

АКЦЕССОРНЫЕ
МИНЕРАЛЫ
ИЗВЕРЖЕННЫХ
ПОРОД



И. Герасимов

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ

АКЦЕССОРНЫЕ
МИНЕРАЛЫ
ИЗВЕРЖЕННЫХ
ПОРОД



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1968

Акцессорные минералы изверженных пород. Изучение акцессорных минералов позволяет выделять серии пород, проводить возрастную их корреляцию, выделять фации глубинности, решать вопросы генетической связи месторождений полезных ископаемых. В сборнике рассматриваются методы отбора и обработки проб, приборы и методы выделения акцессорных минералов, а также дается характеристика акцессорных минералов изверженных пород различных районов Советского Союза.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

доктор геолого-минералогических наук (ответственный редактор) И. Е. СМОРЧКОВ,
доктор геолого-минералогических наук В. С. КОПТЕВ-ДВОРНИКОВ,
доктор геолого-минералогических наук Е. А. КУЗНЕЦОВ,
доктор геолого-минералогических наук [А. П. ЛЕБЕДЕВ],
доктор геолого-минералогических наук С. Д. ТУРОВСКИЙ,
доктор геолого-минералогических наук В. В. ЛЯХОВИЧ,
кандидат геолого-минералогических наук С. В. ЕФРЕМОВА

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последнее десятилетие в практике геологических работ для решения вопросов петрологии и металлогении широко применяется шлиховой анализ. Но до сих пор, однако, еще не существует унифицированных методик отбора и последующей обработки шлиховых проб, а также способов математической обработки получаемых результатов.

Созыв совещания исследователей, занимающихся изучением акцессорных минералов, был крайне своевременен и необходим. Первое Всесоюзное совещание по акцессорным минералам, организованное по инициативе петрографической секции Московского общества испытателей природы и геологического факультета МГУ, привлекло большое внимание советской геологической общественности. В нем приняло участие свыше 200 представителей геологических организаций и вузов Москвы, Ленинграда, Украины, Сибири, Средней Азии и Кавказа.

Основной целью совещания было выяснение состояния работ по изученности акцессорных минералов в горных породах СССР, обмен опытом и обсуждение научных результатов, полученных широким кругом минералогов и петрографов, занимающихся изучением этих минералов и акцессорных элементов в горных породах.

На совещании было заслушано и обсуждено 60 докладов, посвященных: 1) методике отбора и обработки проб, приборам и методам сепарации акцессорных минералов; 2) акцессорным минералам отдельных регионов СССР и значению акцессорных минералов для решения практических и теоретических задач. В прениях выступили 28 человек.

Совещание показало, что до настоящего времени работы по изучению акцессорных минералов направлены главным образом на исследование отдельных интрузивных тел гранