, развиты многочисленные слюдяные и керамические пегматиты, среди них — месторождение Спрус-Пайн, которое в настоящее время является одним из основных источников полевошпатовой продукции США, а ранее на нем добывалось значительное количество листовой слюды — мусковита. В некоторых телах, как и в пегматитах плато Пидмонт, отмечаются скопления драгоценных камней, в частности гидденита, изумруда и аквамарина. Пегматиты юго-западной части провинции (на территории штатов Джорджия и Южная Каролина) представляют интерес в основном как крупные месторождения полевого шпата и кварца.

Орогенная область Кордильер

Кордильеры окаймляют Северо-Американскую платформу с запада и юго-запада. Ширина этого горного пояса от побережья Тихого океана на западе до Великих равнин на востоке изменяется от 650 до 1600 км. Ф. Кинг различает в пределах Кордильер несколько поперечных и продольных областей. Различие в геологическом строении и истории развития отдельных частей Кордильер позволило выделить в их составе несколько поперечных сегментов: 1) Аляскинско-Канадский (Северная Кордильер

ера); 2) Орегонско-Монтанский; 3) Калифорнийско-Колорадский; 4) Мексиканский (Южная Кордильера); 5) Центрально-Американский. Наибольший интерес как области развития гранитных пегматитов представляют второй и третий сегменты.

В пределах орогенной области Кордильер отчетливо выделяются две крупные продольные пегматитовые провинции: собственно Кордильерская, или Западная, и провинция Скалистых гор.

К **Западной провинции** относятся пегматиты, расположенные на территории штатов Вашингтон, Орегон, Калифорния, Невада и Аризона. Это наиболее молодая пегматитовая провинция США: возраст составляющих ее пегматитов преимущественно мезозойский, реже — палеозойский и совсем редко — докембрийский. В данной провинции известны редкометальные, мусковитовые и редкоземельные пегматиты. Основным практический интерес в этих пегматитах представляют драгоценные камни, а значение их как источников мусковита и редких металлов невелико.

Наибольшей известностью в пределах провинции пользуются комплексные редкометальные пегматиты округа Пала в южной части Калифорнии. Здесь насчитываются сотни пегматитовых тел с литиевой, бериллиевой и танталовой минерализацией. В ряде жил имеются миароловые пустоты с кристаллами кунцита, воробьевита (морганита), рубеллита и полихромного турмалина. В западной части соседнего штата Аризона проявлены пегматиты с бериллом (месторождение Райт-Крик) и другой редкометальной минерализацией.

Провинция Скалистых гор объединяет пегматиты, развитые в штатах Айдахо, Монтана, Вайоминг, Колорадо, Нью-Мексико и Техас. Е. Камерон с соавторами относят к этому поясу и пегматиты хр. Блэк-Хиллс в шт. Южная Дакота, которые, по мнению Б.М. Шмакина, принадлежат к Центральному стабильному региону. Пегматиты шт. Техас связаны с изолированным поднятием, как и пегматиты хр. Блэк-Хиллс, поэтому включение их в пегматитовый пояс Скалистых гор также условно. Большая часть территории штатов Монтана, Вайоминг и отчасти Колорадо сложена метаморфическими породами, возраст метаморфизма которых около 2600 млн. лет. Все они перекрыты неметаморфизованными породами; их возраст — от 1600 до 1200 млн. лет.

Большая часть пегматитов Скалистых гор — докембрийские. Они располагаются к западу от миогеосинклинали Кордильер, т.е. в районе, который ранее представлял собой часть континентальной платформы. В этом районе в ядрах крупных поднятий на поверхности довольно часто обнажаются породы фундамента, пронизанные телами кислых изверженных пород. Именно с последними пространственно и генетически связаны многие поля гранитных пегматитов. Такие породы, идентичные развитым в пределах выходов фундамента в шт. Южная Дакота, где граниты Харни-Пик сопровождаются пегматитами хр. Блэк-Хиллс, известны в штатах Колорадо, Вайоминг и др. Интрузивная деятельность проявилась здесь в несколько этапов. Так, возраст батолита Боулдер-Крик определяется в 1730—1725 млн. лет, а гранитов Сильвер-Плюм — 1415 млн. лет. Наиболее крупным массивом изверженных пород в Скалистых горах является

гранитный массив Пайкс-Пик, который занимает большую часть площади Передового хребта, а родственные ему граниты комплекса Шерман протягиваются и в северном направлении. Возраст гранитов Пайкс-Пик – 1108–1010 млн. лет.

В шт. Колорадо с докембрийскими гранитами Скалистых гор связаны многочисленные пегматитовые поля с месторождениями бериллия и редкоземельных элементов, кварца и драгоценных камней. В северной части шт. Нью-Мексико развиты хорошо известные мусковитовые и редкометальные пегматиты округов Петака и Элк-Маунтин. В Передовом хребте, на территории шт. Вайоминг, выявлены мусковитовые и редкометально-мусковитовые пегматиты [25].

В пределах гранитного массива Пайкс-Пик (шт. Колорадо) широко распространены своеобразные пегматиты с редкоземельной минерализацией. Из них наиболее известны жилы поля Саут-Платте в округе Джефферсон, богатые флюоритом, фергусонитом, самарскитом, бастнезитом и многочисленными редкими минералами, часть которых впервые описана именно здесь [47]. Несколько другой список редкоземельных минералов характеризует поле Траут-Крик на границе округов Чаффи и Фремонт: это эвксенит, гадолинит, монацит и др. В ряде пегматитовых полей зафиксированы торит, ксенотим, циртолит. Судя по минерализации и некоторым геохимическим признакам [25], это в большинстве случаев пегматиты уран-редкоземельной специализации.

ПЕГМАТИТОВЫЕ ПРОВИНЦИИ ЮЖНОЙ АМЕРИКИ

Все гранитные пегматиты этого континента приурочены к выходам докембрийских пород (рис. 6). Определения по минералам пегматитов дают широкий разброс значений их абсолютного возраста: от 2200 до 325 млн. лет. В связи с этим С.Е. Колотухина и др. высказали естественное предположение о „реактивизации“ отдельных участков докембрийских щитов и массивов, происходившей в позднем рифее и раннем палеозое. Позднейшие публикации по структурному положению и возрасту пегматитов Южной Америки в целом подтверждают это предположение. В отличие от Северной Америки, в южной части материка нет пегматитовых провинций в орогенных областях палеозойского возраста.

В пределах рассматриваемого континента имеются всего два главных структурных элемента: Южно-Американская платформа и обрамляющий ее с запада складчатый пояс Анд. На площади платформы выделяются следующие крупные регионы развития пегматитов: 1) Гвианский щит; 2) Бразильский щит; 3) Пампинский массив.

Гвианский щит

В Суринаме, по левобережью р. Марони, и в Гвиане, на правом берегу этой пограничной реки, а также в бассейнах рек Мана и Синнамари известно несколько пегматитовых полей. С некоторой долей условности их можно объединить в субширотный пегматитовый пояс, протягивающийся от поля Джорджжакрик на левом берегу р. Марони через три поля на территории Гвианы до окрестностей г. Кайенна. Интенсивное химическое вы-

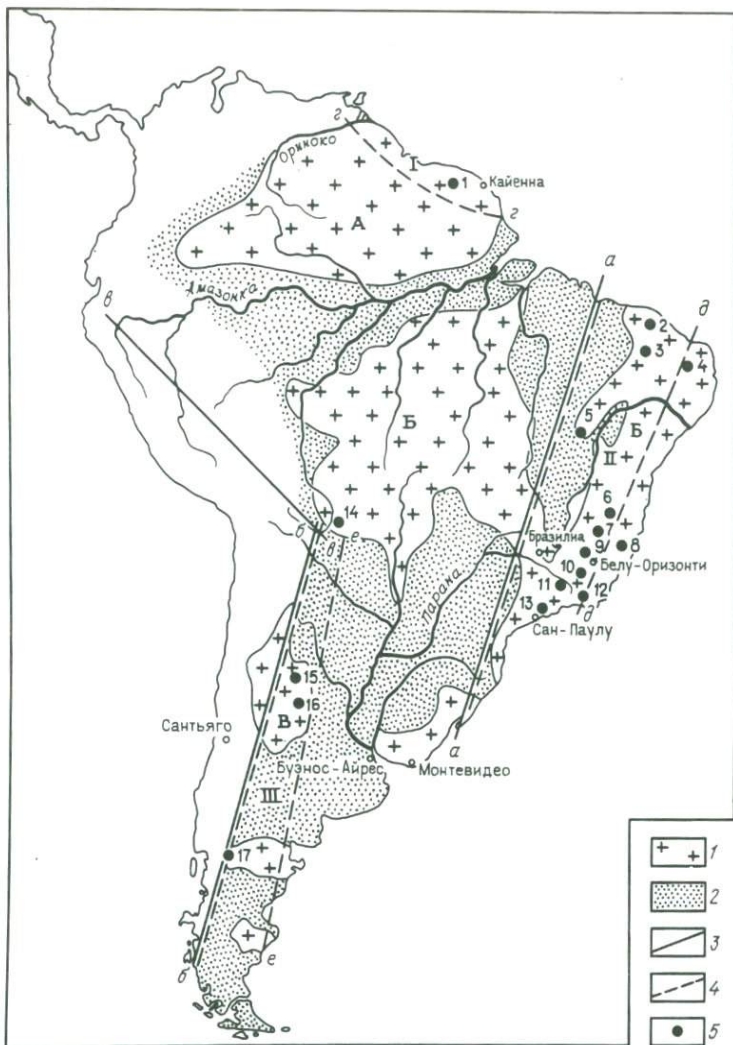


Рис. 6. Месторождения редкометалльных пегматитов Южной Америки. По А.Е. Первухиной и Л.А. Григорьевой, с упрощениями:

1 — докембрийские щиты и массивы: А — Гвианский, Б — Бразильский, В — Пампинский; 2 — платформенные прогибы; 3 — линеаменты: а — Сан-Франсиску, б — Аргентинский, в — Перуано-Боливийский; 4 — границы структурных поясов: з — Гвианского (I), д — Восточно-Бразильского (II), е — Аргентино-Боливийского (III); 5 — районы развития месторождений редкометалльных пегматитов: 1 — в Гвиане у границы с Суринамом; 2—13 — в Бразилии: 2 — Каскавел-Кристал (шт. Сеара), 3 — Кишерамобин и Кашуэйра (шт. Сеара), 4 — плато Борборема (штаты Риу-Гранди-ду-Норти и Параиба), 5 — Сератан (шт. Баия) 6 — Салинас, Итинга, Арасуаи и др. (шт. Минас-Жерайс), 7 — Итамбе (шт. Минас-Жерайс), 8 — Риу-Доси (шт. Эспириту-Санту), 9 — Боа-Виста (шт. Минас-Жерайс), 10 — Уба, Помба, Мориаз (шт. Минас-Жерайс), 11 — Назарену (шт. Минас-Жерайс), 12 — Ангра-дус-Рейс (шт. Рио-де-Жанейро), 13 — Можидас-Крузис (шт. Сан-Паулу); 14 — в Боливии — Ла-Белья; 15—17 — в Аргентине: 15 — в провинциях Катамарка и Ла-Риоха, 16 — в провинциях Кордова и Сан-Луис, 17 — в провинциях Рио-Негро и Чубут

ветривание приводит к формированию касситеритовых и колумбит-танталитовых россыпей, часть которых разрабатывалась.

Поле Джорджжакрик (Суринам) сложено докембрийскими мусковитовыми сланцами, содержащими гранат и ставролит, и крупнозернистыми двуслюдяными гранитами. Пегматитовые тела разделены на две группы: согласные протяженные жилы, не содержащие промышленной минерализации, и секущие штокообразные тела с амблигонитом, касситеритом, танталитом и другими ценными минералами. В 1960—1963 гг. пегматиты Суринама разрабатывались на амблигонит.

По данным Д. Монтаня, главное из эксплуатирувавшихся пегматитовых тел в плане имеет овальную форму; площадь его 20 x 30 м. В экзоконтактах наблюдается интенсивная турмалинизация сланцев. Состав эндоконтактной оторочки мощностью 2 см кварц-мусковитовый. Далее следует промежуточная кварц-мусковит-полевошпатовая зона мощностью 2—6 м. Полевые шпаты каолинизированы, и их состав точнее не определен. Ближе к центру зернистость этой зоны возрастает, встречаются кристаллы берилла, касситерита и танталита. В ее внутренней части отмечаются крупные (до 50 см в длину) каолинизированные кристаллы сподумена.

Ядро тела сложено кварцем, содержащим крупнозернистые скопления амблигонита. Здесь же по границам между кристаллами или в трещинах развиты кристаллы танталита и касситерита. Кроме того, в пегматитах поля диагностированы такие минералы, как лёллингит, галенит, сфалерит, штренгит. Последний является явно вторичным, его выделения приурочены к небольшим кварцевым жеодам.

На правом берегу р. Марони (Гвиана) имеется довольно крупное пегматитовое поле, приуроченное к полосе распространения докембрийских сланцев и метаморфизованных эффузивов, прорванных гранитами. Выделяются простые (графические) жилы с биотитом и акцессорными апатитом, бериллом, цирконом, турмалином, молибденитом и другими минералами и так называемые сложные — с мусковитом, лепидолитом, сподуменом, амблигонитом, колумбит-танталитом, касситеритом. Эти пегматиты слагают более крупные (до 400 x 40 м) тела и характеризуются зональным строением.

Наряду с жилами линзовидной формы, сложные пегматиты представлены и штокообразными крутопадающими телами с диаметром сечения до 30 м. Мощность эндоконтактной оторочки не более 20 см; она насыщена черным турмалином. Промежуточная зона состоит из альбита, кварца и мусковита; в ней встречаются зеленый турмалин, колумбит-танталит, касситерит, топаз, берилл, самородный висмут и висмутин. Ядро имеет кварцевый или альбит-кварцевый состав и содержит мусковит, лепидолит, сподумен, амблигонит, касситерит, колумбит-танталит, тапиолит, берилл, рутил. Типоморфным здесь является рубеллит.

В пегматитовом поле Тамануар в бассейне р. Маны также известны и простые, и сложные пегматиты, причем вторые иногда являются секущими по отношению к первым. По-видимому, эти пегматиты разновозрастные, причем литиевая минерализация и повышенные концентрации олова; ниобия и тантала свойственны только пегматитам второй фазы.

В бассейне р. Синнамари содержания танталита в пегматитах оцениваются как промышленные. В 1953—1954 гг. в этом районе разрабатывались россыпи, причем отношение ниобия к танталу в получаемом концентрате было близко к 1:2.

Бразильский щит

Бразильский щит, несомненно, представляет собой крупнейший в мире выход консолидированных пород основания платформы на дневную поверхность. Различные авторы по-разному подразделяют эту огромную территорию на отдельные части. Для целей данного описания достаточно упомянуть, что практически все пегматитовые месторождения сосредоточены в восточной части щита, испытавшей тектономагматическую активизацию в позднем протерозое — раннем палеозое. Здесь могут быть выделены две крупные пегматитовые провинции: Борборемская в северо-восточной части Бразилии (штаты Параиба, Риу-Гранди-ду-Норти и примыкающая часть шт. Сеара) и Восточная (в основном — шт. Минас-Жерайс, отдельные участки штатов Баия, Рио-де-Жанейро и др.). В западной части Бразильского щита, на территории Боливии, имеется относительно небольшое пегматитовое поле Ла-Белья, которое некоторые авторы рассматривают совместно с пегматитами Аргентины.

Борборемская провинция занимает площадь около 4000 км². Пегматиты встречаются в основном на границе штатов Параиба и Риу-Гранди-ду-Норти в окрестностях г. Педра-Лаврада, а также севернее, в двух относительно небольших участках в шт. Сеара. Здесь имеются крупные месторождения бериллия, тантала, лития, многих неметаллических полезных ископаемых.

Район сложен докембрийскими кварцитами, сланцами и мраморами, прорванными гранитами и диоритами. Граниты образуют крупные массивы, содержащие измененные ксенолиты вмещающих сланцев и кварцитов. Возраст гранитов и генетически связанных с ними пегматитов — рифейский и каледонский.

В пределах провинции выявлены тысячи пегматитовых тел, группирующихся в пегматитовые поля. Характерно преимущественно крутое залегание жил. По морфологии и размерам среди пегматитовых тел различают протяженные плитообразные (длина по простиранию до 1000 м) и линзовидные (площадь сечения до 500 x 100 м, но чаще до 100 x 30 м). Линзовидные жилы обычно зональные, с кварцевым ядром, нередко проявляющимся в рельефе в виде так называемых „кварцевых стен“. В кварце иногда встречаются кристаллы берилла и танталита, но основная часть редкометальной минерализации, включая сподумен, амблигонит, касситерит и многие другие минералы, приурочена к промежуточным зонам, обычно содержащим калиевый полевой шпат, обычно каолинизированным и разрушенным. В состав краевых зон пегматитовых тел входят мусковит, гранат, турмалин, реже отмечаются биотит и касситерит.

Незональные плитообразные пегматитовые тела размещаются преимущественно вблизи гранитных массивов. Они сложены почти теми же ми-

нералами, но отличаются более крупными размерами кристаллов (до 5 см). Характерны графические сростания кварца с полевыми шпатами и турмалином. Среди рудных минералов присутствуют берилл, касситерит, танталит-колумбит, сподумен. Нередко их содержание очень высоко, а по соотношению тантала и ниобия незональные жилы иногда оказываются более качественными, чем линзовидные.

Близость минерального состава различных по морфологии жил и зональность пегматитовых полей указывают на принадлежность всех пегматитов к одной интрузивной фазе.

Наличие рудных минералов было установлено примерно в 600 жилах провинции, но лишь около 30 пегматитовых тел считаются в настоящее время рентабельными для отработки. Наибольший интерес в шт. Параиба представляет месторождение Серидозинью, где подсчитанные запасы сподуменовой руды с содержанием оксида лития 1,5 % составляют 250 тыс. т и имеются значительные количества берилла, танталита, амблигонита и драгоценных камней. Крупные запасы бериллия, тантала и висмута выявлены на рудниках Танкиньос и Алту-Бранку, тантала — на руднике Алту-Мабоа.

В шт. Риу-Гранди-ду-Норти следует отметить месторождение лития Алту-Маримонду и другие жилы в окрестностях Карнауба, скопления минералов лития, бериллия, тантала и висмута в жиле Алту-Бокейран у г. Парельяс. В ряде жил совместно с литиевыми минералами добывается мусковит.

В шт. Сеара известно шесть месторождений, где, в отличие от других районов провинции, амблигонит преобладает над сподуменом.

Восточная провинция является крупнейшей в Южной Америке, причем здесь имеются жилы любой специализации: редкометальные, редкометально-мусковитовые, мусковитовые и редкоземельные. Во многих пегматитовых телах встречаются драгоценные и поделочные камни. Занимающий основную часть территории этой провинции шт. Минас-Жерайс по объему продукции горнорудной промышленности играет главную роль в Бразилии.

Пегматиты приурочены к полосе так называемых слюдяных сланцев, протягивающейся на расстояние более 600 км при ширине до 200 км. Кроме кристаллических сланцев здесь развиты гнейсы, гранулиты и изверженные породы, относящиеся к архейскому комплексу основания. В центральной и северной частях шт. Минас-Жерайс вмещающими пегматиты породами являются также кварциты и филлиты серий Минас и Итаколом (нижний и средний протерозой). Пегматитовые жилы обычно секущие, но в мусковитовых сланцах нередко наблюдаются и согласные контакты.

Как и во многих других пегматитоносных регионах, пегматиты Восточной провинции подразделяются на простые и сложные. В простых пегматитах из аксессуарных минералов обычно встречаются лишь шерл, гранат, иногда зеленый берилл. Это неспециализированные или — при широком проявлении наложенных процессов мусковитизации — мусковитовые и редкометально-мусковитовые пегматиты. В сложных, обычно зональных пегматитах содержатся сподумен, другие минералы лития и многочислен-

ные акцессорные минералы: хризоберилл, топаз, уранинит, самарскит, фенакит, монацит и др. Берилл в этих пегматитах желтый или розовый, турмалин — зеленый, розовый или голубой, топаз — голубой или белый. Качество мусковита в сложных пегматитах хуже, но во многих месторождениях он все же извлекается.

В пределах провинции выявлены десятки тысяч пегматитовых тел, имеются сотни больших и малых рудников. В период, когда происходила наиболее интенсивная эксплуатация бразильских пегматитов, только за одно десятилетие в восточной части шт. Минас-Жерайс („слюдяной пояс“) было получено 7300 т листовой слюды, 530 т берилла, 110 т танталита и колумбита, 6500 кг драгоценных камней, много кварца, полевого шпата и каолина.

Поражают размеры слюдоносных и рудных зон в некоторых месторождениях. Так, слюдоносная жила Крузейро-I в северной части провинции имеет параметры 325 x 10 x 1,5 м, Крузейро-II — 250x25x1,5 м и Педро-Эспирито — 160x40x0,8 м. Запасы мусковита в этих жилах составляют соответственно 4500, 2500 и 1200 т. Несколько пегматитовых тел редкометального месторождения Назарену, расположенного в южной части шт. Минас-Жерайс, в 60-х гг. давали 40 % мировой добычи тантала (танталит и джалмаит) и некоторое количество литиевых и касситеритовых концентратов. Сподумен в неизменном пегматите жилы Вольта-Гранди на этом месторождении содержит 5,5–6 % оксида лития, а в выветрелых участках — до 1,3 %. Рудоносные пегматитовые тела месторождения Назарену имеют длину от 400 до 1200 м при мощности от 15 до 50 м. Общие запасы руды на месторождении около 20 млн. т, что соответствует 775 тыс. т сподумена, 5 тыс. т джалмаита, более 10 тыс. т танталита и 8 тыс. т касситерита.

Литиевые пегматиты известны во многих частях провинции. В пегматитах северо-восточной части шт. Минас-Жерайс основным литиевым минералом является амблигонит. В этом же районе находятся главные бериллоносные объекты провинции.

Вдоль всей полосы развития „слюдяных сланцев“ в шлихах отмечают монацит, ксенотим и другие редкоземельные минералы. Их источником служат редкоземельные пегматиты, содержащие самарскит и эвксенит.

В ряде пегматитовых тел провинции добываются драгоценные разновидности сподумена (кунцит и гидденит), изумруд, воробьевит, аквамарин, хризоберилл, фенакит, разнообразные по окраске разновидности кварца и другие цветные камни.

Пегматитовое поле Ла-Белья находится в Боливии, примерно в 200 км к западу-северо-западу от г. Санта-Крус. Вмещающие породы представлены докембрийскими биотитовыми или графитовыми кристаллическими сланцами, а также кварцитами. Пегматиты, связанные с так называемыми „красными“ гранитами, слагают линзовидные тела мощностью до 25 м и протяженностью до 100 м. Главными рудными минералами являются берилл и колумбит. Кроме того, в жилах содержатся мусковит, топаз, флюорит, монацит, фергусонит. В 1955–1961 гг. здесь было добыто значительное количество берилла и несколько тонн колумбита.

Пампинский массив докембрийских пород значительно уступает по размерам Гвианскому и Бразильскому щитам: он протягивается несколько более чем на тысячу километров в меридиональном направлении при ширине до 500 км. Это территория, занимающая западную часть Аргентины к северу от широты г. Буэнос-Айрес.

На современных геологических картах породы Пампинского массива отнесены к верхнему протерозою, а на тектонических схемах эта территория обозначена как область позднепротерозойской и бразильской складчатости (до 550–500 млн. лет).

В пределах Пампинского массива развиты гнейсы, слюдяные сланцы, мигматиты, амфиболиты и другие породы амфиболитовой фации метаморфизма, прорванные массивами гранитов и диоритов. Пегматиты пространственно связаны с гранитами. Они слагают пласто-, линзообразные или неправильной формы, обычно крутопадающие секущие тела длиной от 50 до 200 м (иногда до 1000 м), мощностью до 30 м. Контакты тел с вмещающими породами резкие, отмечается турмалинизация и мусковитизация экзоконтактов.

По специализации пегматиты Аргентины относятся преимущественно к редкометальным и мусковитовым. Для провинции Сан-Луис наиболее характерны литийсодержащие редкометальные пегматиты. Известно более 10 крупных месторождений и многие десятки мелких, из которых извлекаются сподумен, берилл, амблигонит, танталит, лепидолит. Разрабатываются зональные жилы, имеющие кварцевое ядро, одну или несколько промежуточных зон с полевыми шпатами и сподуменом, боковую зону и эндоконтактную оторочку. Амблигонит тяготеет к кварцевому ядру, берилл распределен относительно равномерно. Из аксессуарных минералов обычно встречаются турмалин, гранат, апатит, колумбит-танталит, касситерит, минералы висмута, уранинит.

В провинции Сан-Хуан распространены преимущественно пегматиты мусковитовой специализации. Здесь также преобладают зональные жилы с кварцевым ядром, причем состав плагиоклаза закономерно изменяется от более основного в периферических зонах до альбита в центре. Промышленные концентрации мусковита отмечаются в промежуточных зонах и особенно часто — вблизи контактов. Из аксессуарных минералов присутствуют берилл и монацит. Следует отметить, что в ряде месторождений наряду с мусковитом извлекается вермикулит, по-видимому, из гидратированных зон биотитизации вмещающих пород.

В провинции Кордова находится знаменитый бериллиевый рудник Лас-Тапиас. В этом пегматитовом теле длиной около 100 м у висячего контакта образовалась почти мономинеральная зона берилла размером 60x40x1 м. С 1935 по 1960 гг. на месторождении было получено до 3,5 тыс. т бериллового концентрата, что составило примерно 20 % мировой добычи за этот период. Жила залегает в обогащенных биотитом ортоамфиболитах. Сподумен здесь обнаружен лишь недавно и в небольших количествах. Литиевая минерализация не характерна и для других

бериллиевых месторождений Кордовы. Из акцессорных минералов отмечаются колумбит и монацит. В провинции известны также многочисленные жилы мусковитовых и редкометалльно-мусковитовых пегматитов.

Пегматитовые тела с промышленным бериллиевым оруденением и высококачественной слюдой распространены и во многих других районах Аргентины: в провинциях Катамарка и Ла-Риоха, примыкающих с севера к провинции Сан-Луис, а также в провинциях Рио-Негро, Тукуман, Сальта и Ла-Пампа. Общее число бериллиевых месторождений в стране — более 150, а мусковитовых — несколько десятков. Из некоторых жил редкометалльно-мусковитовой специализации мусковит и рудообразующий берилл добываются совместно.

Глава 2

КОМПЛЕКСНЫЕ (БЕРИЛЛИЙ-ЛИТИЙ-ЦЕЗИЙ-ТАНТАЛОВЫЕ) РЕДКОМЕТАЛЬНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

В этой главе охарактеризованы два крупнейших в мире комплексных пегматитовых месторождения: Берник-Лейк (Танко) в Канаде и Бикита в Зимбабве, а также близкие к ним по составу, но значительно меньшие по масштабам месторождения других стран, которые служат (или служили) источниками одновременно нескольких редких металлов: лития, цезия, тантала и бериллия.

Месторождение Берник-Лейк в Канаде

Богатые редкометалльные пегматиты этого месторождения были открыты в 1929 г. при разведке бурением небольшого оловянного рудопроявления. Главное пегматитовое тело не выходит на дневную поверхность и располагается преимущественно под оз. Берник. В ходе дальнейших разведочных работ было выяснено, что это очень пологое тело, имеющее длину около 1500 м, ширину до 820 м и максимальную мощность немного более 100 м.

С 1967 г. владельцем месторождения является компания „Танталум майнинг корпорейшн“ (Танко), давшая руднику второе название. В 1969 г. начала работать первая обогатительная фабрика производительностью 500 т руды в сутки, применявшая только гравитационную сепарацию. В течение последующих 12 лет фабрика расширялась и совершенствовалась путем включения флотационного обогащения. Однако в 80-х гг. в связи с сокращением спроса на концентраты рудник и фабрика не работают на полную мощность.

Общие запасы руд месторождения перед эксплуатацией были следующими: литиевых (сподумен и петалит) — 7,3 млн. т (содержание Li_2O — 2,76 %); танталовых — 2 млн. т (Ta_2O_5 — 0,216 %); бериллиевых — 920 тыс. т (BeO — 0,2 %); поллцитовых — 350 тыс. т (Cs_2O — 23,3 %);

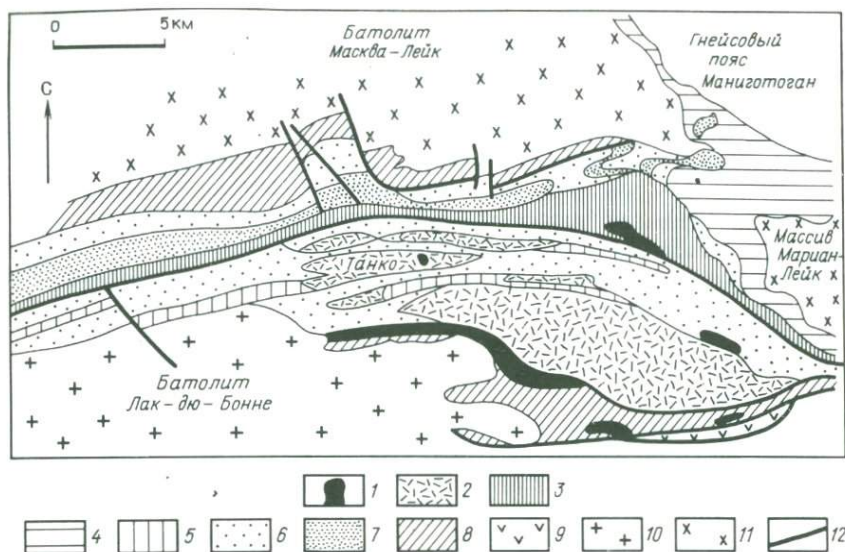


Рис. 7. Геологическое строение зеленокаменного пояса Бэрд-Ривер в районе месторождения Танко (Берник-Лейк). По [29]:

1 — пегматиты; 2 — метагаббро, метадiorиты, кварцевые порфиры, гранодиориты; 3 — граувакки, аргиллитовые турбидиты; 4 — метаконгломераты, метаарениты; 5 — metabазальты, метаандезиты, метадациты, метариолиты; 6 — вулканическая вакка, песчаники; 7 — туфопесчаники; 8 — образования железистой формации; 9 — ультраосновные и близкие к ним породы; 10 — граниты; 11 — кварцевые диориты; 12 — разломы

лепидолитовых — 107 тыс. т (Zi_2O — 2,24 %). Основная часть этих запасов не отработана. Кроме того, выявлены значительные количества рубидия (в лепидолите) и галлия (в слюдах), большие резервы кварца, полевых шпатов, амблигонита (монтебразита), сподумена (для огнеупоров) и других видов сырья.

Пегматиты района залегают в метаморфических породах архейского зеленокаменного пояса Бэрд-Ривер, слагающих широкий синклиниорий (рис. 7). В постметаморфическое время образовались субширотные разломы, служившие путями проникновения для крупного гранитного батолита Лак-дю-Бонне, разнообразных лейкогранитов, пегматоидных гранитов и пегматитов. Редкометалльные пегматиты генетически не связаны с выходящими на поверхность лейкогранитами или пегматоидными гранитами, хотя пространственно и тяготеют к ним. По мнению П. Черны и др. [29], материнские граниты пегматитов месторождения Берник-Лейк и его аналогов находятся на глубине.

Главное пегматитовое тело месторождения залегает субгоризонтально в массивных амфиболитах (метагаббро). По форме оно напоминает перевернутый открытый двулопастной цветок (рис. 8), полого погружающийся в северном направлении. К востоку, северу и северо-западу от главного тела и под ним располагаются небольшие пегматитовые тела сход-

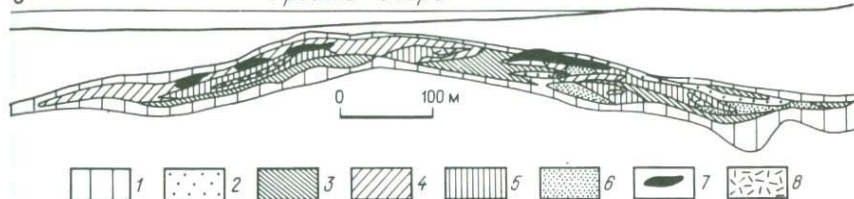


Рис. 8. Широтный вертикальный разрез пегматитового тела Танко (поллуцитовые тела в западной части тела спроектированы на плоскость разреза). По [29].

1–8 — зоны: 1 — боковая, 2 — альбитовая аплитоподобная, 3 — нижняя промежуточная, 4 — верхняя промежуточная, 5 — центральная, 6 — кварцевая, 7 — поллуцитовая, 8 — лепидолитовая

ного состава и аналогичного залегания. По-видимому, все они приурочены к единой системе пологих трещин.

По составу и структурам в пределах тела выделяются девять зон (табл. 1). Первая и вторая образуют непрерывную оболочку вокруг тела, обычно более мощную в лежачем контакте; четвертая и пятая также могут рассматриваться как непрерывная зона. В отличие от них, остальные зоны являются скорее участками пегматитового тела. Эти уплощенные линзообразные участки приурочены к верхней центральной части тела.

В расположении зон наблюдается определенная симметрия (см. рис. 8). В центральной сводовой части главную роль играют богатые литием четвертая и пятая (нижняя и верхняя промежуточные) зоны. Они разделены на обоих флангах центральной промежуточной зоной, над которой находятся кварцевые (седьмая зона) и поллуцитовые (восьмая) анхимоно-минеральные тела. Участки лепидолитовой зоны располагаются в основном внутри или над обеими частями центральной промежуточной зоны, интенсивно замещая ее. Кроме лепидолитовой к метасоматическим относится и зона сахаровидного альбита, располагающаяся по контактам кварцевых ядер и проникающая в соседние боковые и центральную промежуточную зоны. Однако процессы замещения отмечены и во взаимоотношениях друг с другом минералов и минеральных комплексов первичных зон (второй, четвертой — восьмой). Кварц-альбитовая контактовая оторочка мощностью не более 30 см (на рис. 8 не показана) явно замещает примыкающую боковую зону.

Промежуточные зоны пегматитового тела характеризуются значительными размерами минеральных индивидов. В верхней промежуточной зоне встречаются кристаллы амблигонита до 2 м, микроклин-пертита до 4 м и петалита — до 13 м в длину, а в нижней промежуточной наблюдаются крупные кристаллы микроклин-пертита и кварц-сподуменовые псевдоморфозы по петалиту (до 2 м в поперечнике).

В восточной части пегматитового тела мономинеральная поллуцитовая зона имеет размеры 180x75x12 м. Вместе с несколькими другими поллуцитовыми зонами она образует крупнейшую из известных на Земле концентрацию поллуцита.

Таблица 1. Минеральный состав различных зон главного пегматитового тела месторождения Берник-Лайк

Зона	Главные компоненты	Характерные минералы		
		второстепенные	акцессорные	редкие
Экзоконтактовая	Биотит, турмалин, хольмквистит	—	Арсенопирит	—
1. Контактная	Альбит, кварц	Турмалин, апатит	Биотит	Берилл, трифилит
2. Боковая	Альбит, кварц, мусковит, литиевый мусковит, микроклин-пертит	Берилл	Турмалин	Касситерит, гранат
3. Альбитовая аплитоподобная	Альбит, кварц	Мусковит, минералы тантала, берилл	Апатит, турмалин касситерит	Ильменит, циркон, сульфиды
4. Нижняя промежуточная	Микроклин-пертит, альбит, кварц, сподумен, амблигонит	Литиевый мусковит, литиофилит	—	Лепидолит, петалит, минералы тантала
5. Верхняя промежуточная	Сподумен, кварц, амблигонит	Поллуцит, литиофилит, микроклин-пертит, петалит	Альбит, литиевый мусковит	Эвкриптит, минералы тантала
6. Центральная	Микроклин-пертит, кварц	Альбит	Литиофилит, апатит, сподумен	—
7. Кварцевая	Кварц	—	—	Сподумен, амблигонит
8. Поллуцитовая	Поллуцит	Кварц, сподумен	—	Петалит, мусковит, лепидолит, альбит, калиевый полевой шпат, апатит
9. Лепидолитовая	Литиевый мусковит, лепидолит, микроклин-пертит	Альбит, кварц, берилл	Минералы тантала, касситерит	Циркон

Приложение. Полужирным шрифтом выделены минералы, имеющие в данной зоне промышленное значение.

Главные танталовые минералы месторождения — манганотанталит, воджинит и микролит); кроме того, наблюдаются тапиолит, симпсонит, цестибантит и, возможно, стибиотанталит (к 1982 г. изучение минералов еще не было завершено). Танталовые минералы концентрируются в зоне сахаровидного альбита, альбитизированных участках промежуточных зон и лепидолитовой зоне. Преобладающий размер зерен — от 0,1 до 1 мм, что вызывает необходимость тонкого измельчения руд — до 65 меш. Сочетание предварительного обогащения на спиральных сепараторах с последующим гравитационным и флотационным обогащением позволило увеличить степень извлечения танталовых минералов до 74 %. Суммарный танталовый концентрат, поступающий в продажу, содержит от 35 до 40 % Ta_2O_5 .

Первичным литиевым минералом пегматитов является петалит. Основная масса сподумена вместе с кварцем образует псевдоморфозы по нему; первичный сподумен (он несколько богаче натрием и железом) относительно редок. Минералы ряда амблигонит — монтебразит весьма разнообразны. Отдельные их разновидности отличаются по содержанию фтора: в первичном амблигоните белого цвета оно составляет 5–7 %, в желтоватых разновидностях (промежуточные члены ряда) — 3,5–5,5 %, во вторичном монтебразите, возникающем при изменении амблигонита, — менее 3 % (редко до 4 %), а в розовом амблигоните, встречающемся в нижней промежуточной зоне, — 5,3–6,3 %.

Поллуцит имеет постоянный состав: количество анальцимового минала варьирует от 17 до 30 %. В поздних секущих прожилках в поллуцитовой зоне отмечаются кварц, сподумен, мусковит и калиевый полевой шпат (низкотемпературный адуляр). К редким секущим альбитовым прожилкам тяготеют выделения цезиевого анальцима, который входит также в состав поздних гидротермальных ассоциаций.

Берилл встречается преимущественно в зонах замещения в ассоциации с альбитом и лепидолитом. В контактовой оторочке и боковых зонах это призматические кристаллы зеленоватого цвета с низкими содержаниями щелочей, а в зонах сахаровидного альбита и лепидолита — таблитчатые белые кристаллы, содержащие до 3 % цезия, повышенные количества натрия и лития.

Из минералов группы слюд наибольшее значение имеет литиевый мусковит, который преобладает над лепидолитом даже в лепидолитовой зоне. Для боковой и нижней промежуточной зон характерны столбчатые выделения скорлуповатого литиевого мусковита серебристо-серого или фиолетового цвета. Как и в лепидолите, в литиевом мусковите отмечаются очень высокие концентрации рубидия (до 3 %), цезия (до 0,4 %) и таллия. Повышенные содержания этих элементов свойственны также зеленоватому мусковиту боковой зоны и вторичному желтовато-зеленому мусковиту из участков альбитизации.

Значительные концентрации рубидия, цезия и таллия наблюдаются также в калиевых полевых шпатах месторождения [8], причем от контактовых зон к оси тела, а также к наиболее высоко расположенным центральной и верхней промежуточным зонам в его центре содержания этих эле-

ментов закономерно увеличиваются. По данным П. Черны и И. Мацека, содержания оксидов рубидия и цезия в калиевых полевых шпатах составляют соответственно 1,99–2,65 % и 0,106–0,263 %. В некоторых случаях они могут быть, по-видимому, еще выше. Так, в двух образцах блокового калиевого полевого шпата серого цвета из центральной части тела, переданных автору для анализа А.А. Беусом, обнаружено 3,81 и 3,85 % рубидия при 0,251 и 0,253 % цезия (аналитик Д.Х. Николаева, метод фотометрии пламени).

Из других минералого-геохимических особенностей главного пегматитового тела следует упомянуть также об очень высоком содержании гафния (около 17 % HfO_2) в цирконе зоны сахаровидного альбита. Внутренние части кристаллов циркона, содержащие повышенные количества примесей кальция, железа, марганца и включения торита (иногда уранинита или коффинита), обычно метамиктны.

В списке минералов месторождения в настоящее время насчитывается около 80 названий, включая впервые обнаруженные здесь танкоит и черниит, очень редкие литиофосфат, цестибтантит, витлокит, дорфманит, оверит и др.

Очень низкие значения таких геохимических индикаторных отношений, как $\text{K}:\text{Rb}$ (до 3,4 в калиевых полевых шпатах и 2,1 в лепидолите), $\text{Rb}:\text{Cs}$ (соответственно до 8,0 и 4,5), $\text{Nb}:\text{Ta}$ (0,05 в воджините и менее 0,01 в симпсоните и микролите), свидетельствуют о чрезвычайно высокой степени фракционирования расплавов и флюидов в процессе пегматитообразования на месторождении Берник-Лейк. Особый интерес представляют рост содержаний галлия и соответственно снижение величины отношения $\text{Al}:\text{Ga}$ от 1100 в полевых шпатах до 260 в некоторых слюдах. В связи с этим такие слюды могут быть промышленными источниками галлия.

Месторождение Бикита в Зимбабве

Гигантское месторождение редкометалльных пегматитовых руд комплексного типа Бикита находится в юго-восточной части Зимбабве. Его запасы вполне соизмеримы с запасами рудника Берник-Лейк: здесь разведано около 6 млн. т литиевой руды с содержанием Li_2O 2,9 % (в том числе около 2 млн. т петалита), 250 тыс. т руд бериллия, 100 тыс. т поллуцитовых руд с содержанием Cs_2O 24 %, примерно столько же эвкрипитовых руд, а также значительные количества лепидолита, кварца и полевого шпата. Пегматиты содержат также касситерит и минералы тантала, но их запасы не подсчитывались, поскольку при существующей схеме обогащения они не извлекаются.

Пегматитовое поле Бикита было открыто в 1909 г. как россыпное месторождение олова. В 1937 г. наряду с касситеритом из россыпи стали извлекать танталит и лишь в 1949 г. началась добыча берилла из коренных руд, а в 1950 г. рудник Ал-Хайят отгрузил первую партию литиевой руды. Следует подчеркнуть, что в течение многих лет разработка месторождения велась двумя рудниками, рассматривавшими объекты эксплуатации как отдельные пегматитовые тела. Даже в геологической литературе, не говоря уже о данных горнодобывающей промышленности, нередко описы-

вались два месторождения: собственно Бикита (существенно лепидолиновый пегматит, содержащий также петалит, сподумен, поллучит и берилл) и Ал-Хайят (существенно петалитовый пегматит, включающий сподумен, эвкрипит и небольшие линзы лепидолита). Лишь после обобщающих геологических работ Х.Дж. Мартина, выполненных в 1962–1964 гг., и более поздних исследований стало ясно, что данный объект представлен, по существу, единым крупным пегматитовым телом, сложным по морфологии (с многочисленными апофизами и сателлитами) и внутреннему строению.

По данным Х.Дж. Мартина, Главное пегматитовое тело (рис. 9) имеет длину около 1800 м и ширину выходов до 275 м. Тело полого погружается на восток, и его истинная мощность составляет 39 м в сечении рудника Бикита при углах падения контактов $15\text{--}35^\circ$ и 54 м в сечении рудника Ал-Хайят при углах падения $20\text{--}45^\circ$. Главное тело содержит примерно 65 % общего количества литиевых руд пегматитового поля Бикита.

Вторым по значению является Сподуменовое пегматитовое тело, где сконцентрировано до 20 % литиевых руд поля. Оно имеет длину 1200 м и падает на запад под углами от 20 до 75° , соединяясь на глубине с Главным телом. Истинная мощность этого тела в среднем 50 м.

Северным продолжением Сподуменового является пегматитовое тело Бумеранг, названное так по характерной форме в плане (по некоторым данным это самостоятельное тело). Его длина 450 м, мощность 18 м, падение на запад под углом 20° — такое же, как на северном окончании Сподуменового тела. Кроме перечисленных, в пегматитовое поле входят еще более 10 пегматитовых тел (см. рис. 9), общая длина которых составляет 4500 м.

Пегматитовые тела залегают в метаморфизованных осадочных и основных изверженных породах нижнеархейской серии Булаваяй, а также частично в ультраосновных изверженных породах, внедрившихся в метаморфическую толщу. Источником пегматитового материала считаются граниты, обнажающиеся, в частности, на расстоянии 1,5 км к югу от Главного тела. Это биотит-двуполевошпатовые граниты, занимающие до 60 % площади пегматитового поля. По текстурно-структурным особенностям среди них обычно выделяют гнейсовидные (наиболее древние), порфирировидные и массивные (самые молодые). Но взаимоотношения гранитов противоречивы, и наблюдаются случаи пересечения массивных гранитов порфирировидными.

Вопрос о генетической связи пегматитов с гранитами специально не изучался. Некоторые авторы подвергают сомнению возможность того, что рудопродуцирующими для редкометальных пегматитов были граниты, обнажающиеся на современном эрозионном срезе. Во всяком случае в пределах пегматитового поля не наблюдается закономерной пространственной зональности в распределении пегматитовых тел с различной минерализацией.

Все без исключения пегматитовые тела поля Бикита характеризуются зональным внутренним строением, причем по простиранию тел последовательность зон и их минеральный состав быстро изменяются. Достаточно

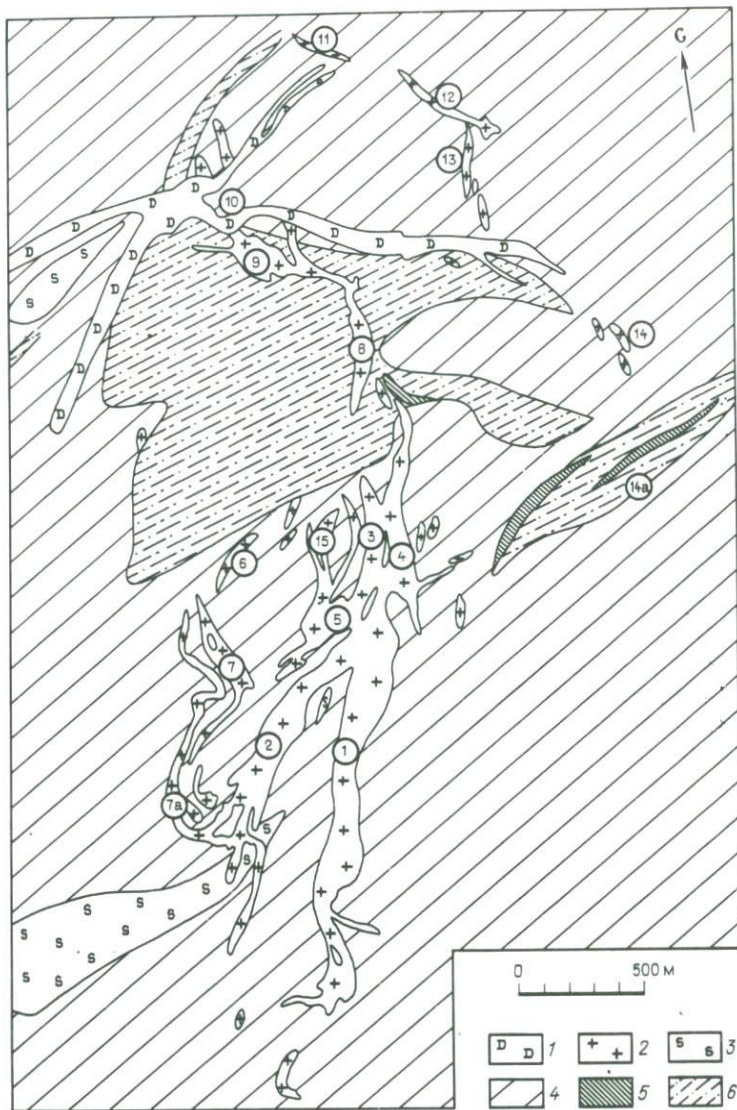


Рис. 9. Схематизированная геологическая карта пегматитового поля Бикита. По Х.Дж. Мартину:

1 — дайки долеритов; 2 — пегматиты; 3 — серпентиниты и тремолит-актинолитовые сланцы; 4 — амфиболиты, эпидиориты, хлоритовые сланцы; 5 — полосчатые железистые кварциты; 6 — доломиты, кальциево-силикатные породы, метаморфизованные пелитовые осадки и конгломераты. 1–15 — пегматитовые тела: 1 — Главное, 2 — Сподуменовое, 3 — Бумеранг, 4 — Восточное, 5 — Шафт, 6 — Западное, 7 — Большое Восточное, 7а — Большое Западное, 8 — Мов-Коп Южное, 9 — Мов-Коп Среднее, 10 — Мов-Коп Северное, 11 — Плотинное, 12 — Нигел Северное, 13 — Нигел Южное, 14 — Ранга Северное, 14а — Ранга Южное, 15 — Кладбищенское

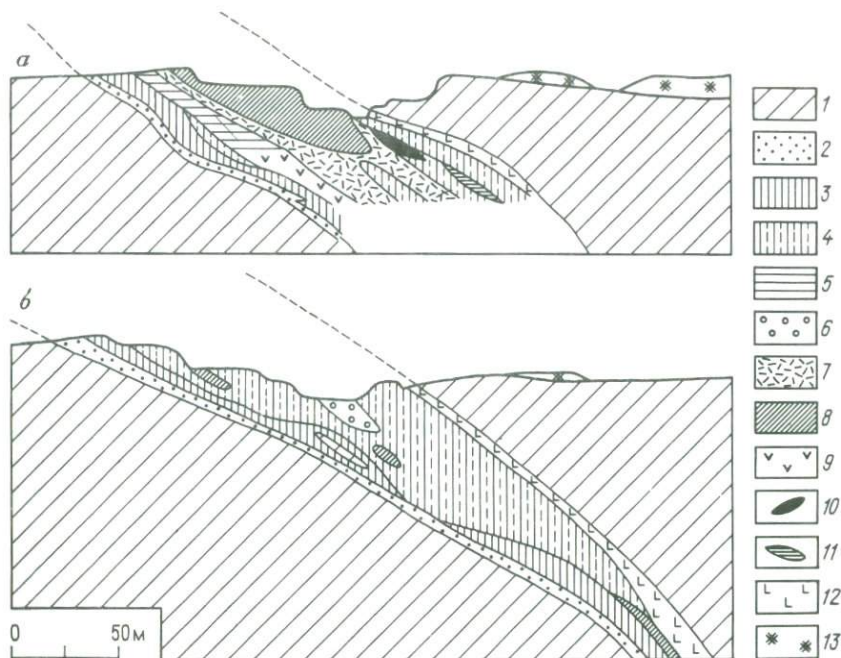


Рис. 10. Вертикальные разрезы Главного пегматитового тела месторождения Бикита в районе петалитового (а — Ал-Хайят) и лепидолитового (б) карьеров. По Х.Дж. Мартину:

1 — вмещающие амфиболиты; 2–6 — зоны: 2 — альбитовая лежачего контакта, 3 — ритмично-полосчатая, 4 — петалитовая, 5 — лепидолит-альбитовая, 6 — сподумен-зкрипитовая; 7–8 — лепидолит: 7 — с примесью полевых шпатов, 8 — массивный; 9 — сахаровидный альбит; 10 — поллуцит; 11 — кварц; 12 — микроклин висячего контакта; 13 — отвалы

резко различаются даже находящиеся на относительно небольшом расстоянии друг от друга два сечения Главного пегматитового тела.

В сечении лепидолитового рудника Бикита наблюдается зональность, более или менее симметричная по отношению к массивному лепидолитовому ядру (рис. 10, а). Примыкающие к нему промежуточные зоны сложены альбитом, лепидолитом, петалитом, сподуменом и поллуцитом. Боковые зоны состоят из полевых шпатов, кварца, слюды и содержат берилл. Обычно они представляют собой участки с чередованием слюдистых полос шириной 5–15 см с малым количеством берилла и ритмично-полосчатых плагиоклазовых зон, насыщенных бериллом. В контактовых зонах отмечаются кварц, альбит и слюды.

Рассмотрим некоторые особенности состава и строения этих зон от лежачего контакта к висячему (по описанию Х.Дж. Мартина).

В лежачем контакте развиты крупнозернистые породы, являющиеся маркерами (местное название „зона пятнистой собаки“). Эта зона мощностью 0,6–3 м состоит из кристаллов лепидолита диаметром 1–1,5 см

и просвечивающего серовато-белого кварца. Иногда в непосредственном контакте с вмещающими породами наблюдается оторочка циннвальдита мощностью от 3 до 10 см, а в некоторых случаях между слюдой и вмещающим амфиболитом имеется еще полоска мелкозернистого альбита. Полосы и прожилки альбита встречаются и в „зоне пятнистой собаки”, иногда совместно с параллельными контакту полосами кварца.

Нижняя боковая зона обычно отделяется от предыдущей полосой циннвальдита шириной 7–15 см, содержащей кристаллики берилла длиной до 5 см, ориентированные, как правило, перпендикулярно контакту. Основная часть зоны состоит из 12–15 циклов мелкозернистых альбит-лепидолитовых полос мощностью 8–30 см, т.е. суммарная мощность зоны составляет 1–4 м. Именно эта зона является главным источником берилла месторождения Бикита. Его округлые выделения розоватого цвета, размером от 2 до 15 см в поперечнике, реже крупнее, распределены неравномерно, но часто ориентированы перпендикулярно полосчатости. Часть внутренних полос по внешнему виду напоминает „зону пятнистой собаки”, поскольку они состоят из крупнозернистых выделений лепидолита, альбита и кварца.

Нижняя промежуточная зона мощностью до 9 м тоже имеет местное название — „бульжниковой”. Оно вызвано тем, что ближе к лепидолитовому ядру в массе мелкозернистого альбита встречаются округлые лепидолитовые „бомбы” диаметром 15–35 см, составляющие 25–50 % объема породы. По падению такая порода постепенно переходит в полосу альбит-лепидолитовых сростаний, содержащих небольшое количество кварца. Берилл в этой зоне отсутствует. В переменном количестве содержатся петалит, сподумен и эвкрипит, причем в северном направлении (ближе к карьере Ал-Хайят) значение этих минералов постепенно возрастает за счет лепидолита „бомб” и альбит-лепидолитовых сростаний.

Центральная зона в этом сечении представляет наибольший практический интерес. Лепидолитовое ядро протягивается непрерывно на 300 м по поверхности, но с глубиной выклинивается и делится на две линзы общей длиной 120 м. Ядро расположено асимметрично: в одном из горизонтальных сечений расстояние от его контакта до висячего контакта жилы составляет 13 м, а до лежачего — 90 м. На некоторых участках ядро окружено прерывистой кварцевой оболочкой толщиной до 4 м. Лепидолит центральной зоны мелкозернистый, массивный со средним содержанием оксида лития 3,5–4,3 %. Примесь альбита и кварца незначительна.

Верхняя промежуточная зона состоит из сподумена, кварца, сахаровидного альбита и петалита, причем относительное значение этих минералов меняется по простиранию тела. Внутри зоны находится линзообразная залежь почти мономинерального поллукита мощностью до 7,5 м и длиной до 190 м. Она пронизана сетью тонких прожилков лепидолита, в результате чего поллукитовый концентрат содержит 1 % Li_2O . Такая „лепидолитовая сетка” уникальна. Выше поллукитового тела залегает линза кварца, содержащего незначительную примесь сподумена в северной части карьера и амблигонита со слюдой — в южной. Видимая мощность линзы 1,5–3,5 м.

Верхняя боковая зона имеет переменную мощность (от 0,6 до 6 м) и

состоит в основном из крупных (до 30 см, иногда более) кристаллов микроклина, некоторого количества кварца и лепидолита. Ее границы с предыдущей и последующей зонами резко выражены. Содержание берилла в верхней боковой зоне незначительно.

Верхняя контактовая зона отделена от предыдущей боковой полосой альбита толщиной до 15 см. В ней также наблюдается немного кварца и циннвальдита. Выше развита мощная (до 60 см) оторочка крупнозернистого циннвальдита, кристаллы которого ориентированы незакономерно.

В сечении рудника Ал-Хайят зональность Главного пегматитового тела выглядит несколько проще: здесь преобладает петалитовая зона с небольшими линзами сподумена и эвкриптита, расположенными в центральной части тела. С обеих сторон это существенно литиевое тело окружено полевошпатовыми зонами (см. рис. 10, б).

При более детальном описании в разрезе Главного тела могут быть выделены следующие зоны (снизу вверх):

1) узкая контактовая – оторочка тонкозернистого альбита с постепенным переходом к боковой зоне;

2) нижняя боковая мощность 3–10 м, состоящая в основном из среднезернистого сахаровидного альбита;

3) промышленная, занимающая почти всю мощность тела, промежуточная (крупные кристаллы петалита и микроклина), включающая крупные линзы сподумена и небольшие линзы лепидолита;

4) верхняя боковая, включающая две подзоны: полосу очень крупных (до 1 м длиной) кристаллов микроклина, ассоциирующего с кварцем и слюдой, и располагающуюся над ней циннвальдитовую маркирующую оторочку мощностью 40–60 см – такую же, как в разрезе лепидолитового карьера Бикита;

5) контактовая шириной от 15 до 60 см, сложенная сахаровидным альбитом в сочетании с кварцем и мусковитом.

Таким образом, кварцевое ядро с амблигонитом и лепидолитом здесь отсутствует, хотя все эти минералы есть в промежуточной зоне, играющей в данном случае роль ядра. Главное же значение в этом сечении имеет петалит, составляющий на разных участках карьера 25–75 % объема всего пегматитового тела. По данным бурения в зоне карьера Ал-Хайят на глубине имеются альбит-лепидолитовые участки и линза поллуцита, аналогичные по составу описанным в сечении лепидолитового карьера Бикита. Но они, разумеется, не изменяют общей картины преобладания в данном сечении петалита, сподумена и эвкриптита при незначительной роли лепидолита, берилла и поллуцита.

Петалит слагает крупные кристаллы: их длина 60–120 см, поперечное сечение 30–40 см. Они обычно не содержат примесей и лишь изредка в них отмечаются включения сподумена и альбита по трещинам спайности, составляющие по объему 1–5 %. Эти включения почти не влияют на содержание оксида лития в поставляемом из карьера петалите, которое всегда варьирует от 4,0 до 4,2 %. По данным химических анализов данного минерала, содержание Li_2O в невыветрелом петалите составляет 4,55 % (табл. 2), а возле поверхности уменьшается до 3 %.

Таблица 2. Химический состав литевых минералов из двух главных рудников месторождения Бикита, %. По Х.Дж. Мартину

Компоненты	Рудник Бикита			Рудник Ал-Хайят			
	Лепидолит	Циннвальдит	Амблигонит	Сподумен	Петалит	Эвкрипит	Бикитаит
SiO ₂	51,63	45,33	0,96	68,12	77,61	47,28	55,79
TiO ₂	—	0,15	Не опр.	Сл.	Сл.	—	—
Al ₂ O ₃	27,84	30,30	34,81	26,28	17,88	40,10	26,68
Fe ₂ O ₃	0,12	1,28	0,05	0,17	0,16	0,41	0,07
FeO	—	3,43	—	—	—	—	—
MnO	0,05	0,99	—	—	—	—	—
MgO	0,03	1,10	Сл.	Сл.	Сл.	—	0,33
CaO	0,17	0,30	Сл.	Сл.	Сл.	—	—
Na ₂ O	0,30	0,50	0,17	0,18	0,09	0,11	0,10
K ₂ O	9,95	10,15	0,04	0,07	0,05	0,05	0,17
Li ₂ O	4,22	1,95	9,10	5,25	4,55	12,00	6,51
P ₂ O ₅	0,12	0,14	48,08	0,04	Не опр.	—	—
F	5,44	3,11	5,83	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	1,87	2,73	3,12	0,23	0,22	0,22	9,82
H ₂ O ⁻	—	0,17	Не опр.	0,12	0,10	0,07	—
Поправка на F	-2,28	-1,31	-2,45	—	—	—	—
Сумма	99,55	100,31	99,71	100,46	100,66	100,24	99,47

Максимальная мощность линз сподумена и эвкрипита 9 м. Эти минералы образуют тесную ассоциацию, но в центре линз несколько преобладает эвкрипит, а во внешних частях — сподумен. По всей мощности в линзах присутствует кварц, понижающий содержание оксида лития в добываемом сподумене до 4,4 %, а в эвкрипите — до 6,0 %.

В 1957 г. К.Хэрлбат описал новый литиевый минерал бикитаит — продукт изменения эвкрипита, встречающийся в карьере Ал-Хайят в виде белых землистых масс в линзах сподумен-эвкрипитового состава. Позже бикитаит был обнаружен и в карьере Бикита. Это гидросиликат лития и алюминия (см. табл. 2), имеющий формулу $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Повидимому, этот минерал присутствует и на многих других литиевых месторождениях, содержащих эвкрипит.

Берилл на месторождении добывался в значительных количествах: до конца 1961 г. его было выпущено 3304 т, что составило примерно 33 % всей продукции страны. Содержание оксида бериллия в концентрате составляло 10–12 %. Запасы берилла на месторождении значительны, но в связи с резким сокращением спроса в настоящее время он добывается лишь как попутный продукт при разработке литиевых руд.

Танталовая минерализация представлена на месторождении манганотанталитом, танталитом, симпсонитом и микролитом (табл. 3). Первые два минерала неравномерно распределены в кварц-альбитовых ассоциациях. В карьере Бикита значительное количество танталита сконцентрировано в бериллоносной зоне ритмичной полосчатости. Извлекаются только крупные кристаллы и сростки, в то время как основная масса мелких

Таблица 3. Химический состав минералов тантала месторождения Бикита, % (аналитик Е.Голдинг)

Компоненты	Рудник Ал-Хайят			Рудник Мдара
	Танталит*	Манганотанталит	Микролит	Симпсонит
Ta ₂ O ₅	67,20	71,10	74,36	69,46
Nb ₂ O ₅	9,76	5,06	4,78	1,84
SnO ₂	9,05	2,54	—	1,45
TiO ₂	0,07	Сл.	Не опр.	0,10
SiO ₂	0,53	7,20	1,20	1,60
Al ₂ O ₃	1,50	1,05	0,56	23,79
Fe ₂ O ₃	—	Сл.	—	—
FeO	1,70	0,69	0,77	0,60
MnO	7,77	10,00	Не опр.	0,32
BeO	0,54	—	"	—
MgO	0,79	0,24	"	Сл.
CaO	0,74	1,34	11,68	0,41
Na ₂ O	—	0,48	5,13	0,35
K ₂ O	—	0,20	0,47	0,13
H ₂ O ⁺	0,60	0,46	0,24	0,12
H ₂ O ⁻	—	0,02	0,02	0,32
P ₂ O ₅	Сл.	—	0,30	Не опр.
F	—	—	0,58	Сл.
Сумма	100,25	100,36	100,09	100,49

*Содержит примесь касситерита.

включений пропадает. В продававшемся колумбит-танталитовом концентрате содержалось 45–75 % оксида тантала (V). До 1961 г. было получено 160 т концентрата (38 % продукции страны), но в дальнейшем добыча тантала в Биките резко сократилась и в 1979 г. составляла всего 178 т (< 19 % продукции).

Из других минералов следует отметить прежде всего касситерит, который встречался в крупных сростках в кварц-альбит-мусковитовых агрегатах многих жил. Наряду с касситеритом россыпью он извлекался из пегматитов, но только в качестве попутного продукта. В пегматитах изредка отмечаются эвксенит, фергусонит, циркон, апатит, гранат, ильменит, магнетит, а также шпинель, тетраэдрит, малахит, азурит. Обращает на себя внимание отсутствие турмалина и многих других минералов, свойственных иным редкометалльным пегматитам.

Главная отличительная черта концентратов и измельченных до пудры продуктов, выпускаемых компанией „Бикита минералз“, — очень низкое содержание примесей (в %):

	Примеси		
	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Порошок петалита	0,07	0,05	0,7
Концентрат сподумена	0,12	0,2	0,2
Концентрат микролита	0,06	—	0,5

Добавим, что в концентрате лепидолита содержится 3,6 % Rb_2O при 4,0 % Li_2O , что позволяет рассматривать его как комплексное сырье на оба элемента. Однако в последнее время лепидолит как руда на щелочные элементы пользуется минимальным спросом из-за вредного воздействия на воздушную среду фтора, выделяющегося при разложении этого минерала. Как и петалит, он используется в основном в керамической и стекольной промышленности.

Анализы образцов крупных кристаллов калиевого полевого шпата и мусковита, отобранных автором в карьере Ал-Хайят (верхняя боковая зона), показывают достаточно высокие содержания рубидия и цезия: в калиевом полевоом шпате соответственно 0,76–0,80 и 0,022–0,028 %, в мусковите в среднем 0,62 и 0,05 %. Эти содержания соизмеримы с концентрациями редких щелочных элементов в других редкометалльных гранитных пегматитах [25], но в то же время в несколько раз ниже, чем в аналогичных минералах месторождения Берник-Лейк. Содержания цезия в калиевых полевых шпатах месторождения Бикита сравнительно низкие, в результате величина отношения $Rb:Cs$ составляет 27–36, в то время как калиевые полевые шпаты месторождения Берник-Лейк характеризуются значительно меньшим его значением: 8–10 (по данным П. Черны) и 15,2 (по данным Б.М. Шмакина).

Приведенные цифры и особенности минерального состава пегматитовых тел двух месторождений-гигантов свидетельствуют о некоторых различиях в последовательности формирования и дифференциации материала пегматитов. Но в главных чертах эти объекты очень похожи друг на друга.

Пегматиты США, Намибии и КНР

Из описаний двух крупнейших в мире комплексных пегматитовых месторождений, находящихся на значительном удалении, следует, что они весьма близки по размерам, залеганию, минералогии и геохимии. Оба месторождения содержат крупные сегрегации поллуцита и удовлетворяют в течение многих лет почти всю мировую потребность в цезии. Отчасти именно это предопределило слабую изученность других поллуцитсодержащих месторождений.

Как известно, все пегматитовые тела, содержащие поллуцит, относятся к группе хорошо дифференцированных пегматитов, богатых литием. По принятой в настоящей работе геохимической классификации пегматитовых полей и месторождений [13] — это бериллий-литий-цезий-танталовый геохимический тип. В его рамках выделяется не менее четырех парагенетических типов пегматитовых тел, содержащих поллуцит: микроклин-альбитовый с мусковитом, сподуменом, петалитом, амблигонитом, лепидолитом (к данному типу принадлежат, в частности, месторождения Берник-Лейк и Бикита); микроклин-сподумен-альбитовый; существенно альбитовый и лепидолит-альбитовый. В разных частях света известно несколько пегматитовых жил каждого из перечисленных типов. Поскольку в данной книге месторождения Европы, где имеются хорошо изученные поллуцитсодержащие пегматиты — на о. Эльба в Италии и Варутреска в

Таблица 4. Минеральный состав зон жилы Тин-Маунтин. По Дж.А. Реддену

Зона	Минералы		
	главные	второстепенные	акцессорные
Контактовая	Кварц (44), мусковит (39), плагиоклаз (17)	—	Апатит, касситерит, берилл, калиевый полевой шпат
Боковая	Альбит (47), кварц (35), мусковит (12), сподумен (4)	Калиевый полевой шпат (1), берилл (0,8)	Питиевый мусковит, апатит, амблигонит, касситерит
Первая промежуточная	Калиевый полевой шпат (50), кварц (33), альбит (10), мусковит (7)	—	Сподумен, литиофилит, касситерит
Вторая промежуточная	Калиевый полевой шпат (89), кварц (6), альбит (2)	Сподумен (1), литиофилит (1), берилл (0,4)	Мусковит, лепидолит, амблигонит, колумбит, апатит
Ядро	Кварц (55), сподумен (23), лепидолит (14), альбит (6)	Мусковит (1), берилл (0,5)	Поллуцит, касситерит, танталит, микролит, апатит

Примечание. В скобках указана объемная доля (в %) данного минерала в зоне.

Швеции, не рассматриваются, приведем описания нескольких месторождений США, Намибии и КНР.

В пределах пегматитовой провинции Блэк-Хиллс (шт. Южная Дакота, США), в 7 км к западу-юго-западу от г. Кастер, находится известная жила Тин-Маунтин. Это крупное секущее крутопадающее тело сложной морфологии с хорошо выраженной зональностью (табл. 4). Вмещающие породы — амфиболиты и кварц-мусковитовые сланцы, причем сланцы, содержащие турмалин и апатит, образовались в процессе экзоконтактовых изменений.

Следует иметь в виду, что второстепенные и акцессорные минералы нередко образуют в жиле крупные выделения: поллуцит — до 5 см, колумбит и танталит — до 3 см, апатит — до 2,5 см, касситерит и микролит — до 1,5 см в поперечнике. Кристаллы берилла достигают 30 см в длину, амблигонита — 60 см в поперечнике.

Жила Тин-Маунтин — яркий пример пегматитов с комплексной редкометальной минерализацией. В разное время здесь добывались олово, бериллий, ниобий, тантал, цезий, литий, мусковит, полевой шпат и кварц; было также извлечено большое число образцов для минералогических коллекций. Из жилы было получено несколько тонн поллуцита, и в этом отношении она является уникальной среди жил хр. Блэк-Хиллс.

Для пегматитов Тин-Маунтин характерна комплексность даже в пределах одной зоны. Так, боковая зона содержит крупные кристаллы сподумена и берилла, вторая промежуточная — берилл, амблигонит и сподумен, а кварцевое ядро, кроме литиевых минералов (сподумен и лепидолит), — берилл, поллуцит, танталит и микролит.

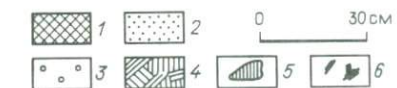
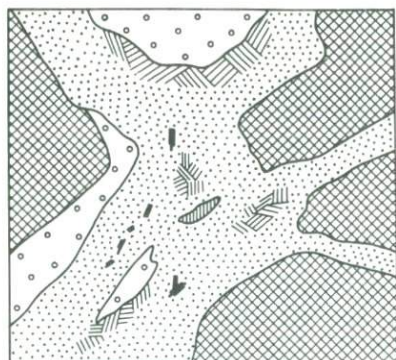


Рис. 11. Схема строения центральной части жилы Тин-Маунтин (зарисовка): 1 — микроклин; 2 — альбит; 3 — кварц; 4 — мусковит; 5 — поллүцит; 6 — танталит

калиевого полевого шпата и сподумена 90 см, размер выделений кварца — 10–20 см, и только размер зерен альбита обычно не превышает 3 см. Вторая промежуточная зона выделена по резкому возрастанию количества калиевого полевого шпата и сокращению числа кристаллов мусковита. Кроме того, в этой зоне появляются амблигонит, лепидолит и берилл, отсутствующие в первой промежуточной зоне.

Ядро жилы представляет собой красочный агрегат очень крупных выделений минералов. Кристаллы сподумена достигают 4 м в длину при ширине до 1 м. По описанию Дж.А. Реддена, центральная часть одного из самых крупных кристаллов была прозрачной и бесцветной, а внешняя кайма — обычного белого цвета. Лепидолит, содержащийся в значительных количествах, как правило, мелкозернистый, бледно-лиловой окраски. Некоторые более крупные кристаллы имеют полусферические поверхности спайности.

В центре пегматитового тела (рис. 11) между крупными кристаллами сподумена, ассоциирующего с лепидолитом, клевеландитом и кварцем, автору удалось наблюдать изометричное выделение поллүцита (3x4 см в поперечнике), черные округлые включения танталита (до 1 см) и небольшие коричневатозеленые кристаллики микролита с характерным жирным блеском на изломе. Разумеется, сохранившиеся участки стенок карьера не дают полной количественной картины состава зоны, тем не менее можно получить общее представление о процессе накопления в остаточном флюиде, из которого кристаллизовались минералы центральной части пегматитового тела, ряда компонентов, не входивших в состав внешних зон, прежде

Контактная зона в разных участках имеет ширину от 5 до 15 см. Она сложена мелкозернистой породой со средним размером зерен 2 мм (лишь иногда размер кристаллов калиевого полевого шпата достигает 5 мм). Плагиоклаз у контакта с амфиболитами представлен олигоклазом (№ 15–20), а у контакта с боковой зоной — альбитом (№ 7–10).

Мощность боковой зоны тоже непостоянна: от 30 см до 2,5 м. Размер выделений калиевого полевого шпата и сподумена в этой зоне до 15 см, берилла и амблигонита — до 10 см. Клиновидные, расширяющиеся в сторону ядра кристаллы берилла ориентированы перпендикулярно контакту жилы.

Промежуточные зоны жилы Тин-Маунтин достаточно мощные — до 10 м, обычно 4–6 м. Это крупнозернистые зоны: длина кристаллов

Таблица 5. Содержание натрия (в %) и элементов-примесей (в г/т) в минералах жилы Тин-Маунтин (аналитики А.И. Кузнецова, Д.Я. Орлова, С.К. Ярошенко)

Минерал	Na	Li	Rb	Cs	Ba	Tl
Калиевый полевой шпат блоковый	1,08	1440	2340	1360	30	70
Мусковит: из кварц-мусковитового агрегата	0,53	3420	9150	1450	4	40
из ядра (поздний)	0,40	1070	9850	2060	40	30

всего — цезия, тантала, редкоземельных и радиоактивных элементов.

В жиле Тин-Маунтин отмечаются очень высокие концентрации примеси цезия в калиевом полевоом шпате и мусковите (табл. 5), что соответствует, видимо, пределам изоморфной емкости. Они близки к содержаниям этого элемента в калиевом полевоом шпате и мусковите на месторождении Берник-Лейк. В то же время концентрации рубидия в минералах жилы Тин-Маунтин сравнительно низкие. Величина отношения Rb:Cs в калиевом полевоом шпате описываемой жилы всего 1,72, тогда как в том же минерале месторождения Берник-Лейк она составляет обычно 8—10 (по данным П. Черны) или превышает 15 (по данным Б.М. Шмакина). На месторождении Бикита значение этого отношения достигает 27—36, но это связано с относительно низкими содержаниями цезия.

Пегматиты Намибии являются третьим (после Канады и Зимбабве) крупным источником поллукита. К сожалению, в литературе нет современных детальныx описаний этих пегматитов. По данным Е.Н. Камерона и О. Кнорринга [36], в районе Карибиб — Омаруру (Дамараленд) развиты крупные пегматитовые тела, содержащие „купола“ литиевых руд. Минеральный состав этих руд разнообразен: лепидолит, петалит, амблигонит и ассоциирующий с ними циннвальдит. Следует отметить почти полное отсутствие сподумена. Пегматиты богаты бериллом, тантало-ниобатами, в них присутствует поллукит. Запасы лепидолитовых руд Намибии составляют 350 тыс. т, петалита — 200 тыс. т, а суммарное содержание оксида лития в пегматитах оценивается в 200 тыс. т. Месторождения окрестностей г. Карибиб содержат 50 тыс. т поллукита, в котором концентрация Cs₂O составляет 28,6 %, а Rb₂O — 1,3 %.

Поллукитсодержащие пегматитовые тела всегда зональны. Наиболее важными в промышленном отношении являются первичная берилл-плагиоклаз-кварцевая зона (продуктивна на берилл) и вторичные лепидолитовые зоны (на лепидолит, поллукит, минералы тантала). Обычно зоны замещения, богатые лепидолитом, тяготеют к обособлениям позднего кварца, расположенным в центре жил или вблизи их всяческого контакта. Кроме минералов лития, бериллия, цезия и тантала в состав пегматитов входят альбит, микроклин, мусковит, касситерит, топаз, гранат, турмалин, самородный висмут.

Вмещающие породы вблизи контактов пегматитовых тел подвергаются интенсивной биотитизации и окварцеванию. Наблюдающиеся в ряде экзоконтактов мраморы перекристаллизованы и обогащены слюдами.

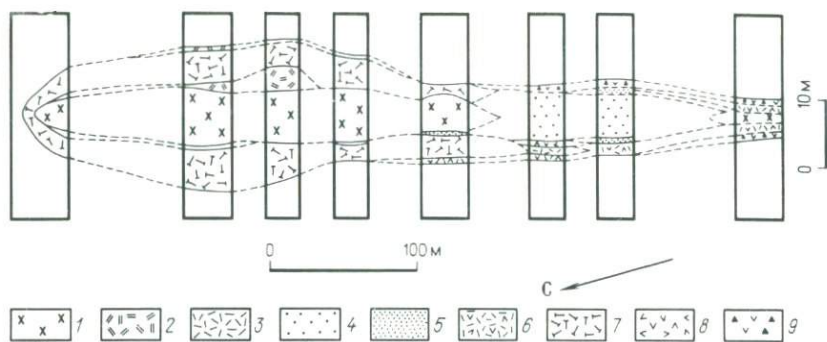


Рис. 12. Разведочный план жилы Ван-дер-Мед (по данным документации канав). По Е. Камеруну:

1 — кварц; 2 — лепидолит; 3—9 — пегматит: 3 — мусковитовый, 4 — кварц-микрoклиновыи, 5 — топаз-амблигонит-кварц-плаггиоклазовыи, 6 — берилл-кварц-плаггиоклазовыи, 7 — мусковит-кварц-микрoклин-плаггиоклазовыи, 8 — кварц-плаггиоклазовыи, 9 — мусковит-кварц-плаггиоклазовыи

Для района в целом характерны крупные размеры промышленных пегматитовых жил. Так, тело Эразмус прослежено на многие сотни метров при мощности до 140 м; кварцевое ядро имеет размеры 750x15 м, линза лепидолитового грейзена — 450x24 м. Пегматитовая жила Ван-дер-Мед протягивается на 442 м (видимая длина), тело Гассов — на 305 м при мощности в несколько десятков метров.

Для примера приведем описание зональности одной из жил Ван-дер-Мед, расположенной в гранитах на западном склоне ущелья Эронго (рис. 12). Простираение тела северо-восточное (15—20°), падение — на восток под углами 70—80°. Главными по объему зонами являются внешняя (полевошпатовая), промежуточная, содержащая редкометалльную минерализацию, и кварцевое ядро, состоящее из двух линз. Полевошпатовая зона состоит из плаггиоклаза, кварца и мусковита. В ней наблюдаются крупные кристаллы черного турмалина, ориентированные перпендикулярно контактам.

Промежуточная зона в северной части жилы состоит в основном из литиевой слюды, альбита и кварца. Именно здесь встречается поллуцит. В южной части промежуточная зона разделяется на две подзоны различного состава. Внешняя — топаз-амблигонит-кварц-плаггиоклазовая — находится между боковой зоной (мусковит-кварц-плаггиоклазовой) и кварц-микрoклиновой зоной, окружающей кварцевое ядро. Вторая промежуточная подзона имеет берилл-кварц-плаггиоклазовый состав и содержит кристаллы берилла белого цвета длиной до 95 см при диаметре до 50 см. Вдоль контакта внешней подзоны с боковой зоной встречается танталит.

В пегматитовом поле Дамараленд наблюдаются постепенные переходы от пегматитов к материнским пегматоидным гранитам. К.А. Власов особо подчеркивал, что эти взаимоотношения являются доказательством тесных генетических связей редкометалльных пегматитов с гранитами. Следует

упомянуть еще две особенности пегматитов данного поля: крутое, как в жиле Тин-Маунтин, залегание тел пегматитовых (этим поле отличается от описанных ранее месторождений-гигантов) и интенсивное изменение вмещающих пород, свидетельствующее об удалении части летучих компонентов из пегматитовых тел.

Монгольский Алтай — еще одна пегматитовая провинция, в которой известна и хорошо изучена поллуцитовая минерализация.

В пределах жильной зоны пегматитов с комплексной редкометальной минерализацией на площади примерно 7,5 км² наблюдается около 30 пегматитовых тел [13]. Большинство жил имеет северо-западное простирание, совпадающее с простиранием зоны и провинции в целом, и пологое (12–25°) падение на юго-запад. Вмещающими породами комплексных жил обычно служат амфиболиты (метаморфизованные габброиды), а жил с иной минерализацией — сланцы и граниты. Длина самых крупных, приуроченных к габброидам жил достигает 1000 м, а мощность — 40 м. Жилы в сланцах протягиваются на расстояние до 600 м при мощности не более 10 м.

Наиболее хорошо изученная жила полого погружается к юго-западу, прослежена на 1000 м по простиранию, на 700–800 м по падению. Ее мощность в основном 25–40 м, но в раздувах, приуроченных к участкам сопряжения разломов, значительно увеличивается. Главный куполовидный раздув в плане имеет овальное сечение (250×150 м). Он характеризуется концентрически-зональным строением; выделяются следующие зоны (от контактов к центру):

1) графической и неяснографической структуры (мощность 3–12 м), состоящая из микроклина и кварца;

2) гнезд сахаровидного мелкозернистого альбита в кварц-мусковит-микроклиновом мелкоблоковом пегматите (3–17 м);

3) анхимономинеральная микроклин-пертитовая блоковая (10–35 м) с небольшими участками неяснографического пегматита;

4) мусковит-кварцевая (4 до 13 м), содержащая реликты микроклина и явно развивающаяся за счет предыдущей (иногда эта зона отсутствует);

5) сподумен-альбитовая (5–11 м), состоящая на 60–70 % из альбита, тонкопластинчатого во внешней части зоны и клевеландита — во внутренней;

6) сподумен-кварцевая (8–10 м), сложенная на 80 % кварцем и содержащая крупные (до 6 м в длину) кристаллы сподумена, а также микроклин и альбит;

7) прерывистая мелкозернистая мусковит-альбитовая (в верхней части раздува до 8 м);

8) альбит-лепидолитовая переменной мощности, состоящая на 50–70 % из лепидолита и содержащая кроме альбита мусковит и кварц;

9) кварцевое ядро размером 10×35 м на поверхности и до 30×160 м на глубине, содержащее крупные блоки микроклина (до 5 м), а в крайних частях — скопления поллуцита (до 1 м в поперечнике) и кристаллы сподумена (до 3 м длиной).

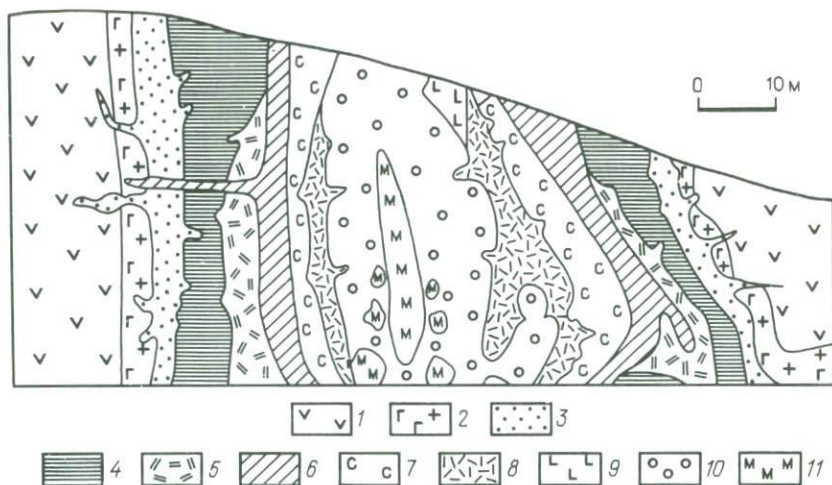


Рис. 13. Схематический вертикальный разрез куполовидного раздува жилы № 3, Монгольский Алтай. По [13]:

1 — вмещающие габбро; 2—9 — зоны: 2 — среднезернистого и графического пегматита, 3 — сахаровидного альбита, 4 — мономинерального микроклин-пертита, 5 — мусковит-кварцевая, 6 — сподумен-клевеландитовая, 7 — сподумен-кварцевая, 8 — мусковит-альбитовая, 9 — лепидолитовая; 10 — кварцевое ядро; 11 — блоковый микроклин

Обособления поллуцита характерны и для сподумен-кварцевой зоны, так что, по существу, эта зона могла бы постепенно переходить в кварцевое ядро, но отделена от него двумя зонами явно более позднего происхождения.

Кроме минералов лития и цезия в участке раздува содержится и другая редкометалльная минерализация. Во внешней зоне встречаются синевато-зеленый берилл и колумбит, во второй — берилл зеленовато-желтого цвета, тантало-ниобаты с различным соотношением минералов, минералы лития, урана и висмута. В мусковит-кварцевой зоне наблюдаются многочисленные акцессорные минералы, в том числе голубовато-зеленый берилл, колумбит, ниобо-танталит, циркон, висмутовые минералы. В сподумен-альбитовой зоне отмечаются берилл, танталит-колумбит, микролит, минералы висмута. Для сподумен-кварцевой зоны типичны белый берилл, гранат, танталит, циркон. В зонах 7 и 8 локализуются литиофилит, танталит-колумбит, джалмаит, розовый берилл, стрюверит и многие другие минералы.

В зонах раздува в качестве акцессорных минералов постоянно присутствуют также апатит, сфен, рутил, магнетит, ильменит, флюорит. Почти во всех зонах отмечается турмалин, причем в зонах 7 и 8 он полихромный.

Представление о взаимоотношениях зон куполовидного раздува дает составленный М.В. Кузьменко [13] схематический вертикальный разрез (рис. 13). Из него следует, что зоны 2, 4, 5, 7 и 8 имеют метасоматическую природу, поскольку их апофизы пересекают другие зоны, и, кроме того,

сами зоны занимают иногда секущее положение либо прерывисты. Любопытно также увеличение количества блокового микроклина в центре кварцевого ядра. Здесь в одном из сечений наблюдается скопление крупных блоков микроклина в центре раздува размером 10×12 м.

Аналогичный характер, но значительно меньшие размеры присущи другим купольным раздувам в висячем контакте жилы. За их пределами, в пологозалегающей части пегматитового тела, зональность развита гораздо слабее. Здесь можно объединить все зоны в две: а) внешнюю кварц-микроклинового состава и графической или неяснографической структуры, в которой проявлено замещение минералов сахаровидным альбитом (аналог второй зоны раздува); б) внутреннюю блокового микроклина (аналог третьей и девятой зон раздува) с участками кварц-мусковитового замещающего комплекса (аналог зоны 4).

Следует подчеркнуть, что в пределах главного штокообразного раздува наблюдается закономерное изменение содержаний и соотношений редких элементов в минералах переменного состава, элементов-примесей в породообразующих минералах. Например, величина отношения тантала к ниобию изменяется от 1:2 во внешних (высокотемпературных) зонах до 6:1 и более во внутренних (относительно низкотемпературных). В результате колумбит внешней зоны сменяется танталит-колумбитом, ниоботанталитом и танталитом. Во внутренних зонах наряду с танталитом присутствуют и другие минералы тантала: микролит, джалмаит, стрюверит, торолит, иксиолит.

Содержание различных компонентов в комплексных рудах следующее (в %): Li_2O 0,5–0,8; Rb_2O 0,5–0,7; Cs_2O 0,1–0,5; BeO 0,04–0,09; Ta_2O_5 0,01–0,05; Nb_2O_5 0,006–0,01. Наиболее богатая комплексная минерализация приурочена к сподумен- и лепидолитсодержащим зонам. Только для бериллия максимум содержаний отмечается в гнездах сахаровидного альбита (зона 2) и в мусковит-кварцевой зоне (4), что свидетельствует, по-видимому, о наличии значительных количеств берилла в первичных зонах пегматитового тела. В процессах альбитизации, лепидолитизации и кварц-мусковитового замещения берилл претерпел перекристаллизацию, выразившуюся в изменении состава элементов-примесей и цвета минерала.

Весьма примечательно, что ни описанная жила, ни другие жилы редкометальных пегматитов Монгольского Алтая не содержат касситерита. Геохимически эта пегматитовая провинция может быть охарактеризована как стерильная в отношении олова.

Глава 3

ТАНТАЛ-ОЛОВО-ЛИТИЕВЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Выделенный в данной работе тип тантал-олово-литиевых месторождений обладает рядом особенностей, которые не позволяют объединить его ни с типом комплексных месторождений, о которых шла речь ранее, ни

с типом бериллий-тантал-литиевых месторождений, рассматривающихся далее. Разумеется, границы между типами весьма условны и в значительной мере определяются экономическими факторами. Последние изменяются во времени, различны в странах с разной стоимостью рабочей силы (и так далее). Но все же есть некоторые основания выделять в настоящее время группу месторождений, представляющих первоочередной интерес именно в качестве источников тантала и олова.

Почти все месторождения редкометалльных пегматитов, известные до второй мировой войны, начали эксплуатироваться как оловоносные объекты. Это справедливо и для большинства комплексных, и для бериллий-тантал-литиевых месторождений, всегда содержащих то или иное количество примеси касситерита. Первоначальный интерес к олову зафиксирован во многих названиях месторождений, пегматитовых полей и пегматитовых поясов — таких, например, как олово-сподуменовый пояс Каролин или оловорудное поле Бикита. С появлением крупных оловорудных месторождений иного генетического типа значение пегматитов как источников касситерита стало снижаться, и на многих оловоносных пегматитовых объектах добыча была прекращена, если другой элемент или минерал, присутствовавшие в тех же пегматитовых жилах, не дали месторождениям новую жизнь.

Тем не менее и в настоящее время существуют или обнаруживаются новые месторождения, на которых главный интерес представляет именно олово (вместе с танталом). Связь этих двух элементов заключается не только в обычном парагенезисе касситерита и минералов ряда колумбит — танталит в пегматитовых жилах и отдельных зонах пегматитовых тел. В последние десятилетия установлено постоянное присутствие включений танталита в зернах касситерита из пегматитов. Количество таких включений может быть различным — вплоть до преобладания массы танталита над массой минерала-хозяина. Именно это обстоятельство стало причиной появления нового типа танталового сырья — шлаков оловоплавильных заводов, работающих на касситерите из пегматитов, редкометалльных гранитов и (или) россыпей, образующихся при их разрушении. В последние годы этот тип сырья стал главным источником тантала [30, 43].

Необходимость выделения специального тантал-олово-литиевого типа редкометалльных пегматитовых месторождений определяется прежде всего возросшим интересом к ним как к источнику тантала. К этому типу относится крупнейшее в капиталистическом мире месторождение тантала Гринбушес (Австралия). Не исключено, что в ряде стран после ревизии получат новую жизнь старые пегматитовые жилы, разрабатывавшиеся на олово еще до появления спроса на тантал и поэтому не изученные в достаточной мере [30].

Второй причиной, обусловившей выделение данного типа месторождений, является длительная рентабельная эксплуатация пегматитовых месторождений олова и тантала в северо-западной части Зимбабве, прежде всего — месторождения Камативи. Хотя эти месторождения обрабатываются ныне подземным способом, они все же успешно конкурируют с оловорудными месторождениями других генетических типов. Следует подчерк-

нуть, что тантал из месторождений этого района получают лишь как попутный металл (в шлаках оловоплавильного завода), а литий вообще не извлекается [39].

В месторождениях пегматитов, рассмотренных далее в качестве примера, литий также не используется — либо из-за того, что эксплуатируются верхние, интенсивно выветрелые горизонты месторождений (Гринбушес, ряд месторождений Центральной Африки), либо в связи с отсутствием соответствующего оборудования на обогатительных фабриках (Камативи и многие другие объекты). Однако все пегматиты данного типа содержат сподумен и (или) другие минералы лития, и из невыветрелых участков таких объектов могут быть добыты литиевые руды высокого качества.

Минералогически тантал-олово-литиевые пегматиты отличаются от пегматитов комплексного типа отсутствием значительных скоплений поллукита, а от бериллий-тантал-литиевых — низкими содержаниями берилла при явно более высоких концентрациях касситерита. По соотношению породообразующих минералов тантал-олово-литиевые пегматиты, как правило, относятся к микроклин-сподумен-альбитовому парагенетическому типу [13].

Месторождение Гринбушес в Австралии

Пегматитовое поле Гринбушес (площадь 110 км²) находится на юго-западе Австралии, в юго-западной части провинции Йилгарн. Рудничный поселок Гринбушес расположен в центре поля, рядом с Юго-Западной автомагистралью и железнодорожной линией, связывающей район с океанским портом Банбери (в 70 км от него).

Оловянные россыпи были обнаружены в районе в 1888 г. Уже в начале текущего столетия здесь проживало 3 тыс. чел., имелась оловоплавильня. Долгое время на месторождении извлекался только касситерит, хотя танталит был известен с 1893 г. В 1944 г. как попутный продукт начали получать и танталовый концентрат, и только в конце 70-х гг. он приобрел особое значение в связи с резким повышением цен на тантал. К 1982 г. месторождение поставило более 21 тыс. т оловянного концентрата с содержанием олова 72 % и 2043 т танталового концентрата, содержащего 40 % Ta₂O₅.

Главное пегматитовое тело месторождения Гринбушес прослежено на 3300 м и на поверхности имеет ширину 10–230 м (рис. 14). Простираение его северо-западное, падение на запад под углами 20–80°. К востоку, северу и югу от главного тела отмечаются относительно небольшие пегматитовые тела-сателлиты, образующие вместе с ним пегматитовое поле кулисообразно расположенных жил. В нескольких километрах к северу от главного тела (лог Нью-Зилэнд) наряду с пегматитами выявлены кварцевые жилы с касситеритом.

Пегматиты интенсивно каолинизированы до глубины 50 м, что позволяет разрабатывать их без применения буровзрывных работ и подвергать обогащению без предварительного измельчения. Это дает возможность вести экономически рентабельную эксплуатацию пегматитов с относительно низким содержанием полезных компонентов: 0,012 % олова и 0,002 %

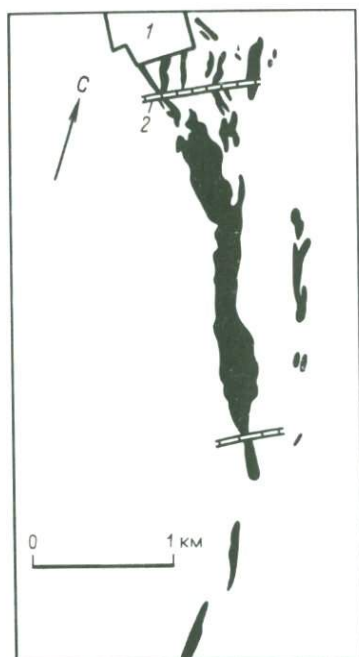


Рис. 14. Морфология пегматитовых тел (черное) месторождения Гринбушес. По М.Хэтчеру и Б. Болито:

1 — жилые кварталы поселка Гринбушес;
2 — дайки кварцевых долеритов

оксида тантала (V) в рыхлой массе. Но по этой же причине на месторождении не извлекается сподумен, содержание лития в котором в коре выветривания резко понижено.

С 1977 г. на месторождении велось разведочное бурение с целью изучения пегматитов ниже зоны выветривания. Полученные данные позволили уточнить строение и минеральный состав главного пегматитового тела (табл. 6), определить содержания рудных минералов. Зональность тела не является концентрической, ее определяют как асимметрично-полосчатую. Кварцевое ядро отсутствует, а макси-

мальная мощность кварцевых линз, приуроченных к зоне калиевого полевого шпата, — 2 м.

Кроме указанных нерудных минералов для пегматитов характерны ильменит и оксиды железа; в малых количествах содержатся рутил, циркон, шпинель и монацит.

Главным рудным минералом является касситерит, представленный кристаллами и массивными зернами от черного до красновато-коричневого цвета. Минералогические и электронно-зондовые исследования показывают постоянное присутствие в касситерите тантала. Он образует многочисленные включения танталита размерами обычно менее 65 мкм,

Таблица 6. Минеральный состав зон пегматитов месторождения Гринбушес

Зона	Минералы	
	главные	акцессорные
Экзоконтактовая Контактовая	Биотит, хольмквистит Альбит, кварц, турмалин	Турмалин, гранат, арсенопирит Гранат, апатит, мусковит, минералы олова, тантала, ниобия
Калиево-полевошпатовая	Кварц, микроклин	Турмалин, сподумен
Альбитовая	Альбит, кварц, турмалин, мусковит	Апатит, сподумен, минералы олова, тантала, ниобия
Сподуменовая	Сподумен, кварц	Альбит, апатит

но, кроме того, входит и в субмикроскопической форме, по-видимому, в виде твердого раствора.

Танталит, не связанный с касситеритом, встречается в пегматитах в виде мелких призм с прямоугольным сечением или удлинённых брусочков. Значение отношения $Ta_2O_5 : Nb_2O_5$ варьирует в нем от 0,8 до 2,8 и в среднем составляет 1,6. Вторым по значению танталовым минералом на месторождении является стибитотанталит. Он слагает небольшие округлые зерна от медового до желтовато-серого цвета. Средняя величина тантало-ниобиевого отношения составляет для этого минерала 5:1. Среди других танталовых минералов на месторождении выявлены тапиолит, воджинит, микролит и холтит (сложный боросиликат сурьмы, алюминия и тантала).

После обогащения касситеритовый и танталитовый концентраты подвергаются гидрометаллургической обработке для удаления примеси сурьмы. В касситерите, обработанном плавиковой кислотой, остается еще около 3 % Ta_2O_5 . При восстановлении олова из касситерита (с помощью электродуговой плавки) тантал переходит в состав шлака, который продается под названием „танталовое стекло“; содержания наиболее важных компонентов в нем следующие (в %): Ta_2O_5 — 20; Nb_2O_5 — 6; Sn — 1; SiO_2 — 30; CaO — 15; FeO — 6; Al_2O_3 — 5; MgO — 3; ZrO_2 — 1 и Sb_2O_3 — 0,03.

По состоянию на 1981 г. компания „Гринбушес“ располагала огромными запасами: 28,1 млн. т руды со средними содержаниями (в %): Sn — 0,114; Ta_2O_5 — 0,043 и Nb_2O_5 — 0,031. Здесь была пущена специальная фабрика по переработке танталовых концентратов с годовой производительностью 227 т (500 тыс. фунтов) оксида тантала (V) (для сравнения упомянем, что другой крупнейший производитель тантала — канадская компания „Танко“ выпустила в 1980 г. 155 т оксида металла).

Считается, что именно резкое расширение выпуска тантала на месторождении Гринбушес вызвало критическую ситуацию по этому металлу на капиталистическом рынке. Как известно, вплоть до 1979 г. наблюдался быстрый и устойчивый рост потребления и цен на тантал. Годовое производство в 1979 г. достигло 1219 т (в пересчете на металл), а стоимость танталового концентрата — 125 дол. за фунт содержащегося в нем Ta_2O_5 (по сравнению с 10 дол. в 1955 г.). Однако замена дорогостоящего тантала алюминием в части электроконденсаторов, с одной стороны, и выпуск на рынок крупных партий танталового концентрата (особенно компанией „Гринбушес“) — с другой, привели к резкому падению цен на этот концентрат: до 24 дол. за фунт оксида тантала (V) в 1982 г. В связи с этим, а также из-за общей неблагоприятной ситуации в экономике в настоящее время месторождение Гринбушес эксплуатируется далеко не на полную мощность [43].

Месторождение Камативи в Зимбабве

Название „Камативи“ в геологической литературе имеют и формация кристаллических сланцев докембрия, слагающая значительные площади на северо-западе Зимбабве, и приуроченный к этим сланцам пегматитовый

пояс, протягивающийся в восточно-северо-восточном направлении через г. Камативи (другое его название — оловорудный пояс Уанки), и горнорудный район, возникший в процессе эксплуатации пегматитового поля Камативи. В последнем значении — как название крупного месторождения олова, тантала и лития в пределах одноименного пегматитового поля — оно и применяется в данном случае.

Наличие олова в районе установлено еще в 20-х гг., но впервые касситеритовый концентрат поступил на рынок в 1936 г. До 1950 г. в малых масштабах разрабатывались элювиальные и аллювиальные россыпи. Затем в Камативи, самом богатом из месторождений, началась подземная и открытая эксплуатация пегматитовых тел, сопровождавшаяся интенсивными буровыми работами для оценки перспектив рудного поля. В течение 1955—1962 гг. в несколько этапов была построена крупная обогатительная фабрика производительностью 1350 т руды в сутки; к 1974 г. мощность фабрики возросла до 56 тыс. т в месяц.

Для пегматитового поля Камативи характерны протяженные (до 2 км) пологозалегающие жилы, нередко образующие куполовидные (типа „перевернутого блюда“) залежи. Их мощность обычно измеряется несколькими метрами, максимальная — до 30 м — отмечается, как правило, в центральной части тел. Буровыми скважинами вскрыто несколько горизонтов пегматитовых жил, а на глубине около 350 м — второй ярус куполовидных тел. Жилы имеют апофизы, нередко соединяются одна с другой.

Кроме пологозалегающих, в этом и соседних полях известны крутопадающие (70° и более) дайкообразные пегматитовые тела. Хотя взаимоотношения жил этих двух типов изучены недостаточно, некоторые исследователи рассматривают „вертикальные тела“ как рудоподводящие для пологих жил [40].

Практически все жилы района залегают в слюдяных сланцах формации Камативи, но несколько тел пересекают соседние гранитогнейсы и метаморфические породы формации Инянту. Возраст пегматитов — около 1 млн. лет. Предполагается, что их источником служили образования, находящиеся на большой глубине — в магматических очагах ультраметаморфического характера.

Зональность пегматитов выражена слабо. Выделяются четыре минеральных ассоциации, называемые также фазами и присутствующие совместно почти в каждом пегматитовом теле: 1) калиево-полевошпатовая; 2) альбитовая; 3) мусковит-кварцевая; 4) кварц-мусковитовая.

Калиево-полевошпатовая ассоциация (фаза) состоит из крупных кристаллов микроклин-пертита розового или белого цвета, кварца, мусковита и плагиоклаза. Обычно кристаллы калиевого полевого шпата (длина до 1 м, иногда более) находятся в центральной части жилы и ориентированы приблизительно перпендикулярно контактам. Сподумен и амблигонит, если они присутствуют, относятся к этой же ассоциации. Минералы альбитовой ассоциации корродируют блоки калиевого полевого шпата.

Альбитовая ассоциация кроме мелких или средних по размеру кристаллов альбита включает кварц и мусковит. Она слагает основную часть

как пологих, так и крутопадающих жил. Цвет породы может быть белый, розовый, красновато-коричневый, серо-зеленый — в зависимости от цвета и степени изменения слагающих минералов. Обычными акцессорными минералами являются турмалин, касситерит, ортит, танталит и минералы железа.

Мусковит-кварцевая ассоциация характерна для краевых частей жил, где образует оторочки мощностью до 10 см. Пластины мусковита обычно ориентированы перпендикулярно контактам. Кварц и присутствующий в подчиненном количестве альбит мелко- или среднезернистые. В качестве акцессорного минерала иногда отмечается касситерит. Окраска породы самая разнообразная: белая, серая, зеленовато-серая, коричневая, пурпурная, розовая.

Кварц-мусковитовые средне- или крупнокристаллические прожилки нередко пересекают участки, сложенные калиево-полевошпатовой или альбитовой ассоциациями. Взаимоотношения с контактовой ассоциацией того же состава не ясны, но не исключено, что они кристаллизуются из одного и того же осадочного флюида вдоль приконтактных или секущих жилу трещин.

Кроме упомянутых минералов в пегматитах встречаются также апатит, гранат, хлорит, танталит-колумбит, лепидолит, циннвальдит, петалит и литиофилит. Из некоторых жил извлекались берилл и микролит. Полого-залегающие жилы Камативи могут быть разделены на литийсодержащие (в основном со сподуменом) и лишенные литиевой минерализации. Однако поскольку минералы лития из пегматитов этого района никогда не извлекались и несмотря на высокие содержания (в среднем 0,5–0,7 % оксида лития) направлялись в отвал, такое деление не подкреплено надежными разведочными данными.

За 1954–1965 гг. на месторождении добыто 1033 тыс. т руды из подземных выработок и 2896 тыс. т из карьеров. В 1966–1967 гг. открытые работы постепенно были прекращены, и с 1968 г. вся руда добывается подземным способом, преимущественно в шахтах так называемой 7-й секции. В 1977 г. началось извлечение богатой оловом руды из шахт секции Чингахари в западной части поля, содержащей не более 0,05% оксида лития [39].

Поступающая на обогатительную фабрику руда имеет среднее содержание олова 0,19 % — рекордно низкое для подземных работ на это сырье; коэффициент извлечения металла — 77–81 %. Непосредственно на месторождении производится плавление концентрата в смеси с коксом и известью. Плавильные шлаки, содержащие около 14 % олова и значительные количества тантала и ниобия, отправляются на дальнейшую переработку, в основном в Великобританию. Сырое олово подвергается термической очистке до чистоты, соответствующей требованиям мировых стандартов (99,95 %).

Хвосты обогатительной фабрики Камативи содержат в среднем 0,51 % Li_2O и могут рассматриваться как крупное техногенное месторождение: его запасы составляют более 73 тыс. т оксида лития. По оценкам специалистов, качество сырья позволяет организовать крупное предприятие

Таблица 7. Содержание элементов-примесей (в г/т) в калиевом полево-м шпате и мусковите из месторождения Камативи (аналитики Д.Я. Орлова и С.К. Ярошенко).

Минерал	Rb	Cs	Ba	Sr	Sn
Калиевый полево- шпат	5600	260	24	110	He onp.
	5300	820	44	80	"
	5500	800	50	90	"
	5500	680	48	100	"
Мусковит	3600	800	26	28	830
	3400	500	35	27	720
	3500	380	35	28	910

по выпуску карбоната лития с годовой производительностью примерно 5,5 тыс. т продукта в расчете на 25—30 лет использования только существующих отвалов. Разумеется, извлечение лития может быть организовано и в процессе обогащения руд на олово и тантал.

Анализ образцов из месторождения Камативи показал следующее (табл. 7): 1) внутри минеральных групп содержания элементов-примесей очень близки; 2) минералы несколько отличаются по уровням содержания рубидия и стронция: в калиевом полево-м шпате концентрация этих элементов соответственно в 1,5 и 3—4 раза больше, чем в мусковите. Аналогичные содержания наблюдаются и в других редкометалльных пегматитах такой специализации. Любопытна близость концентраций рубидия и цезия в калиевых полевых шпатах и мусковитах двух месторождений Зимбабве — Камативи и Бикита (см. гл. 2), несмотря на существенные различия их минерализации.

Месторождения Центральной Африки

Как уже отмечалось в гл. 1, редкометалльные пегматиты пользуются широким распространением в целом ряде стран Центральной Африки. По специализации они весьма разнообразны, но в большинстве случаев относятся либо к бериллий-тантал-литиевым, либо к тантал-бериллиевым. Однако редкометалльные пегматиты Заира, этого крупнейшего региона распространения пегматитов, в подавляющем большинстве принадлежат именно к тантал-литиевому типу.

Как и многие другие месторождения рассматриваемого типа, **месторождение Маноно** в провинции Шаба (Заир) было открыто первоначально как касситеритовое. В настоящее время это крупнейшее в Африке месторождение лития с общими запасами сподуменовых руд более 500 млн. т, в том числе — 60 млн. т промышленных запасов, но 30 лет назад оно было описано Х.Бернаром как месторождение касситерита и танталита. В дополнение к краткой характеристике пегматитов (см. гл. 1) приведем некоторые данные по морфологии и залеганию пегматитовых тел, их строению и минеральному составу.

По результатам буровых работ, наряду с так называемой Главной дайкой на месторождении оконтурены две пологозалегавшие жилы мощ-

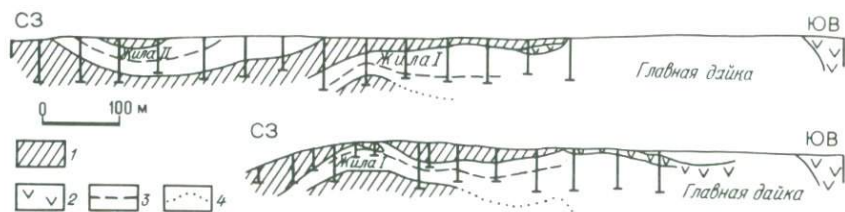


Рис. 15. Вертикальные разрезы жил I и II месторождения Маноню. По X.Бернару:

1 — кристаллические сланцы; 2 — долериты; 3 — пегматиты (пунктиром показана нижняя граница высоких содержаний касситерита); 4 — предполагаемые границы

ностью от 20 до 60 м; вмещающими породами являются кристаллические сланцы (рис. 15). Контакты жил извилисты, но в целом это субгоризонтальные тела, имеющие мульдо- или куполообразную форму. Контакты с вмещающими породами резкие и секущие, поскольку сланцы залегают под углами не менее 60° , а нередко субвертикально.

В жиле I отмечены следующие зоны (сверху вниз): кварцевая (мощность переменная, максимальная — 5 м); кварц-мусковитовая (около 6 м), в которой сконцентрировано значительное количество касситерита; сподуменовая крупнокристаллическая (до 10 м), содержащая альбит (в этом случае в ней много касситерита) или микроклин; сподуменовая мелкопластинчатая с зеленоватыми слюдами (2–10 м); микроклиновья массивная (2–12 м); мелкозернистая альбитовая оторочка (по X.Бернару — аплит).

В жиле II проявлены обычно следующие зоны (сверху вниз): альбитовая мелкозернистая (мощность 1–3 м), содержащая значительную примесь слюд; сподуменовая (6–12 м), содержащая альбит, небольшое количество микроклина, примеси пирита и ураноцирцита; альбитовая (6 м), содержащая слюды, апатит и флюорит; альбит-сподуменовая (8–10 м), в верхней части которой кристаллы сподумена крупные, а в нижней — мелкие; мусковит-альбитовая мелкозернистая (1–5 м).

Сподумен на месторождении представлен двумя разновидностями (генерациями); к первой относятся удлиненные призматические или уплощенные кристаллы, ориентированные параллельно или перпендикулярно контактам, ассоциирующие с альбитом, микроклином и кварцем, а ко второй — мелкие кристаллы различной ориентировки, слагающие в ассоциации с мусковитом, альбитом и иногда ураноцирцитом прожилки, как правило, параллельные контактам. При выветривании сподумен первой разновидности превращается в зеленоватую, реже розоватую массу. Сподумен второй генерации при изменении становится белым, непрозрачным, а на поверхности его граней появляется налет розового цвета. Конечным продуктом выветривания сподумена обеих разновидностей является каолин.

Касситерит распределен в жилах неравномерно. Обычно он концентрируется в их верхних частях (см. рис. 15) и тяготеет к альбитсодержащим парагенезисам. В жиле I микроклиновья и альбитовая зоны нижней части разреза практически безрудны. Однако подобное распределение отмечает-

ся не на всех объектах. Например, на месторождении Китотоло наблюдается обратное явление: касситерита больше в нижних зонах жилы. Цвет касситерита везде темный — черный или темно-бурый. Обычны идиоморфные короткопризматические кристаллы размером до 3 мм в поперечнике.

Минералы ряда колумбит танталит распределены также неравномерно и имеют несколько различный состав в пределах Главной дайки и в пологозалегающих жилах. Для месторождения в целом доля танталового концентрата составляет всего 2–3 %, тогда как для жил она возрастает до 20 %; изменяется и величина отношения $Ta_2O_5:Nb_2O_5$ — на месторождении 0,4–0,7, в пределах жил 1,2–1,8.

Шлаки оловоплавильного завода содержат 2 % олова и 7–21 % суммы оксидов тантала и ниобия. Для дальнейшей переработки они направляются в Европу или США.

Кроме сподумена, касситерита и колумбит-танталита в пегматитах месторождения присутствуют апатит, флюорит, турмалин, циркон, рутил, тапиолит, торолит, пирит, арсенопирит, лёллингит, ильменит, отунит, оксиды железа и марганца. Берилл для пегматитов не характерен.

Месторождения района Северного Лугулу (провинция Киву), детально описанные Н. де Кюном, в основном являлись поставщиками тантала, ниобия и олова, но содержат также значительные количества лития. Продуктивная полоса протягивается более чем на 100 км при ширине около 10 км. В ее пределах наблюдается зональность в расположении пегматитов и кварцевых жил с различной специализацией, генетически связанных так называемыми послеурундийскими гранитами. Ближе к гранитам размещаются многочисленные пегматитовые тела с убогой минерализацией касситерита, служившие источниками россыпей тяжелых минералов (касситерит, турмалин, циркон). Далее наблюдается зона развития редкометаллических пегматитов, содержащих обычно 5–25 % сподумена, а также колумбит-танталит и касситерит. Отдельные региональные зоны образуют полосы распространения кварц-мусковитовых и кварцевых (с касситеритом) жил. На одном из участков отмечены грейзены с касситеритом.

Пегматитовые тела обычно имеют форму слегка изогнутых плоских линз, залегающих согласно с вмещающими кристаллическими сланцами. Длина тел — несколько десятков метров, мощность обычно несколько метров, максимальная — 45 м. Пегматиты подразделяются на три группы: однородные без сподумена, однородные со сподуменом и зональные. Первые содержат незначительное количество касситерита и колумбит-танталита; пегматиты второй группы разрабатываются на сподумен, причем его количество в пегматитовом теле иногда очень велико: 35 % (Ниетебу), 55 % (Лубилоква) и даже 70 % (маломощная жила вблизи Ниамбембе). Содержание тяжелых минералов в таких пегматитах невысоко.

Зональные пегматитовые тела представляют наибольший интерес как источники олова и тантала. В них наблюдается крупное ядро, состоящее из кварца, калиевого полевого шпата и небольшого (до 0,5 %) количества сподумена. К ядру приурочены значительные скопления колумбит-танталита. Далее идет промежуточная зона, сложенная калиевым полевым шпатом (обычно изменен), альбитом, мусковитом и кварцем. Она в макси-

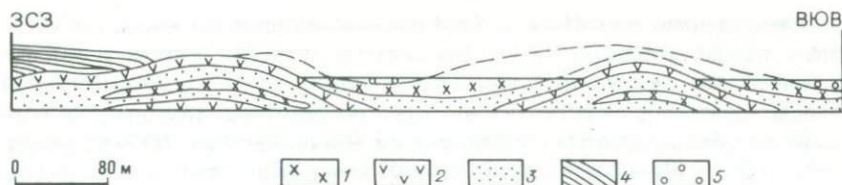


Рис. 16. Схематический вертикальный разрез месторождения Чонка. По *Н.де Куну*:

1 — пегматиты; 2 — амфиболиты; 3 — сланцы; 4 — песчаники; 5 — современные осадки

мальной степени состоит из кварца и мусковита с небольшой примесью альбита. Как правило, она лишена редкометальной минерализации.

Среднее содержание тяжелых минералов в пегматитах изменяется от 0,01 до 0,1 %. В пегматитах с относительно низкими их концентрациями количество касситерита в 2 раза выше, чем колумбит-танталита. В богатых жилах (особенно в зональных) соотношение минералов обратное. Содержание оксида тантала (V) в колумбит-танталите — до 30 %.

Одним из самых важных источников акцессорной минерализации является пегматитовое поле Чонка Ниамбези. Здесь на участке длиной 600 м и шириной 200 м наблюдается несколько пологозалегающих пегматитовых тел (рис. 16). Вмещающими породами служат сланцы и амфиболиты. В западной части поля в пегматитовом теле мощностью 20–25 м наблюдается довольно четкая зональность: внешняя зона сложена кварцем и мусковитом с небольшой примесью полевых шпатов, турмалина и берилла, а основную часть тела составляет кварцевое ядро, насыщенное каолинизированными кристаллами калиевого полевого шпата и сподумена. Среди тяжелых минералов в ядре присутствуют касситерит, колумбит, турмалин и циркон. В большинстве жил района Северного Лугулу берилл либо отсутствует, либо имеет значение акцессорного минерала.

Пегматиты Восточно-Гатского поля в Индии

В этом поле, находящемся в Индии на границе штатов Мадхья-Прадеш и Орисса, наиболее изучен к настоящему времени Бастарский пегматитовый узел, включающий несколько жил редкометальных пегматитов с тантал-олово-литиевой специализацией и до 20 жил с иной специализацией.

Следует подчеркнуть, что и в этом районе причиной организации поисковых и разведочных работ послужило обнаружение (в 1973 г.) касситерита в россыпях и коренных выходах пегматитов. В дальнейшем в пегматитах были найдены лепидолит, амблигонит и берилл. С 1979 по 1982 г. пегматиты Бастарского узла изучались совместной экспедицией Директората геологии и горного дела шт. Мадхья-Прадеш и Департамента технического сотрудничества ООН. В эти годы были получены данные о вхождении в состав касситерита значительных количеств тантала. Как и во многих других случаях, включения танталита насыщают зерна минерала-хозяина — касситерита.

Вмещающими породами на месторождении являются кварц-мусковитовые и андалузитовые сланцы, серицитовые кварциты, гнейсы и ортоамфиболиты. Все они относятся к Тулсидонгарской формации Бенгальской группы архея. Форма пегматитовых жил неправильная или пластинчатая. Длина их обычно десятки и сотни метров (максимальная 1500 м), а мощность 1–30 м. Жилы, как правило, секут вмещающие породы. Все редкометальные тела либо залегают в амфиболитах, либо контактируют с ними.

По минеральному составу выделяются три типа жил: 1) неспециализированные, содержащие биотит и шерл; 2) редкометально-мусковитовые, содержащие мусковит, берилл и касситерит; 3) редкометальные — с амблигонитом и лепидолитом, а также с мусковитом и касситеритом; последней насыщен танталитом. К первому типу относится, например, жила Тонгпал, а ко второму — серия пегматитовых тел Качирас, размещающихся в северо-западной части района.

Жила Тонгпал — это крутопадающее тело в гнейсах, сложенное преимущественно графическим калиево-полевошпатовым пегматитом. Мусковит развивается по биотиту, который отмечается в жиле в виде лейт различного размера, и по калиевому полевому шпату. Последний замещается кварц-мусковитовым агрегатом, содержащим примесь плагиоклаза и апатита.

Пегматитовые тела блока Качирас — секущие, крутопадающие, залегают в сланцах и гнейсах; они также богаты калиевым полевым шпатом, который замещается кварц-мусковитовым комплексом. Для центральной части пегматитовых тел, сложенной калиевым полевым шпатом и кварцем, характерна крупноблоковая структура, а для периферических — неяснографическая с преобладанием плагиоклаза. Кварц-мусковитовые агрегаты обычно тяготеют к границе этих зон или к эндоконтактовой оторочке жил. Акцессорные минералы представлены бериллом и касситеритом. Литиевые минералы отсутствуют.

Типичными редкометальными пегматитовыми телами района являются жилы Читанлар и Говиндпал. Они вскрыты разведочными канавами и опробованы. Длина жилы Читанлар — 350 м, мощность — до 30 м, залегание близко к вертикальному, вмещающие породы — амфиболиты. Зональность в жиле проявлена нечетко: крупного кварцевого ядра нет, но в осевой части имеется серия кварцевых обособлений. К ним приурочены выделения крупнокристаллического амблигонита, иногда ассоциирующего с альбитом и мусковитом. Наиболее распространенный литиевый минерал — мелкозернистый лепидолит, содержащий включения альбита и касситерита.

Жила Говиндпал имеет длину 200 м и мощность 5–6 м, залегают в амфиболитах с углом падения 70° . В центре пегматитового тела прослеживается кварц-амблигонитовое ядро, а вокруг него — крупноблоковый калиево-полевошпатовый каолинизированный пегматит, по которому развивается мелкозернистый кварц-мусковит-альбитовый агрегат. Эндоконтакт обогащен кварцем и крупнокристаллическим мусковитом, а в экзоконтакте зафиксированы мелкозернистые слюдястые породы желтовато-коричневого цвета.

Выполненное Б.М. Шамакиным совместно с Е.И. Семеновым детальное изучение экзоконтактовых оторочек жилы Говиндпал показало, что они сложены слюдами ряда биотит–магниево-циннвальдит, содержащими 0,7–0,8 % лития и в среднем 0,8 % рубидия. В целом в контактовых слюдах Бастара мало цезия: 0,01–0,04 % (табл. 8); только в одном из образцов из контакта жилы Читанлар обнаружено 0,13 % цезия (при 1,14 % Li и 1,68 % Rb), но, судя по высокому содержанию глинозема (24,4 %), эта желтая слюда является литиевым мусковитом.

Как видно из табл. 8, мусковиты из жил различной специализации отчетливо различаются по концентрациям лития, рубидия и цезия. В мусковите жилы Тонгпал эти примеси практически отсутствуют, в этом же минерале из редкометалльно-мусковитовых пегматитов блока Качирас содержания редких щелочей повышены, а в образцах из редкометалльных пегматитов Говиндпал и Читанлар – максимальны для этого района и соизмеримы с концентрациями редких щелочных элементов в редкометалльных пегматитах США [25].

Аналогичным образом распределены рубидий и цезий в калиевых полевых шпатах (см. табл. 8). Для неспециализированных и редкометалльно-мусковитовых пегматитов (образцы Т-2 и К-9) характерны содержания рубидия 0,4–0,5 % и цезия не более 0,0008 %, в то время как в редкометалльных пегматитах жилы Говиндпал и серии Мундагуда в шт. Орисса калиевые полевые шпаты содержат 0,2–0,3 % рубидия и 0,002 – 0,009 % цезия.

Концентрации бария в калиевых полевых шпатах (аналитик С.К. Ярошенко) составляют 0,21 % в неспециализированной жиле Тонгпал, 0,09 % в одной из редкометалльно-мусковитовых жил блока Качирас и 0,01 – 0,05 % в редкометалльных пегматитах Говиндпал и Мундагуда. Они несколько выше, чем в большинстве редкометалльно-мусковитовых и редкометалльных пегматитов. Значения индикаторного отношения Ba:Rb для калиевых полевых шпатов равны 4,9; 1,7 и около 0,1 соответственно.

Таким образом, результаты геохимического изучения пегматитов Восточно-Гатского поля, даже проведенного по небольшому числу образцов, свидетельствуют о четком различии между пегматитами различной специализации. Были установлены также некоторые особенности состава исследуемых минералов. По-видимому, пониженные содержания цезия в слюдах эндоконтактов жилы Говиндпал связаны с полным отсутствием в ней цезиевой минерализации и с низкими концентрациями цезия в породообразующих калиевых минералах. Более высокие, чем обычно, содержания бария и соответствующие значения барий-рубидиевого отношения отражают, возможно, региональную геохимическую специализацию района.

Пегматиты района Сан-Жуан-дел-Рей в Бразилии

Использованное в качестве названия пегматитов этого типа словосочетание „тантал-олово-литиевые“ было применено Е.Хейнричем, но с иной последовательностью элементов при описании „олово-тантал-литиевых“

Таблица 8. Содержание щелочных элементов (в %) в слюдах и калиевых полевых шпатах из пегматитов и эндоконтактовых оторочек Восточно-Гатского пегматитового поля (аналитики Д.Я. Орлова, Л.П. Плотникова)

Жилы	№ образца	Минерал	K	Na	Li	Rb	Cs
Тонгпал Блока Качирас Говиндпал " " Читанлар "	T-1	Мусковит или фенгит-мусковит из пегматитов	8,40	0,54	0,0028	0,062	0,0008
	K-14		8,60	0,98	0,041	0,44	0,0166
	G-4		8,90	0,80	0,22	0,83	0,0215
	G-5		9,20	0,72	0,28	0,88	0,0322
	Ч-1		9,80	0,85	0,28	0,94	0,0475
	Ч-7		8,70	0,56	0,25	1,09	0,0388
Читанлар	Ч-5	Литиевый мусковит из эндоконтактовой оторочки	8,70	0,35	1,14	1,68	0,1320
Говиндпал	G-8	Магниевый циннвальдит или протолитионит из эндоконтактовой оторочки	9,10	0,74	0,83	0,82	0,0362
	G-10		8,76	1,08	0,68	0,78	0,0140
	G-11		9,10	0,74	0,77	0,82	0,0223
Тонгпал Блока Качирас Говиндпал Серия Мундаг уда " "	T-2	Калиевый полевой шпат из пегматитов	11,96	1,93	Не обн.	0,043	Сл.
	K-9		11,96	1,84	"	0,054	0,0008
	G-12		13,02	1,07	"	0,305	0,0019
	M-6		12,00	1,27	"	0,345	0,0042
	M-7		12,59	1,02	0,0016	0,245	0,0092

[32] пегматитов данного района, расположенного в окрестностях одноименного города (Бразилия), примерно в 200 км к северо-западу от Рио-де-Жанейро и в 150 км к юго-юго-западу от Белу-Оризонти.

Пегматиты района генетически связаны с массивами гранит-тоналитового состава. Вблизи массивов встречаются пегматиты с турмалином и мусковитом, а редкометалльные пегматиты удалены от них на расстояние до 10 км. Известно несколько пегматитовых полей, каждое из которых связано, по-видимому, с определенным гранитным массивом.

По размерам пегматитовые тела весьма разнообразны: от нескольких десятков метров до 800 м в длину при мощности 15–20 м; одна из жил месторождения Вольта-Гранди прослежена на 1200 м. Угол падения пегматитовых тел составляет обычно 30–55°, но встречаются и более круто залегающие жилы. Их контакты очень четкие, как правило, секущие. Иногда наблюдаются апофизы, а в упомянутой жиле месторождения Вольта-Гранди имеется крупный ксенолит вмещающих пород: длина – 75 м, мощность 1–2 м.

Е.Хейнрич обратил внимание на то, что амфиболиты, если они контактируют с пегматитовым телом, подвергаются интенсивной биотитизации; чешуйки новообразованного биотита размером до 7 мм в поперечнике могут быть ориентированы в любом направлении. Мощность ореола биотитизации измеряется многими десятками сантиметров, в том числе мощность анхимономинеральной экзоконтактной оторочки может достигать 10 см. Ксенолиты амфиболитов в массе пегматита биотитизированы практически нацело.

По минеральному составу среди пегматитовых жил района различают сподуменсодержащие и бессподуменовые. Те и другие состоят из плагиоклаза, калиевого полевого шпата, мусковита, а также аксессуарных берилла, касситерита и минералов ряда колумбит-танталит, но в сподуменсодержащих пегматитах это именно танталит (и ассоциирующие с ним микролит, лепидолит и битиит), а в бессподуменовых – танталит-колумбит (и биотит). Редкие минералы в тех и других пегматитах представлены цирконом, монацитом, ксенотимом, ганитом, спессартином, черным турмалином.

Поскольку сподуменсодержащие пегматиты не несут следов деформаций, а пегматиты без сподумена обычно деформированы, сделан вывод о двух возрастных группах пегматитов, различающихся по содержаниям лития и некоторых других компонентов. Зональность для пегматитовых жил района не характерна.

Сподумен является одним из породообразующих минералов оловотантал-литиевых пегматитов. Его кристаллы обычно имеют длину 3–10 см, а в некоторых случаях до 40 см, ориентированы, как правило, перпендикулярно контактам жил, но в их центральных частях – незакономерно. Иногда в пегматите одновременно находятся две разновидности минерала: крупные порфиновые выделения и мелкие кристаллы в основной массе.

Касситерит, микролит и танталит обычно встречаются в виде мелких (менее 1 мм) зерен, но размеры отдельных кристаллов могут быть 1–2 см и даже 5 см в длину (касситерит).

Выделяют два этапа образования пегматитов: магматический и гидротермальный [32]. В первый этап формируется основная масса пегматитового тела, включая такие минералы, как сподумен, мусковит, касситерит, танталит, спессартин, турмалин, циркон, ксенотим. Во второй гидротермальный этап происходит замещение пегматитов альбитовым агрегатом, появляются лепидолит, микролит, битиит, а затем возникает ассоциация минералов, выполняющих трещины, в которую входят кварц, альбит и поздний мусковит.

Разработка пегматитов района началась в 1943 г., в основном на месторождении Вольта-Гранди. Каолинизированные пегматиты разрушались с помощью гидромониторов. На нижних горизонтах применялась обычная горная техника. После гравитационной сепарации концентрат тяжелых минералов разделяется с помощью магнитной и электромагнитной сепарации на четыре фракции: 1) касситерита; 2) танталита; 3) микролита („джалмаита"); 4) ильменита и граната. Как и на многих месторождениях тропических зон Южной Америки и Африки, сподумен верхних горизонтов жил не разрабатывается. Однако в пегматитах этого района содержится значительное количество резервных запасов лития.

Глава 4

БЕРИЛЛИЙ-ТАНТАЛ-ЛИТИЕВЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Собственно литиевые или бериллий-тантал-литиевые пегматиты представляют основной интерес как источники лития, входящего обычно в состав сподумена. Бериллий и тантал (как правило, вместе с ниобием) добываются из этих пегматитов главным образом попутно, хотя известны случаи разработки аналогичных пегматитов на бериллий и (или) тантал, в то время как литий по каким-либо причинам не извлекается. Иногда кроме трех главных ценных компонентов в пегматитах этого типа встречается и олово в виде касситерита, но все же основное значение имеют берилл, минералы ряда колумбит-танталит и микролит.

Наиболее известный район развития пегматитов данного типа — палеозойский пояс Каролин (штаты Северная Каролина и Южная Каролина в США). В результате геологических исследований последних лет установлено, что одним из крупнейших регионов распространения литиевых пегматитов мезо-кайнозойского возраста является Афганистан. Крупные месторождения пегматитов бериллий-тантал-литиевого типа докембрийского возраста имеются в Мозамбике, США (в южной части Скалистых гор), других районах Северной и Южной Америки, а также в Австралии.

Пегматитовый пояс Каролин в США

Этот относительно небольшой по размерам (длина — около 50 км и ширина — до 3,2 км) пегматитовый пояс, содержащий крупнейшие запасы лития, был открыт в 1940 г. и спустя два года описан в литературе Т.Кес-92

лером под названием „олово-сподуменовый пояс Каролин“. В годы второй мировой войны здесь добывались берилл, танталит-колумбит, касситерит, а затем и сподумен. По данным И.Кунаша, в настоящее время из пегматитов извлекаются сподумен, полевые шпаты, кварц и слюда.

Пегматиты олово-литиевого пояса, расположенные в горной местности Пидмонт, приурочены к антиклинорию Кингс-Маунтин. Вмещающие породы представлены метаморфитами Каролинского сланцевого пояса, в основном тонкозернистыми слюдяными сланцами, гнейсами и амфиболитами, реже — кристаллическими известняками и другими породами. Простираение пегматитовых тел северо-восточное, параллельное сланцеватости метаморфических пород, но по падению они круто секут вмещающие толщи. Генетически пегматиты связывают с кварцевыми монцонитами массива Черривилл (рис. 17), возраст которых около 400 млн. лет. Абсолютный возраст пегматитов, по данным разных авторов, — от 375 до 260 млн. лет. Располагаясь в экзоконтакте массива кварцевых монцонитов, пегматитовые жилы тяготеют в основном к амфиболитам и сланцам.

Запасы литиевой руды каролинского олово-литиевого пояса составляют более 800 млн. т, т.е. 5,65 млн. т в пересчете на металл. На пегматиты этого пояса приходится более 99 % запасов лития США и 88 % возможных запасов Северной Америки в целом (речь идет только о запасах, связанных с пегматитами). Работы по разведке и добыче лития осуществляют две компании: „Литиум корпорейшн оф Америка“ и „Фут минерал компани“. Кроме запасов лития здесь подсчитаны запасы бериллия — 120 тыс. т BeO. При этом выявлено, что наиболее продуктивные на бериллий пегматиты располагаются несколько восточнее сподуменовых, занимающих центральную часть пояса и прослеживающихся, в свою очередь, восточнее слюдоносных.

Пегматиты данного пояса относятся к альбитовым со сподуменом (содержание последнего достигает иногда 50 %); среди них отмечаются имеющие подчиненное значение микроклин-альбитовые пегматиты. Пегматиты слагают крупные тела неправильной формы или свиты субпараллельных плитообразных тел. Длина тел изменяется от 20 до 1040 м при мощности до 128 м (средняя — несколько метров). Пегматиты прослеживаются до глубины 300 м. Средний состав литиеносных пегматитов пояса следующий (в %): сподумен — 20, кварц — 32, мусковит — 6, калиевый и натриевый полевые шпаты (в сумме) — 41, берилл — 0,4; содержится также касситерит, амблигонит (или монтебразит), лепидолит, тантало-ниобиевые минералы, сфен и др. Из перечисленных литиевых минералов практическое значение имеет только сподумен, а остальные представляют обычно чисто минералогический интерес.

Пегматитовые жилы в основном слабо зональны или незональны, но концентрация сподумена выше в центральных частях тел, а в периферических преобладает амблигонит; здесь больше акцессорных минералов. Распределение литиевых пегматитов по простираению пояса неравномерное — выделяется четыре литиеносных участка: Кингс-Маунтин, Лонг-Крик, Бивидэйм-Крик и Линкольнтаун, сменяющие друг друга в направлении с юго-запада на северо-восток. Участок Кингс-Маунтин эксплу-

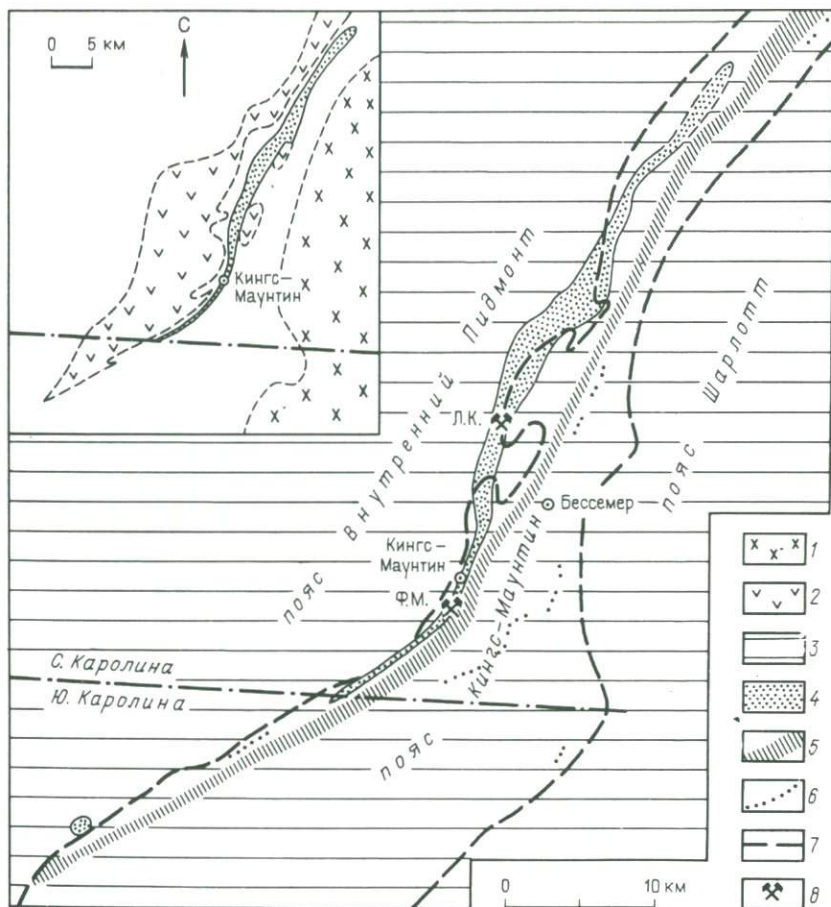


Рис. 17. Схематическая геологическая карта и некоторые особенности строения литиеносного района Каролин. По [35]:

1–2 – кварцевые монцититы: 1 – массива Йорквилл пермского возраста, 2 – массива Черривилл пермо-карбонového (?) возраста; 3 – палеозойские метаморфические породы; 4 – полоса развития литиевых пегматитов; 5 – маркирующий горизонт кристаллических известняков; 6 – окварцованные породы, слагающие гряды в рельефе; 7 – границы поясов; 8 – действующие рудники: Л.К. – „Литиум корпорейшн оф Америка“, Ф.М. – „Фут минерал компани“

атируемый „Фут минерал компани“, размещается в самой узкой части пояса, но содержит наиболее значительные запасы лития, которые концентрируются в его центре и на северо-востоке. В центральной части участка вскрыты сотни пегматитовых тел (25 % из них – со сподуменом) мощностью 1,5 м и более. Они прослеживаются внутри зоны шириной 400 м и длиной 1600 м. Пегматиты имеют порфириовидную структуру со споду-

меном, микроклинном и слюдой в фенокристах. Размер кристаллов сподумена — от нескольких миллиметров (в основной массе) до 30 см (в фенокристах). Содержание его в пегматитах участка Кингс-Маунтин обычно изменяется от 5 до 22 %, а среднее содержание Li_2O в руде составляет 1,53 %. Большинство тел разведаны до глубины 200 м. В этих же пегматитах сосредоточены и главные запасы бериллия. Мелкий берилл распределен в пегматитах довольно равномерно, что дало возможность разработать технологическую схему флотационного обогащения, используя метод селективной флотации мелкокристаллического берилла. В результате обогащения получают концентрат, содержащий 6,4 % BeO (при извлечении 76,1 %).

Участок Лонг-Крик характеризуется повсеместным распространением сподуменовых пегматитов, хотя по запасам литиевой руды уступает участку Кингс-Маунтин. В его пределах встречаются как обособленные пегматитовые жилы, так и поля жил, располагающихся часто вдоль плоскостей отдельности, секущих основное направление напластования вмещающих пород. Иногда жилы залегают почти горизонтально. Содержание сподумена в них варьирует преимущественно от 15 до 20 %, реже до 25 %. Наиболее продуктивные на сподумен пегматиты находятся на юго-западном фланге участка, эксплуатируемого компанией „Литиум корпорейшн оф Америка“. Размер выходов пегматитовых тел здесь обычно 10–16 м в ширину и 160–320 м в длину, но секущие тела имеют большие размеры. Жилы разведаны на глубину 100 м и более.

Участок Бивидэйм-Крик размещается к северо-востоку от участка Лонг-Крик. Длина данного участка более 11 км при ширине 1,6 км. На этой площади известно множество относительно мелких (длина 200–250 м, мощность 2–10 м) пегматитовых тел. Самая большая на участке пегматитовая жила имеет длину 576 м и мощность 8–18 м. Содержание сподумена в пегматитах варьирует от 5 до 25 %.

На участке Линкольнтаун выявлено большое число пологозалегающих пегматитовых тел, падающих под углами от 20 до 35°. Они прослеживаются по простиранию на расстояние до 320 м при мощности 4–5 м. Сподуменоносные пегматиты сконцентрированы в основном в южной части участка. Запасы лития, разведанные на данном участке, составляют примерно четвертую часть запасов участка Кингс-Маунтин, в то время как запасы Лонг-Крик — половину, а Бивидейм-Крик — только одну восьмую часть этих запасов.

По последним данным, „Фут минерал компани“ располагает промышленными запасами в 26 млн. т руды со средним содержанием лития 0,7 %, а также резервными запасами в 19 млн. т. По предположению Т.Кеслера [35], перспективные запасы этого месторождения в 5–10 раз превышают подсчитанные.

Автору настоящей работы довелось посетить в 1975 г. оба литиевых рудника, эксплуатирующих пегматитовый пояс Каролин.

Рудник „Фут минерал компани“ находится примерно в 1,5 км к юго-западу от г. Кингс-Маунтин. В огромном карьере вскрыты восемь сближенных субпараллельных крупных пегматитовых тел северо-восточного простирания. Эти крутопадающие тела имеют очень резкие контакты с

вмещающими амфиболитами и двуслюдяными сланцами. Морфология отдельных тел достаточно сложная, отмечается высокая степень деформации вмещающих пород. Пегматитовые тела незональные, в основном средне- и мелкозернистые. Средний размер кристаллов сподумена 6×1 см. В их ориентировке обычно не проявлена какая-либо закономерность, но иногда наблюдается тенденция к параллельному или перпендикулярному расположению табличек по отношению к контактам. Средний минеральный состав пегматитов следующий (в %): сподумен — 20, кварц — 32, калиевый полевой шпат — 15, альбит — 26, мусковит — 6, акцессорные минералы — 1.

Среднее содержание оксида лития в руде 1,47 %, железа в сподумене — 0,2–0,5 %, причем пределы изменения содержаний весьма незначительны. В слюдах экзоконтакта обнаружены высокие содержания рубидия и лития: 0,1–0,2 % Rb_2O (до 0,4 % по И.Кунашу) и 0,2–0,5 % Li_2O ; содержание цезия меньше (до 0,07 % Cs_2O).

Рудник компании „Литиум корпорейшн оф Америка“ находится к северо-востоку от г. Кингс-Маунтин, в округе Гастон. Это тоже большой карьер, с 1968 г. развивающийся быстрыми темпами; он вскрывает одно крупное пегматитовое тело — длина 700 м мощность до 90 м. По условиям залегания оно резко отличается от жил, вскрываемых карьером „Фут минерал компани“: простирается тела северо-западное (поперечное к ориентировке вмещающих пород), а падение на северо-восток под углом от 35 до 70°. Вмещающими породами являются массивные амфиболиты. Контакты пегматитового тела очень резкие, извилистые. В экзоконтактах отмечается интенсивная биотитизация, присутствует хольмквистит [25].

Зональность в пегматитовом теле не проявлена, но на фоне преобладающего мелкозернистого пегматита наблюдаются согласные полосы относительно крупнозернистого сложения с кристаллами сподумена длиной до 40 см. Среднее содержание сподумена — 20 %, оксида лития в руде — 1,5 % (такие же, как на руднике компании „Фут минерал“). В выветрелом сподумене (вблизи поверхности) содержание Li_2O резко понижается (иногда до 0,07 %), хотя контуры и внешний облик кристаллов сохраняются.

Как показали анализы минералов из пегматитов пояса (табл. 9), калиевый полевой шпат и мусковит обогащены рубидием и содержат мало бария. т.е. являются типичными для редкометалльных пегматитов. Следует отметить также, что мусковит из карьера „Литиум корпорейшн оф Америка“ содержит (в %): Li до 0,1; F 0,2–0,3; Sn 0,07–0,09; Nb 0,012–0,017; Ta 0,003–0,005. Эти концентрации тоже довольно обычны для породобразующих слюд редкометалльных пегматитов.

По данным одного из руководителей „Фут минерал компани“ И.Кунаша [37], сподумен выделяется на обогатительной фабрике компании с помощью анионной флотации после очень тонкого помола руды — до 20 мкм. Флотационный концентрат, содержащий 5,6–6,5 % Li_2O и 1,45–3,0 % Fe_2O_3 , направляется на магнитную сепарацию. Извлекаемый „химический сподумен“ идет на приготовление карбоната лития. После еще бо-

Таблица 9. Содержания Na (в %) и элементов-примесей (в г/т) в калиевых полевых шпатах и мусковитах из пегматитов пояса Каролин (США)

Минерал, его разновидность	Карьер (место отбора образца)	Na	Rb	Cs	Ba	Sr	Pb	Tl
Калиевый полевой шпат: мелкозернистый из эндоконтакта	„Фут минерал“	2,69	2400	60	48	45	16	4,8
	„Литиум корпорейшн“	1,05	1760	132	31	38	63	2,5
	То же	1,26	3370	198	10	19	50	20
Мусковит: из кварц-мусковитового комплекса из эндоконтакта	„Литиум корпорейшн“	0,55	2800	115	18	10	6	7,9
	То же	0,62	2398	98	6	10	5	6,3

лее полной очистки (до 0,1 %) получают „керамический сподумен“, который является основным компонентом пирокерамики.

Из хвостов процесса переработки сподумена выделяют слюдяной концентрат, смесь кварца с полевым шпатом („песчаный шпат“), кварцевый и двуполевошпатовый концентраты. Все это сырье находит покупателей. На строительные нужды продаются также дробленые вмещающие породы — амфиболиты.

В настоящее время ни касситерит, ни танталит-колумбит из пегматитов не извлекаются, но в случае возникновения потребности „в этих трех минеральных продуктах, которые Соединенные Штаты должны сейчас полностью импортировать“ (И.Кунаш имеет в виду, по-видимому, еще и берилл), они тоже могут быть получены — при некотором изменении технологии обогащения.

Литиевые пегматиты Афганистана

В гл. 1 упоминалось о том, что среди разнообразных редкометалльных пегматитов Афганистана значительную роль играют пегматиты со сподуменом, петалитом и лепидолитом. Главное значение среди литиевых минералов имеет сподумен, поэтому литиевые пегматиты здесь нередко называют сподуменовыми.

Сподуменовые месторождения в Афганистане были открыты советскими геологами в 1971—1973 гг. Они изучались многими специалистами, среди которых необходимо прежде всего упомянуть Н.А. Солодова и Л.Н. Россовского. По данным последнего и приводится описание пегматитовых полей и отдельных месторождений [15].

Сподуменовые пегматиты встречаются в толще метаморфических по-

род верхнего палеозоя — нижнего мезозоя. Главная часть жил находится в сланцах, метаморфизованных в условиях эпидот-амфиболитовой фации (или фации мусковит-ставролитовых сланцев). Лишь небольшое число пегматитовых тел залегает среди амфиболитов и карбонатных пород. Контакты жил с вмещающими породами резкие. Околожилные изменения развиваются в полосе шириной 5—10 см и обычно выражаются в мусковитизации биотита сланцев и их турмалинизации. По амфиболитам образуются апатит-протолитионитовые слюдиты, а в известняках появляются коизит и скаполит.

Выделены три структурных типа полей сподуменовых пегматитов: 1) крутопадающих жил значительного размера, приуроченных к зонам трещиноватости в сланцах (именно к этому типу относятся крупные месторождения); размещаются на максимальном удалении от материнских гранитов; 2) протяженных пологопадающих и субгоризонтальных жил в контракционных трещинах массивов габбродиоритов (амфиболитов), редко в гнейсах; 3) мелких линзовидных межпластовых жил среди гранат-ставролитовых сланцев.

Мощность крупных пегматитовых тел в полях первого типа — от 5 до 60 м, длина измеряется сотнями метров, максимальная — до 2 км. Жильные серии имеют ширину до 300 м при суммарной мощности пегматитов 20—70 м. Кулисообразно расположенные жилы таких серий прослеживаются на десятки километров. На площади самого крупного Парунского поля (рис. 18) установлены две протяженные зоны кулисообразных жил длиной по 65 км. Тела сподуменовых пегматитов обычно отстоят друг от друга не более чем на 2 км, что вызвано глубоким эрозионным врезом горных долин.

По минеральному составу и строению сподуменовые пегматиты Афганистана подразделяются на три разновидности: 1) собственно сподуменовые; 2) петалит-сподуменовые; 3) своеобразные афанитовые сподуменовые дайки. Тела двух первых разновидностей обычно однородные, массивные, иногда слабозональные. Характерная особенность заключается в том, что удлиненные кристаллы сподумена ориентированы субперпендикулярно контактам жил (рис. 19). В крупноблоковых участках встречается не закономерная ориентировка кристаллов, очень редко они ориентированы параллельно контакту.

Афанитовые сподуменовые дайки имеют массивную или тонкополосчатую текстуру. Они целиком сложены мелкозернистым или афанитовым агрегатом, состоящим из игольчатого сподумена (40 % и более), альбита, кварца, мусковита, амблигонита. Акцессорные минералы: гранаты, танталит-колумбит, микролит, касситерит, апатит, берилл и циркон. Структура породы бластомилонитовая или порфировая. Наблюдается четкая ориентировка микролитов сподумена параллельно контактам даек. Афанитовые дайки залегают вертикально или под очень крутыми углами. Их протяженность от 200 до 1500 м при мощности 2—10 м. Встречаются такие дайки только в пределах Шамакатского пегматитового поля (Гиндукушский пояс).

Из двух других разновидностей пегматитов более широким распро-

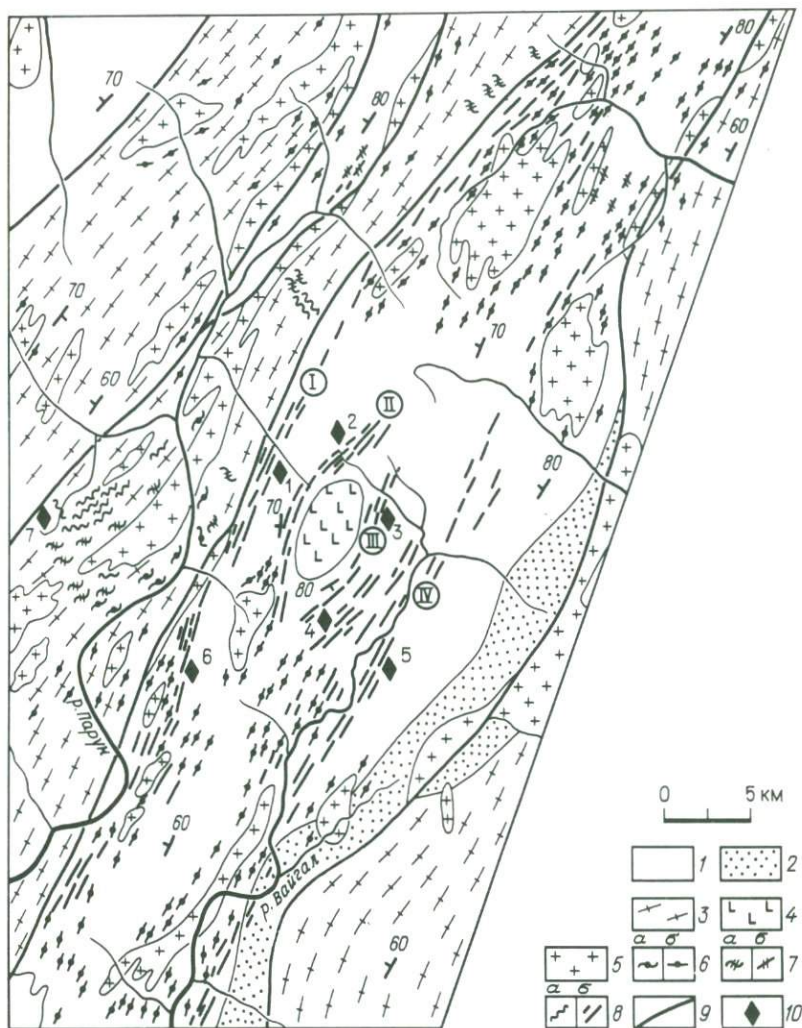


Рис. 18. Схематическая геологическая карта центральной части Парунского пегматового поля. По Л. Н. Россовскому:

1 — кварц-мусковит-биотитовые сланцы с гранатом и ставролитом (P-J); 2 — известняки (P-J); 3 — гнейсы и кристаллические сланцы (PR); 4 — габбродиориты (K₁?); 5 — биотитовые и двуслюдяные граниты (K₂ - P); 6-8 — пегматиты: 6 — олигоклаз-микроклиновые биотит-мусковитовые и микроклиновые шерл-мусковитовые, 7 — альбитовые, 8 — сподуменовые — жильные серии: I — Папрукская, II — Пасгуштинская, III — Друмгальская, IV — Вайгальская (в знаках б-8: а — пологопадающие, б — крутопадающие тела); 9 — разломы; 10 — месторождения лития: 1 — Джаманак, 2 — Пасгушта, 3 — Пасгушта-нижняя, 4 — Друмгал, 5 — Цамгал, 6 — Пашки, 7 — Яригун

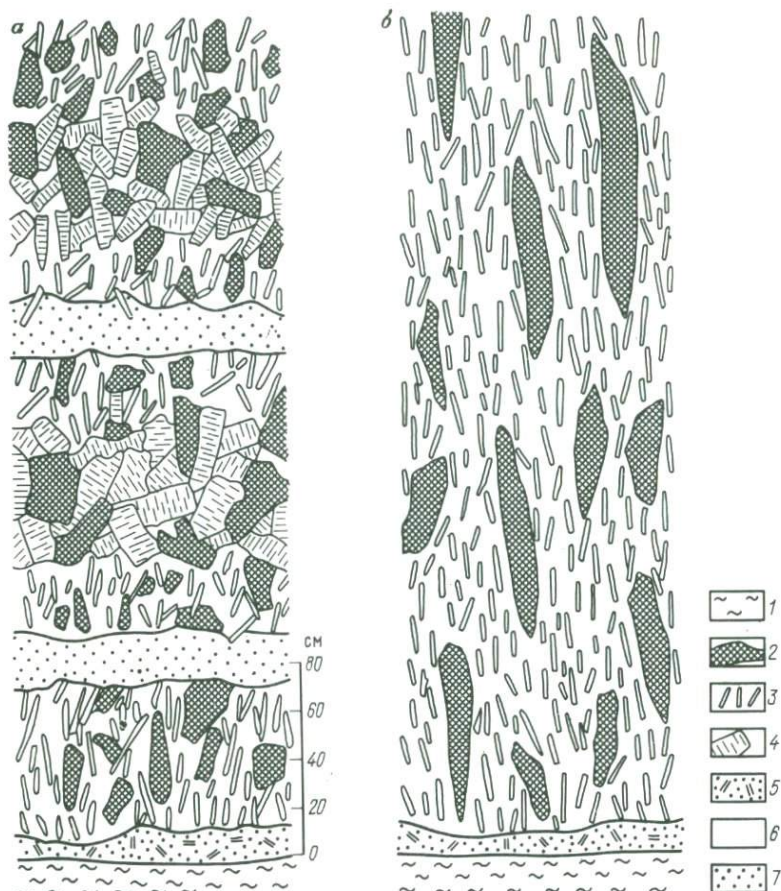


Рис. 19. Внутреннее строение тел сподуменовых пегматитов. По [15] :

а — первично петалит-сподуменовых, *б* — сподуменовых.

1 — кварц-биотитовые сланцы; 2 — микроклин; 3 — сподумен; 4 — псевдоморфозы кварца и сподумена по петалиту; 5–7 — агрегаты: 5 — мусковит-альбитовый мелкозернистый, 6 — кварц-альбит-микроклиновый мелкозернистый, 7 — мелкопластинчатого сахаровидного альбита

странением пользуются сподуменовые, составляющие основную часть жил Гиндукушского и Бадахшанского пегматитовых поясов; к этой разновидности относятся и все жилы Нуристанского пояса. Петалит-сподуменовые пегматиты развиты только в пределах Шамакатского и Тагавлерского пегматитовых полей, где собственно сподуменовые пегматиты не встречаются.

В составе сподуменовых пегматитов главное значение имеет крупнокристаллический сподумен-микроклин-альбитовый минеральный комплекс, содержащий 15–25 % сподумена. Вторым по распространенности является сподумен-альбитовый среднезернистый комплекс, в котором

сподумен составляет 25–30 %, а мусковит-кварц-альбитовый агрегат – 60–65 %. Микроклина в этом комплексе меньше, но он постоянно присутствует (около 10 %). Третье место занимает сподумен-микроклин-кварцевый комплекс пегматоидной структуры, в котором альбит может отсутствовать, кварца содержится 20–60 %, микроклина – 15–50 %, а сподумена – 10–30 %. В альбитовом замещающем мелкозернистом комплексе отмечаются мусковит, кварц, реликты сподумена и микроклина. Среди акцессорных минералов сподуменовых пегматитов выявлены гранаты, касситерит, турмалин, циркон, колумбит, танталит-колумбит, микролит и др.

Петалит-сподуменовые пегматиты на 40–50 % сложены петалит-микроклин-кварцевым минеральным комплексом пегматоидной структуры и на 30–40 % – мелкозернистым сподуменовым комплексом, содержащим также кварц, альбит, амблигонит, петалит, изредка турмалин и поллуцит. Во многих телах наблюдаются кварц-сподуменовые псевдоморфозы по крупнокристаллическому петалиту, и в этом случае кроме микроклина постоянно присутствует альбит (5–10 %). Значительную роль играет и мелкозернистый сподумен-альбитовый минеральный комплекс, состоящий из кварц-альбитового агрегата (50–60 %), сподумена (15–20 %), микроклина, амблигонита. Акцессорные минералы – те же, что и в сподуменовых пегматитах, а также сфен, монацит и ксенотим.

Сподуменовые и петалит-сподуменовые пегматиты слагают как крутопадающие, так и пологозалегающие тела. В Шамакатском пегматитовом поле наблюдается переход крутопадающих афанитовых сподуменовых даек в сопряженные с ними пологие жилы петалит-сподуменовых пегматитов, причем на участках перехода в афанитовых дайках постепенно увеличиваются количество вкрапленников, размер зерен минеральных агрегатов.

Вертикальная амплитуда распространения сподуменовых пегматитов на площади отдельных месторождений в основном от 100 до 800 м (максимальная – до 1000 м). Отдельные крупные крутопадающие плитообразные тела с литиевым оруденением, имеющим длину 1000–1500 м и мощность 20–40 м, вскрыты рельефом на 400–600 м по падению (месторождения Джаманак, Друмгал, Цамгал). На месторождении Джаманак сподуменовые пегматиты, отмеченные на высотах 4650–3750 м над уровнем моря, сменяются на высотах 3750–3200 м альбитовыми. Аналогичный характер имеет вертикальная зональность на месторождении Друмгал: сподуменовые пегматиты выявлены на высотах 4000–3400 м, а альбитовые пегматиты с небольшими гнездами сподумен-альбитового комплекса – на высотах 3800–3300 м. В нижней части жильной зоны (3500–2500 м) развиты пегматиты олигоклаз-микроклинового типа с биотитом и мусковитом, иногда содержащие крупнокристаллический берилл.

Вертикальная зональность в расположении пегматитов разного состава проявлена и в пегматитовых полях с пологозалегающими жилами. Так, на месторождении Яригул известны субгоризонтальные или падающие под углами 10–20° плитообразные пегматитовые тела мощностью 2–10 м и длиной 300–1500 м. На высотах 2500–2800 м это микроклиновые

шерл-мусковитовые, практически не альбитизированные пегматиты, выше степень альбитизации резко возрастает, и на высотах 3500–3750 м наблюдаются интенсивно альбитизированные пегматиты, содержащие большое количество фосфатов. На высоте 3500 м появляются единичные жилы сподуменовых пегматитов, а в интервале высот 3750–4500 м развиты уже только они. Аналогичная закономерность отмечена Н.А. Солодовым в пределах пегматитового поля Дарай-Пич.

Следует отметить также, что в крупных крутопадающих жилах минеральный состав и особенности морфологии минералов изменяются по вертикали. Например, на месторождениях Джаманак, Друмгал и Пашки вверх по восставанию жил увеличивается количество кристаллов сподумена и изменяется их габитус, снижается роль микроклина (за счет альбита). Среднее содержание оксида лития в пегматитовых телах возрастает от 1,5 до 2,2 %. В апикальных частях некоторых жил увеличивается количество касситерита и танталита.

На месторождении Друмгал автором совместно с Л.Н. Россовским изучена вертикальная геохимическая зональность распределения элементов-примесей в калиевом полевопегматите (табл. 10). Общая вертикальная протяженность опробованного интервала составила 1250 м. Состав пегматитов изменяется на этом интервале следующим образом: 2750–2950 м — олигоклаз-микроклиновые с биотитом, 3000–3350 м — олигоклаз-микроклиновые с шерлом и мусковитом и альбитизированные микроклиновые, 3500–4000 м — сподуменовые. Как видно из табл. 10, содержания бария и стронция в калиевом полевопегматите сокращаются на этом интервале в 50–400 раз, а содержания рубидия и цезия, наоборот, значительно возрастают, что отражается в уменьшении величины индикаторного отношения бария к рубидию на три порядка.

Концентрации элементов-примесей в калиевых полевопегматитах из сподуменовых пегматитов других месторождений Афганистана близки к полученным для сподуменовых пегматитов месторождения Друмгал. Так, в восьми образцах блокового микроклина из месторождения Цамгал их содержания таковы (в г/т): Ba 21–120; Sr 10–37; Rb 1160–2700; Cs 40–82.

Пределы изменения концентраций этих элементов в калиевых полевопегматитах из сподуменовых и петалит-сподуменовых пегматитов других месторождений составляют (в г/т): Ba 13–140; Sr 10–72; Rb 1240–3930 и Cs 19–155. Таким образом, все изученные образцы содержат элементы-примеси в количествах, характерных для калиевых полевопегматитов из редкометальных пегматитов.

Следует отметить, что многие калиевые полевопегматиты из сподуменовых и петалит-сподуменовых пегматитов Афганистана по степени моноклинной упорядоченности и триклинности не являются микроклинами. В большинстве случаев блоковые калиевые полевопегматиты представляют собой промежуточные ортоклазы, что объясняется, в частности, значительным количеством примеси рубидия, присутствие которого может препятствовать процессам упорядочения кристаллической решетки. Однако, следуя традиции, автор в некоторых случаях применяет термин „микроклин“

Таблица 10. Содержания элементов-примесей (в г/т) в калиевых полевых шпатах из пегматитов месторождения Друмгал (аналитики С.К. Ярошенко и Д.Я. Орлова)

Структура и разновидность калиевого полевого шпата	Высотная отметка отбора пробы, м	Ba	Sr	Rb	Cs	Ba:Rb
<i>Сподуменовый пегматит</i>						
Блоковая, веретено-видные кристаллы	4000	18	10	1330	67	0,014
	3900	90	35	2000	45	0,045
Блоковая, слабо удлинённые кристаллы	3750	25	10	1350	80	0,018
	3600	43	18	1180	87	0,036
	3500	25	10	4000	135	0,006
<i>Альбитизированный микроклиновый пегматит</i>						
Блоковая	3350	80	29	1800	117	0,044
Гигантблочная	3250	24	10	1260	152	0,019
Апографическая	3150	160	35	830	58	0,193
Мелкографическая	3100	120	35	630	26	0,190
<i>Олигоклаз-микроклиновый пегматит с шерлом и мусковитом</i>						
Апографическая Графическая	3050	4000	400	320	—	12,5
	3000	2900	380	340	—	8,53
<i>Олигоклаз-микроклиновый пегматит с шерлом и биотитом</i>						
Мелкоблочная Апографическая Порфириобласты	2950	5100	270	340	—	15,0
	2900	6900	480	360	—	19,2
	2850	6600	460	360	10	18,3
<i>Олигоклаз-микроклиновый биотитовый пегматит</i>						
Графическая Апографическая	2800	7400	440	340	—	21,8
	2750	4400	400	360	—	12,2

в названиях и описаниях пегматитов в качестве синонима более строгого термина „калийевый полевой шпат“. Это относится не только к пегматитам Афганистана, но и к редкометальным пегматитам других регионов.

Пегматиты Афганистана пока еще не используются для получения лития. Однако имеющиеся данные о содержаниях и распределении этого элемента в пегматитах, а также об их ресурсах позволяют считать, что перспективы этого региона весьма значительны.

Месторождения района Алту-Лигонья в Мозамбике

Редкометальные пегматиты района Алту-Лигонья в северном округе Мозамбика — Замбезии — являются типичными представителями бериллий-тантал-литиевых пегматитов. Касситерит здесь практически отсутствует, встречается лишь в отдельных жилах на периферии района. Главные специфические черты пегматитов — исключительное богатство бериллом, разнообразие тантал-ниобиевой минерализации, присутствие значительных количеств висмута.

Как уже упоминалось в гл. 1, в центральной части района Алту-Лигонья развиты комплексные редкометальные месторождения (Муяне, Муано, Мурропаси и др.), содержащие множество литиевых и ниобий-танталовых минералов, берилл и поллуцит. Автор считает, что рассматривать их совместно с другими поллуцитсодержащими объектами нецелесообразно по двум причинам. Во-первых, поллуцит ни на одном из месторождений Мозамбика не имеет большого практического значения, а во-вторых, пегматиты этого района по минеральному составу очень тесно связаны друг с другом постепенными переходами, представляя собой как бы звенья единой цепи.

Добыча драгоценных камней из пегматитов района происходила с давних времен и продолжается до сих пор. В годы второй мировой войны здесь началась разработка месторождений рудоразборного берилла. Максимальный уровень добычи был достигнут в 1957–1960 гг., когда Мозамбик был крупнейшим в мире поставщиком берилла (экспорт 1960 г. — 1425 т), но в дальнейшем наблюдался непрерывный спад производства этого сырья. В 1953 г. началось извлечение из пегматитов танталовых минералов, и в настоящее время именно тантал представляет максимальный интерес. Кроме того, в районе добываются лепидолит, берилл, кварц, разнообразные драгоценные и поделочные камни.

Месторождение Муяне — самое крупное в районе. Пологозалегающее пегматитовое тело прослежено по простиранию на 1200 м и имеет видимую мощность около 80 м. Однако поскольку на поверхности (на вершине холма) обнажается кварцевое ядро (площадь выхода 260×70 м) — рис. 20, можно предполагать, что истинная мощность жилы могла быть 120–150 м. Ядро сложено совершенно чистым кварцем молочно-белого цвета или с чередованием молочно-белых и желтоватых прозрачных полос.

Продуктивная часть тела находится под кварцевым ядром и имеет мощность до 20 м. С кварцем ядра контактирует существенно лепидолитовая мелкозернистая зона, содержащая также альбит, кварц, сподумен и разнообразные акцессорные минералы, в том числе и танталовые. Ниже следует крупнозернистая зона „перистого“ литиевого мусковита, ассоциирующего с кварцем и альбитом, в которой присутствуют также берилл, танталит-колумбит, турмалин, циркон и другие минералы. Кроме перистых крупных (до 80 см) кристаллов мусковита здесь отмечаются и шаровидные скопления слюды. Для тех и других характерны изогнутые „скорлуповатые“ поверхности спайности.

Танталовая минерализация связана главным образом с лепидолитовой зоной; это танталит, стибитанталит и микролит. Кроме того, в зоне встречаются самородный висмут, гадолинит и так называемый мозамбикит — недостаточно изученный водный алюмосиликат тория, урана и редких земель, образующий октаэдрические кристаллы желто-коричневого цвета. В двух продуктивных зонах пегматитового тела встречаются и такие акцессорные минералы, как кукцит, апатит, монацит, флюорит, рутил, сульфиды железа и меди. Среднее содержание оксида тантала в рудах — 0,016 %.

Ниже зоны перистого мусковита размещается сильно каолинизирован-

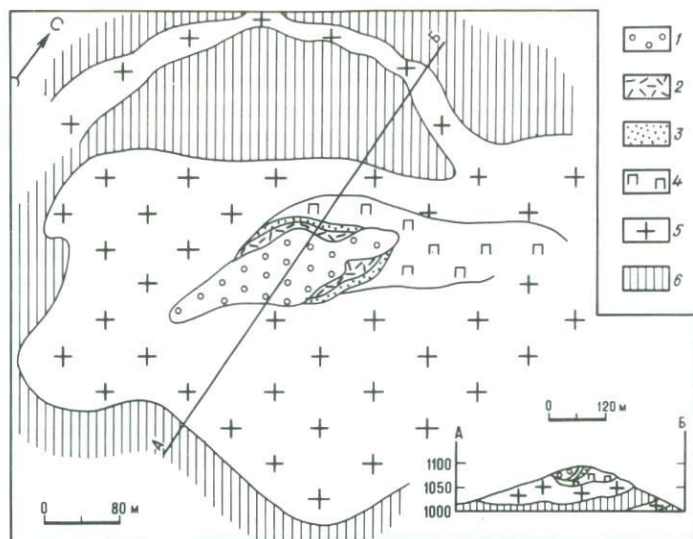


Рис. 20. Схематическая геологическая карта и вертикальный разрез жилы Муяне (район Алту-Лигонья, Мозамбик). По Р.Хатчинсону и Р.Клаусу:

1 — кварцевое ядро; 2—4 — зоны: 2 — лепидолит-кварц-плагноклаз-сподуменовая, 3 — кварц-мусковит-плагноклазовая, 4 — пертитовая; 5 — микроклин-плагноклазовый пегматит; 6 — сланцы

ная зона крупноблокового микроклин-пертитового пегматита, имеющая переменную мощность — от нескольких метров к юго-западу и до 30 м к северо-востоку от центра кварцевого ядра. В этой зоне широко проявлено замещение калиевого полевого шпата кварц-мусковитовым агрегатом и альбитом. Наконец, внешнюю и самую мощную зону пегматитового тела составляет среднезернистый микроклин-плагноклазовый пегматит, в котором встречаются также мусковит, андалузит, турмалин, апатит. Контакт этой зоны с вмещающими амфиболовыми сланцами всегда резкий и секущий, во многих случаях осложненный тектоническими нарушениями.

В период посещения автором месторождения (1981 г.) обогащение пород из двух продуктивных зон пегматитового тела происходило следующим образом. Вся дезинтегрированная масса промывалась водой непосредственно в бункере, и образовавшаяся жидкость поступала на обогатительную фабрику для гравитационной сепарации. Крупные глыбы породы поступали в отвал, а средняя фракция (1—10 см) подвергалась ручной отборке. Прозрачные обломки и кристаллы (кварц, берилл, турмалин) в дальнейшем сортировались; при этом отбиралось ювелирное сырье, а остальной материал поступал в концентрат кварца и берилла. Куски мелкозернистой лепидолитовой породы дробились и направлялись на обогатительную фабрику. После гравитационной сепарации концентраты подвергались электромагнитному разделению на фракции. Танталитовый концентрат содержал до 60 % Ta_2O_5 . Микролитовый концентрат поставлялся отдельно.

В рудных отвалах месторождения накопилось значительное количество (по объему — не менее 20 %) глыб лепидолитовой породы, и, по существу, отвалы представляют собой резервный источник тантала. Благодаря присутствию в лепидолитовой массе микролита, гадолинита и мозамбикита рудоносные участки отвалов могут быть легко оконтурены с помощью эманометров или других аналогичных приборов.

Жила Монея по многим параметрам аналогична жиле Муяне. Это крупное пологозалегающее тело в гранатовых амфиболитах. Длина его 1200 м, мощность 25–30 м, продуктивная зона прослежена на 800 м при мощности 8–10 м. В центре тела размещается кварцевое ядро, по периферии которого концентрируются крупные (длиной до 1,2 м) кристаллы сподумена. В восточной части жилы ядро разделяется на несколько кварцевых обособлений („конский хвост“). Кварцевое ядро (ядра) окружено продуктивной зоной, сложенной рыхлой каолинизированной крупнозернистой породой кварц-альбит-мусковитового состава, содержащей берилл и танталит, причем концентрация Ta_2O_5 достигает здесь иногда 0,13 %.

За пределами продуктивной зоны наблюдается крупнозернистый существенно микроклиновый пегматит, в котором хорошо выражены процессы кварц-мусковитового замещения и альбитизации. Средние содержания Ta_2O_5 в этой зоне — 0,008 %. Отмечаются гранат и черный турмалин.

В экзоконтактах залегают слюдиты, образовавшиеся по амфиболитам. Любопытно, что в слюдах на расстоянии до 2 м от контакта отмечаются промышленные содержания тантала. По значению соотношения тантала и ниобия можно предполагать, что эти элементы входят в состав танталит-колумбита.

Жила Муниамола имеет длину 680 м, ширину 40–50 м и прослежена по падению на 105 м. Это тоже секущее пологое тело, но угол падения лежащего контакта, вскрытого в карьере, 25–35°. Одной из особенностей жилы является наличие в кварцевом ядре крупных кристаллов микроклина (наряду со сподуменом). Окружающая ядро продуктивная зона имеет сподумен-кварц-альбитовый состав и отличается крупнозернистостью. Она содержит кристаллы берилла длиной до 1 м и характеризуется очень высокими концентрациями крупнокристаллического танталита — 0,1–0,2 %.

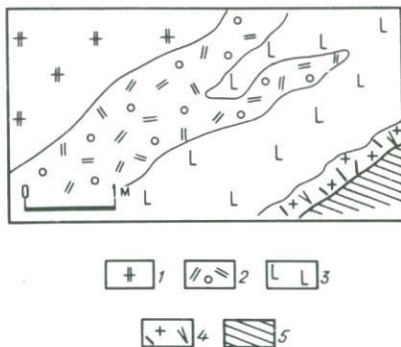
Далее к периферии располагается альбитовая среднезернистая зона с зеленым мусковитом и несколько более низкими, но тоже промышленными содержаниями тантала. В этой зоне встречаются полости с крупными кристаллами горного хрусталя, а в крупнозернистой сподумен-кварц-альбитовой зоне иногда наблюдается лепидолит, образовавшийся по сподумену. Иногда с лепидолитом ассоциирует яркоокрашенный рубеллит.

В лежащем контакте жилы отчетливо выражена внешняя графическая микроклиновая зона мощностью 2–3 м, содержащая биотит (рис. 21). Кроме того, в зальбанде отмечается мелкозернистая оторочка микроклиноплагиоклазового состава. По графической зоне развивается мелкозернистый кварц-мусковитовый замещающий комплекс, содержащий значительное количество альбита. Здесь установлены промышленные содержания тантала.

Большой интерес представляет месторождение Морруа; в его пределах выявлена серия крупных субгоризонтальных тел, содержащих многие десятки тысяч тонн высококачественной танталовой руды со средней концентрацией Ta_2O_5 0,07 %, а также значительные количества лепидолита, сподумена, берилла.

По форме тела пегматитов, как и на рассмотренных ранее месторождениях Берник-Лейк в Канаде или Камативи в Зимбабве, напоминают перевернутые блюдца. Размеры тел в плане — до 300х500 м, максимальная мощность 15 м. Разведочное бурение, выполненное в начале 80-х гг., показало наличие нескольких „этажей“ жил. На месторождении насчитывается до 12 отдельных тел, но они нередко соединяются друг с другом апофизами, образуя сложные по форме переходы от одного „этажа“ к другому.

Осмотренное автором верхнее пегматитовое тело месторождения вскрыто несколькими карьерами. Оно отличается сравнительно малой мощностью (в среднем — 5 м) и слабо выраженной дифференциацией пегматитов. Вместо кварцевого ядра, обычного на других месторождениях района, здесь имеются лишь небольшие кварцевые обособления. Крупные (до 2 м в длину) кристаллы сподумена встречаются практически по всей мощности тела. Продуктивной является крупнокристаллическая центральная зона, состоящая из сподумена, кристаллы которого ориентированы незакономерно, лепидолита, образующего шаровидные скопления крупных кристаллов и мелкозернистые плотные агрегаты, кварца, альбита, представленного как клевеландитом, так и мелкозернистыми выделениями и очень редких блоков микроклина. Танталовая минерализация постоянно присутствует в виде микролита и манганотанталита, содержащихся примерно в равных количествах. В центре тела к продуктивной зоне со стороны как лежачего, так и всячего бока примыкают крупнозернистые существенно альбитовые зоны, в которых присутствуют также лепидолит, сподумен, турмалин (дравит) и танталит. Содержание оксида тантала здесь понижается до 0,02 %. В участках выклинивания жилы в этих зонах наблюдаются также многочисленные крупные кристаллы микроклина, замещаемого кварц-мусковитовым агрегатом, и кристаллы берилла. В таких участках содержание Ta_2O_5 составляет около 0,01 %. В зальбандах тела обычно отмечается кварц-мусковитовая оторочка шири-



ной 10–70 см, причем столбчатые кристаллы мусковита ориентированы перпендикулярно контакту, а поверхности спайности — параллельно ему. Здесь присутствуют турмалин (шерл) и гранат (спессартин). Контакт с вмещающими амфиболитами резкий, нередко ступенчатый. Экзоконтактные изменения не выражены.

В 1981 г. сырье данного месторождения перерабатывалось следующим образом. Материал, поступающий из карьера, дробился на обогатительной фабрике до 8 см и после отделения фракции менее 3 мм сортировался вручную. Куски лепидолитовой породы дробились вторично. Мелкий материал подвергался многократному обогащению на концентрационных столах, а затем — с помощью электромагнитной сепарации. Извлечение танталовых минералов составляло 35–40 %, но планировались меры для улучшения этого показателя — до 50 %. Концентрат манганотанталита, получаемый на месторождении, отличается чрезвычайно высоким содержанием Ta_2O_5 — до 80 % при содержании Nb_2O_5 — 1 %. Концентрат танталита содержит более 55 % Ta_2O_5 и примерно 20 % Nb_2O_5 .

На этой же фабрике ведется обработка руды, поступающей с месторождения Марропино. В отличие от месторождения Морруа, где танталит и микролит присутствуют в равных количествах, здесь микролита в 4 раза больше, чем танталита. Микролитовые концентраты поставляются покупателям отдельно.

Месторождение Марропино, находящееся на юго-западном окончании пегматитового района Алту-Лигонья, резко отличается от расположенного недалеко от него месторождения Морруа. Это единое крупное тело с размерами выходов 1100×300 м, слагающее центральную часть крупного холма, который возвышается на 40–50 м над окрестной территорией. Тело имеет восточно-северо-восточное простирание, совпадающее с простиранием вмещающих кристаллических сланцев (амфиболовые, двуслюдяные, мусковитовые), но по падению сечет их под острым углом. На разных участках контактов угол падения изменяется от 20 до 35°; мощность тела 60–70 м. Жила Марропино хорошо дифференцирована и характеризуется очень сложной зональностью (рис. 22).

Кроме находящегося в центре юго-западной части жилы крупного линзовидного кварцевого ядра (его размеры в плане 80×30 м) имеется еще несколько кварцевых обособлений длиной до 40 м. Большой интерес представляет секущее положение и центрального кварцевого ядра (оно имеет на поверхности юго-восточное падение под углом 50–60°), и других кварцевых обособлений. Судя по данным буровых работ (см. рис. 22), не исключено, что пегматитовое тело смещено вдоль секущей кварцевой зоны. Следует отметить также наличие в жиле крупных ксенолитов (скиалитов) вмещающих пород, как бы разделяющих пегматитовое тело на отдельные части.

В наиболее мощной юго-западной части жилы преобладают альбитсодержащие парагенезисы. Вдоль контактов широко развиты мелкозернистые альбитовые породы, содержащие подчиненное количество кварца и мусковита и имеющие нередко полосчатую текстуру. Далее к центру их сменяет средне-крупнозернистый микроклин-альбитовый пегматит, тоже

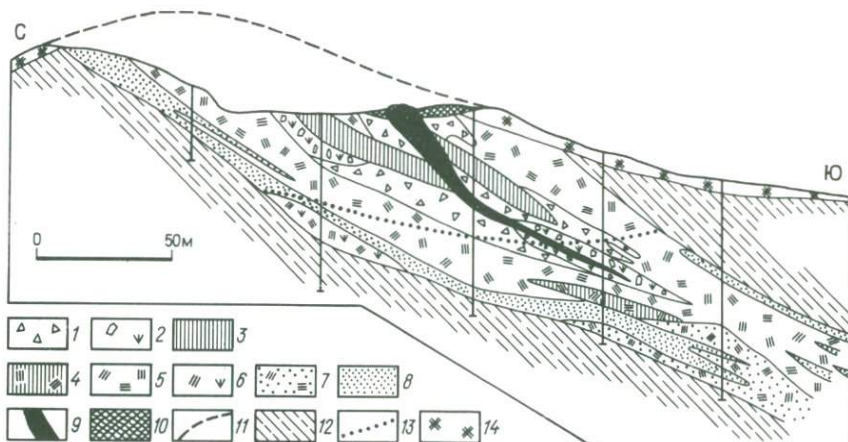


Рис. 22. Вертикальный разрез жилы Марропино (район Алту-Лигонья, Мозамбик).

1—4 — зоны: 1 — лепидолитовая, 2 — лепидолит-клевеландитовая, 3 — сподумен-лепидолитовая, 4 — сподумен-мусковитовая; 5 — мусковит; 6 — клеветандит и мусковит; 7 — альбит и мусковит; 8 — сахаровидный альбит; 9 — кварцевое ядро; 10 — развалы кварца; 11 — контур отработанной части жилы; 12 — двуслюдяные сланцы; 13 — граница зоны каолинизации; 14 — делювий

с мусковитом и кварцем. В центральной части тела наблюдаются лепидолитовая, лепидолит-сподуменовая, лепидолит-клевеландитовая и мусковит-сподуменовая зоны, слагающие линзообразные тела мощностью до 10 м. Как и на описанном ранее месторождении Бикита, взаимоотношения между этими зонами отличаются в разных сечениях жилы. В центральных зонах тела в ассоциации с лепидолитом и альбитом встречаются микролит и танталит-колумбит. Вдоль контактов секущей кварцевой зоны отмечается висмутовая минерализация: бисмутит, теллуровисмутит, висмутин, самородный висмут. Кроме того, в жиле наблюдаются монацит, ксенотим, гранаты, циркон, турмалин, рутил, апатит, сфен и многие другие акцессорные минералы.

В северо-восточной части тела преобладает графический микроклиновое пегматит. На глубину 50—60 м от поверхности пегматиты интенсивно каолинизированы, что облегчает их разработку.

Запасы жилы Марропино составляют несколько десятков тысяч тонн тантало-ниобиевых руд со средними содержаниями Ta_2O_5 и Nb_2O_5 в неветрелых участках соответственно 0,021 и 0,09 %, а в каолинизированных пегматитах — 0,017 и 0,011 %.

Результаты изучения химического состава минералов из жил района Алту-Лигонья показывают, что по содержаниям щелочных элементов (табл. 11) они в общем близки минералам других редкометалльных пегматитов. В калиевых полевых шпатах, которые по степени упорядоченности кристаллической решетки здесь всегда относятся к максимальным микроклинам, обычно содержится 0,2—0,6 % рубидия и 0,04—0,05 % цезия. Большие концентрации этих элементов в калиевых полевых шпатах отме-

Таблица 11. Содержание щелочных элементов (в %) в калиевых полевых шпатах и слюдах из пегматитовых жил Мозамбика (аналитики Т.Н. Галкина, Д.Х. Николаева, Д.Я. Орлова)

Жила	Разновидность или место отбора образца	K	Na	Li	Rb	Cs
<i>Калиевый полевой шпат</i>						
Муяне	Блоковый	13,2	0,37	0,014	0,58	0,044
Муниамола	Графическая структура	12,5	1,01	0,008	0,16	0,012
"	Блоковый	11,6	1,16	0,020	1,00	0,19
Морруа	Реликт в альбите	10,7	1,44	0,020	1,41	0,25
"	Краевая зона	10,6	1,41	0,012	0,88	0,097
Насупе	Графическая структура	10,8	1,95	0,004	0,09	0,04
Мажамала	Блоковый	11,4	1,39	0,002	0,33	0,013
Мишупино	"	12,4	0,92	0,008	0,47	0,049
Морропосе	"	10,6	1,98	0,001	0,58	0,045
Муано	"	12,7	0,56	0,0130	0,37	0,037
<i>Мусковит</i>						
Муяне	Перистый кварц-мусковитовый агрегат	8,15	0,73	0,38	0,33	0,006
"	То же	7,55	0,62	0,56	0,50	0,03
Монея	Рудоносная зона	7,28	0,56	0,43	0,40	0,039
Муниамола	Кварц-мусковитовый агрегат	7,10	0,70	0,13	0,11	0,005
Морруа	Эндоконтакт	7,60	0,95	0,24	0,82	0,18
"	Кварц-мусковитовый агрегат	7,60	0,68	0,32	0,22	0,01
Мария II	То же	7,40	0,86	0,32	0,21	0,01
Макаруени	"	7,10	1,12	0,072	0,38	0,036
Морропосе	Ельчатый	7,40	0,88	0,12	0,46	0,23
<i>Лепидолит</i>						
Муяне	Рудоносная зона	7,92	0,27	1,68	1,12	0,43
Мария II	Крупнокристаллический	8,32	0,36	2,63	0,66	0,31

чаются только в наиболее богатых редкометальной минерализацией участках жил Морруа и Муниамола: до 1,4 % рубидия и 0,25 цезия, а в графических сростаниях микроклина с кварцем их концентрации наоборот, понижены: соответственно до 0,1–0,2 % и 0,004–0,01.

В мусковитах рудоносных зон жил Муяне и Монея установлены явно повышенные содержания лития. Из других результатов заслуживают внимания очень высокие содержания рубидия и цезия в эндоконтактовом мусковите жилы Морруа и рекордно высокие для мусковитов района содержания цезия в позднем ельчатом мусковите жилы Морропосе. Разумеется, самые высокие содержания редких щелочей наблюдаются в лепидолитах. Интересно, что концентрации натрия в этом минерале сравнительно низкие.

Содержания бария и стронция в микроклинах района очень низки (0,002–0,007 % Ba и 0,003 % Sr) и соизмеримы с содержаниями этих эле-

ментов в калиевых полевых шпатах других редкометалльных пегматитов. Каких-либо устойчивых закономерностей их распределения в минералах из жил с разной минерализацией или разных зон пегматитовых тел не отмечается.

Месторождения США и Канады

К типу бериллий-тантал-литиевых пегматитов относится значительное число редкометалльных пегматитовых месторождений на всех континентах. Для включения в настоящую книгу были отобраны те достаточно хорошо изученные объекты, которые либо плохо описаны в отечественной литературе, или по-новому оценены в последние годы. К первым относится жила Хардинг в шт. Нью-Мексико (США), ко вторым — пегматитовое поле Йеллоунайф-Болье в Канаде.

Жила Хардинг является типичным представителем бериллий-тантал-литиевых пегматитов. С 1919 по 1930 г. здесь добывался лепидолит, использовавшийся в стекольной промышленности. Затем в 1942–1947 гг. жила стала известна как крупнейшее в мире месторождение микролита. Было получено более 10 т микролитового концентрата, содержавшего в среднем 68 % Ta_2O_5 и 7 % Nb_2O_5 . Наконец, в 1950–1958 гг. жила дала около 800 т бериллового концентрата, причем в первые два года это был крупнейший в США источник берилла. В настоящее время район жилы Хардинг является собственностью Университета шт. Нью-Мексико. Он служит для учебных целей и поставляет значительное количество коллекционных образцов.

Пегматитовое поле Хардинг находится в Скалистых горах и относится к области Кордильер. Вмещающими породами пегматитовых жил являются амфиболиты и кристаллические сланцы докембрия. В районе известно несколько гранитных массивов, но достоверной связи пегматитов ни с одним из них не установлено. Возраст пегматитов — 1330 млн. лет. В поле имеется несколько десятков пегматитовых тел, преимущественно линзовидной формы, длиной от нескольких метров до 350 м, а главное пегматитовое тело (собственно жила Хардинг) прослежено на 500 м; ее максимальная мощность — 25 м. Жила имеет форму крупного плоского диска, полого (10 – 15°) погружающегося в южном направлении. Она вскрыта несколькими карьерами, а ее фланги исследованы с помощью разведочного бурения.

Строение жилы Хардинг хорошо изучено. Здесь выделяется восемь зон, или парагенетических ассоциаций, пять из которых первичны, а три являются результатом действия интенсивных аутометасоматических процессов. В всячем контакте наблюдается тонкая (несколько сантиметров) альбит-мусковит-кварцевая оторочка, сменяющаяся так называемой берилловой зоной мощностью в несколько метров. Она тоже состоит в основном из альбита, мусковита и кварца и содержит в качестве второстепенных и аксессуарных минералов микроклин, берилл, апатит, лепидолит и танталит-колумбит. В западной, более мощной, части зоны отмечаются крупные кристаллы берилла — длиной 1 м и более.

Под берилловой зоной в большинстве случаев (иногда отсутствует) наблюдается клевеландитовая зона переменной мощности, состоящая преимущественно из крупнокристаллического альбита с примесью берилла. Она образуется уже на послемагматическом этапе, в процессе альбитизации, и приурочена к трещинам между берилловой и следующей зоной основными минералами в которой являются сподумен и кварц. Сподумен образует в этой зоне тонкие удлиненные кристаллы — „щепки” (лейсты). Ниже кварц-сподуменовой зоны обычно размещается кварцевое ядро, но оно в жиле не непрерывно, а разделено на несколько небольших обособлений.

В лежачем контакте преобладает первичная микроклин-пертитовая зона, состоящая главным образом из крупных кристаллов калиевого полевого шпата и кварца. Под ней обычно залегают аплитовая зона, слагающая практически непрерывную контактовую оторочку лежачего эндоконтакта. Вмещающими породами здесь являются кварц-мусковитовые сланцы, в то время как в сохранившихся от эрозии висячих экзоконтактах наблюдаются амфиболиты. Оба контакта резкие и неровные.

Под кварц-сподуменовой зоной или под кварцевым ядром находится наиболее интересная с экономической точки зрения „пятнистая зона” (местное название). Она сложена равнотермическим агрегатом микроклина, сподумена и кварца; в ней постоянно присутствуют, но в разном количестве яркоокрашенные лепидолит, литиевый мусковит и альбит. Здесь же отмечаются микролит, танталит, апатит и спессартин. Лепидолит обычно образует плотные сиреневые тонкозернистые агрегаты, но иногда встречается в виде крупных лиловых кристаллов с изогнутыми поверхностями спайности в кварце или альбите. Такой лепидолит трудно отличим от розового литиевого мусковита. В окраске последнего, как правило, больше красных оттенков, чем фиолетовых, свойственных лепидолиту.

Микролит в „пятнистой зоне” представлен отдельными кристаллами, обычно окрашенными в очень темные коричневые или зеленоватые тона; для них характерен жирный блеск. Участки, наиболее богатые микролитом, располагаются преимущественно возле границы с вышележащей кварц-сподуменовой зоной.

Здесь этот минерал имеет более светлую окраску и слагает тонкозернистые агрегаты. „Пятнистая зона” сформировалась явно в результате метасоматических процессов, когда калиевый полевой шпат микроклин-пертитовой зоны замещался слюдами и кварцем, происходила альбитизация, появился ряд акцессорных минералов.

Еще одной разновидностью метасоматических образований в жиле Хардинг является агрегат розового мусковита и клевеландита, возникающий в результате замещения участков кварц-сподуменовой зоны альбитом (по кварцу) и мусковитом (по сподумену), причем пластинки розового мусковита нередко создают псевдоморфозы по крупным кристаллам сподумена. Мусковит-клевеландитовый агрегат не слагает, разумеется, непрерывной зоны. Это небольшие выделения неправильной формы или крупные участки с секущими апофизами, тяготеющие к средней части пегматитового тела, распространены в пределах первичной кварц-сподуменовой зоны или вдоль ее границ с соседними зонами.

А. Монтгомери, Р. Джанс, Р.Эвинг, Б. Чакумакос и другие специалисты, изучавшие месторождения, считают пегматиты Хардинга типичным примером активного проявления поздних процессов воздействия остаточного флюида на первичные парагенезисы, сформировавшиеся последовательной кристаллизации расплава от контактов вмещающей полости к ее центру.

Пегматитовое поле Йеллоунайф-Болье располагается в провинции Йеллоунайф (ее краткое описание см. в гл. 1). Главные особенности геологического строения этого поля были достаточно подробно охарактеризованы в отечественной литературе [8]. Однако, по данным Р. Ласманиса [38], по ресурсам лития в пегматитах район Йеллоунайф находится на третьем месте в мире, уступая только пегматитовому поясу Каролин (США) и району Маноню (Заир); здесь выявлено 49 млн. т литиевых руд со средним содержанием металла 0,65%. По данным Р. Маллигана, пегматиты Йеллоунайфа являются также крупнейшим бериллиеносным резервом Канады. В связи с этим автор счел необходимым привести краткое описание одного из полей.

Как уже отмечалось (см. гл. 1), в пределах поля наблюдается корреляция между степенью метаморфизма вмещающих пород и редкометальной специализацией пегматитовых жил.

В кристаллических сланцах вокруг пегматитовых жил прослежены экзоконтактные ореолы турмалинизации, окварцевания и биотитизации. Ширина ореолов — несколько сантиметров для ближайшей к контакту кварц-турмалиновой зоны и десятки сантиметров для внешних зон.

По морфологии пегматитовые тела обычно относятся к дайкообразным или к жилам неправильной формы с многочисленными апофизмами. Как правило, это крутозалегающие ($60-70^\circ$) тела, приуроченные к плоскостям напластования или к границам между разными по составу пластами метаморфических пород. Однако достаточно широко развиты и секущие жилы с таким примерно же падением. Преобладают жилы длиной 100—300 м при мощности 10—20 м, но встречаются пегматитовые тела любых размеров — вплоть до 100 м в длину. Нередко отмечаются серии субпараллельных жил.

Большинство пегматитовых тел хорошо дифференцированы. Имеются кварцевое или кварц-калиево-полевошпатовое ядро, кварц-мусковит-полевошпатовые промежуточные и обогащенные альбитом или кварц-мусковитовыми агрегатами боковые зоны. Литиевая минерализация (сподумен, реже амблигонит) обычно концентрируется в центральных частях жил, а берилл, касситерит, минералы ниобия и тантала — в боковых или внешних промежуточных зонах. Редкометальная минерализация выявлена в сотнях жил, а общее число пегматитовых тел в поле измеряется тысячами.

По данным Р. Маллигана, промышленные жилы поля сгруппированы в 17 месторождений и рудопроявлений. Одно из них — месторождение Мус — расположено возле канала Хэрн. Тело Мус-1 имеет длину 270 м и мощность более 10 м. В центре его отмечается кварцевое ядро с амблигонитом, во внутренней промежуточной зоне — многочисленные крупные кристаллы сподумена, а во внешней зоне клевеландит-микроклин-кварц-

мусковитового состава наблюдаются отдельные кристаллы берилла. Тело Мус-2 протягивается на 430 м при мощности до 60 м и содержит несколько небольших кварцевых ядер, к которым приурочен амблигонит. Сподумен и берилл, ассоциирующие с клевеландитом, встречаются вокруг этих ядер. На одном из участков подсчитано содержание берилла, составившее 0,5 % (по объему).

На месторождении Росс-Редаут, расположенном между озерами с теми же названиями, насчитывается несколько сотен пегматитовых жил и имеется большое число промышленных объектов. Часть тел содержит значительные количества сподумена, но в большинстве случаев интерес представляют только берилл и колумбит-танталит. Именно здесь на небольшой фабрике было получено более 1700 кг колумбит-танталитового концентрата.

На площади месторождения Прелюд-Лейк выявлено 56 жил с промышленной минерализацией. Это преимущественно пегматиты тантал-бериллиевой специализации, причем объемное содержание берилла в детально изученных телах составляет 0,3–2 %.

Аналогичный характер имеет месторождение Блейсдел-Лейк, где известно 32 жилы, содержащих берилл (0,4 % по объему). Размер жил — до 400 м в длину при 6–8 м мощности.

На заявке Бест-Бет на берегу оз. Дривер карьером вскрыто пегматитовое тело длиной около 100 м с хорошо выраженной зональностью. В центре жилы находится прерывистое кварцевое ядро, в котором присутствуют также амблигонит и крупнокристаллический сподумен. Ядро окружено клевеландит-кварц-мусковитовой зоной, содержащей берилл и колумбит-танталит. Кроме того, скопления танталовых минералов наблюдаются по границам крупных кристаллов сподумена. Внешняя промежуточная зона, преобладающая в лежачем контакте, имеет альбит-микроклиновый состав, а боковые зоны сложены альбит-кварц-мусковитовым агрегатом.

Глава 5

ТАНТАЛ-БЕРИЛЛИЕВЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Этот тип редкометальных пегматитов характеризуется либо отсутствием, либо малым количеством литиевых минералов, представленных преимущественно лепидолитом или фосфатами лития; в этих пегматитах не встречаются также промышленные скопления мусковита. На месторождениях, относимых к данному типу, по парагенезисам породообразующих минералов обычно выделяют [13] микроклин-альбитовые и существенно альбитовые пегматитовые тела, содержащие промышленную бериллиевую и танталовую (иногда вместе с оловянной) минерализацию, а также амзонит-альбитовые тела, несущие преимущественно бериллиевую минерализацию. Однако границы между парагенетическими типами пегматитовых тел в значительной мере условны, тем более что плагиоклаз (альбит и

альбит-олигоклаз) в пегматитах может быть и первичным, и вторичным, а поэтому количественные соотношения между полевыми шпатами изменяются в процессе послемагматического метасоматоза.

Тантал-бериллиевые пегматиты распространены, по существу, во всех редкометалльных пегматитовых провинциях мира. Наибольшей известностью пользуются пегматиты области Аппалач в США, ряд месторождений Южной Америки, Индии, Африки и Австралии.

Месторождения Аппалач в США

В наиболее хорошо изученной орогенной области Аппалач Северной Америки имеются, как уже отмечалось в гл. 1, гранитные пегматиты всех типов. При этом только бериллий-тантал-литиевые (или собственно литиевые) пегматиты сконцентрированы в южной части шт. Северная Каролина, а мусковитовые, редкометалльно-мусковитовые и редкометалльные распределены достаточно равномерно, причем почти в каждом пегматитовом поле наблюдается ассоциация пегматитов нескольких типов.

Среди десятков тысяч пегматитовых тел, известных в Аппалачах, пегматиты тантал-бериллиевого типа пользуются, вероятно, наименьшим развитием, поскольку многие жилы, разрабатывавшиеся на берилл, тантал и ниобий, по минеральному составу относятся к комплексным редкометалльным, а другая часть бериллоносных объектов — к берилл-мусковитовым (точнее — к редкометалльно-мусковитовым) пегматитам. Иногда принадлежность месторождений к тому или другому типу трудно определить из-за неполноты описаний, выполнявшихся в основном 40–50 лет назад, а также из-за условности грани между типами редкометалльных пегматитов.

Месторождение Резерфорд в шт. Виргиния известно уже много лет, но в 1957–1960 гг. здесь были проведены дополнительные работы, которые дали новый интересный материал по внутреннему строению пегматитов, обобщенный Д.Ж. Синканкасом. По парагенетическому типу это альбитовые пегматиты, иногда переходные к микроклин-альбитовым. В последних проявлена наиболее отчетливая зональность: вокруг центральной системы пустот наблюдается зона клевеландита, затем следуют зона блокового альбита и пертитовая оболочка. Зоны, обогащенные мусковитом, располагаются вдоль висячего и лежащего контактов пегматитового тела.

Вмещающими породами являются гнейсы с сапролитизированными пропластками мощностью от 3 до 6 м. В контакте с пегматитами гнейсы обогащены биотитом, иногда мусковитом.

Форма пегматитовых тел пластинчатая, простираение северо-восточное, падение юго-восточное. Мощность — от долей метра до 4 м. Тело № 1 сложено крупнозернистым пертитом, мусковитом и кварцем, а в более узких частях — альбитом. Тело № 2 имеет неправильную форму, его максимальная мощность 4,5 м. В обоих телах преобладает альбит. Интересной особенностью тела № 2 является присутствие брекчий гнейса в центральной части тела и в его северо-восточном фланге. Крупные (до 1,2×0,6×0,3 м) плитообразные ксенолиты гнейса сцементированы альбитом.

В центре тела № 2 прослеживается система пустот, выполненных гранатом и альбитом и окруженных клевеландитом, кристаллы которого ориентированы перпендикулярно стенкам. Эта клевеландитовая зона сменяется зоной блокового альбита. На границе последней с обогащенной мусковитом приальбандовой зоной локализуются редкие минералы, среди которых преобладают колумбит, берилл и микролит. Наибольшая их концентрация отмечается в висячем боку.

Кроме берилла на месторождении выявлены такие бериллиевые минералы, как берtrandит, гельвин, бавенит, фанакит и гердерит. Бавенит особенно широко распространен на юго-восточном фланге тела № 2 среди альбитовой брекчий. Встречается он в виде пушистой волокнистой массы и радиально-лучистых сростков. Максимальные размеры отдельных скоплений этого минерала — 40×35×25 см.

Новые данные по месторождению Резерфорд показали, что следует внести небольшую поправку к характеристике этих пегматитов, данной А.Е. Ферсманом [20]. По его представлениям, для пегматитов этого района характерно отсутствие пустот, но как было установлено в последние годы, пустоты достаточно типичны для данных пегматитов.

Месторождение Стрикленд в шт. Коннектикут разрабатывается с 1900 г. Оно расположено в 3,5 км к северо-востоку от г. Портленда. Это микроклин-альбитовые пегматиты с мусковитом, содержащие небольшое количество сподумена, берилл и тантало-ниобаты. Главное тело — линза, длиной 240 м и мощностью 20 м. Она прослежена до глубины 80 м. В состав пегматитов входит более 100 минералов, главными из которых являются кварц, микроклин-пертит, альбит, сподумен, мусковит, лепидолит, турмалин, берилл, гранат, апатит. В меньших количествах отмечаются флюорит, кукцит, колумбит, амблигонит, литиофиллит, циркон, микролит, пирит, халькопирит, галенит, родохрозит, уранинит и другие урановые минералы.

Пегматиты зональны; выделяются следующие зоны: 1) краевая кварц-мусковит-плагиоклазовая (мощность 2–20 см); 2) боковая альбит-кварц-мусковитовая (30 см — 2 м) с гранатом, черным турмалином и крупными кристаллами мусковита, который иногда может иметь промышленное значение; 3) первая промежуточная микроклин-кварц-плагиоклазовая с участками графического пегматита; 4) вторая промежуточная альбит-кварцевая; 5) ядро массивного кварца с небольшим количеством альбита. Кристаллы сподумена приурочены к промежуточным зонам (главным образом — ко второй) и располагаются вблизи ядра. Количество сподумена невелико и он не представляет промышленного интереса.

Качество мусковита жилы Стрикленд невысоко — это крупнокристаллическая слюда зеленого цвета с многочисленными дефектами и включениями магнетита, граната и кварца. Тем не менее из двух заложённых на жиле карьеров и из подземных выработок были извлечены многие сотни тонн мусковита-сырца, главным образом из боковых зон вдоль висячего и лежащего контактов.

Кристаллы берилла, имеющие различную окраску, длину до 30 см и размеры в поперечнике до 15 см, приурочены к альбит-кварцевой зоне.

Таблица 12. Содержание натрия (в %) и элементов-примесей (в г/т) в калиевом полевом шпате и мусковите из жилы Стрикленд (аналитики: Д.Х. Николаева, Л.А. Персикова и С.К. Ярошенко)

Минерал	Na	Li	Rb	Cs	Ba	Sr	Pb	Tl
Калиевый полевой шпат из графического пегматита	1,75	56	710	75	100	55	540	1,2
Мусковит:								
из кварц-мусковитового агрегата	0,60	2610	1660	43	46	10	6,3	1,3
поздний	0,54	2300	5700	1868	33	40	—	8,3

Распределение берилла неравномерное, среднее содержание в жиле низкое, но все же добыча этого минерала продолжалась в течение многих лет.

Танталит-колумбит в виде небольших кристаллов рассеян в альбит-кварцевой зоне, образующейся, по данным В. Дженкса, изучавшего пегматиты окрестностей Портленда, в „переходную стадию“. Эта стадия, в течение которой формировались альбит (клевеландит), кварц, сподумен, лепидолит, мусковит, берилл, колумбит, характеризуется интенсивным метасоматозом. Первичные магматические минералы (калиевый полевой шпат, плагиоклаз, кварц и ранний мусковит) подвергались замещению или перекристаллизации.

По содержаниям элементов-примесей в минералах (табл. 12) жила Стрикленд явно относится к редкометальным пегматитам. По величине отношения бария к рубидию в первичных минералах — в калиевом полево-мусковитовом шпате из графического пегматита (0,141) и в мусковите из кварц-мусковитового агрегата (0,028) — она близка к редкометально-мусковитовым пегматитам [23], но очень высокие концентрации редких щелочей и таллия в позднем мусковите свидетельствуют о редкометальном характере минерализации „переходной стадии“.

В месторождении Раймонд в шт. Нью-Хэмпшир насчитывается около 100 пегматитовых даек, тел неправильной формы и линз, которые залегают в породах формации Литлтон и реже — в гранитах девонского возраста. Более половины пегматитов района конкорданты с вмещающими их породами, остальные — секущие. Простираение тел северо-западное, падение — северо-восточное. Это микроклин-альбитовые пегматиты с небольшим количеством сподумена. Из них добывали полевой шпат и попутно получали небольшое количество берилла.

Помимо берилла в небольших количествах присутствуют лепидолит, колумбит, турмалин, гранат, сульфиды и фосфаты. Зональность не везде выражена одинаково четко, но в некоторых телах она проявлена очень полно. В таких пегматитах насчитывается до восьми зон. Берилл и колумбит, как и в других пегматитах Новой Англии, сосредоточены в основном в промежуточных зонах, главным образом вблизи ядра, где они ассоциируют с альбит-мусковитовыми минеральными комплексами, а берилл встречается нередко и в ядре, имеющем преимущественно кварц-микроклиновый состав.

Месторождения плато Борборема в Бразилии

Как следует из краткой характеристики пегматитов Бразильского щита, приведенной в гл. 1, среди тысяч редкометальных пегматитовых тел Борборемской провинции есть немало жил тантал-бериллиевой специализации. Как правило, они содержат небольшое количество сподумена или амблигонита, но как источники лития не имеют промышленного значения. Из некоторых жил наряду с бериллом и минералами ряда колумбит-танталит извлекается мусковит невысокого качества.

Пегматиты на плато Борборема, отличающиеся хорошей обнаженностью, известны давно. Коренные выходы крутопадающих жил слагают своеобразные белые „стены“ длиной в десятки и сотни метров, иногда с возвышениями — „башнями“. Выходящие на поверхность крупные кварцевые ядра имеют специальное местное название „серроти“.

В 1940—1944 гг. в этой провинции велась добыча берилла, колумбита, танталита, микролита, а также литиевых минералов. Большинство рудников расположено вблизи г. Педра-Лаврада в шт. Прайба и между городами Парельяс и Пикуйи в шт. Риу-Гранди-ду-Норти. Наиболее известны такие тантал-берилловые месторождения, как Танкиньюс, Экуадор, Боа-Виста, Алту-Фейу, Алту-Бранку, Крузейру, Алту-Табоа.

Рудник Танкиньюс находится примерно в 10 км к юго-западу от г. Пикуйи. Эксплуатируемое им крутопадающее линзовидное пегматитовое тело размером 400×100 м простирается в меридиональном направлении — согласно с полосчатостью вмещающих сланцев Сериду. Кварцевое ядро жилы имеет значительную длину — около 250 м, занимает центральное положение; мощность его примерно 40 м. Любопытно, что внутри ядра наблюдается своеобразная „сердцевина“ мощностью до 20 м и длиной до 100 м, сложенная гигантозернистым кварц-микроклиновым пегматитом и содержащая, как и другие пегматиты такого состава, крупные кристаллы берилла и вкрапленность танталита. На севере и юге, в участках выклинивания жилы отмечаются небольшие кварцевые ядра — сателлиты.

Микроклин промежуточной зоны и „сердцевины“ тела интенсивно замещен агрегатом мусковита, кварца и альбита. В этом агрегате встречается колумбит-танталит. Берилл, приуроченный к калиево-полевошпатовой массе или к границам калиево-полевошпатового пегматита с кварцевым ядром, слагает крупные идиоморфные кристаллы зеленовато-желтого или голубовато-зеленого цвета.

Для жилы характерны очень крупные кристаллы и скопления кристаллов танталита массой до 500 кг. Кроме берилла и танталита обнаружены арродит, висмутин и самородный висмут. Колумбит-танталитовый концентрат содержит 45 % Ta_2O_5 и 37 % Na_2O_5 .

Мощность боковых зон жилы Танкиньюс до 15 м; они сложены крупнокристаллическим агрегатом микроклина, плагиоклаза, кварца и мусковита. Рудные минералы встречаются в этих зонах значительно реже, но список аксессуарных минералов достаточно длинен: это касситерит, амблигонит, лепидолит, турмалин, апатит, разнообразные сульфиды, гранат,

ильменит, магнетит, карнотит, монацит, циркон, уранинит, самородный висмут.

Краевая зона представлена, как и у других „гетерогенных“ зональных жил, слюдяной оторочкой мощностью 10–20 см, состоящей из крупнокристаллического мусковита с включениями граната, биотита и кварца. Изредка отмечается касситерит.

К концу 50-х гг. рудник Танкиньос произвел более 900 т берилловых и 12 колумбит-танталовых концентратов.

Месторождение Боа-Виста расположено вблизи г. Экуадор, на юге Риу-Гранди-ду-Норти. Это зональное пегматитовое тело северо-западного простирания с падением на юго-запад под углом около 45° . Вмещающими породами являются слюдяные сланцы и кварциты. Жила имеет сложную морфологию; отмечаются многочисленные апофизы и ксенолиты метаморфических пород внутри пегматитов. Протяженность жилы 275 м, средняя мощность 18 м.

Литературные данные о строении пегматитового тела и составе руд весьма противоречивы. Возможно, это связано с широким распространением названия Боа-Виста в Южной Америке. В частности, так же называется рудник в шт. Минас-Жерайс (Бразилия), находящийся примерно в 300 км к востоку северо-востоку от Белу-Оризонти на р. Риу-Доси. Он знаменит удивительным разнообразием минералов группы фосфатов, а также проявлением сульфидной минерализации на поздних стадиях формирования пегматитов [28].

Главную ценность месторождения Боа-Виста на плато Борборема составляют танталитовые руды. Содержание танталита невелико: в разных участках жилы оно варьирует от 55 до 859 г/т, составляя в среднем всего 240 г/т. Но качество концентрата очень высокое: он содержит 73,5 % Ta_2O_5 при 2,3 % Nb_2O_5 и 0,2 % TiO_2 . Кроме танталита в пегматитах присутствуют берилл, немного мусковита и касситерита.

В среднем же танталиты из пегматитов северо-восточной части Бразилии содержат 53 % Ta_2O_5 , 23 % Nb_2O_5 и 2,6 % SnO_2 . Кроме танталита и берилла в пегматитах наблюдаются тапиолит, микролит и симпсонит. Недалеко от г. Пикуйи недавно обнаружен висмут-танталит.

Месторождения Раджастханской провинции в Индии

Раджастханская провинция отличается наибольшим разнообразием пегматитов, но преобладают среди них редкометалльно-мусковитовые, значительным распространением пользуются и редкометалльные. Как отмечает крупнейший исследователь таких пегматитов К.Л. Бхола [27], в шт. Раджастхан имеется 28 тантало-колумбитовых и более 100 берилловых месторождений. На месторождениях Бандар-Синдри, Борара, Бучара, Датри, Деория, находящихся в северо-восточной части провинции, а также Кангни, Лакола, Сангва и Сониана, располагающихся вблизи городов Бильвара и Удайпур в центре провинции, развиты комплексные тантал-бериллиевые пегматиты с промышленными содержаниями обоих металлов.

Характерно, что высокие концентрации берилла и колумбита наблю-

даются только в зональных пегматитах. При этом крупные кристаллы берилла встречаются в кварцевых ядрах или возле контакта ядра с окружающей его микроклинсодержащей промежуточной зоной в ассоциации с зеленой слюдой типа „джатай“. Все признаки свидетельствуют об образовании этих кристаллов на поздних этапах формирования пегматитовых тел. Более мелкие кристаллы берилла входят в состав боковых зон кварц-альбит-микроклинового состава или ассоциируют со вторичными зонами альбитизации. Колумбит чаще всего наблюдается в промежуточных зонах пегматитовых тел в ассоциации с альбитом.

В отличие от рассмотренных ранее месторождений тантал-бериллиевых пегматитов в Аппалачах и на плато Борборема, пегматиты шт. Раджастхан практически лишены литиевой минерализации. Сподумен и лепидолит обычно являются типичными акцессорными минералами и образуются на стадии альбитизации первичных зон редкометальных пегматитов, которые всегда имеют инъекционное магматическое происхождение. Промышленная литиевая минерализация (лепидолит) распространена в жилах Раджгарх, Бхунас, Куантал и нескольких других, которые, по мнению автора, не относятся к объектам с тантал-бериллиевой специализацией.

По-видимому, именно с низкими содержаниями лития связан преимущественно колумбитовый состав тантало-ниобатов в пегматитах Раджастханской провинции. Средние содержания (в %) оксидов ниобия и тантала в минералах составляют соответственно на месторождениях: Лакола — 45,5 и 30,5; Сангва — 63,8 и 12,2; Сониана — 41,6 и 34,9. Это танталит-колумбиты и колумбиты, причем последние, близкие по составу к колумбитам жилы Сангва, преобладают, особенно в северо-восточной части провинции.

Берилл в пегматитах рассматриваемой провинции относится либо к так называемым бесщелочным (суммарное содержание щелочных элементов менее 0,5 %), либо к натровым (содержат 0,5–0,6 % при очень низких концентрациях калия, рубидия и цезия — табл. 13). Как уже отмечалось автором ранее [23], особенностью состава щелочей в берилле Индии и данной провинции в частности является их принадлежность к натровым бериллам, хотя образуются они в зонах замещения. Для поздних бериллов других регионов характерны литиево-натровые и цезиево-литиевые бериллы.

На месторождениях Раджастханской провинции уже получено несколько тысяч тонн высококачественного бериллового концентрата, содержащего 10–14 % BeO . По геологическим данным предполагается, что пока отработана только примерно половина запасов берилла.

Из отдельных месторождений региона, имеющих комплексную тантал-бериллиевую (точнее, ниобий-бериллиевую) специализацию, можно отметить несколько жил.

Жила Деория характеризуется грушевидной формой в плане и субширотным простиранием. Видимая длина жилы 40 м (часть ее скрыта под аллювием), мощность 10–20 м. Пегматитовое тело зонально: крупное кварцевое ядро окружено крупноблоковой полевошпатовой зоной, переходящей в зону кварц-микроклиновых графических сростаний. Берилл

Таблица 13. Химический состав бериллов (в %) из некоторых пегматитов Раджастанской провинции [27].

Компоненты	Навагаон	Бисундни	Девра	Деория	Лакола	Бхунас
SiO ₂	64,76	64,62	65,15	65,05	64,93	64,41
Al ₂ O ₃	19,25	18,25	20,60	20,85	19,40	19,27
Fe ₂ O ₃	0,04	1,09	0,35	0,13	0,46	0,30
BeO	12,75	13,40	10,00	11,44	12,36	12,10
CaO	—	Сл.	0,24	Сл.	0,26	Сл.
MgO	0,40	0,55	0,45	0,29	0,38	0,48
Li ₂ O	—	—	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.
Na ₂ O	0,62	0,54	0,27	0,11	0,22	0,54
K ₂ O	0,06	0,03	0,05	0,12	0,12	0,18
Rb ₂ O	0,002	0,006	0,003	0,003	0,003	0,002
Cs ₂ O	0,015	0,086	0,037	0,024	0,048	0,053
H ₂ O	—	1,13	—	—	—	—
П.п.п.	2,07	0,73	2,35	1,64	1,51	2,25
Сумма	99,97	100,43	99,50	99,66	99,69	99,60

встречается в полевошпатовой зоне вблизи ее границы с кварцевым ядром. Танталит-колумбит и самарскит отмечаются на удалении от ядра в ассоциации с относительно крупнозернистыми субграфическими сростаниями калиевого полевого шпата с кварцем, которые содержат также мусковит зеленого цвета. Из других минералов следует отметить апатит и флюорит.

Как показали буровые работы, кварцевое ядро и блоковая полевошпатовая зона постепенно выклиниваются, и на глубине жила почти нацело сложена субграфическим пегматитом. В связи с этим перспективы ее на берилл весьма ограничены, хотя в верхних горизонтах наблюдались очень высокие содержания этого минерала.

На месторождении Лохагал, находящемся в окрестностях г. Аджмера, известно несколько небольших пегматитовых тел, причем берилловая минерализация развита как в зональных, так и в незональных жилах. Зональные тела содержат кварцевое или кварц-микроклиновое ядро, окруженное блоковым калиево-полевошпатовым пегматитом. Далее к периферии следует альбитовая промежуточная зона, а краевая среднезернистая зона имеет кварц-плагиоклазовый состав. Незональные жилы сложены кварц-альбитовым пегматитом. Берилл и тантало-ниобаты в зональных телах приурочены обычно к границе между ядром и окружающей зоной. В незональных пегматитах обычно встречаются мелкие кристаллы берилла, но и в зональных жилах размер кристаллов берилла редко превышает 7 см.

Кроме двух упомянутых промышленных минералов на месторождении отмечены хризоберилл, монацит, гранат, турмалин. В небольших пустотах присутствуют кристаллы горного хрусталя и берилла различной окраски: оранжевой, янтарной, красноватой.

Месторождение Бари-Шикар-Бари, расположенное в окрестностях г. Удайпура, представляет собой два субширотных крупнокристалличес-

ких тела, находящихся в массе мелкозернистого, местами графического пегматита. Северная жила имеет длину 110 м, южная — 50 м; мощность обеих жил от 10 до 23 м. Угол падения контактов изменяется от 20 до 50°.

В северном теле кварцевое ядро состоит из двух протяженных линз, расположенных в центральной части жилы, а в южном — из нескольких небольших линз. Вокруг ядер развита бериллсодержащая микроклипертитовая зона, далее следует кварц-мусковитовый агрегат, граничащий с мелкозернистым „фоновым“ пегматитом. Вмещающие породы — биотитовые гнейсы, пронизанные дайками основного состава.

Буровые работы показали, что кварцевое ядро северной жилы выклинивается на глубине от 15 до 25 м. Крупнозернистая калиево-полевошпатовая зона с глубиной сменяется мелкозернистыми срастаниями калиево-полевого шпата и кварца. Ядерная часть южной жилы прослеживается на большую глубину, но затем также переходит в мелкозернистые субграфические срастания.

Эксплуатационные работы на поверхности (до глубины 10 м) давали хорошие результаты: за два года получены сотни тонн бериллового концентрата хорошего качества. Однако с глубиной содержание берилла явно сокращалось, и бурение подтвердило закономерный характер этого явления.

Месторождения Африки и Австралии

Из предыдущих разделов настоящей главы ясно, что тантал-бериллиевые пегматиты во многом сходны с бериллий-тантал-литиевыми. Месторождения Аппалачей и Борборемской провинции обычно содержат некоторое количество литиевых минералов и по минералогии близки к литиевым пегматитам этих районов. Пегматиты же Раджастханской провинции, имеющие близкую промышленную специализацию (правда, ее лучше называть тантал-ниобий-бериллиевая) совершенно лишены литиевой минерализации и характеризуются рядом черт, сближающих их с редкометалло-мусковитовыми пегматитами. Далее приводится еще несколько примеров, свидетельствующих о значительном разнообразии группы тантал-бериллиевых пегматитов.

Месторождение Булема расположено в Уганде, в 8 км к северо-западу от г. Капунгу. Крутопадающие, почти вертикальные пегматитовые тела секут гнейсы и сланцы по падению, но субсогласны с ними по простиранию северо-запад — юго-восток. Длина серии жил — не менее 130 м, мощность 10–15 м; тела имеют неправильную форму, многочисленные апофизы.

Пегматитовые жилы зональны: небольшое кварцевое ядро окружено крупнокристаллической зоной кварц-микроклинового состава, содержащей также мусковит и небольшое количество альбита. Именно к этой зоне приурочена основная масса берилла, танталита и микролита. Периферическая часть тел сложена кварц-альбитовым среднезернистым или аплитовидным агрегатом.

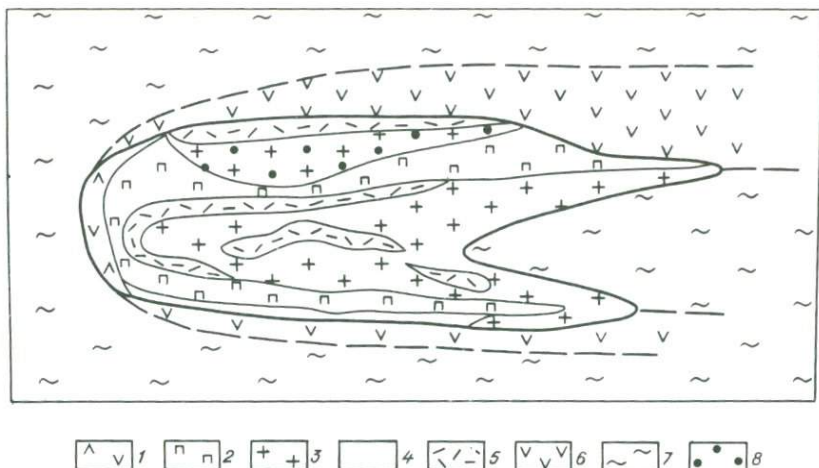


Рис. 23. Внутреннее строение пегматитового тела Кобо-Кобо. По [13]:

1–5 – зоны: 1 – графическая и кварц-микроклин-мусковитовая, 2 – микроклиноватая, 3 – альбитовая, 4 – кварц-мусковитовая, 5 – литиевого мусковита; 6 – амфиболиты; 7 – слюдяные сланцы; 8 – берилл

Танталит месторождения содержит 70 % Ta_2O_5 , а микролит – 71 %. В обоих минералах отмечается примесь урана. Из аксессуарных минералов следует упомянуть турмалин и самородный висмут.

Месторождение Кобо-Кобо находится в северной части Заира, в нескольких десятках километров к западу от г. Камитуга. Слагающие его пегматитовые тела резко отличаются от других месторождений провинции Киву, относящихся к комплексным или литиевым пегматитам. Основное богатство Кобо-Кобо – крупные запасы берилла, но здесь сосредоточены также значительные количества колумбита, касситерита и радиоактивных минералов.

Главное пегматитовое тело месторождения асимметрично, имеет форму удлинённой „подковы“ (рис. 23). По данным бельгийского геолога А. Сафьянникова, в составе тела насчитывается до 10 зон. Альбитовая зона, наиболее богатая бериллом, располагается во внутренней части „подковы“. Снаружи развиты графический и мелкозернистый пегматит, контактирующий с вмещающими сланцами и амфиболитами.

Краевая графическая зона переходит в тонкозернистую кварц-микроклин-мусковитовую с турмалином и апатитом. Далее следует крупно- и гигантозернистая (объём отдельных кристаллов до нескольких кубических метров) микроклиноватая зона с небольшим количеством кварца, мусковита, турмалина и апатита, а затем микроклин-альбитовая и альбитовая. Две последние зоны содержат берилл, который образует скопления массой до нескольких сотен тонн. Здесь же присутствуют касситерит, колумбит, ураноцирцит, уранинит, содержащий до 5 % ThO_2 , лёллингит и другие минералы.

Предполагают, что центральная часть тела первоначально была на альбитовой, а микроклин-мусковитовой. Позднее микроклин был замещен альбитом, а в конце альбитовой фазы сформировались литиевые и другие фосфаты: здесь распространен амблигонит, встречаются лазулит, варисцит и др. В ответвлении пегматитового тела, сложенном альбитом, содержатся также первичные фосфаты: трифилин-литофилин и фронделит-рокбриджит. В конечные этапы образования пегматитов возникли фосфаты железа, марганца, кальция, алюминия и других элементов, в том числе лудламит, эвансит (он содержит до 6 % U_3O_8), крадаллит. Характерно, что эвансит слагает жилки, секущие кристаллы полевого шпата.

Для завершающих стадий пегматитообразования характерны гидротермальные и гипергенные изменения. Так, альбитовые зоны во многих местах пересекаются кварцевыми жилками с рудными минералами: пиритом, халькопиритом и др. Выветрелые каолинизированные пегматиты содержат большое количество монтмориллонита, гидроксидов железа, марганца; отмечаются также высокие концентрации урана (в среднем 0,3–0,5 % U_3O_8), который рассеян не только в глинах и монтмориллоните, но и в эвансите.

Особенности месторождения Кобо-Кобо заключаются в широком проявлении процессов альбитизации, а также в обилии разнообразных фосфатов, в том числе ураноносного алюминиевого фосфата — эвансита. Характерно также отсутствие танталатов и наличие богатого торием уранинита.

Из месторождений пегматитового поля Намаленд, расположенного на правом берегу р. Оранжевой (Намибия) и имеющего преимущественно бериллиевую специализацию, приведем описание жилы, размещающейся в излучине р. Кром и содержащей также колумбит-танталит.

Пегматитовое тело мощность до 15 м прослежено на поверхности более чем на 90 м. Это крутопадающее тело северо-западного (310°) простирания, косо секущее вмещающие гнейсы западного ($285\text{--}290^\circ$) простирания. Морфология жилы сложная: в северо-западном окончании она разделяется на несколько „пальцев“ и содержит большое количество включений гнейсов.

Зональность тела асимметрична. Вдоль всякого контакта отмечается зона плагиоклаз-кварцевого пегматита с отдельными крупными кристаллами калиевого полевого шпата. Мощность этой зоны 4–5 м. Далее следует зона переменной мощности (30 см — 2 м), сложенная кварцем, клиновидным мусковитом и альбитом и содержащая многочисленные крупные кристаллы берилла зеленовато-желтого цвета, небольшие плоские кристаллы колумбит-танталита. К ней примыкает зона крупноблокового микроклина, явно замещаемого альбитом предыдущей зоны. Половину мощности тела в лежачем контакте занимает кварцевое ядро (до 7 м). Наконец, вдоль лежачего контакта прослеживается маломощная зона кварц-калиево-полевошпатовых сростаний.

Во всех зонах жилы встречаются трещины, субпараллельные контактам, вдоль которых развиваются „книжки“ позднего мусковита. По данным Е. Камерона, изучавшего эту жилу, в отличие от этого явно метасо-

матического мусковита, отмечаются кристаллы клиновидного мусковита в бериллоносной зоне, которые выглядят как образовавшиеся без участия процессов замещения. Однако, судя по приводимому им рисунку, воспроизведенному в публикации на русском языке [13], кварц-мусковит-альбитовая зона, содержащая берилл и колумбит, явно „съедает“ соседнюю зону крупнокристаллического микроклина и в некоторых участках контактирует с кварцевым ядром.

Из месторождений Австралии к типу тантал-бериллиевых пегматитов несомненно принадлежат месторождения Табба-Табба и Стрелли, краткая характеристика которых была приведена в гл. 1. Они относятся к пегматитовой провинции Пилбара и находятся к северу от наиболее известного пегматитового поля этой провинции — Уоджина.

Главное рудное тело месторождения Табба-Табба (рис. 24) прослежено на 600 м при видимой мощности 30–60 м. От средней части жилы на юг отходит крупная апофиза причудливых очертаний, несколько отличающаяся по составу от основного тела.

Зональность главного тела выражена достаточно отчетливо. В его осевой части прослеживается цепочка линзовидных кварцевых ядер длиной по 20–60 м и мощностью до 7 м. Вокруг них развит мелкозернистый кварц-мусковит-альбитовый пегматит, который вблизи контакта с ядрами насыщен вкрапленностью танталита и берилла. Далее следует мелкозернистая микроклин-кварцевая зона, постепенно переходящая в кварц-микроклиновый среднезернистый пегматит основной части тела.

По данным Х.Эллиса, выделения танталита, ассоциирующего с мелкошуйчатым зеленым мусковитом, темно-серым кварцем и голубоватым бериллом, на всем протяжении жилы приурочены к тонкозернистым зонам альбитизации переменной мощности (от 10 см до 1,5 м). На границе этих зон с кварцем ядра наблюдаются идиоморфные кристаллы берилла диаметром до 10 см, на поверхности которых отмечаются „корочки“ мелкозернистого танталита толщиной 3–5 мм. Крупные идиоморфные кристаллы кварца иногда полностью покрыты мелкими кристаллами бе-

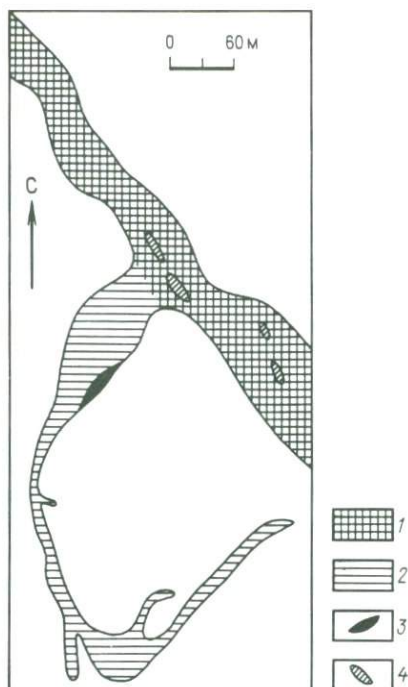


Рис. 24. Морфология главной жилы месторождения Табба-Табба. По Х. Эллису.

1–3 — пегматит: 1 — танталоносный, 2 — оловоносный, 3 — кварц-лепидолитовый; 4 — кварцевые ядра

рилла, а грани этих кристаллов — мелкозернистым танталлитом. Такие взаимоотношения позволяют сделать вывод о кристаллизации минералов в последовательности кварц — берилл — танталлит.

На участке, где к главному телу примыкает апофиза, в значительном количестве присутствует еще один рудный минерал — симпсонит. Он ассоциирует с альбитом и мусковитом той же кварц-мусковит-альбитовой зоны. Здесь же встречаются касситерит, спессарин и магнетит. Длина кристаллов симпсонита — до 2 см, диаметр — более 1 см. Кроме того, в жиле отмечены небольшие количества микролита и лепидолита.

Апофиза сложена среднезернистым кварц-микроклин-альбитовым пегматитом, содержащим мусковит и касситерит. На одном из контактов апофизы с вмещающими породами наблюдается крупная (длина до 20 м, мощность несколько метров) линза кварц-лепидолитового состава. Промышленного значения лепидолит здесь не имеет.

На месторождении Табба-Табба добыты десятки тонн танталитовых концентратов высокого качества: 58–69 % Ta_2O_5 при 2–4 % Nb_2O_5 . Это типичный манганотанталит. Содержание тяжелых минералов в пегматитовой жиле измеряется от 1 до 30 кг на 1 м³ породы (среднее 9–11 кг). В концентрате 55–99 % составляют танталовые минералы, а 1–45 % — касситерит. Значительное количество тяжелых минералов концентрируется также в делювиальных россыпях: в среднем 2 кг на 1 м³ породы.

Добыча танталита, микролита, берилла и касситерита велась и на других жилах месторождения. На некоторых участках жил берилл составляет до 25 % объема зоны. Часть кристаллов берилла отличается белым цветом и крупными размерами.

Таким образом, месторождение Табба-Табба является типичным представителем тантал-бериллиевых пегматитов: ни литиевые минералы, ни мусковит не имеют здесь практического значения.

Глава 6

РЕДКОМЕТАЛЬНО-МУСКОВИТОВЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Пегматиты, занимающие по минерализации и глубине образования промежуточное положение между редкометальными и собственно мусковитовыми, А.И. Гинзбург предложил называть берилл-мусковитовыми. Такие пегматиты широко распространены в Индии, Бразилии и США, где они занимают вполне закономерное место в зональности пегматитовых поясов и полей. В публикациях автора такие переходные пегматиты названы редкометально-мусковитовыми [23], поскольку наряду с бериллом в них нередко встречаются колумбит, касситерит и другие минералы — в количествах, позволяющих извлекать их.

Главное отличие редкометально-мусковитовых пегматитов от всех редкометальных пегматитов, рассмотренных в предыдущих главах, заклю-

чается в отсутствии первичной литиевой минерализации. С собственно мусковитовыми пегматитами они связаны более или менее постепенными переходами (по минеральному составу и промышленной специализации).

Месторождения Индии

Редкометалльно-мусковитовые пегматитовые тела, наблюдаемые во всех четырех слюдоносных провинциях Индии — Бихарской, Раджастханской, Неллурской и Майсурской, — являются типичными инъекционными жилами с резкими, обычно секущими контактами и зональным строением. Как правило, в жилах имеется кварцевое ядро, окруженное со всех сторон зоной „пегматоидного“ мусковита. В этой или в соседних зонах (в кварцевом ядре полевошпатовой крупноблоковой зоне) во многих жилах отмечается берилл. Колумбит и касситерит, если они присутствуют в жилах, тяготеют в основном к зонам альбитизации, занимающим секущее положение или образующим „карманы“ в полевошпатовой зоне. Кварц-мусковитовый замещающий комплекс, играющий подчиненную роль, приурочен к эндоконтактам. Графические сростания калиевого полевого шпата с кварцем (если они есть) располагаются сразу же за эндоконтактовой, в том числе кварц-мусковитовой оторочкой.

Типичными примерами редкометалльно-мусковитовых жил являются крупные пегматитовые тела с комплексной минерализацией: Банекоп и Махешмарва в Бихарской, Данта и Бисунди в Раджастханской, Лакшми-Нарайана, Паллимитта и Шанкара в Неллурской провинциях. Наряду с ними во всех провинциях выявлены многочисленнее более мелкие тела, содержащие не только мусковит и берилл, но и колумбит, лепидолит, касситерит, самарскит, уранинит и другие минералы. Далее кратко описаны некоторые наиболее характерные жилы.

В западной части **Бихарской пегматитовой провинции**, в 12 км к северо-западу от г. Кодарма, находится месторождение Банекоп. Это крупное субширотное линзообразное пегматитовое тело длиной в несколько сотен метров, которое разрабатывается уже многие десятилетия: имеются две штольни и разветвленная сеть подземных выработок. На месторождении одновременно извлекаются мусковит и берилл. Кроме того, в пегматитах отмечаются уранинит, фосфаты марганца и железа и другие аксессуарные минералы: турмалин, апатит, гранат.

Пегматитовое тело падает на северо-северо-восток под углом 45–50°, пересекая под острым углом вмещающие мусковитовые и амфиболовые сланцы. Характерные особенности жилы — отсутствие кварцевого ядра и относительно однородное крупнокристаллическое строение, хотя в центральной части тела наблюдается преобладание калиевого полевого шпата (частично представлен амазонитом), а в периферических частях — плагиоклаза. Весьма интенсивно проявлены процессы поздней альбитизации, в том числе образование гнезд клевеландита и сахаровидного альбита, что приводит к сглаживанию различий в первичном минеральном составе.

Для месторождения Банекоп типичны очень крупные размеры минеральных индивидов. Например, размеры кристаллов мусковита — до

3 м (в поперечнике), выделений триплита — до 50 см. Однако качество мусковита низкое: слюда имеет зеленый цвет, крупные кристаллы разбиты трещинами на отдельные треугольные пластины, часто волнистая, что обуславливает незначительный выход хороших кристаллов. Нередко наблюдается пересечение мусковита прожилками альбита, в связи с чем считают, что низкое качество мусковита связано с наложенными процессами альбитизации.

Берилл встречается на месторождении в виде удлинённых призматических кристаллов длиной до 2 м. Цвет их зеленый, иногда с желтоватым или голубоватым оттенком. По составу это бесщелочной берилл, характерный и для ранних генераций минерала многих других месторождений (см. табл. 13). Распределение берилла в жиле относительно равномерное.

Месторождение Пичхли также расположено на западе Бихарской провинции, в 20 км к северо-западу от г. Кодарма. Здесь известно два субширотных линзовидных вертикальных тела. Тело № 1 имеет значительную длину; в рельефе оно слагает небольшой холм. Данное тело вскрыто двумя карьерами, между которыми отмечается коренной выход мусковит-биотитовых сланцев (вероятно, ксенолит).

Пегматитовое тело имеет кварцевое ядро, окруженное крупными блоками калиевого полевого шпата. И в кварце ядра, и в калиево-полевошпатовой зоне встречаются крупные кристаллы берилла. Далее следует альбит-мусковитовая зона, сложенная зеленым клиновидным мусковитом и клевеландитом. Она сменяется кварц-калиево-полевошпатовым пегматитом, обычно графической структуры. В эндоконтакте прослеживается тонкая кварц-альбитовая оторочка. Мусковит и клевеландит образуются явно позже других минералов, причем наблюдающиеся пересечения свидетельствуют о более позднем формировании альбита по сравнению с мусковитом. В альбит-мусковитовой зоне аксессуарными минералами являются берилл (поздняя генерация), черный турмалин и гранат. В одном из двух карьеров вместе с клевеландитом встречается лепидолит, а турмалин на этом участке имеет зеленый цвет. Здесь же отмечаются колумбит, уранинит, самарскит и экзенит.

Пегматитовое тело № 2 относительно невелико по размерам: до 20 м в длину при мощности около 3 м. Кварцевое ядро окружено кварц-мусковитовым пегматитом, переходящим из контактов в плагиоклаз-калиевошпатовый пегматит. В отдельных участках калиевый полевой шпат замещается альбитом. Мусковит в данной жиле тоже зеленого цвета и невысокого качества.

Тела редкометалльно-мусковитовых пегматитов Бихарской провинции весьма разнообразны по морфологии, хотя почти все они крутопадающие. В горизонтальном сечении они могут иметь овальную форму, как, например, мусковит-берилл-колумбитовая жила Чаткари-Караруа длиной около 300 м и шириной 140 м (рис. 25), но встречаются и плитообразные тела относительно небольшой мощности. Жила Бекобар, содержащая наряду с мусковитом берилл, колумбит и самарскит, прослежена на 250 м (видимая длина) при мощности от 15 до 28 м. Она характеризуется весьма сложным соотношением асимметрично расположенных зон (рис. 26).

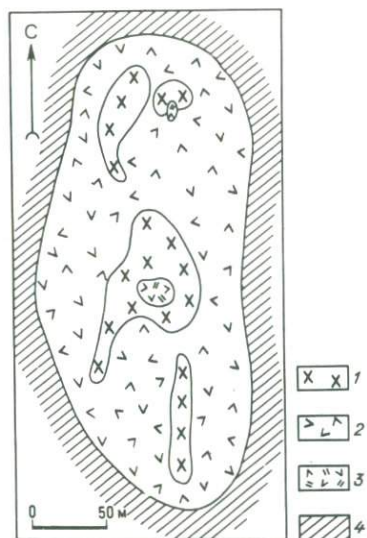


Рис. 25. Схема строения редкометалло-мусковитовой жилы Чаткари-Кара-руа (шт. Бихар, Индия). По К.Л. Бхола:

1 — кварц; 2—3 — пегматит: 2 — кварц-полевошпатовый, 3 — кварц-мусковит-микроклиновый; 4 — слюдяные сланцы

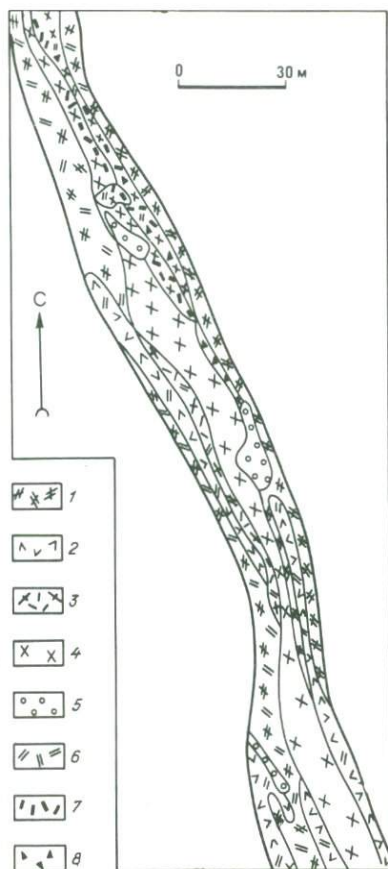


Рис. 26. Схема строения редкометалло-мусковитовой жилы Бекобар (шт. Бихар, Индия). По К.Л. Бхола:

1—3 — пегматит: 1 — кварц-мусковит-микроклиновый, 2 — кварц-микроклиновый, 3 — кварц-мусковитовый; 4 — полевошпатовый шпат с подчиненным количеством кварца; 5 — кварц; 6 — зона обогащения мусковитом; 7 — берилл и колумбит; 8 — турмалин

Данные о глубинном строении пегматитовых тел имеются для ограниченного числа объектов, на которых при разведке проводилось бурение или которые были изучены при эксплуатационных работах. Большинство жил прослеживается на глубину 50—150 м без существенного изменения мощности и минерального состава. В некоторых случаях наблюдается периодическое изменение мощности крутопадающих жил. Для жилы Доранда характерно, например, резкое сокращение мощности на участках контакта с породами, богатыми темноцветными минералами (амфибол-биотитовые и хлоритовые сланцы) и увеличение ее в несколько раз в лей-

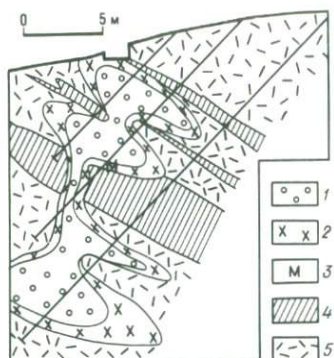


Рис. 27. Вертикальный разрез жилы Доранда (шт. Бихар, Индия). По К.Л. Бхола:

1 — кварц; 2 — существенно плагиоклазовый пегматит; 3 — микроклин; 4—5 — вмещающие породы: 4 — меланократовые (роговообманковые, биотитовые и хлоритовые сланцы), 5 — лейкократовые (гнейсы и слюдяные сланцы)

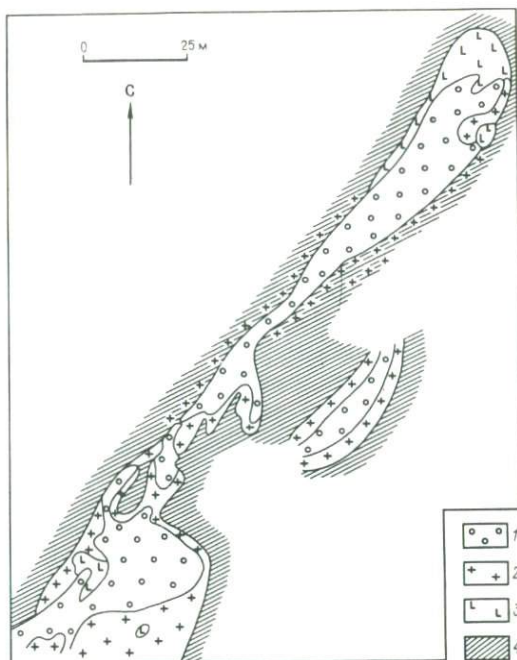


Рис. 28. Схема строения редкометально-мусковитовой жилы Гуджарвара (шт. Раджастан, Индия). По [27]:

1 — кварц; 2—3 — пегматит: 2 — существенно полевошпатовый, 3 — графический микроклиновый; 4 — вмещающие породы

кократовых вмещающих породах — гнейсах и мусковитовых сланцах (рис. 27).

В Раджастанской провинции редкометально-мусковитовые пегматиты распространены так же широко, как и в Бихарской. Они развиты в тех же пегматитовых полях, что и редкометальные, и собственно мусковитовые пегматиты, занимая в их пределах определенное положение и участвуя таким образом в характерной для района зональности: редкометальные (тантал-бериллиевые) и редкометально-мусковитовые пегматиты обычно сосредоточены в полосе шириной до 2 км, окружающей материнские гранитные массивы, а собственно мусковитовые пегматиты встречаются на большом удалении — на расстоянии до 10 км от гранитов.

Пегматитовые тела в Раджастанской провинции имеют обычно большие размеры, чем в Бихарской, причем самые крупные жилы сложены редкометально-мусковитовыми пегматитами. Преобладают крутопадающие линзовидные тела размерами до 300x60 м (максимальные размеры — 700x100 м), но отмечаются и жилы пластинчатой формы размерами 100x10 и 300x20 м. Как правило, они зональны.

Одно из самых крупных берилловых месторождений района — Гуджарвара — находится в центральной части провинции, примерно в 50 км к юго-востоку от г. Аджмер. Это протяженное крутопадающее тело северо-восточного простирания, залегающие в гнейсах Бундельканда. Основную часть данного тела составляет кварцевое ядро (рис. 28): его мощность изменяется от 4 до 20 м — при общей мощности тела соответственно от 5 до 30 м. К ядру примыкает кварцево-полевошпатовая зона переменной мощности (максимальная — до 10 м), внутри которой отмечаются участки графических и неяснографических сростаний полевых шпатов с кварцем. На северо-восточном выклинивании жилы наблюдается контакт кварцевого ядра непосредственно с графическим пегматитом; последний в свою очередь контактирует с вмещающими породами.

Берилл развит преимущественно вдоль контакта кварцевого ядра с кварц-калиево-полевошпатовой зоной, но отдельные его кристаллы встречаются и внутри ядра, и в полевошпатовой зоне. С бериллом ассоциируют крупные клиновидные кристаллы зеленого мусковита. Размеры кристаллов берилла довольно значительные — до 1,5 м в длину, несколько дециметров в поперечнике. Для месторождения характерен бесщелочной берилл: суммарное содержание щелочных элементов — 0,20 % [27].

Кроме берилла и мусковита на месторождении Гуджарвара в заметных количествах присутствуют самарскит и монацит, а также другие обычные для редкометалльно-мусковитовых пегматитов аксессуарные минералы: турмалин, апатит, гранат.

Месторождение Бисундни находится в 60 км к югу от месторождения Гуджарвара. Оно приурочено к гнейсам Бундельканда, переслаивающимся с кристаллическими сланцами. Контакты пегматитового тела с вмещающими породами вскрыты плохо, так как площадь месторождения покрыта наносами и отвалами многочисленных карьеров, в которых добывали слюду. Коренные выходы пегматитов занимают площадь примерно 200×100 м, образуя небольшой холм субширотного простирания.

Единогo крупного кварцевого ядра в жиле нет, но отмечается несколько кварцевых обособлений длиной до 50 м и шириной до 10 м (рис. 29). Преимущественным развитием в жиле пользуется выветрелый калиево-полевошпатовый крупнозернистый пегматит, содержащий небольшое количество кварца и кристаллы берилла. Последние распределены относительно равномерно, но скопления минерала тяготеют к границам кварцевых обособлений. Это крупнокристаллический берилл, составляющий иногда 2–5 % объема пегматита. Содержание щелочных элементов в берилле чуть выше, чем в берилле месторождения Гуджарвар (0,57 % суммы щелочей), но по классификации А.А. Беуса он тоже относится к бесщелочным бериллам. Из жилы добыто не менее 1000 т бериллового концентрата. Длина отдельных кристаллов берилла достигала 6 м, а масса — 20 т, но в основном минерал поступал из дезинтегрированного элювия.

Кроме крупнозернистого калиево-полевошпатового пегматита, на жиле развиты графические и субграфические сростания полевых шпатов с кварцем. Именно к таким породам приурочена вкрапленность уранинита, являвшегося объектом добычи — содержание U_3O_8 достигало в отдель-

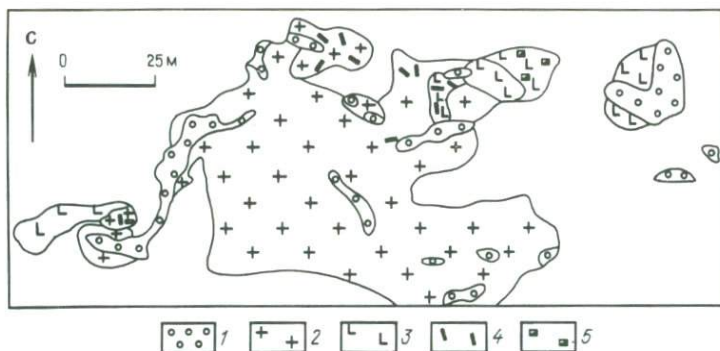


Рис. 29. Схема строения редкометально-мусковитовой жилы Бисундни (шт. Раджастан, Индия). По [27]:

1 — кварц; 2 — существенно полевошпатовый пегматит; 3 — графические срастания; 4 — берилл; 5 — уранинит

ных участках 0,05 % [27]. В пегматитах отмечены также циртолит, турмалин, гранат.

В Неллурской пегматитовой провинции тоже известно несколько месторождений, относящихся к типу редкометально-мусковитовых пегматитов. Это крупные зональные крутопадающие пегматитовые тела, имеющие преимущественно меридиональное простирание. Длина жил 300–500 м, мощность до 60 м.

Не останавливаясь подробно на описании отдельных месторождений, отметим, что в данной провинции для жил редкометально-мусковитовой специализации характерно наличие крупного кварцевого ядра мощностью до 30 м и окружающих его двух-трех зон существенно кварц-калиево-полевошпатового и кварц-плагиоклазового состава. Берилл, колумбит, ортит и самарскит встречаются в полевошпатовых зонах. Часть калиевого полевого шпата представлена амазонитом (жилы Лакшми-Нарайана, Шах и др.). Типичные акцессорные минералы — турмалин, гранат, циртолит, апатит, ильменит, магнетит, фергусонит.

В заключение этого раздела приведем некоторые данные по распределению элементов-примесей в минералах редкометально-мусковитовых пегматитов Индии (табл. 14, 15). Следует отметить, что содержания элементов-примесей примерно одинаковы в различных провинциях (т.е. каких-либо региональных геохимических различий нет) и близки к характерным для редкометальных-мусковитовых пегматитов других регионов.

Во всех пегматитовых телах Индии заметно уменьшение содержаний бария и стронция в калиевых полевых шпатах, бария — в мусковитах при переходе от первичных генераций этих минералов к более поздним (в кварцевых ядрах); концентрации же рубидия и цезия при этом, наоборот, возрастают. Аналогичным образом, хотя это выражено менее ярко, ведут себя бериллий, таллий и литий (содержания последнего приведены только для мусковита, так как для калиевого полевого шпата этот элемент не

Таблица 14. Средние содержания (в г/т) элементов-примесей в калиевых полевых шпатах из редкометалльно-мусковитовых пегматитов Индии

Провинция	Зона (место отбора образца)	Ba	Sr	Rb	Cs	Be	Pb	Tl
Бихарская	Первичная	580	113	775	31	1,3	776	—
	Апографическая	420	27	749	49	2,2	440	—
	Кварцевое ядро	70	17	1530	137	2,8	461	7
Раджастханская	Первичная	1050	167	625	30	1,5	1070	2
	Апографическая	600	55	760	46	2,7	870	6
	Кварцевое ядро	480	45	1140	99	1,8	531	3
Неллурская	Первичная	400	50	460	13	1,8	973	—
	Кварцевое ядро	260	31	1346	62	5,2	1570	2
Майсурская	Первичная	340	84	530	10	0,8	573	—
	Кварцевое ядро	90	26	1742	141	1,7	569	14

Таблица 15. Средние содержания (в г/т) элементов-примесей в мусковитах из редкометалльно-мусковитовых пегматитов Индии

Провинция	Место отбора образца	Ba	Sr	Li	Rb	Cs	Be	Pb	Tl
Бихарская	Кварц-мусковитовый агрегат	406	6	356	748	108	11	14	2,4
	Кварцевое ядро	14	7	342	1038	275	16	9	5,1
	Зона альбитизации	26	7	723	1917	92	22	13	6,5
Раджастханская	Кварц-мусковитовый агрегат	675	7	149	658	22	10	18	1,4
	Кварцевое ядро	292	23	230	1656	202	14	12	2,1
Неллурская	Кварцевое ядро	462	22	40	930	23	8	25	0,5
Майсурская	Кварц-мусковитовый агрегат	181	16	584	1605	61	10	10	4,5
	Кварцевое ядро	14	11	465	2226	384	25	11	6,2

характерен). Концентрации свинца изменяются менее закономерно.

В мусковите из зон альбитизации (эти зоны охарактеризованы только для Бихарской пегматитовой провинции) содержание бериллия, лития и рубидия заметно выше, чем в мусковите из кварцевых ядер и их контактов. Закономерности распределения остальных элементов-примесей проявлены менее отчетливо.

Данные табл. 14 и 15 еще раз подчеркивают необходимость геохимического сопоставления пегматитов как из разных регионов и провинций, так и различной специализации только по одинаковым разновидностям минералов.

Месторождения пояса Урунгве в Зимбабве

На площади крупного пегматитового пояса Урунгве, занимающего всю северную часть Зимбабве, наряду с собственно мусковитовыми и берилловыми пегматитами широким распространением пользуются редкометально-мусковитовые пегматиты. Среди нескольких сотен больших и малых рудников, разрабатывавших или разрабатывающих пегматиты Урунгве, имеется 49 рудников, где мусковит и берилл добывались совместно, и 6, где попутно было получено небольшое количество колумбитовых концентратов.

Значительный интерес вызывает то обстоятельство, что площадь распространения берилловых пегматитов в пределах самого крупного из пегматитовых полей пояса — Миами (расположен в окрестностях одноименного города) — шире, чем площадь развития мусковитовых пегматитов (рис. 30). При этом мусковитовые пегматиты нигде не выходят за пределы ареала распространения берилловых пегматитов. По данным Дж. Уайлса [50], мусковитоносная площадь полностью совпадает с зоной развития силлиманитсодержащих метаморфических пород (силлиманит-альмандиновая субфация амфиболитовой фации), а пегматиты с бериллом встречаются и в филлитах, и в гнейсах иного уровня метаморфизма.

В то же время в районе наблюдается пространственная связь пегматитов с материнскими биотитовыми гранитами, которые слагают в пределах пегматитового поля Миами пять крупных массивов общей площадью около 100 км². Четкой зональности в распределении пегматитов различной специализации вокруг гранитных массивов нет, отмечается лишь, что некоторые наиболее богатые собственно мусковитовые месторождения размещаются на расстоянии до 2 км от контакта с гранитами. Редкометально-мусковитовые пегматиты фиксируются и в этой полосе, и на более значительном удалении от массивов.

Жила Майка-Вью находится в западной части поля Миами, примерно в 9 км к северо-западу от рудника Кэткин. Пегматитовое тело простирается в меридиональном направлении, падает на восток (75–80°); оно прослежено на 230 м при мощности до 6 м. Зональность тела асимметрична. В северной части жилы имеется кварцевое ядро, а к югу его место занимает кварц-микроклиновый крупнозернистый пегматит, содержащий клиновидные кристаллы „ельчатого“ мусковита и немного биотита. Рубиновый мусковит распространен в висячем боку жилы; его кристаллы

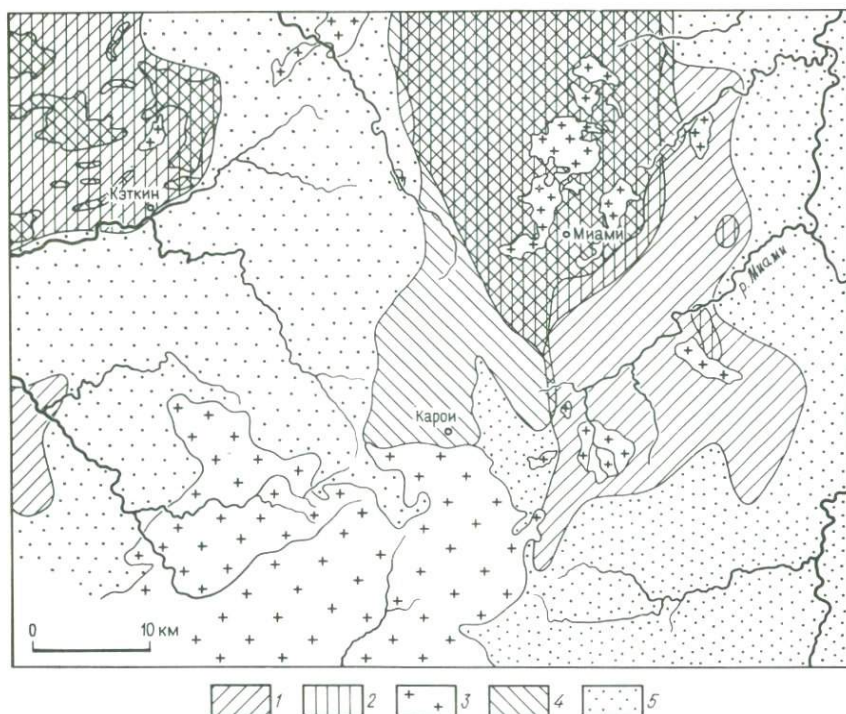


Рис. 30. Распределение пегматитов с различной минерализацией и силлиманитсодержащих пород в поле Миами, пояс Урунге (Зимбабве). [50].

1–2 – поля пегматитов: 1 – берилловых, 2 – мусковитовых; 3 – граниты; 4 – силлиманитсодержащие породы; 5 – филлиты и парагнейсы

ориентированы перпендикулярно контакту. Контакт жилы с вмещающими гнейсами резкий и секущий.

В средней части тела от висячего контакта отходит согласная с гнейсами апофиза длиной 55 м и мощностью до 9 м. В центре ее наблюдается кварц-микроклиновое ядро, содержащее клиновидный мусковит и берилл, а возле контактов развита рубиновая слюда.

Кроме поверхностных выработок на жиле были пройдены шахта для добычи мусковита из главной части тела и штольня по апофизе. В 1944–1958 гг. здесь было получено примерно 12,5 т рубиновой слюды и 69 т бериллового концентрата.

Месторождение Оул Клэймс находится в 15 км к северо-западу от г. Миами. Здесь разрабатываются два пегматитовых тела, находящихся в 300 м друг от друга. Тело № 1 являлось основным источником мусковита, а тело № 2 разрабатывалось на берилл и мусковит.

Тело № 1 простирается в меридиональном направлении согласно с вмещающими гнейсами, но по падению сечет их, круто погружаясь на восток. Это зональное тело с кварц-микроклиновым ядром и кварц-мусковитовыми зальбандами. Наиболее богата слюдой была залежь

вдоль всячего контакта, разрабатывавшаяся до глубины 85 м при длине по простиранию всего 60 м. При общей мощности пегматитового тела 5–6 м на слюдоносную зону приходилось не менее 2 м. Концентрация мусковита была так высока, что за месяц рудник мог дать до 14 т готовой листовой слюды.

Тело № 2 резко отличается от вышеописанного. Это секущее тело северо-восточного простирания и северо-западного падения прослежено более чем на 150 м. Оно имеет крупное кварцевое ядро мощностью до 8 м и слюдоносную зону в всячем контакте мощностью 3 м и протяженностью около 40 м. В ядре наблюдаются крупные идиоморфные кристаллы микроклина, клиновидные кристаллы ельчатой слюды, берилл, апатит и турмалин. Главная масса берилла была получена из лежащего бока жилы, где этот минерал ассоциирует с мусковитом и кварцем.

За период с 1924 по 1950 г. на месторождении было добыто 120 т слюды (80 % из тела № 1) и около 30 т бериллового концентрата.

Жила Пэрл находится в 10 км к северо-северо-западу от г. Миами. Первоначально она разрабатывалась на берилл (его было добыто около 40 т), а в 1952–1953 гг. здесь было получено примерно 700 кг высококачественной рубиновой слюды.

Пегматитовое тело прослежено на 300 м, простирание его изменяется от восточного до северо-восточного. Падение тела – относительно пологое (40°) в северо-западном направлении. Мощность жилы – до 8 м. Кварцевое ядро, окруженное микроклиновой зоной. Далее к периферии следует кварц-плагиоклазовая зона с небольшим количеством мусковита, а в всячем контакте наблюдается кварц-мусковитовая зона. В ядре содержится клиновидная слюда низкого качества, а высококачественный мусковит был добыт из зоны всячего контакта. Берилл встречается в кварцевом ядре и у его контактов. Из других минералов в жиле отмечены турмалин (в всячем контакте), апатит, триплит и пирротин.

Небольшое месторождение Рита, находящееся в 14 км к северо-востоку от г. Миами, интересно тем, что из него наряду с бериллом и мусковитом добывался урансодержащий танталит-колумбит.

Здесь выявлены три параллельных пегматитовых тела меридионального простирания с падением на запад. Самая крупная восточная жила имеет длину 240 м и кварцевое ядро мощностью 3 м. Берилл вначале был обнаружен в выветрелом пегматите вблизи от ядра, но встречается он и в ядре, где ассоциирует с кристаллами микроклина. Танталит-колумбит добывался вместе с бериллом из рыхлого материала, образовавшегося при выветривании пегматита, окружавшего ядро.

Центральная жила с кварцевым ядром мощностью около 1 м размещается в 20 м к западу от восточной и протягивается параллельно ей, но на более короткое расстояние. Западная жила несколько смещена к югу и расположена примерно в 90 м от центральной. Эти две жилы изучены плохо. Берилл добывался в основном на поверхности из рыхлого выветрелого пегматита.

За 1953–1955 гг. месторождение дало более 10 т берилла, 240 кг танталит-колумбитового концентрата и около 40 кг рубиновой слюды,

которую получали в качестве попутного продукта при добыче берилла.

Несмотря на небольшие масштабы добычи берилла из отдельных жил, из пегматитов данного поля за период с 1950 по 1959 г. было получено более 1000 т бериллового концентрата. Зафиксировано 178 рудников, старательских карьеров, элювиальных россыпей, но во всех случаях разрабатывались жилы редкометально-мусковитовых пегматитов.

Месторождения провинции Маунт-Айза в Австралии

В гл. 1 была дана достаточно подробная характеристика геологического строения этой небольшой пегматитовой провинции, расположенной в западной части шт. Квинсленд. В этом разделе приводится описание некоторых жил пегматитового поля Майка-Крик, которые автор посетил в 1976 г. Собранный коллекция и обобщение литературного материала позволили получить довольно полное представление о геологии, минералогии и геохимии пегматитов этого поля [19].

Все пегматитовые тела поля Майка-Крик сосредоточены вблизи северного остроконечного выклинивания гранитного массива (комплекс Сибелла, возраст 1550 млн. лет). Одно из тел, не имеющее промышленного значения, занимает площадь 2х1,2 км в центре поля, являясь как бы северным продолжением гранитного массива. Остальные жилы имеют длину 100–200 м (иногда до 1 км) и мощность 5–10 м (для крупных жил — до 50 м). Характерно крутое, близкое к вертикальному, падение тел.

Вдоль северо-восточного контакта гранитного массива (рис. 31) расположены два крупных недифференцированных тела мусковитовых пегматитов, висячем контакте которых залегают слюдяные сланцы или амфиболиты. Здесь находится несколько старых слюдяных копей.

Возле северо-западного контакта гранитного массива размещаются четыре крупных пегматитовых тела редкометально-мусковитовой специализации (жила Бериллина и др.). Они занимают секущее положение по отношению к вмещающим амфиболитам. Тела зональны: содержат кварцевое ядро, окруженное кварц-микроклиновым крупнозернистым пегматоидным пегматитом, в состав которого входят также берилл и клиновидный зеленый мусковит. Ближе к контактам наблюдается мелкозернистый, нередко графический пегматит. Кроме мусковита и берилла в этих жилах присутствуют танталит-колумбит и касситерит.

К востоку от участка северного замыкания гранитного массива в слюдяных и кордиеритовых сланцах расположены жилы Берилс-Куин, Гексагон и Биг—Берил; в этих жилах, наиболее богатых крупными кристаллами берилла, широко развит и кварц-мусковитовый комплекс. Зональность таких тел обычно асимметрична: к висячему контакту приурочены кварц-мусковитовые сростания, отсутствующие в лежащем контакте, где их место занимает среднезернистый микроклиновый пегматит. Имеются небольшие зоны альбитизации с вкрапленностью танталит-колумбита. Из других акцессорных минералов встречаются турмалин (шерл), гранат, апатит.

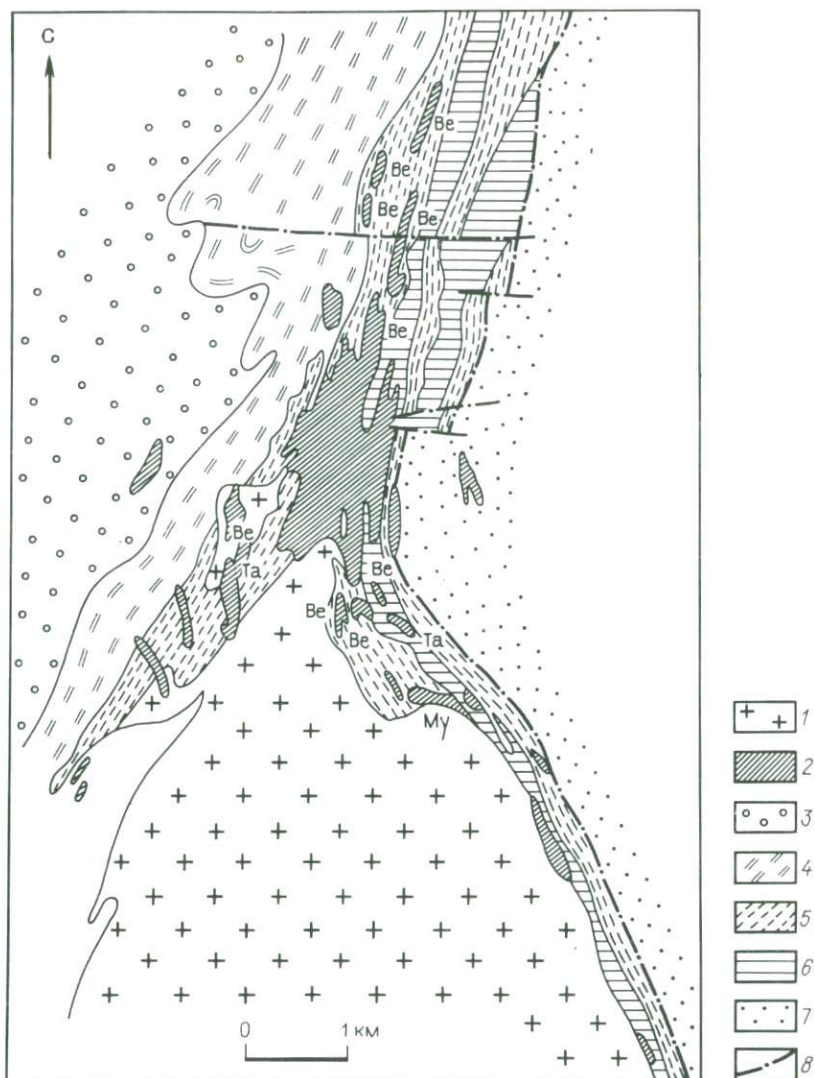


Рис. 31. Схематическая геологическая карта пегматитового поля Майка-Крик (Австралия). По [19]:

1 — граниты комплекса Сибелла; 2 — пегматиты; 3 — гнейсы и сланцы; 4 — кварциты; 5 — амфиболиты и хлоритовые сланцы; 6 — слюдяные и кордиеритовые сланцы; 7 — конгломераты; 8 — разломы. Минерализация: Му — мусковит, Ве — берилл, Та — танталит-колумбит

Таблица 16. Содержание элементов-примесей (в г/т) в калиевых полевых шпатах и мусковитах из пегматитов поля Майка-Крик, Австралия (аналитики Д.Х. Николаева, С.К. Ярошенко)

Место отбора образца	Минерал, его разновидность	Ba	Sr	Rb	Cs	Ba:Rb
Пегматитовая жила:	Калиевый полевой шпат из зоны:					
Майка-Майн 3	пегматоидной	100	29	697	Сл.	0,14
Биг-Берил	контактной	84	56	1808	53	0,046
Берилс-Куин	графической	59	27	1070	23	0,055
Гексагон	"	690	54	725	13	0,94
Берилс-Куин	крупноблоковой	80	30	945	10	0,085
Гексагон	"	760	46	722	Сл.	0,99
	Мусковит:					
Майка-Майн 3	из пегматоидной зоны	64	20	750	18	0,085
Биг-Берил	из зоны альбитизации	29	28	2620	95	0,011
Берилс-Куин	из кварц-мусковитового комплекса	20	22	1380	20	0,014
Гексагон	То же	110	21	870	18	0,13
Берилс-Куин	по турмалину	38	23	885	11	0,043
Граниты комплекса Сибелла	Калиевый полевой шпат:					
	порфиробластовый	6700	69	575	3	11,6
То же	из пегматоидного прожилка	1200	56	1085	6	1,11
Мигматиты свиты Лейкхарт	из центра пегматоидного прожилка	2800	88	295	Не обн.	9,5
То же	из экзоконтакта прожилка	2800	89	377	"	7,4

На севере пегматитового поля Майка-Крик наблюдаются многочисленные относительно маломощные пегматитовые жилы, залегающие согласно с вмещающими амфиболитами и хлоритовыми сланцами формации Истерн-Крик. В них содержится довольно много берилла, но мусковита и танталит-колумбита практически нет, как нет и зон метасоматического изменения (кварц-мусковитового замещения, альбитизации). Размеры кристаллов берилла относительно невелики.

В 20-х гг. нашего столетия пегматиты района разрабатывались на мусковит, а в период с 1941 по 1960 г. из них добыто около 100 т берилла. Цвет берилла голубовато-зеленый, реже желтый или белый; кристаллы непрозрачны и обычно трещиноваты. Как показали химические анализы нескольких образцов берилла из жил Биг-Берил и Берилс-Куин, минерал содержит (в %): BeO 13,3–13,9; Na_2O 0,6–0,7; K_2O 0,1–0,4; Li_2O 0,04–0,06; Cs_2O 0,01–0,04; Rb_2O около 0,002 (аналитик В.К. Хал-

туева). Это типичные для редкометально-мусковитовых пегматитов натровые бериллы.

В табл. 16 приведены результаты определения содержаний элементов-примесей в калиевых полевых шпатах и мусковитах из пегматитов поля Майка-Крик, а также из гранитов и мигматитов района. Значительные концентрации бария отмечены только в калиевом полевом шпате из гранитов и мигматитов. Максимальные содержания рубидия и цезия свойственны калиевому полевому шпату из эндоконтактной зоны и мусковиту из зоны альбитизации жилы Биг-Берил. В минералах жилы Гексагон выявлены наиболее высокие для пегматитов содержания бария.

Средние содержания элементов-примесей и величины отношения бария к рубидию в пегматитах района очень близки к наблюдаемым в других редкометально-мусковитовых пегматитах (Индия, США).

Качество мусковита в пегматитах поля Майка-Крик невысокое. Преобладают клиновидные кристаллы зеленоватой слюды из пегматоидной зоны. Мусковит из зон кварц-мусковитового замещения лучшего качества, но размеры кристаллов здесь явно меньше. В настоящее время пегматиты поля не имеют практического значения.

Месторождения США, Канады и Бразилии

В настоящем разделе приводится краткая характеристика отдельных жил редкометально-мусковитовых пегматитов из разных регионов мира. Основная цель такого описания — показать чрезвычайно разнообразие минерального состава и строения пегматитов, относящихся к данному типу. Рассмотренные в этой главе месторождения Индии, Зимбабве и Австралии образовались в докембрии, а на территории Северной Америки, например, известны редкометально-мусковитовые пегматиты палеозойского возраста в Аппалачах и мезозойского — в Кордильерах. Следовательно, для пегматитов этого типа, как и для других редкометальных пегматитов, возраст не является определяющим признаком.

В пределах Аппалачей редкометально-мусковитовые пегматиты распространены весьма широко, занимая закономерное положение в пределах зональных пегматитовых полей, где развиты также тантал-бериллиевые, бериллий-тантал-литиевые или собственно мусковитовые пегматиты. В качестве примера приводится описание двух месторождений, расположенных на юге и севере этой горной области: в штатах Джорджия и Нью-Гэмпшир.

Месторождение Оксфорд в округе Троуп шт. Джорджия включает шесть пегматитовых тел. Одно из них, находящееся в 12 км к югу от г. Ла-Гранде, широко известно как жила Хогг. Данное пегматитовое тело имеет субширотное простираие и близкое к вертикальному падение. Оно прослеживается примерно на 600 м при мощности до 100 м, но состоит как бы из двух частей, одна из которых является продолжением другой. В обеих частях отмечаются крупные кварцевые ядра, составляющие примерно половину объема жилы. Кварц имеет розовый оттенок, а по периферии ядер — дымчатый. Ядра окружены берилл-мусковитовой зоной замещения средней мощностью 7–8 м, за которой следует зона крупно-

блокового калиевого полевого шпата, содержащая включения дымчатого кварца и черного турмалина. Мусковит встречается в виде крупных клиновидных кристаллов светло-зеленого цвета; во всех кристаллах проявлена ельчатость. Наряду с мусковитом объектом разработки был и берилл, прозрачные разности которого, как и розовый кварц, до сих пор добываются для ювелирных целей.

Вмещающие породы — биотитовые и биотит-амфиболовые гнейсы, преобразованные возле контактов в мусковитовые „сланцы“. Как метаморфические породы, так и пегматитовое тело подвергаются интенсивному выветриванию. По данным бурения, полевошпатовая зона каолинизирована на глубину не менее чем 40 м. Четкой связи пегматитовых жил месторождения Оксфорд с гранитами не установлено.

Жила Палермо 1 располагается в шт. Нью-Гэмпшир, в 2 км от пос. Северный Графтон. Она начала разрабатываться в начале XX в. на слюду, с 1920 г. здесь добывался полевой шпат, а во время второй мировой войны и после нее — берилл. Это микроклин-альбитовые пегматиты, залегающие среди девонских сланцев формации Литлтон (слюдисто-кварцевые и кварцево-слюдистые сланцы с заметным количеством силлиманита, актинолита и андалузита). Среди вмещающих пород отмечаются также амфиболиты формации Оксфорд ордовикского возраста. Граниты Конкорд, с которыми генетически и пространственно связаны пегматиты Палермо, относятся к серии Нью-Гэмпшир. Их возраст — около 360 млн. лет. Жила имеет сложную форму с тупым северо-западным концом и крутым (40—55°) падением на юго-восток. Длина тела около 100 м, мощность — до 45 м. Пегматиты залегают субсогласно с вмещающими породами.

Жила зональна: к центру от краевой плагиоклаз-мусковит-кварцевой зоны следуют боковая альбит-кварц-мусковитовая и три промежуточных (альбит-кварц-пертит-мусковитовая с турмалином, биотитом и другими минералами, кварц-альбит-пертитовая и альбит-кварц-мусковит-пертитовая) зоны; массивное ядро мощностью 25—30 м на 60 % сложено кварцем и на 40 % — микроклин-пертитом.

В ядре встречаются берилл, трифилит, мелкий мусковит, в третьей промежуточной зоне — берилл, бразилианит, уранофан, различные редкие фосфаты, в том числе и бериллиевые. Содержание берилла в этой зоне до 1,5 %. В жиле отмечаются также богатые скопления урановых минералов: уранинита и продуктов его изменения.

В области Кордильер пегматиты редкометалльно-мусковитовой специализации распространены довольно широко. На территории Канады известно 12 месторождений и рудопроявлений берилла в пегматитах, которые содержат также мусковит, касситерит, турмалин, иногда колумбит, гранат и другие акцессорные минералы.

Месторождение Бонанца, расположенное в районе Тете-Джауне, возле дороги Эдмонтон — Ванкувер, разрабатывалось как мусковитовое. Размеры кристаллов слюды хорошего качества достигают иногда 45×30 см. Мусковит приурочен к всяческому контакту жил, которые, как правило, хорошо дифференцированы. Берилл приурочен к полевошпатовым зонам. Разработка небольших количеств слюды началась с 1898 г., но из-за гор-

ных условий велась небольшими темпами. В 20-х гг. наиболее богатое мусковитом и бериллом тело на склоне Слюдяной горы было закрыто оползнем.

К юго-востоку полоса рудопроявлений берилла в мусковитовых пегматитах прослеживается в Западных Кордильерах вдоль их границы с Восточными Кордильерами. Наибольший интерес представляют пегматиты в долине р. Хеллроаринг (возле границы с США). Кроме мусковита, присутствующего в значительных количествах, берилла и обычных акцессорных минералов в нескольких жилах встречены колумбит, галенит, пирит. Размеры кристаллов берилла в поперечнике достигают 8 см.

В шт. Айдахо (США), в восточной части округа Лэйтэн, находится обширное пегматитовое поле с бериллом и мусковитом. Пегматитовые жилы залегают в толще докембрийских метаморфических пород, но тяготеют к экзоконтактам гранитных батолитов мелового возраста. Жилы зональны, почти всегда имеют кварцевое ядро, окруженное полевошпатовой оторочкой. Мусковит, турмалин и берилл приурочены к линзообразным скоплениям метасоматического происхождения. Отмечаются касситерит и тантало-ниобаты. В осевых частях жил нередко присутствует альбит.

Месторождение Эвон было известно как одно из крупнейших скоплений мусковита в США с 1888 г. Большое число жил разрабатывается одновременно на слюду и берилл. Длина жил — до 320 м, ширина — до 30 м (обычно 6–7 м). Разнообразны акцессорные минералы: гранат, апатит, турмалин, графит, лёллингит, стунит, метаторбернит. Из полевых шпатов резко преобладает плагиоклаз. Берилл слагает кристаллы длиной до 30 см и диаметром до 15 см.

По-видимому, наиболее молодыми в Кордильерах являются пегматиты **поля Руби**. Вмещающие метаморфические и осадочные породы имеют в его пределах палеозойский возраст, но ортоклазовые граниты и связанные с ними пегматиты — позднемезозойские или даже третичные. Пегматитовые жилы зональны: наблюдаются кварцевые ядра, промежуточные зоны с бериллом, краевые кварц-мусковит-плагиоклазовые зоны. Кроме берилла встречаются и другие бериллиевые минералы: хризоберилл, гадолинит. Любопытен перечень попутных минералов: шеелит, вольфрамит, молибденит и другие сульфиды, а также ортит, сфен, самарскит, эвксенит, монацит, тантало-ниобаты.

Содержание берилла в пегматитах поля Руби очень высокое: в среднем 0,1–1,0 %, а в отдельных участках — до 10 %. Следует подчеркнуть, что в поле отмечен лепидолит. Присутствие лития наряду с наличием минералов редких земель, вольфрама, молибдена и других элементов свидетельствует о комплексном характере минерализации, возможно и о многостадийности формирования пегматитов.

В Южной Америке районом наиболее широкого проявления редкометально-мусковитовых пегматитов является Бразильский щит, особенно его Восточная провинция. В пределах гигантского Бразильского слюдяного пояса наряду с собственно мусковитовыми пегматитами развиты многочисленные жилы с бериллом, а иногда — также и с касситеритом и (или) тантало-ниобатами.

Особый интерес представляет пегматитовое месторождение Боа-Виста, одноименное с танталовым месторождением в Борборемской провинции. Чтобы избежать путаницы, будем называть его вслед за бразильскими авторами [28] Лавра-до-Энио (находящееся вблизи г. Белу-Оризонти крупное бериллиевое месторождение Боа-Виста – не пегматитовое; это интенсивно минерализованные сланцы). Жила Лавра-до-Энио находится в окрестностях г. Говернадор-Валадарис, примерно в 500 км к северо-северо-востоку от Рио-де-Жанейро. Это относительно небольшое пегматитовое тело (длина 80 м, мощность 10 м) имеет северо-западное простирание и падает на северо-востоке под углом 65° . Вмещающие породы – гнейсы и мусковитовые сланцы группы Параиба (возраст около 2 млрд, лет).

В пегматитовом теле описаны следующие зоны: 1) маломощная (несколько сантиметров) контактовой оторочки, обогащенная турмалином; 2) маломощная (до 10 см) мусковитовая; 3) мощная (2,5 м) полевошпатовая, пересеченная крупными кристаллами дендритовидного графтонита, с крупными ксенолитами мусковитового сланца, обогащенного турмалином; 4) существенно альбитовая полевошпатовая (2–3 м), содержащая трифилит, амблигонит и крупные кристаллы непрозрачного берилла (в контакте с ядром здесь часто отмечаются многочисленные пустотки, выполненные мелкими кристалликами различных минералов); 5) центральная, или кварцевое ядро (5 м), с крупными кристаллами берилла, которые приурочены к контакту между ядром и окружающими зонами. В ядре и полевошпатовых зонах встречается также колумбит, в котором содержится 13,2 % FeO и 6,5 % MnO.

В пегматитах Лавра-до-Энио активно проявились процессы альбитизации, широко распространены фосфаты бериллия (бериллонит, рошерит, гердерит), лития (амблигонит, трифилит, таворит) урана (салеит и фосфуранилит), железа (вивианит, чилдренит, лудламит, саркопсид), марганца (гетерозит, фронделит, реддингит), кальция (апатит, графтонит), натрия (арроядит, аллюдит). Геологи, исследовавшие это месторождение, называют пегматиты „альбитизированными“ [28]. Развитие фосфатов позволяет говорить о сходстве этого месторождения с месторождением Кобо-Кобо в Заире.

На последних стадиях развития пегматитов здесь в небольшом количестве образовались такие минералы, как пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, самородный висмут.

Берилл в настоящее время является главным объектом добычи, а полевошпат и мусковит – побочными продуктами.

Глава 7

МУСКОВИТОВЫЕ ПЕГМАТИТЫ

По мнению автора, термин „мусковитовые пегматиты“ значительно более точен, чем „слюдяные пегматиты“, хотя последний широко применяется и в отечественной, и в зарубежной (mica pegmatites) литературе.

Дело в том, что слово „слюдяные“, являющиеся производным от названия группы минералов, в которую кроме мусковита входят биотит, флогопит, лепидолит и другие слюды, несет в себе минералогическую неточность. В некоторых случаях используются названия „слюдоносные“ или „мусковитоносные“, но так должны называться лишь пегматиты с промышленными концентрациями мусковита.

Отдельные пегматитовые тела в зависимости от степени проявления процессов мусковитообразования могут содержать различные концентрации слюды. Но граница между промышленными мусковитоносными жилами и непромышленными весьма условна и меняется во времени. Поэтому автор относит к мусковитовым пегматитам всю совокупность пегматитовых (и пегматитоподобных) объектов, в которых имеется или мог быть образован крупнокристаллический мусковит.

В данной главе речь пойдет о собственно мусковитовых пегматитах, поскольку переходные редкометалльно-мусковитовые пегматиты были охарактеризованы в гл. 6.

Среди зарубежных месторождений мусковита главное значение имеют месторождения Индии. В настоящее время наблюдается, по существу, монополизация производства листовой слюды — мусковита — в этой стране в силу исключительности масштабов и качества ее ресурсов. По данным на 1982 г. Индия производила 86 % (5860 т) всего листового мусковита мира (не учтены 2815 т продукции Мадагаскара, поскольку эта страна поставляет на мировой рынок почти исключительно флогопит).

В период с 1977 по 1980 г. импорт листовой слюды в США распределялся по странам следующим образом (в %): Индия — 83, Бразилия — 11, Мадагаскар — 4, остальные страны — 2 (в США ежегодно производится всего около 200 кг листовой слюды, а импортируется более 2 тыс. т). Индия обеспечивает также мусковитом и европейские страны, и Японию.

Кроме месторождений Индии в этой главе будут охарактеризованы мусковитовые пегматиты Бразилии и Зимбабве, а в заключение приводится описание хорошо изученных и достаточно многочисленных мусковитовых месторождений США (ныне они не эксплуатируются).

Месторождения Индии

Главное значение мусковитовые пегматиты имеют в трех пегматитовых провинциях Индии: Бихарской, Раджастханской и Неллурской. В гл. 1 уже отмечалась приуроченность мусковитовых пегматитов **Бихарской провинции** к зонам экзоконтакта материнских гранитов — „купольных гнейсов“ по Т.Холланду. Наблюдается зональность пегматитовых полей: на максимальном удалении (до 15 км) от гранитных массивов располагаются послемагматические мусковит-плагиоклазовые жилы, ближе к гранитам преобладают инъекционные пегматитовые тела, в том числе и редкометалльно-мусковитовые, и собственно мусковитовые.

По данным Т. Махадевана и Дж. Б.П. Майтани, гранитные породы занимают примерно 33 % площади в центральной части провинции (рис. 32). Среди них имеются полосчатые и массивные разности. Первые образова-

лись, по-видимому, в период складчатости (синскладчатые), а вторые — после ее завершения (постскладчатые). Учитывая сходство минерального состава тех и других, авторы полагают, что граниты формировались в течение длительного времени, что обусловило определенный тепловой режим при метаморфизме значительного объема пород, а затем и при формировании пегматитов.

Кроме магматического фактора на размещение пегматитовых жил в пространстве оказывали влияние также состав вмещающих метаморфических пород, характер их складчатости и другие тектонические факторы. Тектонический режим в процессе становления пегматитов предопределял то или иное сочетание парагенетических ассоциаций, зональность тел и условия локализации мусковита.

Чрезвычайное разнообразие многих тысяч мусковитоносных жил района не позволяет привести достаточно полное их описание. Охарактеризуем лишь наиболее детально изученные месторождения.

Жила Бандарчуа, находящаяся в 13 км от г. Кодарма (см. рис. 32), является одним из крупнейших месторождений мусковита. Она вскрыта поверхностными выработками, штольней и шахтой с 18 горизонтами — до глубины 160 м.

На поверхности пегматитовое тело, образующее холм, имеет форму эллипса, удлинённого в меридиональном направлении. Длина тела — более 100 м. На вершине холма обнажены два округлых ядра (10 и 20 м в поперечнике), сложенных полупрозрачным розовым кварцем. Вокруг ядер развит кварц-микроклиновый крупнозернистый и блоковый пегматит, а вдоль контактов прослеживается довольно мощная зона кварц-мусковитового агрегата с рубиновой слюдой высокого качества.

Жила очень круто (85°) погружается в восточном направлении, то согласно, то под углом к полосчатости вмещающих слюдяных сланцев. На глубине кварцевое ядро отсутствует (рис. 33), и распространены четыре типа ассоциаций: кварц-мусковитовый агрегат, кварц-мусковит-плагиоклазовый, кварц-мусковит-плагиоклаз-микроклиновый и кварц-плагиоклаз-микроклиновый пегматит. Соотношения этих ассоциаций в пространстве таковы: в верхней подземной части жилы преобладает кварц-мусковит-плагиоклазовый, а в средней — кварц-мусковит-плагиоклаз-микроклиновый пегматит; ниже XIII горизонта количество калиевого полевого шпата постепенно возрастает, а с XV по XVIII — явно преобладает кварц-плагиоклаз-микроклиновый пегматит. Состав плагиоклазов на XIII горизонте изменяется от олигоклаза (20 % анортитовой составляющей) в контакте со сланцами до альбита (8 %) в центральной части тела.

Выше XIV горизонта содержание слюды в пегматитовом теле постепенно возрастает от 2 до 12 %. Между XIV и XVIII горизонтами оно составляет в среднем около 2 %. Качество слюды с глубиной не изменяется.

Жила Бендро расположена на северо-востоке центральной части Бихарской пегматитовой провинции. Это крупное пегматитовое тело, протгивающееся по простиранию на 360–450 м (на разных уровнях). Подземными выработками жила вскрыта до глубины 202 м (22 горизонта).

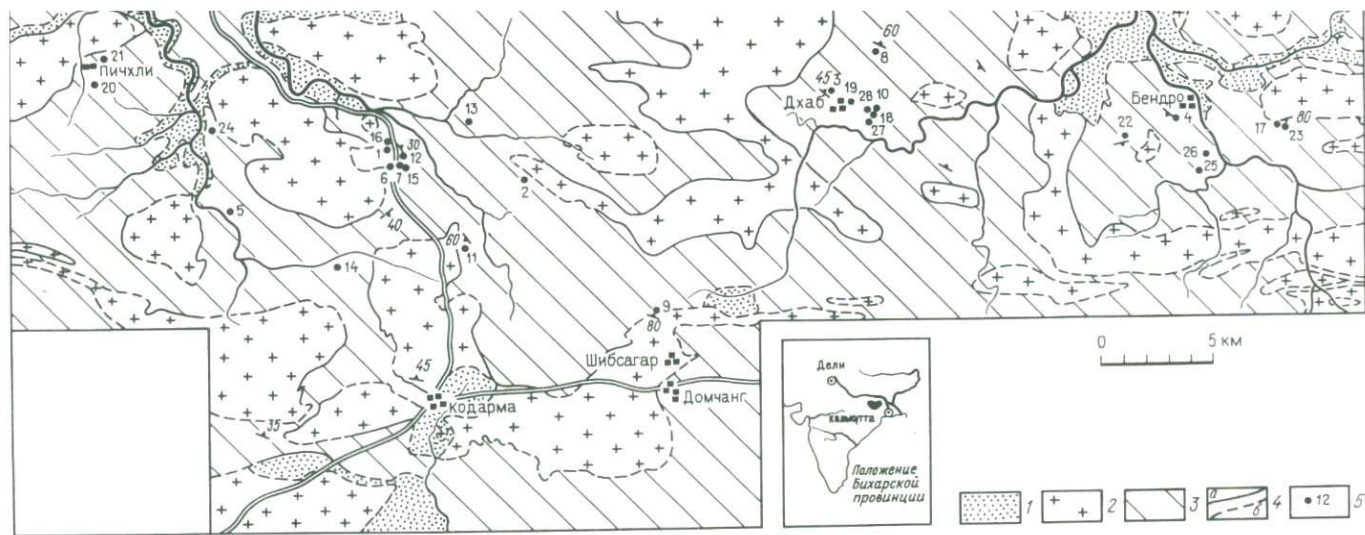


Рис. 32. Распределение гранитных пород и положение некоторых месторождений мусковита в центральной части Бихарской пегматовой провинции. По данным Л.А. Айера с добавлениями Т. Махадевана и Дж. Майтани:

1 – наносы; 2 – граниты; 3 – вмещающие породы (сланцы и роговообманковые сланцы и др.); 4 – линии контактов: а – закартированные, б – предполагаемые; 5 – изученные месторождения [41]: 1 – Бандарчуа, 2 – Баракола, 3 – Барасингха № 2, 4 – Бендро, 5 – Банекол, 6 – Дебаур-Чарки, 7 – Дебаур-Суги, 8 – Дхоракола, 9 – Домчану Барриа № 2, 10 – Гхутиа, 11 – Джамуна-Суги, 12 – Джатайя, 13 – Кахуриа, 14 – Кхалактамби, 15 – Кодватиа, 16 – Кунджиа, 17 – Мачва, 18 – Махешмарва, 19 – Махува Пахари, 20 – Пичхли № 1, 21 – Пичхли № 2, 22 – Сафи, 23 – Сева-Дхаб, 24 – Сингар-Кхас (силлиманит), 25 – Сива-Санкар, 26 – Санкх (лепидолит), 27 – Суги Дхаб (лепидолит), 28 – Тандхия

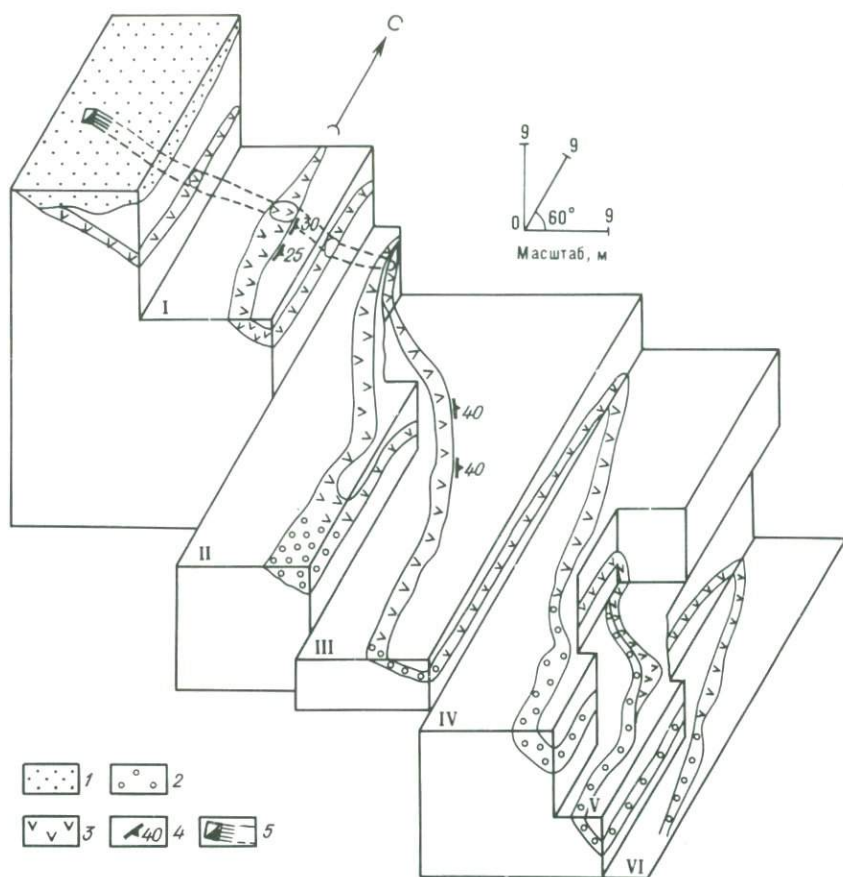


Рис. 34. Изометрическая блок-диаграмма жилы 2 месторождения Кодватия (шт. Бихар, Индия). По Т.М. Махадевану и Дж. Б.П. Майтани:

1 — наносы; 2 — кварц; 3 — кварц-мусковит-плагиоклазовый пегматит; 4 — элементы залегания контактов; 5 — наклонная шахта; римскими цифрами обозначены горизонты подземных выработок

Жила отличается равномерным распределением мусковита в кварц-мусковитовом пегматите, залегающем вдоль лежачего контакта. Среднее содержание слюды в массе пегматита превышает 4 %. В течение многих лет рудник Бендро дает устойчивый выход высококачественной слюды. Здесь впервые в Бихарской провинции был оборудован электрический шахтный подъемник.

Месторождение Кодватия находится в 2,5 км к западу от жилы Бандарчуа. Здесь известно две пегматитовых жилы. Одна образует небольшой холм. Массивное кварцевое ядро этой жилы, имеющее северо-западное простираение и северо-восточное падение под углом 75° , окружено массивным плагиоклаз-микростроновым пегматитом. В общем по строению жила аналогична уже описанным месторождениям данной провинции.

Второе тело — совершенно иного типа. Это маломощная и протяженная мусковит-плагиоклазовая жила, падающая на восток-северо-восток под углом 30–40° (рис. 34). Она вскрыта шестью горизонтами подземных выработок — до глубины 55 м. Только на втором горизонте, где отмечается небольшая флексура, мощность тела немного увеличивается. На остальном протяжении она редко превышает 1 м.

Жила в основном согласна с вмещающими слюдяными сланцами, и лишь на участке флексурного перегиба наблюдается секущий контакт. Преобладающая часть жилы сложена мусковит-плагиоклаз-кварцевым пегматитом с рубиновой слюдой хорошего качества. Местами (II, IV–VI горизонты) этот пегматит постепенно сменяется существенно кварцевым.

В лежачем контакте жила иногда обогащена турмалином. Содержание анортитовой составляющей в плагиоклазе изменяется в узких пределах — от 5 до 8 %. Интересной особенностью жилы является наличие тонкого включения переработанного сланца в кварце (горизонт IV), сохраняющего залегание, свойственное вмещающим породам.

Именно мусковит-плагиоклазовые жилы, аналогичные данной, но обычно меньших размеров, наиболее распространены среди слюдоносных объектов в Бихарской провинции. Характерная черта подобных пегматитов — близость по минеральному составу к кварц-мусковитовому замещающему комплексу, в состав которого входят также плагиоклаз (альбит-олигоклаз) и такие акцессорные минералы, как турмалин, гранат, апатит, редко берилл. Биотит и калиевый полевой шпат обычно отсутствуют.

Мусковит-плагиоклазовые жилы развиты преимущественно в периферических частях зональных пегматитовых полей на расстоянии 8–15 км от контактов гранитных массивов. Как правило, они слагают серии параллельных или кулисообразно расположенных жил; мощность последних от 20 см до 2 м, длина от 10 до 100 м. Они залегают согласно с вмещающими породами — сланцами кварц-мусковит-плагиоклазового состава. Сходство по составу сланцев и жил послужило основанием для предположения о том, что слюдоносные жилы образовались в результате перекристаллизации вещества сланцев. Но наблюдения автора показали, что мусковит в сланцах Бихарской провинции вторичен: он развивается в экзоконтактах жил по биотиту, дистену, силлиманиту, плагиоклазу. На расстоянии 20–40 м от контактов уже наблюдаются неизменные биотитовые сланцы, гранат-биотитовые гнейсы, сланцы с силлиманитом и дистеном — т.е. породы, характерные для амфиболитовой фации метаморфизма.

При мусковитизации и перекристаллизации вмещающих пород нередко изменяется и ориентировка минералов, поэтому почти повсеместно отмечаемая параллельность ориентировки отдельных чешуек и их сегрегаций в сланцах контактам мусковит-плагиоклазовых жил иногда является псевдосогласием. Разумеется, трещины в сланцах и гнейсах, параллельные напластованию, всегда преобладают, но встречаются и секущие нарушения, вдоль которых циркулируют растворы.

Массовое образование мусковит-плагиоклазовых жил в гнейсово-

сланцевой толще и значительные по размерам ореолы мусковитизации вмещающих пород — результат воздействия послемагматических растворов, генетически связанных с гранитами. Именно в таких участках с многочисленными маломощными жилами, содержащими высококачественный рубиновый мусковит, сосредоточены огромные резервные запасы слюды. Жилы отработаны старателями лишь на глубину 2–5 м от поверхности. При необходимости шт. Бихар в состоянии в несколько раз увеличить добычу мусковита, хотя и сейчас на складах слюдяных фабрик имеются значительные количества обработанной слюды.

Раджастханская провинция по размерам больше Бихарской (см. гл.1), но по запасам и добыче мусковита несколько уступает ей. Как и в Бихарской провинции, здесь выявлена пространственная и генетическая связь пегматитов с гранитами (комплекс Мевара), наблюдается зональность пегматитовых полей. Раджастханская провинция несколько богаче редкометально-мусковитовыми и редкометальными тантал-бериллиевыми пегматитами, однако и собственно мусковитовые пегматиты достаточно широко распространены в ее пределах.

В центральной части провинции явно преобладают пегматиты с мусковитовой специализацией (рис. 35). Контуры пегматитовых полей пересекают границы между разновозрастными метаморфическими комплексами. Граниты на карте не показаны, поскольку для Раджастхана характерны гранитные массивы относительно небольших размеров (до 10 км в длину при ширине 1–3 км), ориентированные в северо-восточном направлении. Как и в Бихарской провинции, граниты имеют ультраметаморфическую природу.

Внутри гранитных массивов пегматитовые жилы обычно безрудны или содержат незначительное количество берилла. В экзоконтактной полосе шириной до 3 км преобладают крупные инъекционные пегматитовые тела мусковитовой и редкометально-мусковитовой специализации, а за ее пределами наблюдаются относительно небольшие по размерам жилы мусковитовых пегматитов: ближе к гранитам размещаются инъекционные тела с калиевым полевым шпатом и биотитом, а на максимальном удалении — постмагматические мусковит-плагиоклазовые жилы. Такое распределение строго выдерживается не во всех случаях.

По мнению автора, имевшего возможность ознакомиться с крупным мусковитовым месторождением Бхимпура в окрестностях г. Кекри и многочисленными мусковит-плагиоклазовыми жилами рудников Дхаули и Бходжпура вблизи г. Мальпура, мусковитовые пегматиты данной провинции очень похожи на пегматиты Бихарской провинции. Преобладают пегматиты двух типов: 1) крупные зональные крутопадающие секущие тела длиной до 300 м и мощностью обычно 20–30 м, а иногда до 60 м (в Бихарской провинции мощность жил намного меньше); 2) относительно маломощные (1–5 м), но протяженные, обычно согласно залегающие мусковит-плагиоклазовые жилы.

Жила Бхимпура характерна для первого типа пегматитовых тел. Она прослежена на поверхности на расстояние около 300 м; мощность жилы 35 м, падение субвертикальное. В ее центральной части имеется пег-

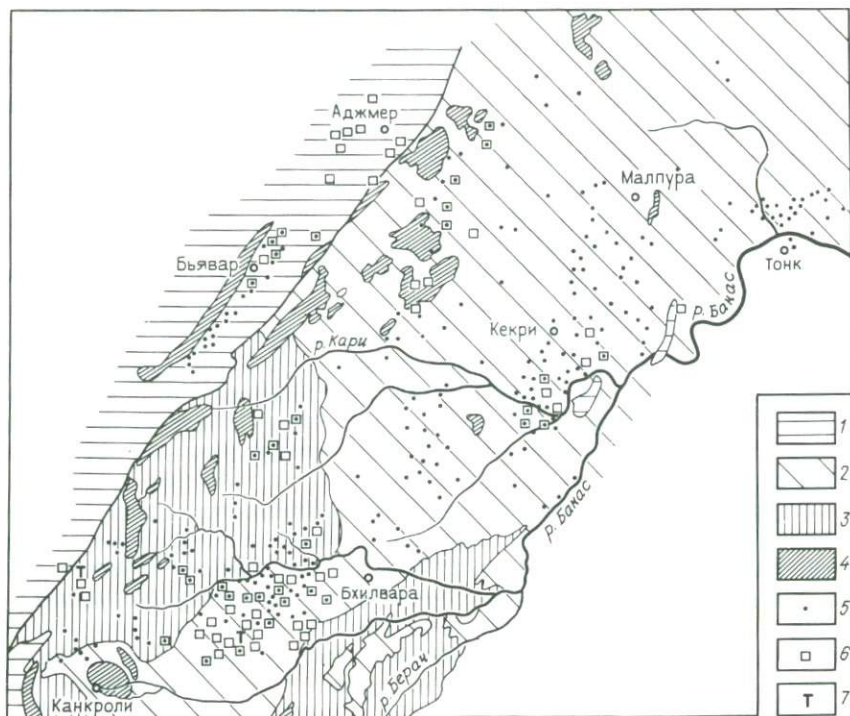


Рис. 35. Схема строения центральной части Раджастханской пегматитовой провинции (Индия). По Х. Крукшанку:

1 — образования системы Дели; 2 — образования системы Аравалли и доараваллийские гнейсы; 3 — гнейсы Бунделканд; 4 — комплекс полосчатых гнейсов; 5–7 — промышленные пегматитовые жилы: 5 — мусковитовые, 6 — берилловые, 7 — колумбитовые (комплексные жилы показаны совмещенными знаками)

матоидная зона с крупными кристаллами калиевого полевого шпата и обособлениями кварца размером в поперечнике до 5 м. В этой зоне наблюдаются крупные клиновидные кристаллы „пегматоидного“ мусковита. Вдоль контактов жилы с вмещающими породами развиты мощные зоны кварц-мусковитового замещения с рубиновым мусковитом, вторичным плагиоклазом и типичными акцессорными минералами: гранатом, апатитом, турмалином.

В участках жилы, не подвергшихся кварц-мусковитовому замещению, можно видеть первичные ассоциации минералов; графической кварц-микроклиновой пегматит с лейстами биотита, неяснографические сростания кварца с первичным плагиоклазом и т.д. Там, где пегматиты первичной структуры контактируют с вмещающими породами, наблюдается мелкозернистая оторочка, по внешнему облику напоминающая аплиты.

Вмещающие гнейсы и сланцы на контакте с пегматитами испытывают

изменения, особенно интенсивные возле приконтактовых кварц-мусковитовых зон. Главный тип изменений — мусковитизация биотита. Изучение шлифов, отобранных из эндоконтакта жилы, показало, что здесь развит вторичный микроклин, проявлены окварцевание и турмалинизация пород.

Месторождение Дхаули, расположенное в северо-восточной части провинции, объединяет несколько десятков мусковит-плаггиоклазовых жил (второй тип пегматитовых тел). По простиранию они согласны с вмещающими гнейсами и сланцами системы Аравали, но по падению пересекают их. Длина жил — от 20 до 150 м, мощность 1—3 м, зональность выражена очень слабо. Жилы почти полностью сложены крупнозернистым кварц-мусковитовым агрегатом, причем „книжки“ рубинового мусковита ориентированы преимущественно перпендикулярно контактам, но в центре жил иногда встречаются и продольные пластины. В эндоконтакте кварц-мусковит-плаггиоклазовая порода относительно мелкозернистая и часто содержит гранат и турмалин.

Как и в Бихарской провинции, вокруг мусковит-плаггиоклазовых жил проявлены интенсивные экзоконтактовые изменения. Х. Крукшанк еще в 1948 г. отмечал, что во вмещающих породах иногда встречаются крупные кристаллы мусковита, но главное значение имеет, конечно, массовое развитие мелкочешуйчатого мусковита по биотиту, дистену и другим минералам сланцев и гнейсов в полосе до 20 м от контактов. Если расстояние между соседними жилами составляет 30 м и менее, вмещающие породы полностью превращены во вторичные мусковитовые сланцы. В отличие от первичных метаморфических пород аналогичного состава, вторичные сланцы богаче кварцем и мусковитом, иногда содержат турмалин.

Неллурская провинция отличается от Бихарской и Раджастханской по ряду особенностей. Более меланократовому характеру вмещающих пород, развитию биотита вместо мусковита в экзоконтактах пегматитовых тел, менее четкой пространственной связи с гранитными массивами, наличию зеленого мусковита высокого качества и др. Как и в других провинциях, здесь распространены редкометалльно-мусковитовые жилы, для некоторых пегматитов характерна редкоземельная минерализация, но преобладают собственно мусковитовые пегматиты, являющиеся главными объектом эксплуатации.

Любопытно, что в относящемся к 1880 г. первом геологическом описании территории провинции месторождения мусковита не упоминались, в то время как и в Бихаре, и Раджастхане пегматиты уже интенсивно разрабатывались и служили источником разнообразных ценных минералов. Однако уже к концу XIX в. в Неллурской провинции месторождения были обнаружены и изучены. Расцвет слюдодобывающей промышленности приходится на период второй мировой войны и первое десятилетие после ее окончания. В 60-х годах здесь действовало 64 рудника.

Подавляющее число пегматитовых тел провинции имеет меридиональное простирание, совпадающее с региональным простиранием вмещающих пород, и близкое к вертикальному падение. Преобладают крупные зональные жилы инъекционного происхождения. Они хорошо изучены на глубину, причем интенсивность ослюденения с глубиной не ослабевает. Развиты

и маломощные мусковит-плаггиоклазовые жилы, поставляющие слюду наиболее высокого качества. Они вскрыты только поверхностными выработками — из-за небольшой протяженности отдельных жил.

В минералогическом и геологическом отношениях наиболее детально исследована территория площадью около 100 км². Возле поселков Каличеду и Талипур к северо-западу от г. Гудуру — центра слюдообрабатывающей промышленности провинции. Здесь выделены две меридиональные полосы шириной по 400 м и длиной 3 и 5 км, в пределах которых пегматиты содержат только рубиновую слюду. На остальной территории преобладает слюда зеленого цвета, но качество ее достаточно высоко для использования наравне с рубиновой. Мусковит окрашен в зеленый цвет примесями хрома, который заимствуется из амфиболитов и „эпидиоритов“, слагающих метаморфизованные силлы основных пород. В основном же вмещающие породы представлены амфиболовыми, биотитовыми и мусковитовыми сланцами, а также кварцитами.

Жила Янакирама находится в 1,5 км к северо-северо-западу от поселка Талипур, в пределах „зеленой“ слюдоносной полосы. Эта жила, являющаяся типичным представителем зональных крутопадающих жил значительной протяженности, детально изучена на нескольких горизонтах. На поверхности она имеет овальную форму, несколько удлиненную в меридиональном направлении (прослежена не менее чем на 100 м); мощность жилы 40–50 м. Висячий контакт погружается практически вертикально, а лежащий — с падением на запад, что приводит к постепенному сокращению мощности до 25 м на горизонте 61 м и до 15 м на горизонте 95 м (рис. 36).

Жила на всем протяжении залегает согласно с полосчатостью вмещающих пород. В пегматитах довольно часто наблюдаются маломощные включения сланцев, но иногда мощность таких включений достигает нескольких метров (см. рис. 36, б), и в этом случае очень важно не принять их за контакт жилы, что может вызвать потери мусковита в той части пегматита, которая отделена ксенолитом. Отмечено, что на контактах с включениями сланцев содержание слюды возрастает.

Крупнокристаллический высококачественный зеленый мусковит приурочен к зоне кварц-мусковитового замещения, прослеживающейся вдоль всего западного (висячего) контакта жилы. Аналогичная слюда встречается и вдоль лежащего контакта, но здесь она распространена не повсеместно — концентрируется в отдельных „карманах“. Количество мусковита с глубиной возрастает, но размер пластин уменьшается.

Для жилы характерно зональное строение, хотя границы между зонами не резкие. В центре расположено существенно кварцевое ядро мощностью 8–10 м (в верхней части тела); в нем содержится некоторое количество калиевого полевого шпата, преимущественно в виде грубографических сростаний с кварцем, а реже — блоковой структуры. К ядру примыкает промежуточная полевошпатовая зона мощностью 5–7 м с подчиненным количеством кварца. Соотношение калиевого полевого шпата и альбита различно в висячем и лежащем контакте этой зоны; в первом преобладает розовый калиевый полевой шпат, а во втором — белый альбит. Краевая

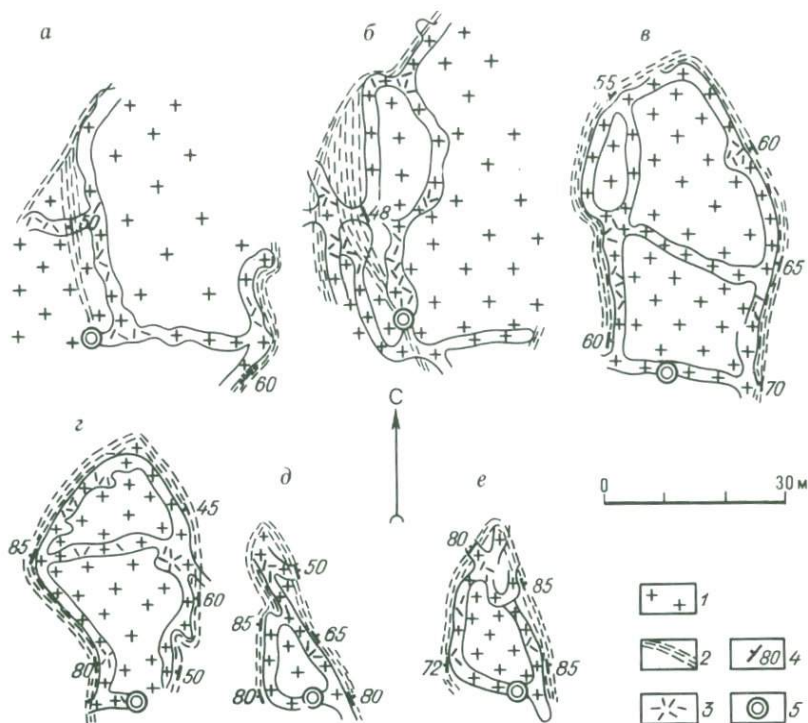


Рис. 36. Планы горизонтов подземных выработок (а—е — соответственно на уровнях 37, 43, 61, 73, 85 и 95 м) на жиле Янакирама (Неллурская провинция, Индия). По Н.К. Мукерджи и М.К. Рао:

1 — пегматиты; 2 — биотитовые сланцы; 3 — скопления промышленного мусковита; 4 — элементы залегания контактов; 5 — положение шахтного ствола

зона мощностью 1—3 м состоит в основном из кварц-мусковит-альбитового агрегата; меньшее значение имеет кварц-альбитовый неяснографический пегматит.

В экзоконтактах жилы в полосе шириной несколько метров наблюдается интенсивное окварцевание вмещающих сланцев. При удалении от жилы количество кварца постепенно снижается. Кроме того, отмечается биотитизация амфиболов сланцев и мусковитизация биотита. Аналогичным образом изменены ксенолиты сланцев внутри пегматитов.

Жила Ситарам находится в 800 м к западу-северо-западу от рудничного поселка Каличеду. Она считается типичной для рубиновой слюдоносной зоны.

На поверхности жила имеет линзообразную форму и северо-северо-западное простирание. Ее лежачий восточный контакт падает на запад под углом 63° . Длина тела около 400 м, мощность — до 100 м. На глубине около 100 м жила разветвляется на несколько „корней“, разделенных мощными включениями сланцев, и, по предварительным данным, на глу-

бине около 300 м от поверхности практически выклинивается. Однако не исключено, что далее по падению мощность апофиз может вновь возрасти, как это наблюдалось на жиле Ситарам в этой же полосе.

Для жилы Ситарам также характерны зональность, постепенные переходы между зонами, концентрация мусковита у висячего контакта. Однако плагиоклаз здесь преобладает над калиевым полевым шпатом, а слюда кварц-мусковитового комплекса имеет обычный — рубиновый или медовый — цвет, возможно, в связи с тем, что среди вмещающих пород на этом участке преобладают мусковитовые сланцы и слюдястые кварциты с подчиненным количеством биотитовых сланцев. Последние возле контакта с пегматитами подвергаются мусковитизации. Наблюдается здесь и окварцевание эвакоконтактов.

В этой же полосе автором были осмотрены жилы Джайнараяна — возле пос. Каличеду и Минакси-Сундарам в окрестностях деревни Утукур. Это маломощные (3–5 м) протяженные мусковит-плагиоклазовые жилы, сложенные практически на всю мощность кварц-мусковитовым агрегатом. Намечается некоторое увеличение доли кварца в центре жил, а плагиоклаза и мусковита — в эндоконтактах. Жилы залегают согласно с вмещающими мусковитовыми сланцами, падают в западном направлении под углами 50–55°.

Рубиновый мусковит этих жил обладает очень высоким качеством. Размер пластин в поперечнике — от 5 до 25 см. Часто они ориентированы перпендикулярно контактам. Состав акцессорных минералов такой же, как и в других жилах этого типа: турмалин, апатит, редко берилл.

Вмещающие сланцы окварцованы и на некоторых участках превращены в существенно кварцевые породы („метакварциты“) с отдельными чешуйками мусковита и реликтовыми включениями плагиоклаза.

Аналогичный характер имеют и другие мусковит-плагиоклазовые жилы Неллурской слюдоносной провинции.

При изучении распределения элементов-примесей в калиевом полевоп апатите, биотите и мусковите из мусковитовых пегматитов Индии установлено [23], что содержания бария во всех минералах выше, а рублидия — ниже, чем в редкометально-мусковитовых пегматитах этих же провинций (табл. 17, 18). В соответствии с такими различиями величина индикаторного барий-рубидиевого отношения примерно на порядок выше в мусковитовых пегматитах, но близка к величине такого же отношения в мусковитовых пегматитах США.

Как и в редкометально-мусковитовых пегматитах, содержания бария и стронция в калиевых полевых шпатах из зон мусковитизации (перекристаллизованный при замещении микроклин) в несколько раз ниже, чем в первичных калиевых полевых шпатах (см. табл. 17). Концентрации свинца и таллия, наоборот, возрастают, а рублидия и цезия — практически не изменяются.

Отмечается также более низкое содержание рублидия, цезия и таллия в мусковите по сравнению с биотитом (см. табл. 18). В связи с этим величина барий-рубидиевого отношения в мусковитах значительно выше. В минералах из пегматитов Неллурской провинции выявлены повышенные по

Таблица 17. Средние содержания (в г/т) элементов-примесей в калиевых полевых шпатах из зон первичной кристаллизации (числитель) и мусковитизации (знаменатель) мусковитовых пегматитов Индии

Провинция	Ba	Sr	Rb	Cs	Pb	Tl	Ba:Rb
Бихарская	7200	580	525	19	643	—	13,7
	1400	135	598	21	853	3	2,3
Раджастханская	2600	343	660	34	420	—	3,9
	800	80	635	29	610		1,26
Неллурская	9700	350	651	17	577	—	14,9
	400	50	517	14	1775	3	0,77

Таблица 18. Средние содержания (в г/т) элементов-примесей в слюдах из мусковитовых пегматитов Индии

Провинция	Минерал, его разновидность	Ba	Sr	Rb	Cs	Pb	Tl	Ba:Rb
Бихарская	Биотит:							
	из эндоконтакта	1250	19	1238	290	21	5	1,01
	лейстовый	760	10	938	140	13	6	0,81
	из зон мусковитизации	1485	3,2	1260	370	12	4	1,18
Раджастханская	Мусковит из кварц-мусковитового агрегата	1265	10	406	19	13	0,6	3,12
	Биотит лейстовый	1200	30	846	76	18	6	1,42
Неллурская	Мусковит из кварц-мусковитового агрегата	1370	12	618	12	11	0,8	2,22
	То же	2500	17	696	14	25	0,8	3,59

сравнению с таковыми других провинций содержания бария, но эта особенность связана, по-видимому, с региональными геохимическими различиями.

Месторождения Восточной пегматитовой провинции Бразилии

Данная провинция (в литературе она известна также под названием Бразильский слюдоносный район) представляет собой один из крупнейших в мире пегматитовых поясов — длиной до 600 км и шириной около

200 км, основная часть которого приходится на восточную часть шт. Минас-Жерайс. На площади этой провинции наряду со слюдоносными развиты многочисленные жилы редкометальных пегматитов, месторождения драгоценных камней, пьезокварца и керамического сырья. По стоимости продукции мусковит в настоящее время значительно уступает другим видам пегматитового сырья, получаемого в районе.

В 1936–1945 гг. в пределах района было получено 7200 т листовой слюды. Затем количество товарной слюды, поставляемой Бразилией на мировой рынок, постепенно снижалось: в 1978 г. — 450 т, в 1981 г. — 82 т. Разумеется, потенциальные возможности мусковитовых пегматитов района позволяют производить значительно больше слюды, но пока она не выдерживает конкуренции с более дешевой и высококачественной индийской слюдой.

Для Бразилии характерны крупные тела мусковитовых пегматитов, подразделяемые обычно на два типа: субвертикальные жилы плитообразной формы длиной до 1 км и мощностью до 50 м и наклонные линзовидные тела длиной 300–400 м и мощностью до 30 м. Жилы обычно зональны, имеют кварцевое ядро. Мусковит приурочен либо к границе между кварцевым ядром и окружающей его полевошпатовой зоной, либо к кварц-мусковитовому комплексу, развитому, как правило, вдоль одного или обоих контактов тела с вмещающими породами.

Породы района представлены преимущественно архейскими кристаллическими сланцами, гнейсами и гранулитами (комплекс фундамента). Кроме того, слюдоносные пегматиты отмечаются в метаморфических породах серий Минас (предположительно нижней протерозой) и Итаколоми (верхний протерозой). В подавляющем большинстве случаев вмещающие породы метаморфизованы в условиях амфиболитовой фации. Это биотитовые, гранат-биотитовые и амфиболовые сланцы, разнообразные гнейсы и кварциты. Наряду с ними распространены многочисленные штоки гранодиоритов и основных изверженных пород. Пегматиты пространственно тяготеют к мусковитосодержащим гранитам и аплитам, иногда пересекают их.

Некоторые исследователи района предполагают, что граниты, аплиты и пегматиты являются конечными дериватами магмы, из которой на ранних стадиях формировались гранодиориты и основные породы. Пегматитовые жилы занимают обычно секущее положение, но в мусковитовых сланцах нередко наблюдаются согласные участки контактов. Не исключено, что здесь, как и в Индии, вмещающие породы в экзоконтактах существенно переработаны: мусковитизация и окварцевание сопровождалась перекристаллизацией с изменением ориентировки минералов.

Как и в других мусковитоносных районах мира, в Бразилии известно несколько типов слюдоносных жил. Главную роль играют крупные зональные явно инъекционные пегматитовые тела. Кварцевое ядро иногда имеет в них очень большие размеры: на месторождении Пекуэри — 300×8 м, на месторождении Перерека — 75×20 м. Однако чаще наблюдается несколько небольших кварцевых линз в центральной части жилы, сложенной калиевым полевым шпатом. Зональные пегматитовые тела со-

держат наиболее крупные мусковитовые залежи, но качество слюды в них обычно среднее. Преобладают крупные кристаллы зеленоватого пегматоидного мусковита с характерными для него дефектами.

Другим важным типом слюдоносных жил являются маломощные существенно плагиоклазовые жилы, в которых преобладает рубиновая слюда высокого качества. По строению и составу они аналогичны маломощным кварц-мусковит-плагиоклазовым жилам Индии. Таковы жилы рудников Бананал, Каррапато и Серра-Негра, расположенных к северо-западу от г. Говернадор-Валадарис, или рудников Рочедо и Палмитал, находящихся к юго-востоку от него. Любопытно, что в бразильских слюдоносных жилах этого типа нередко проявлена поздняя редкометалльная минерализация; например, в жилах рудника Палмитал присутствуют кристаллы берилла. Мусковит в таких жилах может иметь желтую, зеленоватую или белую окраску.

Исследователи бразильских месторождений мусковита отмечают, что наряду с выдержанными слюдоносными зонами в эндоконтактах жил или вдоль границы кварцевого ядра (они дают 80 % товарной слюды) следует выделять и отдельные крупные кристаллы мусковита, равномерно распределенные в пегматитовом теле. Подобные кристаллы высококачественной слюды характерны для многих маломощных кварц-мусковит-плагиоклазовых жил, залегающих в мусковитовых сланцах (природа такой приуроченности уже была рассмотрена).

В настоящее время половина мусковита-сырца добывается на двух месторождениях в районе г. Говернадор-Валадарис. Среднее содержание мусковита-сырца в породе 25 кг/м³. Выход листовой слюды из сырца в среднем 16 %. Общее число горнодобывающих предприятий и артелей в Бразильском слюдоносном районе составляет несколько сотен, но это не только слюдодобывающие предприятия, но и ориентирующиеся одновременно или преимущественно на добычу берилла, колумбита, драгоценных камней, керамического сырья.

Пегматитовые тела разрабатываются преимущественно открытым способом: карьерами и траншеями. Максимальная глубина карьеров, в которых добывается слюда, — 70 м. Имеются и подземные выработки. Наибольшая в районе глубина шахт — 175 м.

Запасы мусковита в Бразилии, а они в основном сконцентрированы именно в Восточной провинции, составляют, по оценкам разных специалистов, от 5 до 10 млн. т. При этом слюда сосредоточена главным образом в крупных жилах. Например, в жиле Крузейро-1, находящейся на севере провинции, только одна из слюдоносных зон размером 325хх20х1,5 м содержит 4500 т мусковита-сырца, т.е. среднее содержание слюды составляет в ее пределах 461,5 кг/м³. Примерно такие же высокие содержания слюды в кварц-мусковитовом агрегате, выявлены на жилах Крузейро-2 (запасы — 2500 т) и Педро-Эспирито (1200 т).

Из других известных месторождений мусковита следует отметить крупные залежи высококачественной слюды Эспера-Фелиз и Манхумирим (шт. Минас-Жерайс), а также жилу Капивари (шт. Рио-де-Жанейро), находящуюся на юге Бразильского слюдоносного района.

Пегматиты пояса Урунгве в Зимбабве

Наличие скоплений крупных кристаллов слюды — мусковита — в междуречье Замбези и Ангвы было установлено еще в 1901 г. Первые выработки на слюду появились в 1919 г., а в 1920 г. вокруг пос. Миами работало уже 14 небольших рудников. После кризиса 30-х гг. добыча слюды в полном объеме возобновилась только во время второй мировой войны. В конце 40-х и в 50-х гг. мусковит добывался на 227 рудниках. Подавляющее большинство из них — 214 — небольшие предприятия, поставившие за все время эксплуатации менее 50 т листовой слюды. 12 рудников дали от 50 до 500 т продукции каждый. И только одно месторождение — Гранд-Пэрэйд — может рассматриваться как крупное: по состоянию на 1960 г. было произведено около 600 т листового мусковита [50]. При среднем для района выходе листовой слюды от забойного сырца около 10 % это соответствует 6 тыс. т добытой слюды — примерно за два десятилетия интенсивной эксплуатации. Всего же к 1960 г. из пегматитов пояса Урунгве было получено 3326 т листового мусковита. Основным потребителем слюды являлась Великобритания.

Как уже отмечалось при описании редкометалльно-мусковитовых пегматитов пояса Урунгве (см. гл. 6), собственно мусковитовые пегматиты встречаются только в пределах распространения силлиманит — содержащих гнейсов и сланцев амфиболитовой фации метаморфизма (см. рис.30). Одновременно они тяготеют к гранитным массивам, что позволяет говорить о метаморфогенно-магматическом генезисе гранитов и пегматитов.

Вокруг пегматитовых тел наблюдаются изменения вмещающих пород, чаще всего окварцевание, мусковитизация (особенно — силлиманита) и турмалинизация. Экзоконтактная оторочка сланцев шириной 30 см или более может быть целиком превращена в относительно крупнозернистую кварц-мусковитовую породу. За счет амфиболитов образуются своеобразные биотитовые сланцы. Эндоконтактный ореол у согласных тел всегда шире, поскольку послынные трещины создают возможность для интенсивного воздействия растворов.

Для пегматитового пояса Урунгве характерны зональные пегматитовые тела инъекционного происхождения. Высококачественная слюда входит в состав кварц-мусковитовых зон, расположенных вдоль обоих или одного из контактов. Это так называемые боковые слюдоносные зоны. Между ними и вмещающими породами отмечается контактная оторочка того же состава, но с меньшим размером кристаллов. Пластины мусковита в боковой зоне ориентированы, как правило, перпендикулярно ее границам. Плаггиоклаз, ассоциирующий с кварцем и мусковитом, имеет альбит-олигоклазовый состав.

В промежуточной зоне и (или) кварцевом ядре пегматитового тела почти всегда присутствуют клиновидные кристаллы зеленой слюды. Иногда она имеет промышленное значение. На карте распространения слюд различного качества в пегматитовом поле Миами (рис. 37) имеются небольшой участок к северо-западу от месторождения Беккет, где развита только зеленая слюда, и три участка (к юго-западу и северо-северо-западу

от г. Миами), содержащих коричневато-зеленую слюду, также не очень высокого качества. Главное же значение в районе имеет „рубиновая“ слюда. Многие месторождения содержат так называемую „пятнистую“ слюду: с многочисленными включениями магнетита, гематита, гётита, реликтами биотита, но она также применяется в некоторых областях и представляет серьезный промышленный интерес.

Месторождение „рубиновой“ слюды Гранд-Пэрэйд находится в 4 км к северу от г. Миами. Главное, относительно маломощное (3–5 м) тело меридионального простирания падает на восток под углами от 45 до 53°. Согласно по простиранию с вмещающими гнейсами, оно сечет их по падению. В центре жилы имеется кварцевое ядро, а вдоль обоих контактов развит кварц-мусковитовый агрегат с подчиненным количеством плагиоклаза. Там, где на флангах мощность тела снижается до 2 м, кварцевое ядро исчезает, и жила становится слюдоносной на всю свою мощность. Пегматитовое тело прослежено в длину более чем на 600 м, из которых примерно 200 м составляет длина промышленной слюдоносной зоны. Подземными выработками зона подсечена на нескольких горизонтах — вплоть до 70 м от поверхности, причем качество и содержание слюды по падению существенно не изменяются.

На месторождении выявлено еще четыре относительно небольших пегматитовых тела. Три из них выходят на поверхность и прослежены по простиранию на 60, 70 и 75 м. Четвертое же — жила Саут-Проспект — является слепым телом и представляет большой интерес в связи с необычным минеральным составом. Жила была вскрыта разведочным штреком при поисках сброшенной по разлому части главного тела Гранд-Пэрэйд. В верхней части жилы встречался исключительно биотит, и только на нижних горизонтах в пегматите появились зоны кварц-мусковитового замещения с „рубиновой“ слюдой хорошего качества, в том числе — с мусковитом, развивающимся по биотиту. При горизонтальной протяженности

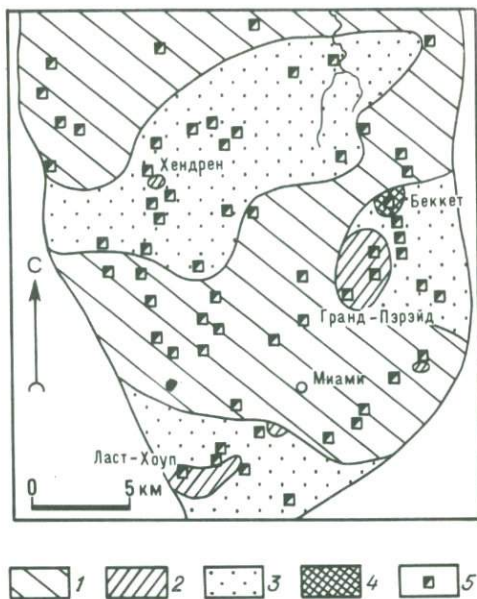


Рис. 37. Распределение разновидностей мусковита в пегматитах поля Миами (пояс Урунгве, Зимбабве). По [50].

1–4 — слюда: 1 — рубиновая, 2 — коричнево-зеленая, 3 — пятнистая, 4 — зеленая; 5 — месторождения мусковита

слюдоносной зоны всего 35 м она прослежена уже до глубины 140 м от поверхности.

Месторождение Беккет расположено в 7,2 км к северо-востоку от г. Миами в пределах зоны „пятнистой“ слюды. Здесь известно три небольших кулисообразно расположенных согласных пегматитовых тела северо-северо-восточного простирания, круто падающих в западном направлении. Главная жила имеет длину всего 30 м при средней мощности 2,1 м, но содержит большое количество мусковита, составляющего иногда до 50 % объема пегматитового тела. Жила не зональна и сложена кварц-мусковит-плагиоклазовым крупнокристаллическим агрегатом. Наибольший размер пластин мусковита — 40×30 см. Микроклин является, по существу, акцессорным минералом, так же как берилл, магнетит и турмалин. Вмещающие сланцы в районе месторождения интенсивно мусковитизированы.

Месторождение разрабатывается с 1920 г.; затем оно эксплуатировалось с перерывами — в 1925—1929, 1946—1948, 1950—1953 и 1957—1959 гг. Всего здесь получено более 250 т крупного листового мусковита достаточно высокого качества. Пятнистость незначительно повлияла на электротехнические свойства слюды: она продавалась практически по той же цене, что и „рубиновая“.

Жила Ласт-Хоуп расположена примерно в 8 км к юго-западу от г. Миами, в зоне развития коричневатозеленых слюд. Это типично секущее пегматитовое тело залегает в гнейсах, падает на восток под углом 50°. Протяженность жилы более 200 м, а средняя мощность всего 1,5 м (на отдельных участках до 3,6 м). Жила относится к числу пегматитовых тел с так называемой простой зональностью. Ее лежащий бок выполнен мелко- и среднезернистым пегматитом кварц-мусковит-плагиоклазового состава, а висячий — крупнокристаллическим пегматитом практически того же состава, являющимся слюдоносной зоной. Акцессорные минералы представлены бериллом и турмалином. За время эксплуатации с 1922 по 1956 г. здесь было добыто около 200 т листовой слюды и 400 кг бериллового концентрата.

Месторождение Хендрен находится в 13 км к северо-западу от г. Миами в пределах зоны развития жил с „пятнистым“ мусковитом. Добыча слюды и берилла велась на 12 жилах месторождения, всего получено примерно 150 т листового мусковита и 9 т бериллового концентрата.

Жилы месторождения имеют длину 60—140 м и мощность 3—8 м. Они зональны и обычно содержат кварцевое ядро, окруженное калиево-полевошпатовым пегматитом. Мусковит приурочен к слюдоносным зонам кварц-мусковит-плагиоклазового состава, расположенным чаще в висячем боку жил, реже — по обоим контактам. Как правило, в жилах отмечается и эндоконтактовая мелкозернистая оторочка шириной до 10 см, содержащая турмалин. Берилл приурочен к кварцевому ядру. В его пределах встречаются и прозрачные кристаллы аквамарина.

Таким образом, мусковитовые пегматиты поля Миами весьма разнообразны по морфологии, степени проявления зональности и качеству слюды. Среди них известны и типично инъекционные пегматитовые тела, и мусковит-плагиоклазовые послемагматические жилы.

Таблица 19. Содержание элементов-примесей (в г/т) в слюдах из пегматитов слюдоносного пояса Урунгве в Зимбабве (аналитики А.И. Кузнецова, В.А. Григорьева, С.К. Ярошенко)

Минерал, его разновидность	Ba	Sr	Li	Rb	Cs	Pb	Tl	Ba:Rb
Биотит лейстовый	430	34	980	2430	1250	54	4,3	0,18
То же	100	29	870	1750	1130	50	3,1	0,057
Мусковит: „рубиновый“	590	22	94	615	11	Сл.	4,0	0,96
коричнево-зеленый	36	25	17	1100	36	2,4	2,2	0,033
„пятнистый“	1100	37	87	490	8	Сл.	8,7	2,24

Автору удалось получить и проанализировать всего несколько образцов слюд из пегматитов поля Миами пояса Урунгве (табл. 19). Из особенностей состава биотита этого района обращает на себя внимание довольно высокое содержание цезия. По этому показателю, как и по низкому содержанию бария, лейстовые биотиты поля Миами аналогичны биотитам из редкометально-мусковитовых пегматитов Индии.

Коричнево-зеленый мусковит по содержаниям элементов-примесей близок к первичному мусковиту из редкометально-мусковитовых пегматитов или к пегматоидному мусковиту из мусковитовых пегматитов других регионов. „Рубиновый“ и „пятнистый“ мусковит данного района геохимически довольно похожи друг на друга и, несмотря на значительно различающиеся значения величины барий-рубидиевого отношения, близки по составу элементов-примесей к мусковитам из мусковитовых пегматитов Индии.

Разумеется, нескольких образцов недостаточно для суждения о геохимических особенностях пегматитов пояса. Тем не менее выполненные анализы позволяют провести аналогию между слюдоносными пегматитами Зимбабве и пегматитами других стран.

Месторождения США

США располагают многочисленными месторождениями мусковита. Это и уже описанные редкометально-мусковитовые, и собственно мусковитовые пегматиты. Главным регионом развития последних являются Аппалачи. Небольшие месторождения имеются в хр. Блэк-Хиллс и Кордильерах.

В годы второй мировой войны ежегодное производство листового мусковита в США превышало 1000 т. В 50-х гг. оно сократилось более чем наполовину, а после 1965 г., по существу, прекратилось. Например, в 1971–1973 гг. в стране получали всего по 6–11 т листовой слюды, в то

время как импорт мусковита и флогопита (совместно) составлял в среднем 6 тыс. т. В настоящее время в США практически не разрабатываются собственные слюдоносные пегматиты, хотя запасы листового мусковита в них оцениваются не менее чем в 30 тыс. т — столько же уже добыто на известных месторождениях. Однако в США непрерывно растет добыча мелкошуйчатой слюды (скрапа) из отработанных на листовую слюду жил, гранитов, гнейсов и сланцев, а также при комплексной разработке редкометальных и других типов пегматитов. За период с 1950 по 1970 г. она возросла вдвое (с 63 до 118 тыс. т в год) и в последующие годы остается примерно на том же уровне (105—126 тыс. т).

Импорт листовой слюды в США составлял в конце 70-х гг. 2200—2300 т (примерно 95 % приходится на долю мусковита, 5 % — на долю флогопита), т.е. около 24 % мирового производства.

В пределах области Аппалачей, где сосредоточены основные запасы мусковита США, главное значение имеют районы гор Блу-Ридж (в пределах шт. Северная Каролина), Юго-Восточного Пидмонта (от шт. Джорджия до шт. Виргиния) и Новой Англии. Наиболее хорошо изученные пегматиты Новой Англии и будут охарактеризованы в первую очередь.

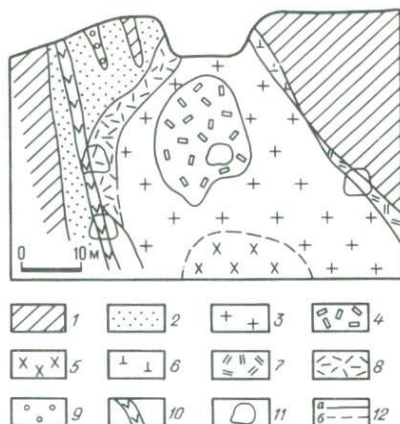
Открытые еще в начале XIX в. крупные месторождения мусковита в штатах Нью-Гэмпшир, Мэн и Коннектикут были главными поставщиками листовой слюды в течение многих десятков лет, лишь иногда уступая рудникам Северной Каролины. При этом более 90 % слюды поставляли несколько районов Новой Англии суммарной площадью всего 750 км². В годы второй мировой войны наиболее продуктивными были территории графств Кин и Графтон шт. Нью-Гэмпшир.

Пегматиты **районов Кин и Графтон** распространены на площадях 150 и 400 км² соответственно. Они приурочены преимущественно к метаморфическим породам формации Литлтон: слюдяным сланцам, биотитовым гнейсам, сланцам со ставролитом и силлиманитом, кварцитам и амфиболитам. Обычно это кулисообразно расположенные согласные линзы. Взаимоотношения с вмещающими породами свидетельствуют об инъекционном характере жил. В гнейсах Бетлехем, кварцевых монцонитах Кинсман и гранитах Конкорд пегматитовые тела встречаются значительно реже. Они явно секущие, содержат ксенолиты гранитов. Вопрос о генетических связях пегматитов с теми или иными возрастными группами гранитоидов района многие годы является предметом дискуссий, хотя большинство исследователей связывает их с гранитами серии Нью-Гемпшир.

Пегматитовые тела Новой Англии весьма разнообразны по размерам, но преобладают жилы длиной менее 300 м и мощностью менее 30 м, которые с глубиной быстро выклиниваются. Форма тел, как правило, пластинчатая или линзовидная. Реже отмечаются жилы штокообразной или неправильной формы. Почти все пегматитовые жилы зональны (различные варианты зональности детально описаны в литературе). Главные минералы мусковитовых пегматитов — полевые шпаты, кварц, мусковит и биотит, характерные аксессуарные — черный турмалин, апатит, гранат и берилл; в ряде жил присутствуют минералы радиоактивных элементов, ниобия и тантала.

Рис. 38. Разрез жилы Раглс, поле Графтон (шт. Нью-Хэмпшир, США). По Е. Камерону:

1 — слюдяные сланцы; 2–7 — пегматит: 2 — кварц-плагиоклаз-мусковитовый (внешняя зона), 3 — микроклин-кварц-плагиоклазовый, 4 — блоковый микроклиновый, 5 — кварц-плагиоклазовый, 6 — мелкозернистый с биотитом и черным турмалином, 7 — мусковит-плагиоклазовый; 8 — зона замещения с мусковитом; 9 — кварц; 10 — дайка основных пород; 11 — подземные выработки; 12 — границы: а — установленные, б — предполагаемые



Типичной для пегматитов Новой Англии является крупная жила Раглс, находящаяся в пределах г. Графтон, в 2 км к северо-западу от его центра. Тело имеет длину более 500 м и мощность до 48 м. Это секущая линза неправильных очертаний с хорошо проявленной зональностью (рис. 38): выделено 13 различающихся по составу зон, из которых наиболее важными являются внешняя кварц-мусковит-плагиоклазовая, следующие за ней кварц-плагиоклазовая, пять промежуточных, две из которых содержат мусковит, и три внутренних с калиевым полевым шпатом (пертитом), в том числе зона графического пегматита. В центральной, пертитовой, зоне (ее размеры до 120×20×15 м) встречаются линзы кварца (длина одной из них — до 60 м).

Мусковит образует в жиле пластины размером до 1×1,5 м, имеет „ромовый“ цвет, соответствующий „рубиновому“ цвету других районов, хорошо обрабатывается. Кроме него в жиле Раглс всегда добывался полевой шпат, в отдельные периоды он был главным продуктом. Из акцессорных минералов большой интерес представлял уранинит.

Среди вмещающих пород (формация Литлтон) явно преобладают среднезернистые кварц-слюдяные сланцы, наблюдаются крупнозернистые биотитовые гнейсы, амфиболиты, биотитовые граниты. Сланцы содержат значительное количество биотита, но возле контактов с пегматитами они интенсивно мусковитизированы и обогащены турмалином.

В горах Блу-Ридж выделяется более 10 слюдоносных районов, прослеживающихся в виде цепочки через северную часть шт. Джорджия и западную шт. Северная Каролина. Именно на территории последнего находятся два главных района развития мусковитовых пегматитов — Спрус-Пайн и Франклин-Силва. Начиная с 1868 г. пегматиты этих районов были в числе главных источников листовой слюды в США, а во время и после второй мировой войны из них получали от 40 до 80 % этой продукции. После прекращения добычи листового мусковита шт. Северная Каролина продолжает оставаться основным в США поставщиком мелкозернистой и молотой слюды, а также полевого шпата из пегматитов и гранитов.

Вмещающие породы пегматитов гор Блу-Ридж — слюдяные и рогово-обманковые гнейсы, а также кристаллические сланцы, образовавшиеся в результате метаморфизма осадочных и вулканогенно-осадочных пород.

Пегматиты по валовому химическому составу варьируют между гранитами и гранодиоритами. Минеральный состав их очень прост: олигоклаз, микроклин-пертит, кварц и мусковит. Главными аксессуарными минералами являются берилл, колумбит, монацит, самарскит, урановые минералы.

Пегматитовые тела имеют преимущественно пластинчатую форму и лишь приблизительно четвертая часть представлена линзами; очень редко встречаются жилы неправильных очертаний. Половина жил залегает несогласно по отношению к простиранию вмещающих пород. Размеры тел — до 300×100 м. Наиболее распространены зональные жилы с плагиоклаз-кварц-мусковитовой краевой зоной, кварцевым ядром и обычно окружающей его пертитовой зоной. Мусковит приурочен, как правило, к краевой зоне; иногда он концентрируется и в зонах, примыкающих к кварцевому ядру. Мусковитоносны и незональные тела плагиоклаз-кварц-мусковитового состава, имеющие длину 30–60 м и мощность 1–3 м.

Как и в других месторождениях, мусковит незональных жил и краевых зон обычно пластинчатый, „ромовой“ („рубиновой“) окраски, а в оторочке кварцевых ядер — клиновидный, зеленоватого цвета.

На площади **района Спрус-Пайн** (40×16 км) находится более 500 промышленных слюдоносных пегматитовых тел. Вмещающие породы имеют северо-восточное простираение и представлены преимущественно слюдяными сланцами и гнейсами, реже дистен-гранатовыми гнейсами, графит-мусковитовыми сланцами, мраморами и талькосодержащими породами.

Пегматиты генетически связаны с массивами крупнозернистых, местами пегматоидных гранитоидов (аляскитов), развитыми в центральной части района. Некоторые пегматитовые жилы залегают в самих гранитах, где приурочены к трещинам усадки. Однако большинство тел с наиболее высококачественной слюдой локализуются во вмещающих породах. Это типичные жилы внедрения (зональные, большой мощности) или выполнения трещин (маломощные незональные тела плагиоклаз-кварц-мусковитового состава).

Жила Вайсмэн — пластинообразное, с апофизами, крупное (длина — более 100 м) крутопадающее тело мощностью до 15 м, залегающее в гранитах. Она вскрыта карьером и подземными выработками. Жила зональна: хорошо выражены среднезернистая внешняя зона плагиоклаз-микроклин-кварц-мусковитового состава и следующая за ней мощная крупно-блоковая зона с преобладанием микроклин-пертита. Имеется прерывистое, неправильных очертаний кварцевое ядро мощностью до 2 м, отороченное крупными кристаллами калиевого полевого шпата. Из аксессуарных минералов преобладают гранат и турмалин, отмечаются клевеландит, апатит, самарскит, урановые минералы. Кристаллы мусковита крупные, обычно зеленоватые или зеленовато-коричневые (это характерно для жил в гранитах).

Район Франклин-Силва по запасам мусковита занимает второе место среди слюдоносных районов гор Блу-Ридж. По площади он больше района Спрус-Пайн: до 80 км в длину и около 20 км в ширину. В каталоге слюдоносных объектов этого района упоминается 435 жил. Максимальные длина и мощность пегматитовых тел соответственно 420 и 105 м, однако 70 % жил имеют длину менее 60 м и мощность — 3 м и менее. Для большинства жил характерна пластинчатая форма, реже встречаются линзовидные и неправильной формы. Около 80 % пегматитовых тел залегают несогласно по отношению к вмещающим породам, среди которых резко преобладают слюдяные гнейсы, иногда переслаивающиеся с роговообманковыми.

Внутреннее строение пегматитовых тел обычно простое. Две трети жил зональны: отмечаются кварцевое ядро, одна-две промежуточные зоны плагиоклаз-пертит-кварцевого и (или) пертит-кварцевого состава, внешняя полевошпат-кварц-мусковитовая зона. Главные акцессорные минералы — биотит и гранат, реже встречаются пирит, пирротин и апатит, а ортит, берилл, халькопирит, турмалин, дистен, эпидот обнаружены лишь в отдельных телах.

В большинстве жил района Франклин-Силва мусковит красновато-коричневый („рубиновый“) или коричневый. Только в 55 из 435 жил слюда зеленая, а в 30 — одновременно присутствует и зеленая, и коричневая. Средний размер кристаллов мусковита несколько меньше, чем в районе Спрус-Пайн.

Слюдоносные пегматиты довольно широко распространены в Юго-Восточном Пидмонте: имеется пять крупных слюдоносных районов, многочисленны жилы известны и за их пределами.

Слюдоносный **район Амелия** расположен в окрестностях одноименного города. Он имеет ширину более 6 км и простирается в меридиональном направлении на 16 км. В этом районе насчитывается около 70 месторождений. Вмещающими породами для большинства пегматитовых жил являются слюдяные сланцы и гнейсы; на пяти месторождениях отмечено переслаивание амфиболовых сланцев и гнейсов.

Большинство пегматитовых тел района зональны; кварцевое ядро иногда окружено кристаллами микроклин-пертита. Внешние зоны богаты плагиоклазом; подчиненным развитием пользуются кварц и мусковит. В эндоконтакте обычен биотит. Некоторые жилы содержат графические сростания кварца и калиевого полевого шпата. Последний отмечается также и в эндоконтактной оторочке. Акцессорные минералы представлены гранатом, бериллом, черным турмалином, апатитом.

Для пегматитовых тел, в которых активно проявились процессы метасоматической переработки, характерен более сложный минеральный состав. Кроме обычных минералов в таких телах присутствуют пластинчатый альбит, амазонит, желто-зеленый мусковит, разнообразные сульфиды, циннвальдит, танталит-колумбит, микролит, фенакит, топаз, касситерит.

Пегматиты района генетически связаны с залегающими несколько южнее гранитоидами Редоак, варьирующими по составу от кварцевого диорита до кварцевого монзонита. Как и пегматиты, эти гранитоиды богаты плагиоклазом и бедны мафическими компонентами.

Месторождение Морфилд находится примерно в 6,5 км к востоку-северо-востоку от г. Амелия. Это месторождение, эксплуатировавшееся с 1929 г., приобрело широкую известность не только в связи с тем, что в его пределах наблюдается сочетание типичного мусковитового пегматита с наложенной редкометалльно-мусковитовой минерализацией (альбит, берилл, колумбит, марганцотанталит, фенакит, триплит и др.), а также благодаря музейным образцам разнообразных минералов (среди последних, кроме уже упомянутых, следует отметить циннвальдит, топаз, амазонит, микролит).

Главное пегматитовое тело, секущее вмещающие биотитовые гнейсы и биотит-роговообманковые сланцы, имеет северо-восточное простирание и северо-западное падение (угол падения всячего контакта — 80°); длина его не менее 330 м, мощность в центральной части 5,5—9 м.

В жиле отмечается несколько кварцевых обособлений („ядер“) длиной до 10 м и мощностью 2—5 м. Это дымчатый кварц, окруженный крупнокристаллической зоной микроклин-пертита (частично—амазонита), мусковита и альбита с подчиненным количеством берилла, топаза и фенакита. Внешнюю промежуточную зону слагает либо графический микроклиновый пегматит, либо среднезернистый мусковит-кварц-микроклин-плагиоклазовый пегматит.

В маломощной части жилы боковая зона (до 1,5 м) представлена кварц-мусковит-плагиоклазовым пегматитом, биотитом и гранатом. Кроме того, наблюдается эндоконтактовая оторочка средней мощностью 10 см, обогащенная биотитом, пластины которого ориентированы параллельно плоскости контакта. Наряду с биотитом она содержит кварц и гранат.

В центральной части тела пегматит боковой зоны нередко бывает замещен кварц-альбитовым агрегатом (сахаровидный альбит или клевеландит). В одной из траншей хорошо видно, что апофиза кварц-альбитовой зоны пересекает и блоковый микроклин, и кварцевое ядро (рис. 39). Альбит проникает и в пределы микроклин-пертитовой зоны — по контактам между блоками микроклина и кварцем и др. В кварц-альбитовом замещающем агрегате отмечаются реликты микроклина.

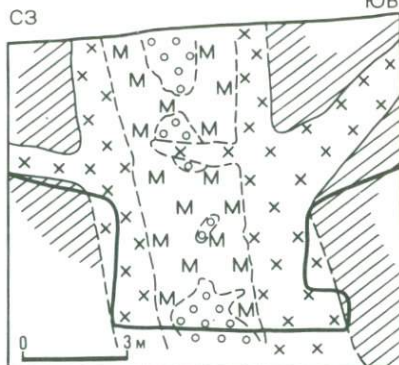
Основная масса крупных кристаллов промышленного мусковита коричневого цвета концентрируется во внутренней части боковой зоны, а также в промежуточной зоне. Кроме того, в жиле содержится поздняя слюда в виде столбчатых кристаллов длиной 15—20 см и диаметром 2,5—4 см. На северо-восточном фланге тела эта слюда представлена циннвальдитом, а в остальной его части встречаются своеобразные, „обросшие“ циннвальдитом кристаллы мусковита. Оба эти минерала обогащены примесями цезия.

Танталит и колумбит, всегда связанные с альбитом, тоже наблюдаются преимущественно в северо-восточной части жилы. С ними ассоциирует касситерит, микролит выявлен в участках развития клевеландита. В богатых альбитом участках жилы встречается флюорит, напоминающий флюорит из редкометалльных пегматитов месторождения Резерфорд. Из других минералов необходимо упомянуть берtrandит, замещающий берилл.



Рис. 39. Вертикальный разрез жилы Морфилд по траншее 3, район Амелия (шт. Виргиния, США). По Р. Лемке, Р. Джансу и В. Гриффитсу:

- 1 — кварц-клевеландитовый пегматит;
 2 — кварцевое ядро, содержащее берилл, фенацит и топаз; 3 — блоковый микроклин; 4 — слюдяные сланцы и гнейсы;
 5 — контур траншеи



Как отмечают Р. Лемке, Р. Джанс и В. Гриффитс, месторождение Морфилд образовалось в два этапа. В первый происходила кристаллизация расплава — от боковых зон к ядру, как и на многих других жилах района. На этом этапе сформировались крупные кристаллы мусковита, часть берилла и колумбита. Затем под воздействием поздних растворов микроклин, кварц и некоторые боковые зоны замещались альбитом. Ко второму этапу относится появление позднего мусковита, циннвальдита, вероятно, части берилла и топаза, а также многих редких минералов: микролита, марганцотанталита, триплита. В полостях, являющихся источниками музейных образцов, перечисленные минералы встречаются вместе с касситеритом, флюоритом, микроклином и поздним мусковитом среди кристаллов клевеландита. На кристаллах марганцотанталита развиты мелкие кристаллики монацита. По-видимому, образование полостей происходило в заключительные стадии второго этапа.

Район Риджуэй—Сэнди-Ридж расположен на границе штатов Виргиния и Северная Каролина. Пегматитоносная зона шириной 3—8 км простирается на 40 км в юго-западном направлении и включает более 70 месторождений. Вмещающими породами пегматитов являются слюдяные сланцы и гнейсы, а в пределах северо-восточной части зоны — также и роговообманковые породы. В отличие от пегматитов района, описанного выше, пегматитовые тела в этом районе, как правило, согласные и весьма разнообразны по размерам: от 30 см до 210 м в длину при мощности, измеряемой соответственно сантиметрами и десятками метров. Форма их обычно линзовидная или пластинчатая. Только жилы, залегающие в гранитах, — явно секущие и имеют более сложную морфологию.

Зональность в пегматитовых телах выражена слабее, чем в других районах, а нередко вообще отсутствует. В некоторых жилах выделяется кварцевое ядро, окруженное кварц-плагиоклазовым пегматитом, содержащим мусковит. Жилы с пертитовой зоной (вокруг кварцевого ядра) достаточно редки. В пегматитах встречаются альбит, биотит, гранат, берилл и турмалин. В жиле Найт присутствуют ортит, уранинит и вторичные урановые минералы.

Пегматиты района пространственно связаны с крупным, неправильной формы гранитным массивом Лэзервуд. При этом слюды различной окраски и разного качества в пегматитах распределены вокруг этого массива концентрически-зонально.

Район Шелби-Хикори — крупнейший слюдоносный район Юго-Восточного Пидмонта. Он занимает площадь более 2000 км² на территории девяти округов шт. Северная Каролина, протягиваясь примерно на 100 км в северо-восточном направлении от границы с шт. Южная Каролина. Все пегматитовые тела секущие, залегают в слюдяных или роговообманковых гнейсах и сланцах, а также в гранитах.

Большинство промышленных тел имеют длину от 10 до 160 м при мощности 1,5–4,5 м. Обычно отчетливо проявлена зональность: кварцевое ядро окружено зоной с микроклин-пертитом, внешняя зона — плагиоклаз-кварцевая. Мусковит ассоциирует с плагиоклазом. Он отличается красно-коричневым цветом и прозрачностью. Среди акцессорных минералов пегматитов района следует упомянуть биотит, берилл, турмалин, гранат, апатит, сульфиды, карбонаты, хлорит и самородное золото.

Вопрос о связи пегматитов с теми или иными гранитами района достаточно дискусионен. Однако некоторые факты свидетельствуют о генетическом родстве мусковитовых пегматитов и гранитов так называемого „восточного“ типа. Это среднезернистые двуполевошпатовые, массивные или слабо полосчатые граниты, содержащие биотит и мусковит, а из акцессорных минералов — циркон.

Район Хартуэлл расположен на границе штатов Джорджия и Южная Каролина. В его пределах на площади около 250 км² выявлено более 50 месторождений. Вмещающие породы — преимущественно слюдяные сланцы и гнейсы, в меньшей степени — роговообманковые гнейсы. Простирание пород — северо-восточное, падение — юго-восточное. Южная часть района сложена гранитами, вмещающими всего два пегматитовых тела. По условиям залегания, строению и составу они аналогичны жилам в метаморфических породах.

Пегматиты района образуют секущие тела длиной 60–270 м и мощностью 1–8 м. Самые крупные из них находятся в пегматитовом поле Монтевидео. Они зональны: имеют кварцевое ядро, богатую микроклин-пертитом промежуточную и существенно плагиоклазовую внешнюю зоны. В поле Эйрлайн жилы незональны; иногда в них наблюдаются кварцевое ядро и плагиоклазовая зона (без пертита). Кроме уже упомянутых минералов и мусковита, обычно окружающего кварцевое ядро или приуроченного к контактам, в состав пегматитов входят биотит, турмалин, берилл и гранат.

Для района Хартуэлл весьма характерно зональное расположение мусковита различной окраски. В центрах полей зональности наблюдаются небольшие гранитные тела.

Район Томастон-Барнесвилл расположен в центральной части шт. Джорджия; его длина—примерно 80 км, максимальная ширина — 40 км. Вмещающие породы — амфиболовые и лейкократовые биотитовые гнейсы, метаморфизованные в условиях амфиболитовой фации, а также нориты

массива Глэйдсвилл. Простираение метаморфических пород северо-восточное, падение — близкое к вертикальному.

Пегматитовые тела залегают в целом согласно с простираением метаморфических пород, однако как по простираению, так и по падению отмечаются отдельные секущие участки контактов. Среди промышленных слюдоносных жил преобладают тела мощностью 1—3 м, протягивающиеся на несколько десятков метров. Они содержат одно крупное или несколько мелких кварцевых ядер.

Для описываемого района типичен мусковит „ромового“ цвета, представленный кристаллами относительно небольших размеров, без ельчатости. Часто встречаются и крупные (до 30 см в поперечнике, массой до 5 кг) кристаллы высококачественной слюды. В жилах обычно развит биотит, иногда в сростаниях с мусковитом. Из полевых шпатов преобладает плагиоклаз, но постоянно присутствует и калиевый полевой шпат, в частности образующий графические сростания с кварцем. Акцессорные минералы представлены турмалином, апатитом, гранатом, магнетитом. Изредка отмечаются берилл и ортит.

Из описания главных слюдоносных районов США становится ясным, что здесь, как и в других районах мира, преобладающим распространением пользуются относительно небольшие секущие пегматитовые тела линзовидной или пластинчатой формы, в состав которых входит как плагиоклаз, так и калиевый полевой шпат. Обычно тела зональны, и мусковит, ассоциирующий с плагиоклазом и кварцем, связан с так называемыми промежуточными зонами, содержащими калиевый полевой шпат, или с внешней зоной, где калиевый полевой шпат, как правило, отсутст-

Таблица 20. Содержания натрия (в %) и элементов-примесей (в г/т) в калиевых полевых шпатах из графической (числитель) и блоковой * (знаменатель) зон мусковитовых пегматитов Аппалачей, США (аналитики А.И. Кузнецова, Д.Х. Николаева, С.К. Ярошенко)

Пегматитовое поле, жила	Na	Rb	Cs	Ba	Sr	Pb	Ba:Rb
Глэйдсвилл:							
Ньютон Проспект	1,21	364	5	6400	540	60	17,6
	1,25	296	7	5800	540	40	19,6
„Фельдспар компани“	1,34	372	6	1100	330	120	2,96
	2,31	456	9	85	68	200	0,19
Спрус-Пайн:							
Вайсмэн	1,87	280	4	8000	420	105	28,6
	1,97	440	4	2200	230	126	5,0
Честнат Флэтс	1,91	376	4	4800	300	107	12,8
	2,07	700	16	720	66	87	1,03

* Для жилы Ньютон Проспект в знаменателе приведены данные для калиевого полевого шпата из мелкозернистой зоны.

Таблица 21. Содержания элементов-примесей (в г/т) в слюдах из мусковитовых пегматитов Аппалачей, США
(аналитики А.И. Кузнецова, Д.Я. Орлова, Л.Л. Петров, С.К. Ярошенко)

Пегматитовое поле, жила	Минерал, его разновидность	Li	Rb	Cs	Ba	Sr	Be	Sn	Pb	Tl
Глэйдсвилл, „Фельдспар компани“	Мусковит: из кварц-мусковитового комплекса	55	760	9	440	15	4,6	6,6	3,6	1,2
Спрус-Пайн, Вайсмэн	То же	347	420	6	3200	29	3,2	12	4,6	2,6
Глэйдсвилл, „Фельдспар компани“	клиновидный	31	570	6	220	15	1,6	9,1	4,8	1,1
Спрус-Пайн, Вайсмэн	„	300	835	22	170	10	4,4	4,5	5,8	1,3
Спрус-Пайн, Честнат Флэтс	„	220	1280	60	250	10	9,5	5,2	6,3	1,2
„ „	пластинчатый	335	525	7	1400	15	3,3	12	7,4	1,6
Глэйдсвилл, „Фельдспар компани“	Биотит: лейстовой	80	1180	112	390	26	1,1	8,7	24	1,0
Спрус-Пайн, Честнат Флэтс	„	1140	925	75	460	10	2,2	3,0	6,5	2,8
То же	сегрегированный	508	925	62	890	26	2,4	2,8	11	5,8

вует. Кроме того, встречаются мусковитоносные жилы небольшой мощности, состоящие, по существу, из трех минералов: кварца, плагиоклаза и мусковита.

Как правило, хорошо проявлены зональность пегматитовых полей и связь пегматитов с гранитами. Вмещающие породы, как и в других мусковитоносных регионах, представлены в основном метаморфическими образованиями преимущественно амфиболитовой фации метаморфизма.

Значительное сходство с другими мусковитовыми пегматитами подчеркивают и геохимические особенности минералов из некоторых пегматитов США (табл. 20, 21). Калиевые полевые шпаты мелкозернистой и графической структур содержат повышенные количества бария и имеют величину отношения $Ba:Rb$, соизмеримую с таковой в пегматитах Индии [25]. В блоковых зонах концентрации бария снижаются, рубидия несколько возрастают и величина $Ba:Rb$ уменьшается в среднем на порядок.

Содержания индикаторных элементов в слюдах также близки к характерным для мусковитовых пегматитов других регионов. Концентрации бария и стронция снижаются в поздних генерациях слюд по сравнению с ранними, а рубидия и цезия, наоборот, возрастают. Содержания бериллия, олова, свинца и таллия в мусковите и биотите соизмеримы. Поведение этих элементов-примесей в мусковитовых пегматитах можно считать незакономерным.

Глава 8

МИАРОЛОВЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Вынесенный в название главы термин не является общепринятым. Разными авторами пегматиты, содержащие полости с идиоморфными кристаллами тех или иных минералов, именовались занорышевыми, миаролитовыми, камерными, хрусталеносными, пегматитами с драгоценными камнями и т.д. А.Е. Ферсман [20] использовал термин „Заполнение миаролитовых пустот (тип XI)“, но в этой же работе он признает удачным сокращение Ф. Шукка, впервые применившего термин „миарола“ взамен словосочетания „миаролитовая пустота“.

В исследованиях канадских геологов [37] для пегматитов с полостями используется название „miarolitic“ которое в переводе на русский язык должно звучать как миароловые. Так же, но с добавлением второго термина, означающего практическую ценность пегматитов, называли подобные пегматиты А.И. Гинзбург и Г.Г. Родионов — миароловые хрусталеносные.

Называя миароловыми все пегматиты с полостями, автор данной работы считает, что камерные пегматиты (по Н.П. Ермакову) — это разновидность миароловых пегматитов, образующаяся при остаточной первичной кристаллизации флюида в пределах материнских гранитов. Флюоритоносные пегматиты, в свою очередь, — это камерные пегматиты с заполнением полости флюоритом. Наряду с камерными существуют миароло-

вые пегматиты с первичными (остаточными) полостями и в жильных пегматитовых телах, располагающихся не в материнских гранитах, а в окружающих метаморфических или изверженных вмещающих породах.

Широко развиты также миароловые пегматиты с вторичными полостями, возникающими в результате растворения (с собирательной перекристаллизацией на фронте растворения) вдоль трещины, пересекающей пегматитовое тело или проходящей по границе между зонами, реже — по контакту с вмещающей породой.

В подавляющем большинстве случаев минеральный состав как первичных, так и вторичных пустот аналогичен составу пегматитовых жил, в которых они находятся; отличия заключаются только в размерах индивидуумов и огранке кристаллов. Иногда в полостях возрастает значение минералов, содержащих летучие компоненты: фтор (топаз, флюорит), фосфор (разнообразные фосфаты), углекислоту (карбонаты) и воду (слоистые силикаты).

Миароловые пегматиты тесно связаны с пегматитами других типов, поскольку пустоты встречаются в пегматитах практически любой геохимической специализации: в редкометальных, редкометально-мусковитовых, мусковитовых и редкоземельных. По-видимому, правильнее говорить о **миароловой фации** пегматитов различной специализации. Для неспециализированных пегматитов (кварц-полевошпатовых) образование миарол означает их „превращение“ в хрусталеносные. В остальных же случаях наличие миарол как бы увеличивает ценность редкометальных или иных пегматитов, которые становятся не только сподуменовыми, но и кунцит- или гидденитсодержащими, не только бериллиевыми, но и аквамаринowymi или воровьевитовыми.

Разумеется, некоторые пегматиты могут иметь ценность только как источники пьезокварца, драгоценных камней или коллекционных образцов, поскольку другие минералы в них не представляют промышленного интереса. В этом случае они являются месторождениями, например, горного хрусталя, цветного турмалина, топаза или аквамарина. Но нередко в комплексных пегматитовых полях или месторождениях драгоценные камни и коллекционные образцы добываются попутно с другими видами сырья: редкими металлами, керамическим сырьем или кварцем для плавки (перекристаллизации). И только отдельные жилы в пределах таких полей могут иметь значение преимущественно как источники кристаллов.

К числу объектов с драгоценными камнями — с рубином, сапфиром и „звездчатым“ корундом, а также с изумрудом — относятся и некоторые пегматиты без полостей. Они слагают самостоятельные месторождения (Колумбия, Шри-Ланка) или развиты вместе с редкометальными пегматитами (Бразилия, Афганистан, Индия, США). Но к миароловым такие пегматиты непосредственного отношения не имеют.

Миароловые пегматиты распространены весьма широко. Они встречаются практически на всех редкометальных месторождениях, образуют отдельные хрусталеносные пегматитовые поля. Несколько реже миароловые пегматиты отмечаются в районах распространения редкометально-мусковитовых и особенно собственно мусковитовых пегматитов.

Наиболее широкой известностью пользуются миароловые пегматиты с драгоценными камнями Мадагаскара, Бразилии и США. Именно эти три страны вместе с Индией и Шри-Ланка, где хорошо развита камнеобрабатывающая промышленность, поставляют на мировой рынок основную часть ювелирных изделий с камнями, полученными из пегматитов. Недавно стали известны драгоценные камни Афганистана, связанные с редкометальными пегматитами. Автору настоящей работы удалось побывать на небольших пегматитовых месторождениях аквамарина и полихромных турмалинов на востоке Непала. Далее охарактеризованы некоторые месторождения упомянутых стран, а также приводится краткое описание хрусталеносных пегматитов МНР, где эта разновидность миароловых пегматитов широко распространена.

Месторождения Мадагаскара

Начиная описание месторождений миароловых пегматитов именно с Мадагаскара, автор имеет в виду не только то, что в этой стране находятся самые крупные месторождения. Более важно то обстоятельство, что эти месторождения весьма многочисленны и типичны для регионов широкого развития редкометальных пегматитов с интенсивно проявленными в них процессами миаролообразования. Что же касается термина „самый крупный“, то именно на Мадагаскаре, на месторождении Малакиалина, был обнаружен „рекордсмен“ в мире кристаллов — кристалл берилла длиной 18 м, диаметром 3,5 м, объемом 143 м³ и массой примерно 380 т.

Месторождения Малакиалина и Ампандрамайка являются крупнейшими в Западном пегматитовом поясе (см. гл. 1). В этом поясе распространены преимущественно редкометально-мусковитовые пегматиты, из которых в разные годы добывались мусковит, берилл и минералы ряда колумбит—танталит. Кроме уже отмеченных двух месторождений, в его пределах располагается и ниобо-танталовое месторождение Берере, находящееся примерно в 250 км к северу от г. Антананариву (рис. 40).

Главное же минеральное богатство страны составляют редкометальные пегматиты, полоса развития которых протягивается примерно на 500 км через центральную часть острова к востоку от Западного пояса. Эти пегматиты богаты литиевыми и разнообразными акцессорными минералами, включая цветные турмалины, воробьевит, данбурит, гамбергит. Встречаются прозрачные разновидности сподумена: кунцит и гидденит. Широко развиты и менее ценные цветные камни: амазонит, розовый и дымчатый кварц.

Как в редкометально-мусковитовых, так и особенно в редкометальных пегматитах очень часто встречаются полости с хорошо развитыми кристаллами минералов. При этом здесь явно преобладают вторичные миаролы, тяготеющие к наложенным зонам альбитизации, проявляющейся, как правило, в участках полевошпатовой зоны, окружающей кварцевое ядро, но в некоторых случаях — в эндоконтактных зонах пегматитовых тел. Очень редко миаролы имеют значительные размеры и представляют собой зияющие полости. Более типичны насыщенные многочислен-

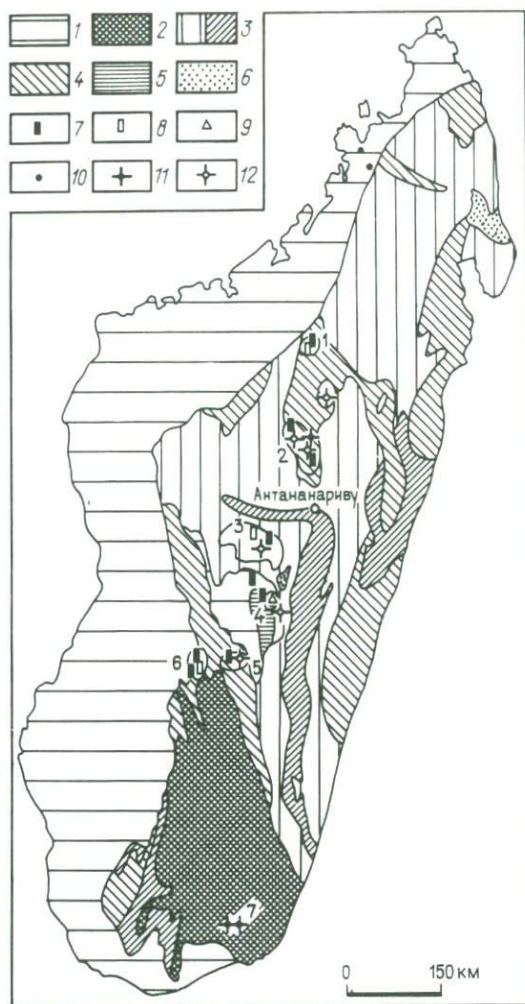


Рис. 40. Геологическая схема о. Мадагаскар и размещение главнейших пегматитовых полей и месторождений. По Безери:

1 — осадочные породы чехла; 2–4 — образования систем: 2 — Андроивен, 3 — Графит, 4 — Вохибури; 5–6 — породы серий: 5 — Циполино, 6 — кварцевой; 7 — берилл; 8 — колумбит; 9 — минералы лития; 10 — пироклор; 11 — ураноторианит; 12 — драгоценные камни. Пегматитовые поля: 1 — Берере, 2 — Анказобе, 3 — Итази, 4 — Сахатани, 5 — Икаламавани, 6 — Ампандрамайка, Малакиалина, 7 — Форт-Дофин

ными мелкими пустотами рыхлые массы альбитизированного пегматита, содержащие идиоморфные кристаллы берилла, турмалина и других минералов.

Распространены друзовые полости и в знаменитых уран-редкоземель-

ных пегматитах Мадагаскара, в которых выявлены такие редкие минералы, как бетафит и самирезит, названные по месторождениям Бетафо и Самирези, а также ампангабеит, эвксенит, самарскит, фергусонит, приорит, ураноторит, оранжит. Эти небольшие полости поставляют в основном коллекционный материал.

Широкое развитие наложенных процессов метасоматоза, перекристаллизации и формирования миарол в пегматитах Мадагаскара связано с тектономагматической активизацией [2, 16], основная стадия которой приходится на период раннего палеозоя, что отмечается максимумом цифр абсолютного возраста, определенного по минералам пегматитов, — 560—480 млн. лет назад. Именно этот период, по данным современной концепции тектоники литосферных плит, ознаменовался наиболее крупными начальными моментами разделения протоафриканской плиты. Таким образом, интенсивность эффекта „омоложения“ в пегматитах Мадагаскарской провинции коррелируется с массовым проявлением в них процессов альбитизации и формирования вторичных пустот.

Добыча драгоценных камней, их обработка и ювелирный промысел находятся в стране в основном в частных руках. Государственные предприятия специализируются преимущественно на полудрагоценных и поделочных камнях, на изготовлении изделий из декоративных горных пород. По сводке за 1976—1980 гг. главное значение в государственном экспорте пегматитового сырья имели дымчатый кварц, морион и прозрачный пьезокварц; второе место занимал розовый кварц, далее следовали рудоразборный берилл и гранаты, а оградочный берилл и цветные турмалины играли второстепенную роль.

В то же время во многих городах Мадагаскара процветают частные ювелирные фирмы, скупающие драгоценные камни (аквамарин, гелиодор, воробьевит, рубеллит, полихромный турмалин, топаз и др.) и коллекционные образцы у старателей и крестьян, проживающих неподалеку от месторождений. Значительная часть мадагаскарских самоцветов продается на международных аукционах под маркой „индийских“ или „бразильских“ камней, поскольку они вывозятся за рубеж неофициальным путем.

В сентябре 1983 г. автор имел возможность посетить несколько месторождений Центрального пегматитового района, расположенного к юго-западу и юго-юго-западу от г. Антананариву. Наиболее ценные миароловые пегматиты известны в пегматитовом поле **Сахатани**, расположенном в долине одноименной реки, к юго-западу от г. Анцирабе, являющегося центром горнодобывающей и камнеобрабатывающей промышленности района.

Жила Тсарафара (иные написания: Царафара, Тсарафа) находится на правом берегу р. Сахатани и занимает большой участок пологого склона между крутым бортом долины реки и деревней Тсарафара. Интенсивно каоилинизированные породы затрудняют получение информации о строении и залегании жилы. Судя по скудным литературным данным и геоморфологическим наблюдениям, длина пегматитового тела не менее 300 м, ширина выходов 50—60 м. Практически весь выходящий на поверхность

пегматит превращен в мелкозернистую альбитовую породу, содержащую в качестве включений мусковит и кварц. Кроме этих минералов в рыхлой массе альбитовой породы встречаются участки каолинового материала, образовавшегося, по-видимому, за счет калиевого полевого шпата.

В центральной части тела имеется оплывший карьер площадью примерно 100×40 м. Современные выработки представляют собой небольшие вертикальные „дудки“, которые проходят вручную в каолинизированной массе пегматита на флангах жилы. На глубине 2–3 м из „дудки“ во все стороны проходят горизонтальные выработки. Все они имеют диаметр не более 1 м и небольшую длину, поскольку ни крепления, ни принудительного проветривания старатели не применяют.

Добываемый рыхлый и сцементированный лишь глиной материал промывается, и из него извлекаются многочисленные кристаллики рубеллита, полихромного турмалина, аквамарина и топаза. Иногда в „дудках“ встречаются обломки крупных кристаллов дымчатого кварца, покрытые мелкими кристалликами этого же минерала, а также полихромного турмалина. Этот материал продается в качестве коллекционных образцов.

Вмещающими породами жилы являются кристаллические сланцы, содержащие мусковит, небольшое количество граната и биотита. Такие сланцы в региональном плане образуют „остров“ площадью в несколько квадратных километров среди „циполинов“ — характерных для данного района силикатно-карбонатных слюдосодержащих метаморфических пород серии Циполино. Рядом с жилой выявлены небольшие выходы пегматоидных двуполовошпатовых гранитов, с которыми, по-видимому, и связаны пегматиты.

Всего в 200 м к западу от жилы Тсарафара автору удалось наблюдать в коренном обнажении безымянную пегматитовую жилу, имеющую мощность около 5 м и крутой резкий контакт с вмещающими сланцами и пегматоидными гранитами. Жила состоит из графического калиево-полевошпатового пегматита с лейстами биотита и крупноблоковой зоны с калиевым полевым шпатам. Отмечается черный турмалин — шерл. К одному из участков висячего контакта приурочена зона альбитизации, содержащая мусковит и розовый турмалин. Следовательно, процессы альбитизации в самой жиле Тсарафара могли накладываться и на существенно калиево-полевошпатовый пегматит.

В 400 м к югу располагаются коренные выходы жилы Антанетинлана. И висячий, и лежащий ее контакты вскрыты карьером. Мощность тела — около 10 м. Главную часть жилы составляет каолинизированный пегматит блоковой структуры: крупные (40–60 см) блоки калиевого полевого шпата, частично окрашенного в голубовато-зеленый цвет, распределены в массе крупнозернистого пегматита с дымчатым кварцем и белым плагиоклазом. Присутствует черный турмалин. В периферических частях тела развит крупнографический калиево-полевошпатовый пегматит.

В центральной части карьера сохранились отдельные участки зоны альбитизации пегматита, которая и разрабатывалась. Здесь наблюдается интенсивное замещение калиевого полевого шпата альбитом, встречаются

розовый кварц, крупнокристаллический мусковит и полихромный турмалин.

В северной части поля Сахатани размещается несколько серий жил с различной специализацией: миароловые, редкометальные и редкометально-мусковитовые. Приведем описание нескольких жил, осмотренных автором.

Жила Амбатунанетрика 1 достаточно хорошо известна как источник цветных турмалинов. Здесь имеется крупный карьер, а в 1983 г. велась разведка на флангах жилы, ставились опытные работы по применению геохимических методов к поискам миароловых пегматитов.

Пегматитовое тело — крутопадающее, площадь выхода на дневную поверхность — около 200×20 м. В жиле не проявлена зональность: отсутствуют кварцевое ядро и калиево-полевошпатовый блоковый пегматит. Главную часть жилы составляет крупнозернистый кварц-мусковит-плагиоклазовый пегматит, в пределах которого наблюдаются участки типичного кварц-мусковитового агрегата с параллельным расположением пластин слюды. В таком пегматите содержится значительное количество шерла. Кварц в жиле белый или дымчатый.

В центральной части тела интенсивно проявлены процессы наложенной альбитизации. В пределах альбитизированных участков турмалин имеет зеленую или розовую (реже — полихромную) окраску, по крупнокристаллическому мусковиту развивается пластинчатый лепидолит, который встречается также в виде тонкозернистого агрегата. Наконец, к этим же зонам альбитизации приурочены многочисленные мелкие пустоты с идиоморфными кристаллами цветных турмалинов, альбита, кварца и лепидолита.

Рядом с описанной и на расстоянии до 2 км от нее известно еще несколько аналогичных жил с цветными турмалинами, но меньших размеров.

Жила Антсофимбато IV имеет редкометально-мусковитовую специализацию. Здесь хорошо выражена зональность: имеются вскрытое карьером кварцевое ядро мощностью до нескольких метров (кварц молочного цвета), вокруг него — зона блокового калиево-полевошпатового пегматита (в приповерхностной зоне при его выветривании образуется каолин высокого качества) шириной около 3 м, а вокруг — еще более мощная боковая зона двуполевошпатового среднезернистого пегматита с лейстами биотита. Контакт с вмещающими сланцами — крутой (50–60°), резкий, явно секущий.

В жиле содержатся крупнокристаллический берилл, дымчатый кварц и зеленый ельчатый мусковит (в крупноблоковой зоне). Процессы кварц-мусковитового замещения и более поздние процессы альбитизации и образования пустот здесь не проявлены. Поскольку жила находится в единой серии с жилами, подверженными действию процессов замещения, можно предполагать, что примерно такой состав имели инъекционные пегматитовые тела до начала метасоматических процессов.

Жила с условным названием „Южная“, из которой в 1954 г. добывался рудоразборный берилл, тоже зональная крутопадающая, но отличается от вышеописанной тем, что калиевый полевой шпат представлен амазонитом,

проявлены процессы альбитизации. Она также имеет редкометально-мусковитовую специализацию, так как в эндоконтакте здесь развит кварц-мусковитовый замещающий комплекс. Но основную часть объема тела занимает грубографический кварц-калиево-полевошпатовый пегматит, содержащий лейсты биотита.

Знаменитая жила Самирези, находящаяся чуть севернее границ поля Сахатани и славящаяся редкоземельной, урановой и ториевой минерализацией (самирезит, бетафит, самарскит, фергусонит, торит и др.), в настоящее время не эксплуатируется. В ней отчетливо выражено крупное кварцевое ядро с дымчатым и частично (в центре) розовым кварцем. К ядру примыкает блоковый двуполевошпатовый пегматит, содержащий крупнокристаллический берилл и разнообразные акцессорные минералы. Цвет берилла — светло-зеленый или голубоватый, а турмалина — черный, так что редкометальная специализация, по существу, не проявлена.

Мусковит жилы Самирези — клиновидный, зеленого цвета, ассоциирующий с дымчатым кварцем периферической части кварцевого ядра. Каких-либо пустот при беглом осмотре выработок не обнаружено.

Анализ ограниченного числа образцов минералов, собранных из пегматитов Мадагаскара, показал, что калиевые полевые шпаты (табл. 22) близки по содержаниям элементов-примесей и величине барий-рубидиевого отношения к редкометально-мусковитовым пегматитам других районов [25]. Только в амзонитах наблюдается резкое уменьшение примеси бария и возрастание примесей рубидия и цезия, так что по величине отношения бария к рубидию они ближе к калиевым полевым шпатам редкометальных пегматитов.

В образцах слюд (табл. 23) обнаружены довольно высокие концентрации редких щелочных элементов, а один из „мусковитов”, отобранный из миаролового пегматита, оказался крупнопластинчатым лепидолитом светло-серого цвета, содержащим более 1 % рубидия и 0,4 % цезия. Только мусковит из кварцевого ядра редкоземельной жилы Самирези беден литием, в остальных случаях этот элемент содержится в биотитах и мусковитах в количестве 0,1—0,5 %. Наряду с высокими концентрациями рубидия и цезия, это обстоятельство позволяет считать, что слюды опробованных пегматитовых жил формировались в обстановке высокой щелочности послемагматических процессов, при повышенных содержаниях лития. Именно эта причина и приводит, по-видимому, к образованию литиевых разновидностей турмалина, хотя в осмотренных жилах первичная литиевая минерализация не обнаружена.

Месторождения Бразилии

Подавляющая часть месторождений драгоценных камней и горного хрусталя Бразилии находится в Восточной пегматитовой провинции, которая проходит широкой полосой через весь шт. Минас-Жерайс, продолжаясь к северу и югу на территории штатов Баия и Рио-де-Жанейро. Только отдельные мелкие месторождения встречаются в шт. Эспириту-Санту, примыкающем с востока к шт. Минас-Жерайс. Таким образом, миароло-

Таблица 22. Содержание элементов-примесей (в г/т) в калиевых полевых шпатах из пегматитов поля Сахатани на Мадагаскаре (аналитики Д.Я. Орлова, Л.С. Таусон, С.К. Ярошенко)

Место отбора проб	Зона пегматита (разновидность минерала)	Li	Rb	Cs	Ba	Sr	Ba:Rb
Южная часть поля	Графическая	62	580	72	210	260	0,36
	Блоковая	60	550	65	270	290	0,49
	"	50	1330	82	930	91	0,74
Жила Антанетинилана	Крупнографическая	65	580	50	410	210	0,71
	Блоковая (амазонит)	50	2265	705	55	38	0,024
Северная часть поля	То же	50	2215	218	95	38	0,043
	"	55	4425	2435	66	44	0,015
	Блоковая	78	1765	95	650	60	0,37

Таблица 23. Содержания щелочных элементов (калия и натрия — в %, остальных элементов — в г/т) в слюдах из пегматитов Мадагаскара (аналитики Д.Я. Орлова, Л.С. Таусон)

Место отбора образца	Минерал, разновидность или ассоциация	K	Na	Li	Rb	Cs
Поле Сахатани	Лейстовый биотит	7,20	0,24	2020	960	158
	"	5,30	0,06	1300	3420	380
	"	7,70	0,07	3080	4140	645
Жила:	Мусковит:					
Тсарафара	с цветным турмалином	7,95	0,92	1175	2800	315
Самирези	из кварцевого ядра	8,45	0,74	300	2350	250
Амбатунапетрика	из кварц-мусковитового агрегата	7,28	0,73	5000	5000	335
рядом с „Южной“	пластинчатый	7,40	0,10	24000	13000	4000
то же	волокнистый	10,77	0,34	1324	5500	2000

вые пегматиты входят в состав тех же пегматитовых полей и поясов, которые были рассмотрены при описании редкометалльных, редкометалльно-мусковитовых и мусковитовых пегматитов Бразилии. В некоторых случаях горный хрусталь и кристаллы других минералов добывают из пегматитовых жил, которые разрабатываются на берилл и танталит, берилл и мусковит. Однако наиболее известные месторождения самоцветов, составивших славу Бразилии как одной из крупнейших сокровищниц ограночных камней и музейных образцов, находятся в собственно миароловых пегматитах.

К сожалению, в научной литературе, по существу, нет детальных описаний месторождений драгоценных камней Бразилии. Судить о них прихо-

дится по штучным образцам в минералогических музеях мира и по косвенным данным, касающимся комплексных месторождений редких металлов и самоцветов. Наиболее развиты пустоты в тех пегматитовых телах, в которых интенсивно проявлены процессы альбитизации калиевого полевого шпата. По морфологии и размерам миаролы делятся на три хорошо различающихся типа: 1) относительно крупные (диаметр до 2 м, редко более) изометричные полости с крупными кристаллами кварца и полевых шпатов; на некоторых месторождениях в них встречаются также берилл и топаз; 2) многочисленные небольшие (максимальный размер 10х50 см) и обычно удлиненные пустоты в пределах зон альбитизации, содержащие кристаллы лепидолита, топаза, цветных турмалинов и бериллов; 3) отдельные „трещинные“ полости в пегматитах редкометальной специализации с кристаллами прозрачного сподумена, полихромного турмалина, а также альбита и горного хрусталя.

Подобное подразделение, разумеется, условно и между названными типами возможны переходы, но на каждом месторождении всегда преобладает какой-либо один тип полостей.

Самым известным районом добычи драгоценных камней являются окрестности г. **Говернадор-Валадарис** (к северо-востоку от столицы шт. Минас-Жерайс г. Белу-Оризонти). Здесь развиты многочисленные тела пегматитов с бериллом розового и красного цвета (воробьевит, или морганит), полихромным и уникальным голубым турмалином. Как правило, это богатые литием редкометальные пегматиты: бериллий-тантал-литиевые или бериллий-тантал-цезий-литиевые. Драгоценные камни добываются либо полутно с получением берилловых и танталитовых концентратов, либо из коры выветривания небольших жил миароловых пегматитов.

Большое количество драгоценных камней добывают на месторождении Салинас в северной части шт. Минас-Жерайс, где наиболее ценными являются кристаллы бесцветного или розоватого топаза, хризоберилла (в том числе александрита) и полихромного турмалина. Эти минералы извлекаются из небольших специфических жил миароловых пегматитов, в то время как главная продукция этого района – рудоразборный берилл, получаемый из крупных жил редкометально-мусковитовой специализации.

Совершенно особый тип ограночного камня добывается на месторождении Ору-Прету, расположенном к юго-востоку от г. Белу-Оризонти. Это так называемый топаз-империял – прозрачный топаз густого красновато-коричневого цвета. По-видимому, месторождение Ору-Прету является единственным в мире крупным источником подобного топаза. На этом же руднике добываются топазы и другой окраски.

Месторождение Куйеше-Консельеру-Пена в шт. Минас-Жерайс (по-португальски сокращенно оно пишется как С. Пена) – крупнейший поставщик кунцита и гидденита – прозрачных разностей сподумена розового и зеленого цвета, обладающих явным дихроизмом. Эти же минералы добываются также на рудниках Арассуаи, Итамбакури (шт. Минас-Жерайс) и Итапиуна (шт. Эспириту-Санту). Кунцит и гидденит извлекаются из миароловых полостей третьего типа – „трещинных“, приуроченных

к крупным сподуменсодержащим пегматитовым телам. Наряду с этими камнями упомянутые месторождения поставляют бериллы различной окраски, в том числе аквамарин, а также хризоберилл.

Из других известных месторождений шт. Минас-Жерайс следует упомянуть Теофилу-Отони, откуда поступают хризобериллы, топазы различной окраски, включая голубые, и цветные турмалины, преимущественно рубеллиты. Аналогичные драгоценные камни добываются на рудниках Антонио-Диас (шт. Минас-Жерайс) и Мукуи (шт. Эспириту-Санту). Топазы красивой желто-зеленой окраски встречаются на месторождении Сан-Бенто и на уже упомянутом руднике Антонио-Диас.

Кроме полихромных и розовых турмалинов, а также уникальных голубых турмалинов из окрестностей г. Говернадор-Валадарис, Бразилия поставляет на мировой рынок значительное количество прозрачных зеленых турмалинов. Они поступают из рудников Арассуаи, Диамантина (шт. Минас-Жерайс) и Сан Гонсало (шт. Рио-де-Жанейро).

Из других месторождений заслуживают внимания такие, как Аква Прета, Конквиста, Брумадо (шт. Баия), известные своими розовыми турмалинами и топазами, а также Санта-Роса, Итинга и Форталеза (шт. Минас-Жерайс), где развиты розовые бериллы и полихромные турмалины.

В заключение этого раздела отметим также, что Бразилия в течение многих лет является одним из крупнейших поставщиков горного хрусталя. В настоящее время только незначительная часть природных кристаллов кварца используется как пьезосырьё. Главное значение имеют искусственно выращенные кристаллы. Но для их получения необходим достаточно чистый кварц, добываемый на пегматитовых и гидротермальных месторождениях горного хрусталя. Это сырьё — так называемая „ласка“ (lasca) — поступает в различные страны в основном из Бразилии. По данным Горного бюро США, потребность в кварце для перекристаллизации будет неуклонно расти — примерно на 3 % в год. В настоящее время США ежегодно ввозят около 400 т „ласки“, в основном из Бразилии (88 %), и в то же время добывают на своих месторождениях около 200 т горного хрусталя.

Любопытно соотношение цен на различные кварцевые материалы. По состоянию на 1982 г. в США стоимость одного фунта (454 г) природного пьезокварца в зависимости от качества варьировала от 2 до 60 дол., а стоимость фунта искусственно выращенного пьезокварца составляла 25—40 дол. Цена „ласки“ разного качества в это же время изменялась от 0,04 до 1,5 дол. за фунт.

Ресурсы месторождений горного хрусталя Бразилии, оцениваемые как „большие“ — без какой-либо количественной характеристики, связаны в основном с пегматитами. Учитывая огромное количество пегматитовых тел с известными хрусталоносными пустотами и значительные масштабы Восточной пегматитовой провинции, можно полагать, что Бразилия еще многие годы может оставаться стабильным поставщиком кристаллов кварца.

В пределах альпийских складчатых сооружений северо-восточной части Афганистана в пределах одних и тех же полей распространены как миароловые пегматиты, содержащие крупные месторождения драгоценных камней, так и редкометалльные. По существу, речь идет о формировании полостей с кристаллами тех или иных минералов в жилах редкометалльных пегматитов. В связи с этим Л.Н. Россковский [15] дал такому типу минерализации название „редкометалльные пегматиты с драгоценными камнями“.

Как уже упоминалось (см. главы 1 и 4), редкометалльные пегматиты Афганистана приурочены к высокогорной складчато-глыбовой области Гиндукуша. Они связаны с гранитоидами комплекса Лагман позднемелового—палеогенового возраста. Пегматитовые жилы размещаются на расстоянии от 100 м до 7 км от контакта материнских гранитных массивов. Среди пегматитов с драгоценными камнями имеются микроклиновые с кристаллами турмалина, аквамарина и наиболее продуктивные альбитизированные микроклиновые с кунцитом, турмалином, воробьевитом и горным хрусталем. Они находятся в пределах тех же пегматитовых тел и полей (рис. 41), что и месторождения лития.

Драгоценные камни в пегматитах Гиндукуша извлекаются из пустот, локализующихся в пределах зон наиболее поздней минерализации, представленной голубоватым клевеландитом, лепидолитом, сподуменом, иногда поллуцитом и бериллом. Различают два типа таких минерализованных зон: в блоковых биотит-микроклиновых и альбитизированных мусковит-микроклиновых пегматитах.

Зоны первого типа сложены главным образом крупными кристаллами микроклина, не содержащего графических или апографических вростков кварца. Со стороны пустот кристаллы микроклина замещены агрегатом клевеландита, мусковита, розового сподумена, воробьевита. При интенсивном проявлении процессов замещения наблюдается зональность: биотит-микроклиновый пегматит сменяется зоной мусковит-клевеландитового состава мощностью 0,5–1,5 м, а она, в свою очередь, — лепидолит-сподумен-клевеландитовой зоной мощностью 20–70 см. Пустоты размером в поперечнике от 0,5 до 3 м содержат кристаллы горного хрусталя, гребенчатого альбита, лепидолита, кунцита, воробьевита.

В зонах второго типа развита неравномернозернистая порода, состоящая из блоков микроклина, кварца, крупных кристаллов бело-розового сподумена и заполняющего пространство между ними клевеландит-лепидолитового агрегата. Размеры блоков микроклина и кварца — от 10 см до 1 м, длина кристаллов сподумена — до 70 см, а сечение — до 4х15 см. В такой породе постоянно присутствуют занорыши размером в поперечнике от 2 до 50 см. Иногда встречаются пустоты объемом в несколько кубических метров (месторождение кунцита Кулам). В занорышах обычно содержатся кристаллы горного хрусталя, микроклина, гребенчатого альбита, кунцита, воробьевита, цветного турмалина, поллуцита. Пространство между крупными кристаллами иногда бывает выполнено рыхлым агрега-

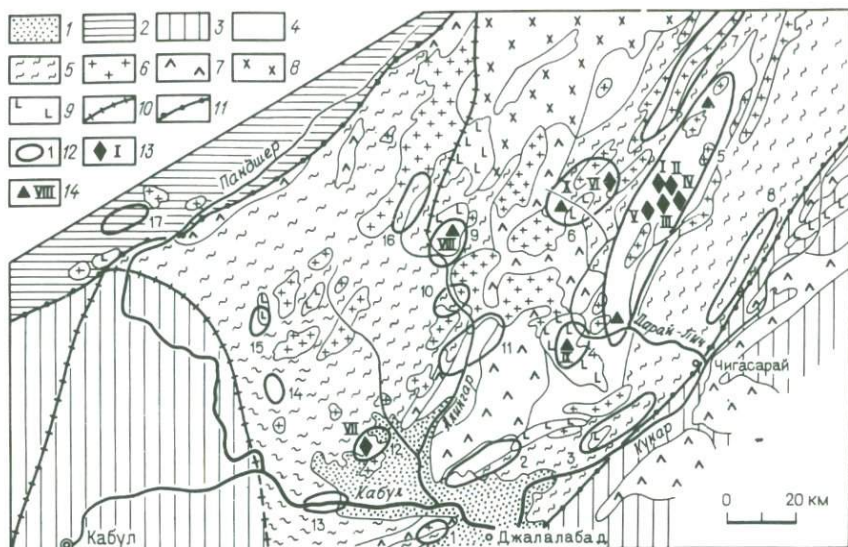


Рис. 41. Карта полей редкометалльных пегматитов Нуристана (Афганистан). Составили Л.Н. Россовский и Ю.И. Нуйсков:

1 — неоген-четвертичные отложения; 2–5 — складчатые области: 2–3 — герцинские (2 — Северо-Памирская, 3 — Белуджистан-Гималайская с наложенной альпийской геосинклиналью), 4–5 — Каракорум-Южно-Памирская киммерийско-альпийская (4 — кварц-сланцевые сланцы с гранатом и ставролитом, кварциты, известняки карбона — триаса, 5 — гнейсы, кристаллические сланцы, мраморизованные известняки протерозоя); 6–8 — интрузивный комплекс Лагман (поздний мел — палеоген): 6 — биотитовые и двуслюдяные пегматитоносные граниты (III фаза), 7 — биотит-рогово-обманковые граниты (II фаза), 8 — граниты, граносиениты, гранодиориты (I фаза); 9 — раннемеловой интрузивный комплекс Нилау — габбро, габбронориты, габбродиориты; 10–11 — разрывные структуры: 10 — второго порядка, разделяющие структурно-фациальные зоны, 11 — первого порядка, разделяющие складчатые системы; 12 — поля редкометалльных пегматитов: 1 — Сурхрудское, 2 — Дарай-Нурское, 3 — Чавкинское, 4 — Дарай-Пичское, 5 — Парунское, 6 — Кантивайское, 7 — Пачи-грамское, 8 — Маридское, 9 — Нилау-Куламское, 10 — Кургальское, 11 — Алинггарское, 12 — Шамакатское, 13 — Шахиданское, 14 — Дарам-Дарамское, 15 — Пачаганское, 16 — Мундольское, 17 — Пандшерское; 13–14 — месторождения: 13 — лития (I — Джаманак, II — Пасгуста, III — Друмгал, IV — Цамгал, V — Пашки, VI — Яригул, VII — Шамакат), 14 — драгоценных камней — кунцита, воробьевита, полихромного турмалина, горного хрусталя (VIII — Кулам, IX — Дарай-Пич, X — Кантыва)

том светло-зеленого турмалина или белой глиной. Изредка в пустотах отмечаются касситерит, марганотанталит, микролит, апатит, цеолиты. Характерны постепенные переходы от пустот к окружающим зонам поздней минерализации, а от них — к остальному объему пегматитового тела.

Месторождение Кулам — одно из крупнейших в мире месторождений ювелирного кунцита, локализующегося в минерализованных зонах второго типа. Оно размещается в пределах Нилау-Куламского пегматитового поля площадью 9×11 км. Пегматитовые жилы залегают в гнейсах, кристаллических сланцах и различных основных породах. По минерально-

му составу среди них различают олигоклаз-микроклиновые с шерлом и бериллом, альбитизированные микроклиновые с теми же минералами и гнездами лепидолита, полихромного турмалина, сподумена, поллуцита и кунцита, альбитовые примерно с такой же минерализацией и лепидолит-сподумен-альбитовые. В такой же последовательности располагаются в пределах пегматитового поля жилы разного состава по мере удаления от массива материнских гранитов.

Месторождение кунцита находится на восточном фланге пегматитового поля и представляет собой часть крупной жилы альбитизированных микроклиновых пегматитов (рис. 42). Длина минерализованной зоны около 1200 м. Основная жила мощностью 5–40 м полого (10–20°) падает на северо-запад. Апофизы жилы имеют длину 200–400 м, мощность 2–10 м. Вмещающими породами являются массивные габбро и габбронориты; контакты пегматитов резкие. Околожилные изменения выражены в замещении темноцветных минералов протолитионитом и апатитом в оторочке мощностью всего 1–3 см.

Строение основной части жилы – асимметрично-зональное. К лежащему боку приурочены мелкозернистые агрегаты альбита и кварц-мусковитового замещающего комплекса. Выше располагается зона альбитизированного мусковит-микроклинового блокового пегматита, которая сменяется у верхнего контакта кварц-микроклиновым блоковым пегматитом (размер кристаллов калиевого полевого шпата – до 5 м). Мощность зон измеряется метрами, изредка – первыми десятками метров. Восточный участок жилы сложен биотит-микроклиновым блоковым пегматитом.

Кварц-сподуменовые крупноблоковые агрегаты и обогащенные бериллом участки распространены локально (см. рис. 42). Более широко развиты мелкие (диаметр до 10 см) пустоты с небольшими кристаллами кварца, микроклина, мусковита и альбита. Крупные пустоты второго типа встречаются в нескольких апофизах на восточном и южном флангах месторождения. Именно для таких минерализованных зон, составляющих по объему всего 3 % от общего объема пегматитового тела, характерны крупные прозрачные кристаллы кунцита и ассоциирующих с ним воробьевита, турмалина и других минералов.

Кристаллы кунцита имеют пластинчатую и толстотаблитчатую, реже изометричную форму. У большинства из них наблюдается вертикальная штриховка. Цвет прозрачных кристаллов различен: розово- и красно-фиолетовый, сиреневый, голубой, сине- и желто-зеленый, желтый и др. Встречаются полихромные кристаллы, а также совершенно бесцветные прозрачные разновидности. У окрашенных кристаллов кунцита сильно выражен дихроизм: усиление интенсивности окраски вдоль оси симметрии и ослабление – почти до ее отсутствия – в перпендикулярном направлении. Размеры кристаллов обычно варьируют от 1 до 15 см, но отмечаются и кристаллы длиной до 45 см и сечением до 4×20 см. Распределение кунцита в зонах весьма неравномерное. В 1973–1975 гг. на месторождении было добыто более 1260 кг ювелирного кунцита.

На месторождении Кулам известны и минерализованные зоны первого типа – в висячем контакте, среди биотит микроклинового пегматита. Здесь

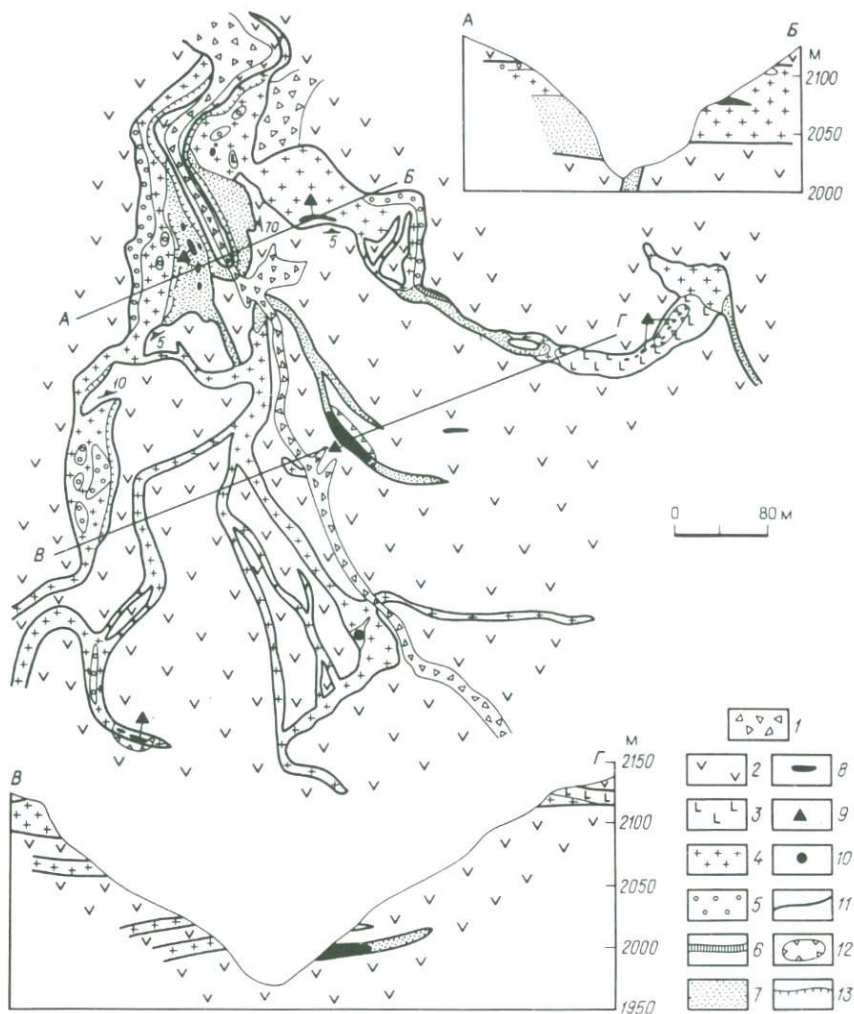


Рис. 42. Схематическая геологическая карта месторождения кунцита Кулам. Составили Л.Н. Россовский и Б.К. Любимов:

1 — пролювиально-делювиальные отложения; 2 — габброиды раннемелового интрузивного комплекса Нилау; 3–5 — пегматит: 3 — блоковый биотит-микроклиновый, 4 — альбитизированный блоковый мусковит-микроклиновый, 5 — крупно- и гиганто-блоковый кварц-микроклиновый; 6 — крупноблоковый кварц-сподуменовый агрегат; 7 — мелко- и среднезернистые агрегаты сахаровидного альбита и клевеландита с кварц-мусковитовым комплексом; 8 — зоны поздней минерализации: агрегаты голубого клевеландита, лепидолита, полихромного турмалина, поллукита, сподумена, воробьевита с занорышами и крупными погребями; 9 — места находок кунцита; 10 — зона с крупнокристаллическим бериллом; 11 — контакты пегматитового тела; 12 — главные карьеры добычи кунцита; 13 — скальные обрывы

в пустотах наблюдаются короткостолбчатые кристаллы горного хрусталя длиной до 40 см и диаметром 20 см, а также гребенчатый альбит, лепидолит, кунцит. Но значение этих занорышей сравнительно невелико.

Месторождение ювелирного турмалина Дарай-Пич находится в одноименном пегматитовом поле, примерно в 50 км к юго-востоку от Нилау-Куламского поля. Пегматитовые жилы, так же как и на месторождении Кулам, приурочены к габбро, габброноритам и габбродиоритам раннемагматического комплекса Нилау.

Серия пологопадающих крупных пегматитовых жил поля представляет собой месторождение рудоразборного берилла и сподумена. В некоторых телах хорошо развиты зоны альбитизации, а в их пределах — миаролы.

Как и на месторождении Кулам, главное значение здесь имеют минерализованные пустоты в зонах второго типа — в альбитизированных блоковых мусковит-микроклиновых пегматитах. Турмалин, ассоциирующий в полостях с гребенчатым альбитом, сподуменом, лепидолитом, поллуцитом, амблигонитом, образует кристаллы длинно- и короткопризматического габитуса, реже — конусовидные кристаллы. Характерны вертикальная штриховка призматических граней, а на завершениях головок в полостях — грани пирамиды и моноздры. Ювелирные разности турмалина окрашены в зеленый различных оттенков, розовый, изредка синий цвет. Широко распространены полихромные турмалины с изменением окраски как по оси кристаллов, так и в перпендикулярном направлении. Встречаются образцы с розовым ядром и зеленой каймой („арбузные“ турмалины) и с обратным соотношением цветов. Наибольший интерес на месторождении Дарай-Пич представляют густоокрашенные травяно-зеленые прозрачные турмалины, которые по красоте могут соперничать с изумрудами.

Обычно длина прозрачных кристаллов турмалина в полостях — 1—20 см, диаметр — до 5 см. Изредка встречаются более крупные кристаллы: длиной — до 40 см, диаметром — до 15 см; это, как правило, полихромные турмалины с красно-розовой сердцевинной.

Из других драгоценных минералов на месторождениях Дарай-Пич, Кулам, Кантыва большой интерес представляют прозрачные разности воробьевита (морганита) — цезиевого берилла красивого розового, оранжевого или кремового цвета. Он присутствует во многих полостях в виде короткопризматических (таблитчатых) или изометричных кристаллов.

На месторождениях миароловых пегматитов Афганистана промышленное значение могут иметь и многочисленные кристаллы горного хрусталя. Кроме того, здесь могут быть получены хорошие музейные образцы и другой коллекционный материал. Добыча керамического сырья затруднена в связи с высокогорными условиями и слабым развитием сети дорог.

По содержаниям элементов-примесей и величине барий-рубидиевого отношения (табл. 24) все изученные калиевые полевые шпаты миароловых пегматитов Афганистана близки к таковым редкометалльных пегматитов. Это относится и к калиевому полевому шпату из графического пегматита (месторождение Кулам), где концентрации рубидия и цезия почти так же высоки, как и в остальных калиевых полевых шпатах.

Таблица 24. Содержание элементов-примесей (в г/т) в калиевых полевых шпатах из миароловых пегматитов Афганистана (аналитики Т.Н. Галкина, Д.Я. Орлова, С.К. Ярошенко)

Месторождение	Зона пегматита	Ba	Sr	Li	Rb	Cs	Ba:Rb
Кулам	Графическая	140	47	220	2300	295	610
Калатан	Блоковая	28	23	145	1240	52	230
Тагавлер	"	38	71	52	1640	19	230
Сурхруд	"	120	43	350	4780	1320	250
Дарай-Пич	"	87	72	86	3930	155	220
Кулам	Пустоты, их об- рамление	57	36	350	3580	405	160
"	То же	22	21	320	3260	332	68
"	"	13	10	340	7810	735	17

Калиевые полевые шпаты из миароловых пустот (месторождение Кулам) богаты примесями рубидия и цезия, содержат минимум бария и стронция и поэтому характеризуются минимальной величиной отношения бария к рубидию. Интересно, что два из них имеют нулевое значение рентгеновской триклинности при низком значении моноклинной упорядоченности. Это промежуточные ортоклазы, в то время как остальные калиевые полевые шпаты обычно относятся к промежуточным микроклинам, а образцы из графического пегматита месторождения Кулам и из блокового пегматита месторождений Тагавлер и Сурхруд могут быть названы максимальными микроклинами.

По-видимому, в процессе перекристаллизации калиевого полевого шпата при формировании миарол может образоваться метастабильная (неупорядоченная) кристаллическая решетка. Ее самопроизвольному упорядочению препятствуют высокие содержания элементов-примесей. За пределами миарол процессы упорядочения могли развиваться далее, поскольку они происходили в начальных (не обновленных перекристаллизацией) генерациях калиевого полевого шпата.

Какого-либо существенного изменения концентраций щелочных элементов в калиевых полевых шпатах пустот не наблюдается, что может подтвердить предположение о том, что миаролы в редкометальных пегматитах Афганистана возникли в результате наложенной перекристаллизации, а не в процессе эволюционной кристаллизации из остаточного флюида.

Пегматиты Непала

При кратком описании пегматитов Азии (см. гл. 1) упоминалось о том, что на востоке Непала, в верховьях р. Сабхай, имеются пегматиты с аквамаринном и полихромным турмалином. В отличие от рассмотренных выше пегматитов Мадагаскара, Бразилии и Афганистана, пегматиты с

драгоценными камнями в Непале по специализации не относятся к редкометальным. Это микроклин-олигоклазовые пегматиты с биотитом и амазонитом (месторождение Хьякуле) и турмалин-мусковитовые с акцессорным бериллом (месторождение Факува). В пегматитах не проявлены процессы интенсивной альбитизации, отсутствуют типичные для редкометальных пегматитов акцессорные минералы. Небольшие по размерам полости с кристаллами горного хрусталя, аквамарина и полихромного турмалина возникают здесь при автometасоматических процессах ограниченных масштабов.

Месторождение Хьякуле расположено на высотах 2300–2400 м над уровнем моря в предгорьях Гималаев, на южных склонах горы Хьякуле в районе правого истока р. Сабхай. Небольшое пегматитовое поле площадью до 12 км² сложено докембрийскими гнейсами и кристаллическими сланцами. Среди вмещающих пород преобладают гранат-амфиболовые, дистеновые и двуслюдяные гнейсы, но распространены также силикатно-карбонатные породы, кварциты, амфиболиты, мусковитовые и биотитовые сланцы. Пегматиты связаны, по-видимому, с лейкократовыми биотитовыми гранитами, образующими относительно небольшие массивы.

Большинство пегматитовых тел имеет северо-западное простирание, согласное с преобладающим простиранием вмещающих пород, но более крутое падение (60–70°). Контакты жил с вмещающими сланцами и гнейсами резкие, без видимых экзоконтактовых преобразований, а на контакте с силикатно-карбонатными породами отмечается зона изменений мощностью 20–30 см. Тела расположены кулисообразно. Их длина обычно 20–30 м (максимальная – 100 м), мощность до 6 м. На площади месторождения имеется несколько небольших карьеров с углубками по падению жил и штольня длиной около 50 м. По-видимому, они вскрыли две сменяющие друг друга по простиранию пегматитовые жилы.

Основную массу пегматитовых тел слагают графический (боковые зоны) и крупноблоковый плагиоклаз-микроклиновый с биотитом и шерлом (центральная зона) пегматит. Количество кварца относительно невелико, ядро отсутствует. Отмечаются небольшие секущие зоны позднего кварца розоватого оттенка, с которым ассоциируют амазонитизированный калиевый полевой шпат, клевеландит, зеленый турмалин и голубой апатит, редко берилл. В центральных частях этих секущих зон иногда наблюдаются полости размером в поперечнике от 5 до 30 см, содержащие кристаллы горного хрусталя, гребенчатого альбита и прозрачного турмалина, заполненные вторичной розовой слюдкой. Очень редко в них встречаются кристаллы аквамарина.

Преобладающая окраска прозрачных кристаллов турмалина – светло-зеленая и светло-розовая; развиты также бесцветные, полихромные и зеленые турмалины. Средняя длина кристаллов 2–3 см, диаметр – 2–6 мм, но отдельные кристаллы имеют длину до 10 см. Турмалин является единственным практически ценным минералом месторождения. За 20 лет эксплуатации здесь добыто более 900 кг турмалина-сырца. В 1981 г., когда автор посетил месторождение, главным источником кристаллов

турмалина были рыхлые делювиальные отложения, которые промывались бригадой старателей.

Пегматитовое поле Факува находится примерно в 15 км к югу от месторождения Хьякуле, в окрестностях деревни Факува, на берегах р. Чинде — левого истока р. Сабхай. Площадь этого поля — до 20 км²; в его пределах известно несколько десятков небольших пегматитовых жил. Это секущие линзообразные или пластинчатые тела длиной до 60 м и мощностью до 10 м (средняя мощность — 3–5 м).

Вмещающими породами пегматитовых жил являются, как и на месторождении Хьякуле, разнообразные гнейсы и сланцы докембрийских кристаллических толщ. В контактах наблюдаются гранат-биотитовые гнейсы, амфиболиты, силикатно-карбонатные породы. В северо-восточной части поля отмечается небольшой массив лейкократовых биотитовых гранитов, с которыми, по-видимому, и связаны пегматиты. Одна из пегматитовых жил находится как бы в „фуляре“ гранитного состава. Вероятно, это апофиза гранитного массива, прорванная пегматитовым телом, которое пересекает контакт гранитов с вмещающими гранат-биотитовыми гнейсами.

Преобладающими структурами пегматитовых тел являются графическая, апографическая и крупноблоковая. Зональность проявлена нечетно, но графический калиево-полевошпатовый пегматит (если он присутствует) слагает обычно периферические части жил, а крупноблоковый — центральные. В пегматитах нередко отмечаются ксенолиты вмещающих гнейсов и амфиболитов. По составу полевых шпатов среди жил поля Факува преобладают олигоклаз-микроклиновые, но есть тела, где развит преимущественно олигоклаз. В некоторых жилах проявлен кварц-мусковитовый комплекс, замещающий калиевый полевой шпат и приуроченный к центру жил или к эндоконтактовым участкам.

Из второстепенных и аксессуарных минералов в жилах поля наибольшим распространением пользуется турмалин — обычно черного, темно-зеленого или своеобразного буро-коричневого цвета (жила Синколе-Данда), нередко присутствующий в виде радиально-лучистых сростаний крупных кристаллов (до 40 см в длину, 1–3 см в поперечнике). Встречается лейстовый, а в эндоконтактах и чешуйчатый биотит. Берилл, гранат и апатит относительно редки. Тем не менее именно берилл — аквамарин, локализующийся в полостях, представляет практический интерес.

Миаролы в пегматитах поля Факува приурочены к небольшим по размерам явно наложенным зонам альбитизации, которые чаще всего располагаются в эндоконтактовых частях пегматитовых тел. Они занимают секущее положение по отношению к пегматитовому телу, иногда образуют апофизы. В полостях, имеющих „трещинный“ характер (длина 40–60 см при мощности всего 5–7 см), содержатся кристаллы альбита, горного хрусталя и голубого берилла. Последний встречается в виде небольших (до 5 см в длину, 1 см в поперечнике), хорошо ограненных кристаллов в глинистой или слюдяной массе, заполняющей полость. Кварц и альбит развиты на стенках полостей. Иногда вместе с аквамаринном в поло-

Таблица 25. Содержания элементов-примесей (в г/т) в калиевых полевых шпатах из пегматитов Непала (аналитики Л.П. Плотникова, С.К. Ярошенко)

Пегматитовое поле, жила	Зона пегматита, разновидность минерала	Ba	Sr	Li	Rb	Cs	Ba:Rb
Хьякуле, главное тело	Эндоконтактовая	520	—	14	645	48	0,81
	Графическая	280	—	33	945	59	0,30
	Апографическая	450	70	59	690	37	0,65
	Блоковая	170	—	Сл.	1850	310	0,092
	Амазонит из центра жилы	140	—	28	4120	750	0,034
Факува, Синколе-Данда	Эндоконтактовая	1500	280	7	730	66	2,05
	"	790	280	14	680	98	1,16
	Блоковая	210	70	6	1000	44	0,21
	"	140	—	21	2800	87	0,050
Факува, № 1	Графическая	470	80	11	540	11	0,87
	Крупнографическая	530	60	15	590	18	0,90
Факува, № 2	Блоковая	170	—	—	1400	160	0,12
	"	130	—	13	1140	74	0,11

стях отмечается зеленый турмалин, но качество его кристаллов невысоко.

Содержания элементов-примесей в калиевых полевых шпатах ранних зон пегматитов Непала (табл. 25) соответствуют таковым в калиевых полевых шпатах их редкометально-мусковитовых пегматитов других регионов [25]. Калиевые полевые шпаты блоковых зон содержат рубидия в 2–3 раза больше, чем ранние калиевые полевые шпаты. Но особенно богат рубидием, а также цезием амазонит из центральной части главной жилы месторождения Хьякуле. Лейстовый биотит из пегматитов Хьякуле обогащен литием и рубидием (табл. 26). Розовая слюдка, заполняющая на этом месторождении полости с кристаллами полихромного турмалина, относится, по-видимому, к литиевым мусковитам. Она содержит существенную примесь рубидия и цезия. Мусковит из кварц-мусковитовых замещающих агрегатов пегматитового поля Факува, содержащий 0,13–0,26 % рубидия, близок к аналогичному мусковиту из редкометально-мусковитовых пегматитов Индии, США и Австралии. К сожалению, нет данных о содержаниях бария в слюдах Непала.

Таблица 26. Содержание калия и натрия (в %) и элементов-примесей (в г/т) в слюдах из пегматитов Непала (аналитик Л.П. Плотникова)

Пегматитовое поле, жила	Минерал, его разновидность	K	Na	Li	Rb	Cs
Факува:	Биотит:					
Синколе-Данда	лейстовой	9,30	0,60	632	820	230
№ 1	"	8,11	0,18	338	1720	250
№ 3	"	8,50	0,13	182	800	28
Хьякуле, главное тело	"	8,60	1,12	1320	1720	130
То же	"	8,70	0,13	1040	1620	140
"	из экзоконтакта	8,30	0,14	458	880	140
"	"	8,90	0,18	865	780	45
Факува:	Мусковит:					
Синколе-Данда	из экзоконтакта	9,10	0,17	358	1425	690
То же	из кварц-мусковитового агрегата	8,30	0,76	80	2638	400
№ 1	то же	8,80	0,80	235	870	26
№ 3	"	9,20	0,81	82	1305	28
Хьякуле, главное тело	розовый крупный	9,65	0,79	31500	8300	3150
То же	розовый мелкий	8,90	0,70	31800	10100	3550

Месторождения США, Индии и МНР

В США миароловые пегматиты распространены чрезвычайно широко. Это классические месторождения района Пала в Калифорнии, в течение десятков лет поставляющие в музеи изумительные по красоте друзы полихромного турмалина, кунцита, воробьевита (морганита) и других минералов. Это не менее знаменитые пегматиты района Пайкс-Пик в шт. Колорадо, где встречаются друзы ярко-голубого амазонита в сочетании с морионом и альбитом. Это, наконец, многочисленные пегматиты с друзовыми полостями в пределах Аппалачей, преимущественно в штатах Новой Англии, а также в шт. Виргиния. Поскольку эти месторождения довольно полно описаны в литературе, приведем лишь некоторые дополнительные данные, позволяющие судить о происхождении миарол в пегматитах США.

Известный американский исследователь пегматитов Р.Х. Джанс [33] дает любопытную характеристику миарол, которые он называл „карманами“ и полостями. По его данным, на руднике Стюарт в районе Пала (рис. 43) глинистый или слюдястый материал, заполняющий полости, часто содержит как угловатые обломки кристаллов со стенок этой полости, так и ограненные кристаллы этих же минералов. Очень важно также то обстоятельство, что выходящие в полость головки кристаллов имеют иной состав и цвет, чем их „корни“, находящиеся в стенках полости (например, альбит вместо шерла — см. рис. 43). По мнению Р.Х. Джан-

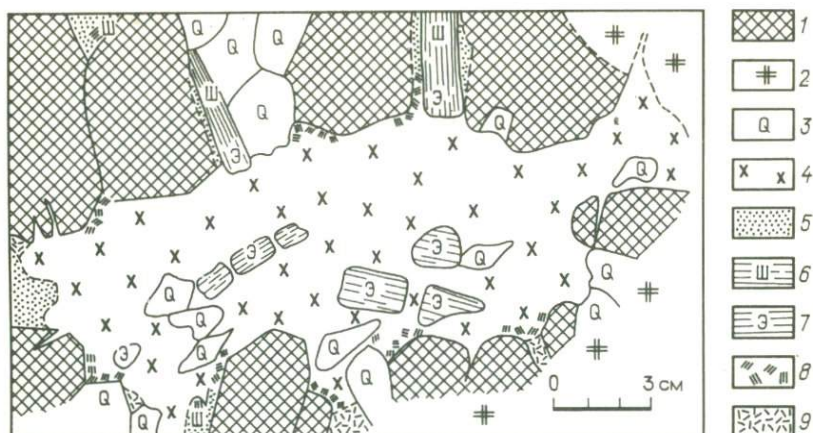


Рис. 43. Вертикальный разрез небольшой миаролы в карьере Стюарт, район Пала (шт. Калифорния, США). Зарисовка Р.Х. Джансва [33]:

1 — калиевый полевой шпат; 2 — среднезернистый пегматит; 3 — кварц; 4 — монтмориллонитовая глина, содержащая многочисленные мелкие обломки кристаллов кварца и турмалина; 5 — альбит; 6—7 — турмалин: 6 — шерл, 7 — эльбаит; 8 — лепидолит; 9 — мусковит

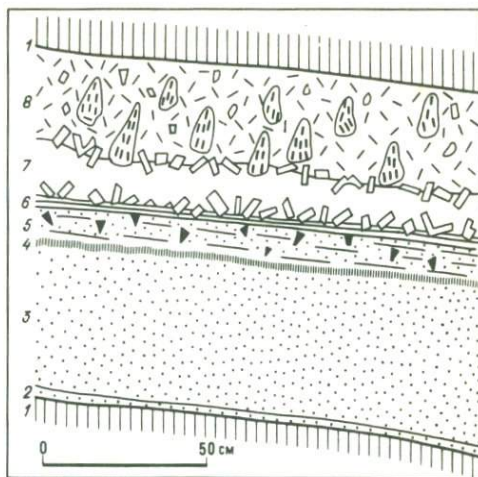
са, небольшие отделившиеся порции флюида в „карманах“ подчас оказываются совершенно изолированными от остального объема пегматитового тела, и в результате давления флюида может в них резко возрастать, вызывая разрушение кристаллов (без тектонических деформаций). Регенерация и залечивание трещин, перекристаллизация минералов происходят, по-видимому, уже избирательно в зависимости от изменения температуры, давления и концентрации компонентов в замкнутом объеме полости.

На жиле Хималайа в районе Меса-Гранде (шт. Калифорния) Е. Фурда наблюдал в пологозалегающей жиле мощностью чуть более 1 м асимметричную зональность, включающую „трещинную“ полость, параллельную контактам жилы (рис. 44). Судя по рисунку, эта полость является остаточной, т.е. возникшей в результате накопления остаточных порций флюида, богатого бором и другими компонентами, не входившими в состав аплитовой и других внешних зон пегматитового тела. Вероятно, вначале быстро кристаллизовался существенно альбитовый аплит (мощность этой зоны составляет половину мощности жилы), затем главное значение имела ритмическая кристаллизация полосчатого аплита с гранатом и калиевым полевым шпатом, сменившаяся кристаллизацией со стороны висящего контакта. Из отжатого к центру жилы остаточного флюида образовались крупные кристаллы турмалина на стенках „трещинной“ полости.

В пегматитовой жиле Резерфорд (шт. Виргиния, США), имеющей редкометальную специализацию, по реконструкции Дж. Синканкаса, в самом центре крутопадающей (75°) жилы № 2, внутри клевеландитовой

Рис. 44. Схематический разрез миаролового пегматита в жиле Хималай, район Меса-Гранде (шт. Калифорния, США). Зарисовка Е.Е. Фурда:

1 — роговообманковый норит; 2 — нижняя контактовая оторочка; 3 — массивный альбитовый аплит; 4 — слой обогащения гранатом; 5 — полосчатый альбитовый аплит с прослоями граната и клиновидными кристаллами калиевого полевого шпата; 6 — полосчатый существенно гранатовый агрегат; 7 — полость с кристаллами турмалина; 8 — массивный кварц-альбитовый пегматит с кристаллами калиевого полевого шпата, содержащего графические вrostки кварца



зоны, находится осевая полость длиной по падению около 20 м (из общей длины жилы по падению 45 м) и шириной менее 1 м. Частично она заполнена своеобразной брекчией из обломков кристаллов и гребенчатых агрегатов альбита, сцементированных массивным альбитом. В верхней части полости располагается амазонит-кварцевое ядро. Бледноокрашенный амазонит ядра корродирован, как и массивный кварц, а на стенках полости отмечаются кристаллы горного хрусталя, альбита и граната. Вместе с ними здесь встречаются такие редкие минералы, как гердерит и бавенит, а также игольчатый турмалин, бесцветный апатит, лёллингит, сфен, хлорит, пирит.

Предполагается, что материал полостей возник в результате частичного растворения амазонит-кварцевого ядра и перекристаллизации растворенного материала при одновременном поступлении с раствором новых компонентов. Таким образом, несмотря на центральное положение полости в пегматитовом теле, она явно вторична и образовалась при воздействии наложенных растворов.

В Индии миароловые пегматиты не пользуются широким развитием. Лишь в немногих пегматитовых телах редкометально-мусковитовой и редкометальной специализации имеются полости с кристаллами кварца, альбита и берилла, но размеры этих полостей невелики, и они скорее всего являются остаточными. Только в Южноиндийско-Шриланкской пегматитовой провинции встречаются многочисленные небольшие пегматитовые тела, содержащие мелкие полости с кристаллами горного хрусталя, бериллов различной окраски, хризоберилла, циркона, топаза. Они традиционно обрабатывались старателями. Выработки, которые они проходят, имеют очень малое сечение и весьма причудливые формы, поскольку следуют вдоль „проводников“.

В качестве примера рассмотрим хризоберилловые месторождения в окрестностях г. Тируванантапурама (шт. Керала), посещенные автором в 1982 г. Здесь, в южной части Западных Гат, широко развиты докембрийские метаморфические породы: гранат-силлиманитовые и гранат-биотитовые гнейсы, двупироксеновые гранулиты и эндербиты. Среди них встречаются крупные линзовидные согласные и секущие тела гранатосодержащих гранитов. Они состоят из калиевого полевого шпата (35–60%), кварца (до 35%), андезина № 30–35 (5–10%) и граната (5–7%) с небольшой примесью биотита, силлиманита, андалузита, апатита и циркона [18].

Пегматитовое поле Бонакорд, расположенное к востоку от г. Тируванантапурама, имеет длину 50–70 км при ширине 30–35 км и прослеживается в юго-восточном направлении до территории соседнего шт. Тамилнад. Пегматитовые тела обычно согласные, крутопадающие, реже — секущие; залегают они в гнейсах или в породах так называемой кондалитовой серии, которые после работ К.П. Сомана [18] можно называть гранатосодержащими гранитами. Длина согласных пегматитовых жил — десятки, реже первые сотни метров, мощность — до 4 м. Секущие жилы меньше по размерам: до 20 м в длину при мощности 0,6–0,7 м. Максимальная глубина распространения хризоберилловой минерализации, вскрытой старателями, — 35 м. В некоторых случаях можно наблюдать переход согласных тел в секущие.

По минеральному составу пегматиты поля подразделяют на простые (того же состава, что и граниты) и сложные, содержащие турмалин, мусковит, берилл, топаз, ильменит, хризоберилл, монацит и некоторые другие минералы. Блоки калиевого полевого шпата достигают в сложных пегматитах размера 20–40 см. Зональное строение для них не характерно; лишь в простых пегматитах изредка отмечаются небольшие кварцевые ядра. По мнению К.П. Сомана, сложные пегматиты можно отнести по специализации к формации редкоземельных пегматитов весьма больших глубин, хотя суммарное содержание урана и тория в них достигает всего 0,002% [18].

Хризоберилл локализуется только в тех жилах, которые залегают в гранат-силлиманитовых гнейсах. Цвет минерала травяно- или желтовато-зеленый. Из драгоценных разновидностей распространен „кошачий глаз“, реже встречается александрит. Идиоморфные кристаллы хризоберилла и других минералов приурочены к небольшим (до 10 см в поперечнике) полостям, которые могут находиться в любом участке пегматитового тела. Полости не заполнены каким-либо материалом, но могли быть выполнены кальцитом, который в приповерхностных условиях неустойчив.

Во вмещающих гранат-силлиманитовых гнейсах постоянно присутствует небольшое количество кальцита. Поскольку гранатосодержащие граниты образовались ультраметаморфическим путем, магма, давшая начало и гранитам, и пегматитам, была насыщена углекислотой. Это могло отразиться на составе гранитоидов (по данным П. Уайли и О. Татла, углекислота понижает растворимость кремнезема) и на ходе процесса кристаллизации бериллсодержащих минералов.

Калиевые минералы из простых и сложных пегматитов отчетливо раз-

личаются по содержаниям бария и рубидия. По данным К.П. Сомана, значения отношений $K:Rb$ и $Ba:Rb$ в калиевом полевоом шпате и биотите из простых (числитель) и сложных (знаменатель) пегматитов поля Бонакорд (шт. Керала) таковы:

Отношение	$K:Rb$	$Ba:Rb$
Калиевый полевоый шпат	(262–448) / (86–129)	(1,4–6,8) / (0,04–0,84)
Биотит	(134–145) / (18–40)	(1,4 i –1,63) / (0,04–0,22)

Максимальные значения барий-рубидиевого отношения в калиевом полевоом шпате и биотите из сложных пегматитов поля Бонакорд близки к таковым в этих же минералах из редкометалльно-мусковитовых пегматитов Индии и США [23, 25].

На севере Монгольской Народной Республики широко развиты хрусталеносные пегматиты. В гл. 1 была приведена характеристика их распространения. В этом разделе остановимся более подробно на описании пегматитов Хэнтэйского пояса. В его пределах известно несколько тысяч пегматитовых тел, приуроченных к эндоконтактовым фациям гранитов и размещающихся преимущественно в апикальных частях гранитных массивов мезозойского возраста. Они относятся к формации пегматитов активизированных складчатых систем так называемого второго типа [7] – посторогенных, автономной активизации.

Пегматитовые тела имеют форму неправильных шпирообразных гнезд, штоков, линз длиной 10–15 м (максимальная – 65 м) и мощностью 1–5 м. Отчетливо проявлена зональность. Периферические зоны сложены пегматитами гипидиоморфнозернистой или графической структур. Далее наблюдается блоковый пегматит, а в центре тела – кварцевое ядро. Хрусталеносные полости располагаются в ядре или в прилегающей части блокового пегматита. Они имеют овальную или удлинненную форму, иногда пересекают границу кварцевого ядра с окружающим пегматитом; изредка встречаются щелевидные полости. Кроме кварца в друзах всегда отмечается калиевый полевоый шпат, иногда – клевеландит. Из других минералов следует упомянуть флюорит и топаз.

В пределах пояса выделены три крупных пегматитовых поля: Горихинское (на площади гранитного массива Горихо), где было выявлено множество пегматитовых тел с пьезокварцем промышленного качества, Дзунбаинское и Жанчивланское – с меньшим числом хрусталеносных жил, но тоже представлявших значительный практический интерес. В настоящее время большинство тел пояса отработано [3].

Как видно из анализов минералов на элементы-примеси (табл. 27), содержания бария и стронция в калиевых полевых шпатах постепенно снижаются от периферии к центру жил, а рубидия – возрастают. В результате величина барий-рубидиевого отношения уменьшается в несколько раз. Любопытно очень высокие концентрации рубидия и цезия в биотите из эндоконтактовых зон пегматитовых тел. Они близки к таковым в

Таблица 27. Средние содержания элементов-примесей (в г/т) в минералах из пегматитов Хэнтэйского пояса, МНР [7]

Минерал	Зона пегматита	Ba	Sr	Rb	Cs	Ba:Rb
Калиевый полевой шпат	Эндоконтактовая	420	63	780	5	0,54
	Графическая	275	42	935	6	0,29
	Блоковая	182	26	1120	6	0,16
Биотит	Эндоконтактовая	260	30	4420	340	0,059

биотите из редкометалльно-мусковитовых пегматитов Индии [23] — так же, как и величина барий-рубидиевого отношения в калиевых полевых шпатах.

По генезису пегматиты Хэнтэйского пояса явно относятся к камерным пегматитам, образующимся в результате кристаллизации магматического остатка в пределах гранитных массивов. Хрусталеносные полости возникают в них при перекристаллизации вещества пегматитов под воздействием остаточного флюида. В некоторых случаях это воздействие выходило за пределы кварцевого ядра, что указывает на разрыв во времени между завершением кристаллизации пегматитов и процессом формирования миарол. Но флюид имеет локальное происхождение, является результатом постепенной эволюции остаточной магмы.

Глава 9

ГЕНЕЗИС И МЕТОДЫ ПОИСКОВ ПЕГМАТИТОВ

В процессе описания пегматитов некоторых регионов автор уже частично останавливался на вопросах о их происхождении. Эти вопросы далеко не всегда имеют только теоретическое значение. При поисках и разведке пегматитовых тел разного генезиса необходимо использовать разные способы, применять разные методы оценки и подсчета запасов минерального сырья. Именно поэтому так остро дискутировались в 30–50-х гг. проблемы образования пегматитов. В дискуссиях принимали участие не только ведущие ученые, но и многие геологи-практики, знатоки конкретных пегматитовых месторождений. Напомним некоторые главные моменты истории развития учения о генезисе пегматитов.

В 1931 г. вышла книга А.Е. Ферсмана „Пегматиты“. В ней были обобщены многочисленные публикации по пегматитам нашей страны, Индии, Канады, США, Бразилии, ряда стран Африки и Европы, итоги собственных исследований автора в Карелии, на Урале и в Сибири, а также в Италии, Норвегии, Чехословакии, Швеции. А.Е. Ферсман пришел к выводу об образовании пегматитовых жил в результате кристаллизации магматического гранитного остатка, обогащенного летучими и подвижными компонентами, а также рассеянными элементами. В основе теории кристаллизации остаточной гранитной магмы лежала схема, предложенная П. Ниггли

и И.Фогтом (1920—1926 гг.), которые считали возможным растворение в гранитном расплаве значительных количеств летучих, прежде всего воды.

Многие особенности состава и строения пегматитовых жил и, в первую очередь, разнообразие минеральных видов, крупные размеры кристаллов, зональность в расположении минералов и их агрегатов были объяснены с позиций последовательной кристаллизации минералов из расплава и обогащения его остатка редкими компонентами.

Однако оставалось немало неясных вопросов, и по мере изучения новых месторождений число их увеличивалось. По образному выражению американского геолога Ф. Хесса, пегматиты являются „самой причудливой, самой противоречивой, самой сложной и вместе с тем — самой интересной группой из всех известных горных пород“. Вместе в двумя другими соотечественниками — К. Ландесом и В. Шеллером — Ф. Хесс обратил особое внимание на широкое развитие метасоматических процессов в пегматитовых телах. В наиболее полном виде „теория гидротермального замещения“ была изложена К. Ландесом в 1933 г. Ее главная идея состоит в разделении пегматитов на „простые“ и „сложные“ — не подвергавшиеся и подвергшиеся преобразованиям на гидротермальном этапе. В дальнейшем при изучении пегматитов (особенно мусковитовых) были получены многочисленные данные, подтверждавшие взгляды этих авторов. Теория гидротермального замещения была поддержана Д.С. Коржинским, С.М. Курбатовым и некоторыми другими советскими исследователями. При подготовке третьего издания книги „Пегматиты“ (1940 г.) А.Е. Ферсман учел и подробно осветил взгляды „метасоматистов“. Он писал: . . . „процесс кристаллизации пегматитов идет отдельными этапами, связанными с изменением . . . физико-химического равновесия системы и с растворением ранее выделившихся комплексов“. Но дискуссия на этом не закончилась. Еще в 1931—1932 гг. Р. Горансон опубликовал данные об ограниченной растворимости воды в магматическом расплаве. Основываясь на них, известный петрограф А.Н. Заварицкий в 1944—1947 гг. пришел к выводу, что схема П. Ниггли — И. Фогта неверна, что особой пегматитовой магмы нет, что пегматиты образуются из обычных гранитных пород в результате их собирательной перекристаллизации под воздействием газового раствора. Эта точка зрения была поддержана и развита в 50—60-х годах В.Д. Никитиным, Н.М. Успенским и их учениками.

Большинство специалистов по пегматитам — и в Советском Союзе (К.А. Власов, А.А. Беус, А.И. Гинзбург и др.), и в США (Р. Джанс, Е. Камерон и др.), и во многих других странах (бельгиец Н. Варламов, индийские ученые С.К. Рой и Н.Л. Шарму и др.) — продолжали придерживаться взглядов А.Е. Ферсмана. Не отрицая важной роли процессов перекристаллизации и метасоматоза, они объясняли главные особенности формирования пегматитов путем эволюции специфического расплава.

Дискуссии между сторонниками магматического и метасоматического происхождения пегматитов были весьма острыми и привлекали внимание многих ученых и геологов-практиков. Споры приносили немалую пользу, поскольку заставляли искать новые и новые аргументы при изучении самих пегматитов и их взаимоотношений с вмещающими породами. Не за-

кончились они и в настоящее время, хотя приобрели другой характер, в связи с тем, что появился новый геологический, минералогический, геохимический и экспериментальный материал.

Обратимся к главным аспектам теории происхождения пегматитов и попытаемся обобщить современные достижения учения о них.

Условия пегматитообразования и степень метаморфизма вмещающих пород

Геологи разных стран уже давно обращали внимание на корреляцию между характером полезной минерализации в пегматитах и глубиной их образования, а также степенью метаморфизма пород, в которых залегают пегматитовые жилы. Эти наблюдения были обобщены в 1960 г. А.И. Гинзбургом и Г.Г. Родионовым в статье „О глубинах образования гранитных пегматитов“. Статья положила начало современной классификации пегматитовых формаций, учитывающей условия формирования и промышленную специализацию пегматитов. Как видно из табл. 28, пегматиты разделялись по глубинам формирования, вычисленным исходя из геологического строения пегматитовых поясов и возможной мощности перекрывающих пород.

Сделанное обобщение позволило предположить наличие генетической связи между процессами метаморфизма (в том числе и ультраметаморфизма с гранитизацией) и процессами образования пегматитов. В начале 50-х гг. на такую связь обратил внимание Г. Рамберг, изучавший древние кристаллические породы на западе Гренландии. Но описанные им пегматиты представляли собой, по существу, крупнокристаллические сегрегации полевых шпатов, кварца и слюд, не имеющие ни зональности, ни специфики состава. Такие пегматиты действительно могли возникнуть чисто метаморфическим путем. Обычно же говорят не о метаморфическом, а о **метаморфогенном** происхождении пегматитов, допуская, что они образовались в результате метаморфизма гранитного расплава, а затем — его дифференциации с отделением пегматитов.

Мусковитовые пегматиты во всех районах мира приурочены обычно к вмещающим породам амфиболитовой фации метаморфизма, к фаціальным сериям дистен-силлиманитового типа. В термодинамических условиях этой фации возможно формирование ультраметаморфических гранитов, поэтому площади распространения мусковитовых пегматитов практически совпадают с участками развития пород амфиболитовой фации. Но связь эта — опосредствованная: сначала образуются граниты (в том числе пегматоидные, называемые иногда гранит-пегматитами), а затем в породы внедряются инъекционные пегматитовые тела, возникшие в результате дифференциации гранитов. Наконец, на послемагматическом этапе граниты служат источником растворов, значительные объемы которых свидетельствуют о невозможности генерирования их пегматитовыми жилами.

Редкометалльно-мусковитовые и редкометалльные пегматиты тяготеют, как правило, к породам эпидот-амфиболитовой фации, к фаціальным сериям андалузит-силлиманитового типа, а иногда — и к породам зелено-

Таблица 28. Глубина образования и начальное давление кристаллизации гранитных пегматитов различной специализации

Глубина, км	Типы пегматитов*	Возможное литостатическое давление*, $л \cdot 10^8$ Па	Специализация пегматитов**	Начальное давление кристаллизации**, $л \cdot 10^8$ Па
~3	Миароловые-хрусталеносные	0,7–0,8	Хрусталеносные Ниобий-редкоземельные	2–3 2,5–3,5
3,5–5	Редкометалльные (с литием, цезием, танталом, бериллием)	0,9–1,3	Редкометалльные Редкометалльно-мусковитовые	3,5–4,5 4,5–6,5
5–8	Мусковитовые	1,3–2,1	Мусковитовые	6,5–7,7
>8	Редкоземельные (ортитовые)	> 2,1	Уран-редкоземельные	> 8

*По А.И. Гинзбургу и Г.Г. Родионову.

**Современные данные (давление определено по плотности углекислоты газожидких включений и другим геобарометрам).

сланцевой фации регионального метаморфизма, а также к зонам контактового метаморфизма гранитов. В этих условиях граниты уже не могут формироваться, они внедряются из более глубоких горизонтов, где P-T условия соответствуют таковым амфиболитовой фации. Вот почему пространственная связь редкометалльных пегматитов с гранитами выражена всегда более четко: внедряются граниты, а затем (из объема этих гранитных массивов или из их „корней“) – генетически или парагенетически связанные с ними пегматиты.

Как было показано при комплексном рассмотрении геологических условий формирования пегматитов [5], гранитный магматизм, вызывающий пегматитообразование, во всех случаях обусловлен воздействием тепловых потоков, локализованных в зонах глубинных разломов. „Последние (разломы – Б.Ш.) играют ведущую роль в территориальном распределении температурных полей и в этой связи – в размещении гранитных массивов, метаморфических зон, разнотипных пегматитовых полей“ [5].

По мнению В.В. Архангельской, А.И. Гинзбурга и З.Г. Караевой [1], рассматривавших закономерности размещения поясов редкометалльных пегматитов, докембрийские пояса приурочены к грабенам, а фанерозойские – к грабен-синклиналиям. При этом глубинные разломы, ограничивающие грабены, удается проследить по падению современными геофизическими методами на несколько десятков километров. Грабены обычно имеют мозаичное блоковое строение, так что отдельные пегматитовые поля внутри поясов разделены поперечными разломами.

Для многих пегматитовых поясов Австралии, Азии, Америки и Африки характерна пространственная связь с протерозойскими троговыми

структурами, наложенными на архейский фундамент. Поскольку на участках трогов мощность гранитного слоя уменьшена, а верхняя мантия разуплотнена [1], можно предполагать важную роль мантийных источников в формировании пород, слагающих пегматитовые пояса.

В работе, посвященной геохимии и генезису мусковитовых и редкометалльно-мусковитовых пегматитов [23], автор уже высказывал мнение о возможности привноса калия и некоторых других компонентов вдоль зон глубинных разломов, к которым приурочены и материнские граниты. В настоящее время имеются данные, позволяющие считать, что и литий может привноситься вдоль подобных разломов. В частности, обнаружены повышенные концентрации лития (и их корреляция с концентрациями мантийного изотопа ^3He) в растворах, изливающихся из разломов на дне мирового океана.

Тем не менее привнос вещества (и тепла) вдоль разломов не может быть единственной причиной образования гранитов и пегматитов. Требуется сочетание P-T параметров регионального метаморфизма соответствующих фаций с дизъюнктивными нарушениями, обеспечивающими участки магмообразования необходимой энергией и недостающими компонентами.

В последнее время сделан новый шаг в изучении связей процессов метаморфизма и пегматитообразования. На основе многолетних исследований в Саяно-Байкальской складчатой области В.А. Макрыгина сумела доказать, что не только температура и общее давление при метаморфизме, но и исходные содержания в породах летучих компонентов определяют парагенезис метаморфических минералов, состав образующихся гранитов и пегматитов. От состава первичных осадочных толщ и их механических свойств зависят динамика удаления флюидов во время реакций дегидратации и декарбонатизации пород и соответственно особенности флюидного режима. Чем более проницаема толща, тем ниже давление собственно метаморфоогенного флюида и больше возможность поступления „ювенильных“ растворов с глубины [12].

Следует обратить внимание на то, что для всех типов пегматитов (см. табл. 28) возможное литостатическое давление перекрывающих пород в 2–3 раза ниже, чем теоретически допустимое давление соответствующих метаморфических фаций. В то же время давление в самих пегматитах, определенное по включениям жидкой углекислоты в ранних генерациях минералов, соответствует давлению в период метаморфизма окружающих пород. Следовательно, при образовании пегматитов, как и на предшествующих этапах метаморфизма и гранитизации, имеет место **сверхдавление**. Повышенное общее давление вызвано давлением летучих компонентов при соответствующей температуре. Оно может возникнуть только в случае тектонически и литологически обусловленной закрытости системы (под экраном или в „мешке“ плотных пород, ограничивающих возможность удаления летучих). Разумеется, по мере падения температуры давление снижается и в конце концов становится равным возможному. Поэтому сверхдавление характерно лишь для высокотемпературных стадий.

За годы, прошедшие со времени опубликования статьи А.И. Гинзбурга и Г.Г. Родионова, получены многочисленные новые данные, которые подтверждают правильность схемы относительной глубинности формирования пегматитов разной промышленной специализации. В табл. 28 автором добавлены лишь пегматиты переходной редкометалльно-мусковитовой специализации, а редкоземельные пегматиты разделены — в соответствии с данными М.В. Кузьменко — на две группы: уран-редкоземельные и ниобий-редкоземельные. Первые занимают прежнюю позицию в таблице — это глубинные пегматиты с ортитом, монацитом, иногда с уранинитом. Вторые характерны для гипабиссальных ультракислых — щелочных гранитов. В этих пегматитах чаще встречаются такие минералы, как эвксенит, самарскит, фергусонит, бетафит, танталаты и ниобаты редких земель.

Вместо „глубины образования“ правильное использовать понятие „давление минералообразования“. Большое значение для определения истинных величин давления при минералообразовании имело изучение газожидких включений в минералах пегматитов. Эти исследования, начатые в нашей стране Г.Г. Леммлейном и Н.П. Ермаковым, дали возможность восстановить по включениям реликтов минералообразующей среды температурные интервалы, давление и некоторые особенности химизма отдельных стадий пегматитового процесса. Напомним, что пегматиты и контактирующие с ними породы находились в обстановке примерно одинакового общего давления, обусловленного главным образом давлением летучих компонентов.

Закрытость системы („замкнутость“, по А.Е. Ферсману) имеет тектонический смысл и касается не только пегматитовых тел, но и значительного объема вмещающих метаморфических пород или гранитов [24]. Такая закрытость допускает возможность интенсивных изменений в пегматитах и развития процессов контактового взаимодействия между пегматитами и вмещающими породами иного состава, в результате чего формируются ореолы измененных пород и первичные геохимические аномалии в их пределах [23].

Как следует из характеристик геологического строения пегматитовых провинций и описания отдельных месторождений, многие фанерозойские редкометалльные и миароловые пегматиты значительно моложе вмещающих метаморфических пород. Это типичные аллохтонные гранитоидные системы, возникающие при тектономагматической активизации консолидированных участков земной коры. В этом случае тезис о соответствии формации (специализации) пегматитов типу метаморфизма вмещающих пород не имеет такого всеобъемлющего значения, как в случае синорогенных пегматитовых поясов с автохтонными гранитами. Однако и в этой обстановке закрытость системы является неперенным условием формирования именно пегматитовых, а не других типов эндогенных месторождений („апогранитовых“, грейзеновых, гидротермальных). Этому должны способствовать физико-механические свойства вмещающих или перекрывающих горных пород, препятствующих удалению флюидов.

Приуроченность пегматитовых поясов к зонам глубинных разломов не противоречит тезису о закрытости системы и сверхдавлении, поскольку

такие зоны сообщаются с глубинными участками земной коры, где растворы находятся под более высоким давлением. Установление термодинамического равновесия в этом случае будет означать формирование региональной зоны с температурами и давлениями более высокими, чем в окружающем пространстве, — также при условии отсутствия связи такой зоны с поверхностью.

Для отдельных пегматитовых тел важными факторами закрытости пегматитовой системы и сохранения в ней летучих компонентов являются форма и залегание этих тел. Наиболее крупные месторождения редкометальных пегматитов представлены, как правило, пологими куполообразными залежами под экранами плотных пород типа амфиболитов (Берник-Лейк, Бикита, Камативи, Манано, Чонка). В некоторых случаях наблюдаются штокообразные выступы („куполовидные раздувы“) над полого погружающимся крупным пегматитовым телом, как, например, в Монгольском Алтае, где подобный выступ отмечается под экраном плотных габброидных пород.

Разумеется, сохранение летучих компонентов — важнейший фактор высокого давления пегматитовых систем — может быть достигнуто и при крутом залегании пегматитового тела, тем более что зона „закалки“ вмещающих пород и затвердевшие внешние зоны пегматитовых тел тоже могут служить своеобразными экранами на пути летучих. Главное условие нормального эволюционного развития процесса — отсутствие тектонических нарушений, которые могли бы „открыть“ пегматитовую систему.

Геохимические индикаторы

В последние десятилетия получены интересные новые данные по геохимии гранитных пегматитов и распределению элементов во вмещающих породах. Если во времена А.Е. Ферсмана в распоряжении исследователей были лишь сведения о содержаниях ограниченного числа элементов в объеме пегматитовых тел и получены они были в основном путем пересчета минерального состава, то в настоящее время положение изменилось коренным образом: появилась возможность получать прямые анализы на широкий круг элементов в редкометальных пегматитах, анализы всех минералов на главные элементы и элементы-примеси с пересчетами на основе объемных соотношений минералов в каждой зоне пегматитовых тел. Опубликовано несколько монографий по геохимии пегматитов различных формаций в пегматитовых провинциях СССР (Сибири, Урала, Карелии, Украины), Индии, США, Африки. Показана геохимическая близость пегматитов одной формации — независимо от их возраста и местоположения. По содержаниям элементов-индикаторов в пороодообразующих минералах пегматитов можно уверенно судить о принадлежности встреченных объектов к той или иной формации, оценивать их промышленную значимость.

В главах 2–8 были приведены многочисленные данные о составе минералов пегматитов. Они доказывают возможность суждения о специализации пегматитов даже по отдельным образцам. Разумеется, более надежные выводы могут быть получены на основе анализов нескольких проб, желательно пяти-семи образцов каждого минерала.

При обсуждении таблиц, приведенных в настоящей работе и в ранее опубликованных статьях и монографиях [7,23–25], говорилось о том, что в разновременных генерациях минералов, в последовательных минеральных ассоциациях содержания индикаторных элементов различны. В связи с этим сравнение пегматитов различной специализации или оценка промышленной значимости пегматитов должны проводиться только по определенным разновидностям (генерациям) минералов или их ассоциаций.

Наиболее представительными минералами для опробования гранитных пегматитов являются следующие: 1) калиевый полевой шпат графических сростаний с кварцем; 2) калиевый полевой шпат и биотит из эндоконтактных оторочек — желательны при наличии явного контакта пегматитовой жилы с вмещающими породами; 3) биотит — крупные тонкие лейсты, пересекающие графические сростания калиевого полевого шпата с кварцем; 4) мусковит из кварц-мусковитовых симплектитовых сростаний, развивающихся по калиевому полевому шпату. Можно с достаточной уверенностью полагать, что первые две генерации минералов относятся к магматическому этапу развития пегматитов, лейстовый биотит формируется в начале послемагматического этапа, а кварц-мусковитовый замещающий агрегат возникает в послемагматический этап на стадии роста кислотности, когда происходит массовый гидролиз калиевого полевого шпата.

Региональные различия, безусловно, имеются, но они совершенно несоизмеримы с различиями между пегматитами разной специализации (табл. 29). Особенно надежным элементом-индикатором оказался барий, средние содержания которого в калиевых полевых шпатах и мусковитах различаются на порядок между соседними формациями пегматитов и на два порядка между редкометальными и мусковитовыми пегматитами. Следует подчеркнуть, что еще два десятилетия назад распределение бария в пегматитах было практически не изучено.

Средние содержания рубидия как в калиевом полевом шпате, так и в мусковите позволяют отчетливо различать редкометальные и мусковитовые пегматиты, но редкометально-мусковитовые пегматиты по одному из двух минералов не отделяются, однако с использованием двух минералов или барий-рубидиевого отношения разграничение осуществляется и здесь вполне надежно.

Миароловые пегматиты по геохимическим признакам аналогичны либо редкометальным, либо редкометально-мусковитовым. Но для них главное значение имеет не геохимическая специализация, а качество кристаллов, которое определяется целым рядом дополнительных факторов.

Большой практический и теоретический интерес представляет изучение контактовых минеральных изменений и первичных геохимических ореолов вокруг пегматитовых тел. Оно способствует совершенствованию методов поисков и оценки не выходящих на поверхность („слепых“) пегматитовых тел или вскрытых тел со „слепой“ рудоносной залежью (рис. 45). Существует четкая корреляция между наличием мусковита или редкометальных руд в пегматитовом теле и характером первичного

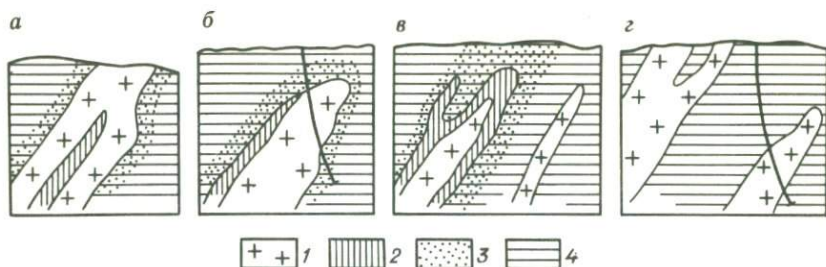


Рис. 45. Минеральные и элементные ореолы вокруг пегматитовых тел, свидетельствующие о наличии:

а — „слепой“ рудной залежи, *б* — „слепых“ рудной залежи и пегматитового тела, *в* — „слепого“ пегматитового тела; тела без полезной минерализации обычно лишены ореолов — *г*.

1 — пегматит; 2 — руда; 3 — ореол; 4 — вмещающая порода

Таблица 29. Средние содержания элементов-индикаторов (в г/т) в ранних генерациях калиевого полевого шпата и мусковита из пегматитов Индии (числитель) и США (знаменатель) [25]

Формация пегматитов	Калиевый полевой шпат			Мусковит		
	Ba	Rb	Ba:Rb	Ba	Rb	Ba:Rb
Редкометалльная	20	3000	0,006	30	4000	0,008
	40	2000	0,02	20	3000	0,007
Редкометалльно-мусковитовая	600	800	0,75	300	2000	0,15
	200	800	0,25	150	2000	0,08
Мусковитовая	7000	500	14	2000	400	5,0
	8000	300	27	3000	400	7,5

ореола вокруг него, обусловленная формированием ореола во время интенсивных метасоматических процессов в пегматитовом теле, сопровождающихся выносом в окружающие породы бария, свинца, рубидия (мусковитовые пегматиты), лития, рубидия, цезия, бора (редкометалльные пегматиты). Содержания ряда других элементов в пределах ореолов существенно понижаются.

Ореолы могут играть роль не только при поисках „слепого“ пегматитового тела на глубине, но и при решении вопроса о продуктивности вскрытого тела, если оруденение в его пределах распределено неравномерно. Это связано с тем, что зоны контакта между пегматитами и вмещающими породами обладают хорошей проницаемостью для растворов, поэтому ореол относительно равномерно окружает всю жилу — даже если полезная минерализация (например, мусковит, поллуцит или танталит) содержится только в части ее объема (см. рис. 45). Таким образом, по минеральным и химическим особенностям ореолов можно судить о продуктивности пегматитового тела в целом и о необходимости прослеживания оруденения на глубину или по флангам.

Геохимическое изучение пегматитов имеет важное значение и для решения генетических вопросов. В частности, при собственно метаморфическом способе образования пегматиты должны отвечать по составу вмещающим метаморфическим породам, что наблюдается редко и только в неспециализированных жилах.

Метаморфогенно-магматическое происхождение пегматитов предполагает существенную гомогенизацию значительного объема пород, подвергшихся гранитизации, и не исключает привноса отдельных компонентов (щелочи, некоторые летучие) вдоль зон глубинных разломов. Затем происходит дифференциация расплава и отделение пегматитов. На послемагматическом этапе часть пегматитов интенсивно преобразуется, происходит интенсивное взаимодействие между пегматитовыми жилами и вмещающими породами. Ранее было сказано об элементах, которые выносятся из пегматитов. Как показали геохимические исследования, многие компоненты пегматитов (в частности — редкоземельные и радиоактивные элементы, цирконий и гафний) могут заимствоваться из окружающих пород [23].

Детальное изучение состава последовательных минеральных ассоциаций и генераций отдельных минералов позволило создать представление о геохимической эволюции пегматитов на фоне понижения температуры и изменения кислотности — щелочности послемагматических растворов. Эти данные неоспоримо подчеркивают закономерный характер эволюции и примат магматического источника вещества пегматитов, особенно в редкометальной и редкометально-мусковитовой формациях.

Экспериментальные данные

Большое значение для суждения о способах образования пегматитовых месторождений, как и любых других геологических объектов, имеют экспериментальные исследования. Только в эксперименте могут быть получены данные о зависимости хода процессов от какого-либо одного фактора, поскольку в природных условиях обычно наблюдается совместное действие многих факторов.

Так же как данные Р. Горансона по ограниченной растворимости воды в силикатном расплаве заставили исследователей в свое время по-новому объяснять происхождение пегматитов, опубликованные в 50-х гг. результаты более надежных экспериментов Г. Кеннеди, Н. Боуэна и О. Таттла привели к возрождению популярности идей А.Е. Ферсмана. Эти эксперименты показали, что при высоком давлении растворимость воды в гранитных расплавах в присутствии свойственного им количества щелочных элементов практически неограниченна. Следовательно, возможны и накопление летучих в отдельных участках гранитов, и существование специфического пегматитового расплава, насыщенного летучими компонентами.

Особую роль для решения спорных вопросов пегматитообразования играли экспериментальные работы, выполненные в Пенсильванском университете в 1956–1969 гг. крупнейшим исследователем пегматитов

Р.Х. Джансом в содружестве с опытейшим экспериментатором К.В. Бэрнемом. Эти многолетние исследования позволили воспроизвести, по существу, все детали процессов образования пегматитов.

Основные результаты работ Р.Х. Джанса и К.В. Бэрнема заключаются в следующем. Количество воды и других летучих компонентов соответствует значениям насыщения расплава при любых температурах. По мере выпадения твердых фаз и перенасыщения остаточного расплава водой или при резком падении давления может произойти отделение раствора (ретроградное кипение). Явления взаимодействия твердых фаз с остаточным расплавом и раствором составляют одну из главных особенностей процесса пегматитообразования. Из расплава формируются относительно мелкозернистые, а из раствора — более крупнозернистые продукты. Пока существуют две жидкости — силикатная и водная — они могут реагировать друг с другом с повторным растворением, а различные комбинации этих двух фаз могут быть отделены от системы. Исчезновение силикатного расплава определяет начало стадии взаимодействия кристаллов с водной фазой, возрастание роли явлений замещения в твердых продуктах.

В изложении своих взглядов на ход пегматитового процесса Р.Х. Джанс и К.В. Бернем в принципе следуют схеме А.Е. Ферсмана (даже буквенные обозначения стадий у них те же). Существенным отличием новой схемы является значительное температурное „перекрытие“ процессов. Авторы настойчиво напоминают, что многие пегматитовые минералы имеют широкие поля устойчивости и что нельзя рассматривать отдельные минералы как таковые в качестве индикаторов, например, температуры или присутствия водной (газовой) фазы.

Работы Р.Х. Джанса и К.В. Бернема позволили в какой-то степени примирить сторонников магматического и метасоматического генезиса пегматитов. Однако многие вопросы формирования таких сложных объектов, как редкометалльные пегматиты, остаются все же нерешенными. В их числе вопросы об источниках вещества пегматитов, о природе сложной зональности, происхождении полосчатых текстур и др. При исследовании этих проблем также очень важны экспериментальные данные. В частности, американский исследователь Д. Стюарт [48] на основе экспериментов с системой, содержащей минералы лития, предположил возможность образования богатой этим элементом магмы при плавлении литийсодержащих осадков. Эксперименты этого и других исследователей показали, что при добавлении лития температура эвтектики на 70–90 °С ниже обычной температуры гранитной эвтектики; это позволяет объяснить многие особенности зональности в полях редкометалльных пегматитов.

Большой интерес представляют экспериментальные работы другого американского исследователя — Д. Лондона [42 и др.] по гидротермальной системе с алюмосиликатами лития. Полученные им результаты позволили объяснить редкость в пегматитах ассоциации эвкриптит + кварц, устойчивой при температуре не выше 350 °С и давлении ниже $(1,2 \div 1,4) \cdot 10^8$ МПа. Эта ассоциация возникает, в частности, в виде псевдоморфоз по петалиту на месторождениях Бикита в Зимбабве и Лондондерри в Австралии. Эксперименты показали широкое поле устойчивости пара-

генезиса сподумен + кварц: от указанных выше параметров до температуры не менее 560–570 °С и давлений $3,5 \cdot 10^8$ Па и выше.

Среди наиболее крупных пегматитовых месторождений лития, тантала и цезия известны уникальные объекты: Бикита в Зимбабве и Берник-Лейк в Канаде. Они характеризуются чрезвычайно причудливым и часто незакономерным зональным строением, крупными скоплениями таких обычно редких минералов, как поллуцит или петалит. Например, мономинеральные скопления поллуцита могут иметь объем многие тысячи кубических метров.

Объяснить столь сложное строение пегматитовых тел и обособление крупных мономинеральных скоплений с помощью традиционных схем кристаллизации, как это делает, например, Дж. Нортон [45], весьма трудно. Одним из возможных механизмов формирования пегматитов и, в частности, сложнопостроенных тел редкометальных пегматитов является ликвация расплавов.

Идею о применимости явления ликвации для решения проблемы дифференциации магматических горных пород впервые высказал И. Фогт в 1926 г. В дальнейшем детальное рассмотрение петрологических вопросов на основе возможной ликвации было выполнено Ф.Ю. Левинсоном-Лессингом и Д.С. Белянкиным. Начиная с 1937 г., когда появилась первая работа Д.П. Григорьева по экспериментальному расслоению расплава, изучением ликвации занимаются и специалисты по экспериментальной минералогии и петрографии. Однако только с совершенствованием техники эксперимента удалось получить результаты, имеющие непосредственное отношение к пегматитам. В 1967 г. Б.Н. и Г.Б. Мелентьевыми и Л.М. Делицыным на основе экспериментов с системой стекло — фторид лития сделан вывод о существенном значении ликвации при образовании редкометальных пегматитов. В настоящее время А.А. Маракушев и его коллеги по экспериментальному исследованию расплавов считают, что процессы ликвации играли главную роль при первичном отделении любых пегматитовых расплавов от материнских гранитов.

Из последних работ по ликвации большой интерес представляют исследования Д.С. Глюка и др. [6]. Они показали, что добавление в гранитный расплав фтора, лития и воды приводит к его расслоению на существенно силикатный и существенно фторидный расплавы. При температуре 625–700 °С и давлении в 100 МПа ликвация происходит, если расплав содержит около 1 % лития и 1,5 % фтора, что близко к природным концентрациям этих элементов в редкометальных пегматитах.

Можно предположить, что в процессе охлаждения и эволюции пегматитового расплава, насыщенного летучими компонентами, разделение расплава на две или три части с резкими границами между ними могло происходить на нескольких стадиях. В отличие от выделившейся твердой фазы, такие расплавы обладали значительной подвижностью, в связи с чем они могли занимать различное положение в пределах пегматитового тела, проникать по трещинам в область контакта с вмещающими породами, по границам между зонами, а также взаимодействовать с ранее выделившимися минералами. Именно поэтому редкометальные пегматиты

(а они богаче летучими компонентами) характеризуются наиболее сложной зональностью, различным сочетанием зон в разных сечениях одного пегматитового тела, наличием секущих прожилков. По этой же причине редкометалльные пегматиты имеют такой разнообразный минеральный состав, причем в одном теле могут присутствовать различные группы минералов одного элемента, например, лития (фосфаты и силикаты) или редких земель (силикаты, фосфаты, ниобо-танталаты).

Практически можно не сомневаться в том, что в образовании таких рассмотренных в книге объектов, как все комплексные редкометалльные пегматиты (гл. 2), значительная часть тантал-олово-литиевых пегматитов (гл. 3), месторождения на севере Мозамбика или жила Хардинг в шт. Нью-Мексико, США (гл. 4) важную роль играли процессы ликвации расплава. Не исключено, что ликвация могла происходить и на нескольких последовательных стадиях эволюции расплава при накоплении летучих в его остаточных порциях.

Завершая обзор экспериментальных исследований в пегматитовых системах, следует сказать, что пока практически не изучена в эксперименте роль фосфора и бора. Эти летучие компоненты несомненно играют огромную роль в формировании пегматитов, особенно редкометалльных и миароловых. Минералы группы фосфатов встречаются в заметном количестве и в первичных парагенезисах, и в продуктах метасоматоза, и в участках вторичного изменения [44]. Кроме разнообразных представителей группы турмалина, во многих районах обнаружены и такие бораты, как родицит и гамбергит, а на Мадагаскаре — манандонит и бехиерит. Экспериментальное изучение полей устойчивости фосфатов и боратов, роли фосфора и бора в образовании пегматитов — задача исследователей ближайшего будущего.

Гетерогенез и конвергенция

Два последних десятилетия были временем явного сближения генетических позиций различных школ исследователей пегматитов. Как показало прошедшее в 1982 г. в г. Иркутске всесоюзное совещание, все „магматисты“, т.е. последователи А.Е. Ферсмана, признают метаморфогенное происхождение материнских гранитоидов и важную роль процессов метасоматоза, а „метаморфисты“ считают правомерным образование метаморфогенных расплавов, их кристаллизацию и последующее замещение. Только приверженцы идей А.Н. Заварицкого и В.Д. Никитина в основном остались на прежних позициях, но и в их построениях можно заметить отчетливую тенденцию к учету и объяснению фактов, противоречащих ранее принятой схеме.

Основываясь на колоссальном фактическом материале, полученном при минералогическом и геохимическом изучении пегматитов, при разведочных работах на пегматитовых полях многих стран и учитывая экспериментальные данные советских и зарубежных исследователей, можно говорить, по-видимому, о существовании единой **метаморфогенно-магматической модели** образования большинства гранитных пегматитов, в ко-

торых — во время кристаллизации и после ее завершения — развивались процессы ликвации, магматического и послемагматического метасоматоза, приводящие к появлению новых минеральных ассоциаций как в пегматитовых телах, так и в окружающих породах.

В то же время необходимо учитывать, что, наряду с преобладающими первично магматическими пегматитовыми телами, на месторождениях мусковита и некоторых редких элементов встречаются пегматитовые жилы первично метаморфического происхождения, а также жилы, сформировавшиеся в послемагматический этап. Среди последних — жилы замещения и перекристаллизации, образовавшиеся в соответствии со схемой Заварицкого—Никитина, а также „жилы выполнения“, становление которых связано с кристаллизацией минералов из высокотемпературных гидротермальных растворов. Следовательно, в природе наблюдается гетерогенность сходных по составу и строению пегматитовых тел, описанная впервые для мусковитовых пегматитов [23]. В частности, в Мамском слюдоносном районе преобладают пегматиты первично магматического генезиса, но широко распространены и первично метаморфические крупные пегматитовые тела с „трещинным“ мусковитом, возникшим в результате послемагматического замещения сегрегированного биотита. Известны и слюдоносные объекты, образовавшиеся при наложении послемагматических растворов на граниты, а в инъекционных пегматитовых телах большинство слюдоносных зон сформировалось под воздействием послемагматических процессов гидролиза калиевого полевого шпата. Наконец, имеются жилы, кристаллизовавшиеся из растворов непосредственно в метаморфических породах. Большинство таких жил маломощные и относительно невелики по размерам, но есть среди них и крупные объекты.

Три генетические группы мусковитоносных пегматитов различаются по многим параметрам: морфологии тел, распределению мусковита, размерам кристаллов и качеству слюды. В связи с этим правильное определение генезиса пегматитовых жил означает возможность применения соответствующих методов разведки и оценки запасов. И наоборот, бытующее иногда стремление считать все пегматитовые образования генетически однородными приводит к ошибочному использованию одних и тех же методов при разведке весьма разных объектов.

Три генетические группы мусковитоносных пегматитов различаются по многим параметрам: морфологии тел, распределению мусковита, размерам кристаллов и качеству слюды. В связи с этим правильное определение генезиса пегматитовых жил означает возможность применения соответствующих методов разведки и оценки запасов. И наоборот, бытующее иногда стремление считать все пегматитовые образования генетически однородными приводит к ошибочному использованию одних и тех же методов при разведке весьма разных объектов.

Гетерогенность мусковитовых пегматитов наблюдается практически во всех регионах их распространения: в Индии, Бразилии, США, Зимбабве. Как уже отмечалось (см. гл. 7), в Индии, особенно в шт. Бихар, именно послемагматические кварц-мусковит-плагиоклазовые жилы являются главным источником высококачественного мусковита, хотя и здесь вы-

явлены многочисленные инъекционные магматические тела. Развита постмагматическая мусковитоносная жила и в США [25], и в Бразилии, и в Зимбабве. Менее известны в этих странах первично метаморфические слюдоносные объекты; это связано, возможно, с тем, что такие объекты, характеризующиеся относительно низким качеством мусковита, могли остаться вне поля зрения геологов.

Гетерогенность свойственна не только мусковитовым пегматитам. Явно постмагматические жилы наблюдаются, например, среди редкометально-мусковитовых и тантал-бериллиевых пегматитов. Миароловые пегматиты могли образоваться и при кристаллизации магматического остатка в материнских гранитах, и при аналогичных явлениях в крупных пегматитовых телах, внедрившихся в метаморфические породы, и при наложении процессов вторичного выщелачивания и перекристаллизации на уже сформировавшиеся пегматитовые жилы.

Чем же объясняется то обстоятельство, что многие научные работники и опытные геологи-практики используют в трактовке генезиса пегматитов формулу „или—или“ вместо уже доказанной возможности формулы „и—и“? Прежде всего — сходством минерального состава слюдоносных или редкометальных зон в пегматитовых телах разного первичного генезиса. Так, в мусковитовых пегматитах все слюдоносные зоны возникают на постмагматическом этапе под воздействием примерно одинаковых по химизму растворов. В редкометальных пегматитах наблюдается сближение состава первично различных тел в результате развития процессов альбитизации. В миароловых пегматитах полости, достаточно близкие по составу минералов и их облику (особенно — хрусталеносные), обычно формируются под воздействием примерно одинаковых водных растворов высокой щелочности, лишенных существенных примесей. Следовательно, на этапе замещения пегматитов происходит **конвергенция признаков** — примерно такая же, как у разных по происхождению биологических объектов, существующих в сходных условиях.

Снять „маску“ постмагматической конвергенции, определить по комплексу признаков истинную природу конкретного пегматитового тела — значит применить к нему в конечном счете необходимую методику разведки и подсчета запасов, сделать обоснованный прогноз поведения тела или серии тел на глубине.

Второй серьезной причиной существования генетических споров по формуле „или—или“ является опыт работы геологов-практиков или исследователей. Нередко он ограничен каким-либо одним генетическим типом пегматитов или одним районом их распространения. Необходимость преодоления этой сложности, а также повышения уровня знаний геологов разных школ и различных регионов влечет за собой необходимость взаимного ознакомления с результатами разведочных или исследовательских работ. Наилучшим способом является, безусловно, непосредственное знакомство с пегматитами иного типа или района. Но этот путь не всегда возможен, поэтому особо возрастает роль сводных обобщающих публикаций по пегматитам, в частности, таких, как классическая книга А.Е. Ферсмана [20] и ряд более поздних работ [5, 8, 13, 21, 31 и др.] .

Целью данного раздела не является подробное обобщение накопленного к настоящему времени большого опыта в области поисков и разведки пегматитовых месторождений, это не входит в стоявшие перед автором задачи. Следует лишь напомнить некоторые особенности пегматитов как объектов поиска и остановиться на возможностях применения современных геофизических и геохимических методов.

Несмотря на то, что гранитные пегматиты начали использоваться человеком еще в древности — в качестве источника драгоценных камней и др., главное значение они приобрели лишь в середине XX в. Именно в это время в больших масштабах были развернуты поисково-разведочные и эксплуатационные работы на пегматитах США и Индии, а также на некоторых месторождениях Бразилии, Канады, Австралии, ряда стран Африки. Необходимость мусковита и пьезокварца для радиопромышленности, бериллия и олова для цветной металлургии вызвала особый интерес к пегматитам в годы второй мировой войны. Однако в дальнейшем внимание было перенесено на другие компоненты пегматитов — редкие металлы.

Разумеется, пегматиты и по сей день остаются единственным источником листового мусковита и многих драгоценных камней, главной рудничной базой бериллиевой промышленности и горного хрусталя. Но пегматитовые месторождения поставляют еще литий, тантал и цезий — элементы новой техники. В настоящее время эти элементы требуются в небольших количествах, и такие уникальные объекты, как Бикита в Зимбабве и Берник-Лейк в Канаде, а также еще три-четыре эксплуатирующихся месторождения в состоянии обеспечить чуть ли не весь мировой спрос на цезий и тантал. Но лития требуется уже десятки тысяч тонн, а в ближайшие десятилетия потребность возрастет до сотен тысяч тонн. Он начал добываться из других источников — рассолов и эвапоритов.

В связи с растущим спросом на редкие металлы проблема поиска редкометалльных пегматитов остается актуальной. Следует подчеркнуть, что пегматиты являются очень трудным объектом для поисковых работ; этому имеется, по крайней мере, три причины: 1) трудность полевой диагностики многих минералов лития и тантала, а также поллуцита; 2) неравномерное (и крайне неравномерное) распределение полезной минерализации в объеме пегматитовых тел; 3) большое число не выходящих на поверхность минерализованных пегматитовых тел.

Как следует из изложенного в главах 2 и 3, многим редкометалльным пегматитовым жилам свойственна куполовидная форма („опрокинутые блюдца“), что имеет, по-видимому, причинный характер, поскольку кровля таких тел служила экраном, препятствующим удалению летучих. Не случайно и главное тело месторождения Берник-Лейк, и многие жилы месторождений Камативи и Манано были обнаружены лишь при проведении буровых разведочных работ. В таких случаях возрастает роль глубинных геофизических и геохимических поисковых методов.

О значении геохимических индикаторов специализации пегматитов и

геохимических ореолов, позволяющих искать рудные тела или оценивать их возможную продуктивность — даже при отсутствии полезной минерализации на выходах или в керне буровой скважины (см. рис. 45), уже упоминалось. В данном разделе приведем перечень геофизических и геохимических методов, которые можно применять при поисках редкометалльных пегматитов.

На стадии поисковых работ главное значение имеют геохимические поиски по вторичным и первичным ореолам рассеяния элементов [4]. При этом целесообразно ориентироваться не на отдельные пегматитовые тела, а на жильные серии, которые можно рассматривать как самостоятельные геологические объекты. При картировании структурно-геологических факторов локализации жильных серий пегматитов хорошо зарекомендовал себя комплекс геофизических методов, включающий магнито-разведку, электропрофилирование на постоянном токе и метод естественного электрического поля.

На стадиях детальных поисково-разведочных работ, когда целью исследований являются обнаружение отдельных жил и детализация строения жильных серий, геофизические методы — магнито- и электроразведка — применяют лишь при большой (> 10 м) мощности пегматитовых тел и контрастном составе вмещающих пород (амфиболиты, метагаббро и т.п.). Хорошие результаты дают геохимические поиски по первичным ореолам рассеяния в комплексе с детальными минералого-петрографическими работами. Такое комплексирование позволяет значительно надежнее, чем с помощью только геохимических методов, оценивать специализацию пегматитов и промышленную значимость слабо вскрытых, а иногда и „слепых“ пегматитовых тел. Нередко использование геохимических и минералого-петрографических методов сдерживается значительным интервалом времени между опробованием и получением результатов. В связи с этим предпочтение отдается более дорогому способу — разбуриванию месторождения по густой сети. Но эти расходы часто оказываются неоправданными, а экономия времени — кажущейся.

При разведочных буровых работах в условиях низкого выхода керна успешно применяются различные модификации каротажных методов, позволяющие уверенно выделять в разрезах участки пегматитовых жил. Надежным методом определения практической ценности пегматитов при пересечении скважиной „пустых“ участков жил является геохимическое и минералого-петрографическое изучение экзоконтактных зон, прилегающих к пегматитам.

Итак, рассмотрены многие десятки пегматитовых провинций и поясов, сотни пегматитовых полей, месторождений и жил. Разумеется, они имеют немало различий, обусловленных структурно-геологическими особенностями и конкретными условиями становления и эволюции пегматитового вещества. Однако прежде всего обращают на себя внимание черты сходства между месторождениями, особенно внутри выделенных типов, каждому из которых посвящена отдельная глава книги.

Близки по строению, составу и даже по запасам руд „супергиганты“ — месторождения Берник-Лейк и Бикита. Похожи в основных чертах танталолово-литиевые пегматиты юго-западной части Австралии, Центральной и Юго-Восточной Африки. Месторождения плато Борборема в Бразилии напоминают тантал-бериллиевые пегматиты США и Австралии. Даже для уникальных мусковитовых пегматитов Индии можно найти аналоги среди месторождений Африки и Америки.

Обращаясь к наследию А.Е. Ферсмана, вновь убеждаемся в справедливости сказанных им слов: „Несомненно, что замкнутость пегматитового процесса представляется с теоретической точки зрения очень важной. . . . Только наличием этих особенностей остаточного флюида и остаточных дистиллятов можно объяснить постоянство типов, определенность, последовательность и закономерность образований“ [20, стр. 466]. В современном учении о пегматитах по-новому понимаются замкнутость и открытость процесса; в последние десятилетия получены новые экспериментальные и геологические данные об условиях формирования пегматитов, эволюции расплавов и отделении флюидов. Но тезис о „постоянстве типов“ и его обусловленности сходством физико-химических параметров процесса продолжает оставаться определяющим.

Именно поэтому возможно использование хорошо изученных пегматитовых жил и полей в качестве моделей при подходе к изучению и освоению новых месторождений. Пегматиты представляют собой одни из самых сложных природных объектов, и метод аналогий может способствовать решению разнообразных проблем, возникающих при поисках и разведке. Особенно хорошие результаты дает он при поисках жильных тел, не выходящих на поверхность. А судя по приведенным материалам и теоретическим соображениям, „слепые“ пегматитовые тела почти в каждом поле численно должны преобладать над вскрытыми эрозионным срезом.

Все это позволяет считать, что резервы пегматитовых месторождений далеко не исчерпаны. Отдельные глубокие скважины, пробуренные в пределах пегматитовых полей в разных районах мира, показали сохранение характера и интенсивности минерализации на значительном вертикальном интервале. Об этом же свидетельствует изучение пегматитовых месторождений Гиндукуша и Кордильер, вскрытых эрозией на большую глубину.

Пегматиты еще многие годы будут оставаться надежным источником

листового мусковита, лучших руд цезия, тантала и бериллия. Из пегматитов извлекаются и будут извлекаться значительные количества лития. Несмотря на открытие новых рентабельных источников этого элемента, ожидающийся резкий рост потребности в нем приведет к освоению ряда новых пегматитовых месторождений, к более полному использованию тех месторождений, где сподумен, амблигонит и лепидолит пока попадают в отвалы.

Разумеется, не потеряют значения и такие пегматитовые жилы, из которых добывают горный хрусталь, кварц для перекристаллизации, высококачественное керамическое сырье. По-прежнему будут радовать нас разнообразные самоцветы и неповторимые образцы минералов, извлекаемые из миароловых пегматитов. Синтетические аналоги природных кристаллов ныне не уступают им по качеству, а порой и превосходят их по ряду технических параметров, но все же именно натуральные драгоценные камни имеют максимальную привлекательность.

Автор надеется, что даже краткое и порой неравноценное описание известных пегматитовых месторождений принесет пользу геологам-разведчикам и научным работникам—специалистам по пегматитам. Собранный им во время посещения многих месторождений мира материал продолжает изучаться, но уже ясно, как важен сравнительный подход к изучению этого огромного и своеобразного мира — мира гранитных пегматитов.

1. *Архангельская В.В., Гинзбург А.И., Каравая З.Г.* Закономерности размещения поясов редкометалльных пегматитов. — Сов. геология, 1978, № 1, с. 27–37.
2. *Беус А.А., Герасимовский В.В.* К металлогении фундамента острова Мадагаскар. — Геол. рудн. месторождений, 1979, т. 21, № 2, с. 19–30.
3. *Геология* Монгольской Народной Республики. Т.3. Полезные ископаемые. — М., Недра, 1977.
4. *Геофизические* и геохимические методы поисков редкометалльных пегматитов/Г.С. Вахромеев, В.Е. Загорский, В.М. Макагон и др. — Новосибирск, Наука, 1983.
5. *Гинзбург А.И., Тимофеев И.Н., Фельдман Л.Г.* Основы геологии гранитных пегматитов. — М., Недра, 1979.
6. *Глюк Д.С., Труфанова Л.Г., Базарова С.Б.* Фазовые отношения в системе гранит- H_2O -LiF при 1000 кг/см^2 . — Геохимия, 1980, № 9, с. 1327–1342.
7. *Иванов А.Н., Шмакин Б.М.* Эволюция пегматитообразования в регионах с многоэтапным гранитоидным магматизмом. — Новосибирск, Наука, 1983.
8. *Клаповская Л.И., Топунова Г.А., Рожанец А.В.* Геология и экономика месторождений редких элементов Канадско-Гренландского щита. — М., Наука, 1978.
9. *Коваленко В.И., Коваль П.В.* Эндогенные редкоземельные и редкометалльные рудные формации Монголии. — В кн.: Эндогенные рудные формации Монголии. — М., Наука, 1984, с. 50–75.
10. *Коган Б.И.* Редкие металлы (состояние и перспективы). — М., Наука, 1979.
11. *Кузьменко М.В.* Геохимия тантала и генезис эндогенных танталовых месторождений. — М., Наука, 1978.
12. *Макрыгина В.А.* Геохимия регионального метаморфизма и ультраметаморфизма умеренных и низких давлений. — Новосибирск, Наука, 1981.
13. *Поля* редкометалльных гранитных пегматитов (геохимическая специализация и закономерности размещения) /Под ред. М.В. Кузьменко. — М., Наука, 1976.
14. *Россовский Л.Н., Коноваленко С.И.* О Южно-Азиатском пегматитовом поясе. — Докл. АН СССР, 1976, т. 229, № 3, с. 695–698.
15. *Россовский Л.Н., Чмырев В.М., Еременко Г.К., Мир Акбар.* Геология и условия формирования сподуменовых месторождений Гиндукуша (Афганистан) — Геол. рудн. месторождений, 1976, т. 18, № 6, с. 19–33.
16. *Рудоносные* формации докембрия Восточной Африки и Аравии/Е.А. Долгинов, И.В. Давиденко, А.В. Разваляев и др. — М., Недра, 1979.
17. *Солодов Н.А.* Минерагения редкометалльных формаций. — М., Недра, 1985.
18. *Соман К.П.* Геология и полезные ископаемые района Тривандрум (штат Керала, Индия). — В кн.: Подвижные пояса и месторождения. — М., изд-во Унив. дружбы народов, 1982, с. 135–147.
19. *Томсон И.Н., Шмакин Б.М.* Геологическая структура и рудные месторождения района Маунт-Айза. — В кн.: Проблемы геологии и полезных ископаемых на XXV сессии МГК. — М., Наука, 1979, с. 152–166.

20. *Ферсман А.Е.* Пегматиты. Т. 1. Гранитные пегматиты. Изд. 3-е. Избр. труды, т. 6. — М., изд-во АН СССР, 1960.
21. *Хиллс У.* Западная Австралия. — В кн.: Полезные ископаемые Австралии и Папуа-Новой Гвинеи, Т. 2. — М., Мир, 1980, с. 570—578.
22. *Шишова С.Ф.* Металлогенические эпохи докембрия в Австралии. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1978, № 2, с. 102—117.
23. *Шмакин Б.М.* Мусковитовые и редкометалльно-мусковитовые пегматиты (минералого-геохимическая и генетическая характеристика пегматитов Восточной Сибири и Индии). — Новосибирск, Наука, 1976.
24. *Шмакин Б.М.* Основные вопросы геохимии и генезиса гранитных пегматитов. — Геохимия, 1983, № 11, с. 1520—1528.
25. *Шмакин Б.М., Топунова Г.А.* Гранитные пегматиты США. — М., Наука, 1981.
26. *Australian Mineral industry.* Annual review for 1981. Canberra, 1984.
27. *Bhola K.L.* Atomic minerals of Rajasthan. — The natural resources of Rajasthan, v. 2, 1977, p. 789—822.
28. *Cassedanne J.* and J. Minerals of the Lavra do Enio pegmatite. — Mineral. Record, v. 12, N 2, 1981, p. 67—72.
29. *Cat Lake* : Winnipeg River and Wekusko Lake pegmatite fields, Manitoba/P. Černý, D. Trueman, D. Ziehlke, B. Goad and B. Paul. — Economic geology. Report ER 80—1, Manitoba Dept. Energy and Mines, 1981.
30. *Gocht W., Pluhar E.* Types of tin-bearing pegmatites in Phuket, Thailand, with special reference to tantalum-rich ores. — Mineralization associated with acid magmatism, 1982, vol. 6, p. 91—99.
31. *Hatcher M.I.* and Bolitho B.C. The Greenbusches pegmatite, SW Western Australia.— In: Granitic pegmatites in Science and industry. Mineral. Assoc. Canada Handbook, v. 8, Winnipeg, 1982, p. 513—525.
32. *Heinrich E.W.* Tin-Tantalum-Lithium pegmatites of the São João del Rei district, Minas Gerais, Brazil. — Economic Geology, v. 59, N 6, 1964, p. 982—1002.
33. *Jahns R.H.* Gem-bearing pegmatites in San Diego County, California. In Mesozoic crystalline rocks; Peninsular Ranges batholith and pegmatites. — Geol. Soc. Amer. Ann. Mtg., San Diego, 1979, p. 3—38.
34. *Jahns R.H.* and Burnham C.W. Experimental studies of pegmatite genesis. I. A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. — Economic Geology, v. 64, N 8, 1969, p. 843—864.
35. *Kesler T.L.* Occurrence, development and long-range out-look of lithium-pegmatite ore in the Carolinas. — Geol. Surv. of USA. Prof. Paper N 1005, 1976, p. 45—50.
36. *Knorring O.* Mineralogical notes from southern Africa. — Ann. Rept. Res. Inst. Afr. Geol. and Dep., Earth Sci. Univ., Leeds, N 20, 1976 (1977), p. 53—55.
37. *Kunasz I.A.* Foote Mineral Company—Kings Mountain operation. — In: granitic pegmatites in Science and industry. Mineral. Assoc. Canada Hand book, v. 8, Winnipeg, 1982, p. 505—512.
38. *Lasmanis R.* Lithium resources in the Yellowknife area, N.W.T. : Energy (Pergamon Press), v. 3, N 3, 1978, p. 399—407.
39. *Li Zhaolin.* Zhang Jinzhang, Wu Aizhi and Ouyang Zhonghui. The geological and geochemical characteristics of some pegmatites of rare metals in Fujian province. — Preprint, Dept. of Geology, Nanjing University, Nanjing, 1982.

40. *Locket N.H.* The geology of the country around Dett. Rhodesia Geol. Surv. Bull. N 85, 1979.
41. *Luan Shiwei.* Some geochemical characteristics of RE-bearing granitic pegmatite in the eastern Qinling Range. — *Geochemistry*, v. 3, N 4, 1984, p. 333–341.
42. *London D.* Preliminary experimental results in the system $\text{Li AlSiO}_4 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$. — *Yearbook Carnegie Inst.*, v. 80, Washington, 1981, p. 341–345.
43. *Mineral Commodity Summaries.* — U.S. Bur. Mines, Washington, 1985, 252 p.
44. *Moore P.B.* The natural phosphates: crystal chemistry. — In: *Internat. Mondial du Phosphate*, 2nd Congress, Boston, 1980, p. 105–130.
45. *Norton J.J.* Sequence of mineral assemblages in differentiated granitic pegmatites. — *Economic Geology*, v. 78, N 5, 1983, p. 854–874.
46. *Rupasinghe M.S., Dissanayake C.B.* Charnockites and the genesis of gem minerals. — *Chem. Geology*, v. 53, 1985, p. 1–16.
47. *Simmons W.B., Heinrich E.W.* Rare-earth pegmatites of the South Platte district, Colorado. — *Colo. Geol. Survey Res. Ser.*, v. 11, 1980, 131 p.
48. *Stewart D.B.* Petrogenesis of lithium-rich pegmatites. — *Amer. Mineralogist*, v. 64, N 9/10, 1978, p. 970–980.
49. *Varlamoff N.* Central and West African rare-metal granitic pegmatites, related aplites, quartz veins and mineral deposits. — *Mineral Deposita*, v. 7, N 2, 1972, p. 202–216.
50. *Wiles J.W.* The geology of the Miami mica field (Urungwe district). — *South. Rhodesia Geol. Surv. Bull.* N 51, Salisbury, 1961, p. 235.

- Абитиби, пров. 43, 45
 Абитиби-Тимискаминг, пояс 46
 Ал-Хайят, рудник 62, 63, 65—70
 Амбатомаларано, поле 41
 Амбатотфоти, поле 41
 Амбатунепетрика 1, жила 179, 181
 Амелия, район 167, 169
 Ангарфа, м-ние, жила 29
 Анжанабонаина, поле 41
 Анколе, поле 34
 Антанетинилана, жила 178, 181
 Антофимбато IV, жила 179
 Аранта, пров. 9, 13
 Бадахшанский, пояс 25, 100
 Бандарчуа, жила 146, 147, 148, 149
 Банекоп, м-ние 127, 147
 Бари-Шикар-Бари, м-ние 121
 Барунхурайско-Аджибодгинская, зона 27
 Бастарский узел, район 23, 87, 89
 Бевахандрано, поле 41
 Беккет, м-ние 162
 Бекобар, жила 128, 129
 Белингап, поле 10
 Бендро, жила 146, 147, 148, 149
 Берере, поле 41, 42, 176
 Берилс-Куин, м-ние 138, 140
 Бест-Бет, заявка 114
 Бетафо, м-ние 42
 Берч-Портидж, м-ние 44, 45
 Бивидэйм-Крик, уч-к 93, 95
 Биг-Берил 138, 140, 141
 Бисундни, м-ние 121, 127, 131, 132
 Бихарская, пров. 17, 19, 19, 20, 22, 127, 128, 130, 133, 134, 135, 145, 147, 149, 150, 151, 153, 157
 Блейсдел-Лейк, м-ние 44, 114
 Блэк-Хиллс, пров. 43, 44, 71
 Боа-Виста, м-ние 51, 118, 119
 Бонанца, м-ние 142
 Бонакорд, поле 21, 196, 197
 Борборемская, пров. 53, 117, 122, 144
 Бугуни, район 31
 Булганский, пояс 27
 Булема, м-ние 122
 Булкумата-Бимбури, поле 16
 Брокен-Хилл, пров. 16
 Бхимпура, жила 151
 Бхунас, м-ние 120, 121
 Бэрхинское, поле 29
 Вайсмэн, жила 166, 171, 172
 Ван-дер-Мед, жила 74
 Вила-Пери, округ 39
 Виннипег-Нипигон, пров. 43, 45
 Вольта-Гранди, м-ние 55, 91, 92
 Ворондоло, м-ние 42
 Восточная, пров. (Южная Америка) 53, 54, 143, 180
 Восточно-Гатское, поле 17, 23
 Восточно-Монгольский, пояс 28
 Гала-Крик, поле 15
 Гексагон 138, 140, 141
 Гиндукушский, пояс 23, 25, 100, 184
 Глэйдсвилл, поле 171, 172
 Говернадор-Валадарис, район 182
 Говиндрал, жила 88, 89, 90
 Гранд-Пэрэйд, м-ние 160, 161
 Графтон, район, поле 164, 165
 Гринбушес, поле 10, 79
 Гуджарвара, м-ние 130, 131
 Дамараленд, поле 73, 74
 Дарай-Пич, м-ние 102, 185, 188, 189
 Дарай-Пичское, поле 185
 Девра, м-ние 121
 Деория, м-ние 119, 120, 121
 Джагат, поле 24
 Джайнарайана, жила 156
 Джаманак, м-ние 99, 101, 102, 185
 Джорджжакрик, поле 52
 Джорджтаун, пров. 15
 Доранда, жила 129, 130
 Друмгал, м-ние 99, 101, 102, 103, 185
 Дхаули, м-ние 151, 153

*В указателе упомянуты названия только тех объектов, для которых в тексте даны какие-либо сведения о геологии, минералогии или химическом составе. Названия, вошедшие в оглавление, не повторяются.

- Западная, пров. (США) 49
 Зимбабве-Мозамбикская, пров. 29, 30, 38
 Икерре, поле 32
 Йеллоунайф, пров. 43, 44, 113
 Йеллоунайф-Болье, поле 111, 113
 Йилгарн, пров. 8, 9, 10
 Йиннитарра, пояс 10
 Каабонг, поле 35
 Калатан, м-ние 189
 Камативи, пояс 39, 82
 Кантыва, м-ние 185, 188
 Каракорумский пояс 23
 Карибб — Омаруру, район 36, 73
 Качирас, серия жил 88, 89, 90
 Кашмирское поле 23
 Кигези, поле 34
 Кимберли-Дарвин, пров. 14
 Кин, район 164
 Кингс-Маунтин, уч-к 93, 94, 95
 Китотоло, м-ние 86
 Кобо-Кобо, м-ние 34, 123, 124
 Кодватиа, м-ние 147, 149
 Кордова, пров. 56, 57
 Крузейро-I, жила 55, 159
 Крузейро-II, жила 55, 159
 Куйеше-Консельеру-Пена, м-ние 182
 Кулам, м-ние 184, 185, 186, 187, 189
 Кулгарди, поле 9, 10
 Кэтлин-Крик, м-ние 9
Ла-Белья, поле 51, 55
 Лавра-до-Энио, м-ние 144
 Лакола, м-ние 119, 120, 121
 Лас-Тапиас, м-ние 56
 Ласт-Хоуп, жила 162
 Линкольнтаун, уч-к 93, 95
 Лонг-Крик, уч-к 93, 95
 Лондондерри, м-ние 9, 10, 208
 Лохагал, м-ние 121
 Лугулу, м-ние 33, 34
 Пурио, зона 39
Мабубаш, поле 36
 Мадагаскарская, пров. 29, 40
 Маджиян, м-ние 37
 Майка-Вью, жила 135
 Майка-Крик, поле 15, 138, 139, 140, 141
 Майсурская пров. 17, 18, 127, 133, 134
 Малакиалина, м-ние 175
 Малакиалина, поле 41, 42
 Маноно, м-ние 84, 85, 204, 213
 Маноно-Китотоло, пояс 33
 Марокканско-Малийская, пров. 29—31
 Марропино, жила 40, 108, 109
 Масгрейв, пров. 13
 Маунт-Айза, пров. 15
 Маунт-Докрелл, м-ние 14
 Маунт-Мэрион, м-ние 9, 10
 Меса-Гранде, район 194, 195
 Минакши-Сундарам, жила 156
 Монея, жила 106
 Морехид-Ривер, м-ние 16
 Морруа, жила 40, 107, 108, 110
 Морфилд, м-ние 168, 169
 Муано, жила 40, 104, 110
 Мундагуда, серия жил, район 23, 89
 Муниамола, жила 106, 107, 110
 Мус, м-ние 113
 Муюне, жила 40, 104, 105, 106, 110
Навагаон, м-ние 121
 Назарену, м-ние 51, 55
 Намакваленд—Гордония, пояс 35, 36
 Намваленд, поле 36, 124
 Нейпир-Даунс, уч-к 14
 Неллурская пров. 17, 18, 19, 127, 132, 133, 134, 145, 153, 155, 156, 157
 Нигерийско-Сахарская, пров. 29, 30, 31, 32
 Новой Англии, пров. (США) 47, 164, 165
 Нортгемптон, поле 11
 Нуристанский, пояс 23, 25, 100
Оксфорд, м-ние 141
 Орисская, пров. 17, 18
 Ору-Прету, м-ние 182
 Оул Клэймс, м-ние 136
Пайкс-Пик, район 193
 Пала, округ, район 49, 193, 194
 Палермо 1, жила 142
 Панчмане, поле 24
 Парунское, поле 98, 99, 185
 Пашки, м-ние 99, 102
 Педро-Эспирито, жила 55, 159
 Пилбара, пров. 9, 11, 125
 Пилгангура, м-ние 11, 12
 Пичхли, м-ние 128, 147
 Плато Пидмонт—Блу-Ридж, пров. 47
 Пленти-Ривер, поле 13
 Прейсак-Лакорн, пояс 46
 Прелюд-Лейк, м-ние 44, 114
 Пэрл, жила 137
Раггс, жила 165

- Раджастханская, пров. 17, 18, 22, 120, 121, 122, 127, 130, 133, 134, 145, 151, 152, 153, 157
 Раймонд, м-ние 117
 Райт-Крик, м-ние 49
 Риверфорд, м-ние 115, 116, 168, 194
 Риджуэй—Сэнди-Ридж, район 169
 Рита, м-ние 137
 Росс-Лейк, м-ние 44
 Росс-Редгут, м-ние 114
 Руби, поле 143
 Салинас, м-ние 51, 182
 Самирези, жила 42, 180, 181
 Сангва, м-ние 119, 120
 Сан-Луис, пров. 56, 57
 Сан-Хуан, пров. 56
 Саут-Проспект, жила 161
 Сахатани, поле 176, 177, 179, 180, 181
 Северное Лугулу, район 86
 Серидозинью, м-ние 54
 Ситарамма, жила 155, 156
 Скалистых гор, пров. 49
 Соарано, поле 41
 Сониана, м-ние 119, 120
 Соруби, м-ние 24
 Сперговиль, м-ние 9, 10
 Спрус-Пайн, м-ние 48
 Спрус-Пайн, район 165, 166, 167, 171, 172
 Стрелли, м-ние 11, 12, 125
 Стриклэнд, м-ние 116, 117
 Стюарт, рудник 193, 194
 Сурхруд, м-ние 189
 Табба-Табба, м-ние 11, 12, 125, 126
 Тагавлер, м-ние 189
 Тагавлерское, поле 100
 Тамануар, поле 52
 Танкиньос, рудник 54, 118, 119
 Теофилу-Отони, м-ние 183
 Тете, пров. 39
 Тин-Маунтин, жила 71—73, 75
 Томастон-Барнесвилл, район 170
 Тонгпал, жила 88, 89, 90
 Трайдент, рудник 17
 Тсарафара, жила 177, 178, 181
 Тсилаизина, поле 41
 Уоджина, поле 11, 125
 Унчкульское, поле 29
 Уэст-Арм, поле 14
 Факува, м-ние 25, 190
 Факува, поле 191, 192, 193
 Финнис-Ривер, м-ние 14
 Флин-Флон, пров. 43, 44
 Франклин-Силва, район 165, 167
 Фуцзянь, пров. 26
 Хардинг, жила 111, 112, 210
 Хартс-Рейндж, поле 13
 Хартуэлл, район 170
 Хендрен, м-ние 162
 Хималайя, жила 194, 195
 Хух-Дель-Ула, поле 29
 Хьякуле, м-ние 25, 190, 191, 192, 193
 Хэнтэйский, пояс 28, 197, 198
 Цамгал, м-ние 99, 101, 185
 Центральнo-Африканская, пров. 29, 30, 33, 35, 38
 Центральнo-Мадагаскарский, узел 41
 Чанкур-Джайляу, поле 27
 Чаткари-Караруа, жила 128, 129
 Честнат Флэтс, жила 171, 172
 Читанлар, жила 88, 89, 90
 Чонка, м-ние 87, 204
 Шамакат, м-ние 185
 Шамакат, поле 98, 100, 101, 185
 Шелби-Хикори, район 170
 Звон, м-ние 143
 Эгебек, поле 16
 Энтерпрайз, м-ние 14
 Зуриови, поле 16, 17
 Эфиопско-Сомалийская, пров. 29, 30, 37
 Юго-Западная (Африка), пров. 29, 30, 35
 Южноиндийско-Шриланкская пров. 17, 18, 21, 195
 Янакирама, жила 154, 155
 Яригул, м-ние 99, 101, 185

Предисловие	7
Введение	8
Глава 1. Геологическая характеристика пегматитовых провинций, поясов и полей	7
Пегматитовые провинции Австралии	7
Западно-Австралийский щит	8
Центрально-Австралийский щит	13
Север Австралийской платформы	14
Срединный массив Брокен-Хилл	16
Пегматитовые провинции Азии	17
Индийская платформа	17
Гималайский складчатый пояс	23
Китайская платформа	25
Монголо-Алтайский пояс	26
Северо-Монгольская провинция	28
Пегматитовые провинции Африки	29
Северная и Западная Африка	29
Центральная и Юго-Западная Африка	33
Восточная Африка	37
Пегматитовые провинции Северной Америки	42
Центральный регион	43
Орогенная область Аппалач	46
Орогенная область Кордильер	48
Пегматитовые провинции Южной Америки	50
Гианский щит	50
Бразильский щит	53
Пампинский массив	56
Глава 2. Комплексные (бериллий-литий-цезий-танталовые) редкометалльные пегматиты	57
Месторождение Берник-Лейк в Канаде	57
Месторождение Бикита в Зимбабве	62
Пегматиты США, Намибии и КНР	70
Глава 3. Тантал-олово-литиевые пегматиты	77
Месторождение Гринбушес в Австралии	79
Месторождение Камативи в Зимбабве	81
Месторождения Центральной Африки	84
Пегматиты Восточно-Гатского поля в Индии	87
Пегматиты района Сан-Жуан-дел-Рей в Бразилии	89
Глава 4. Бериллий тантал-литиевые пегматиты	92
Пегматитовый пояс Каролин в США	92
Литиевые пегматиты Афганистана	97
Месторождения района Алту-Лигонья в Мозамбике	103
Месторождения США и Канады	111
Глава 5. Тантал-бериллиевые пегматиты	114
Месторождения Аппалач в США	115
Месторождения плато Борборема в Бразилии	117
Месторождения Раджастханской провинции в Индии	119
Месторождения Африки и Австралии	122

Глава 6. Редкометалльно-мусковитовые пегматиты	126
Месторождения Индии	127
Месторождения пояса Урунгве в Зимбабве	135
Месторождения провинции Маунт-Айза в Австралии	138
Месторождения США, Канады и Бразилии	141
Глава 7. Мусковитовые пегматиты	144
Месторождения Индии	145
Месторождения Восточной пегматитовой провинции Бразилии	157
Пегматиты пояса Урунгве в Зимбабве	160
Месторождения США	163
Глава 8. Миароловые пегматиты	173
Месторождения Мадагаскара	175
Месторождения Бразилии	180
Пегматиты Афганистана	184
Пегматиты Непала	189
Месторождения США, Индии и МНР	193
Глава 9. Генезис и методы поисков пегматитов	198
Условия пегматитообразования и степень метаморфизма вмещающих пород	200
Геохимические индикаторы	204
Экспериментальные данные	207
Гетерогенез и конвергенция	210
Современные методы поисковых и оценочных работ	213
Заключение	215
Список литературы	217
Указатель	220

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Борис Матвеевич Шмакин

ПЕГМАТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Редактор издательства *Т.П. Мыскина*
 Переплет художника *К.В. Голикова*
 Художественный редактор *Г.Н. Юрчевская*
 Технический редактор *Л.Д. Агапонова*
 Корректор *Т.М. Столярова*
 Оператор *О.М. Карбанова*
 ИБ 6792

Подписано в печать 10.12.86.
 Бумага офсетная № .
 Гарнитура „Универс“.
 Усл.кр.-отт. 14,0.
 Заказ 6086/1019—2.

Т—23384.
 Набор выполнен на наборно-лithующей машине.
 Печать офсетная. Усл.печ.л. 14,0.
 Уч.-изд.л. 15,50. Тираж 1540 экз.
 Цена 2 р. 80 к.

Ордена „Знак Почета“ издательство „Недра“
 125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО „Первая Образцовая типография имени А.А. Жданова“ Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
 113054, Москва, Валовая, 28.

2080

4780

HADA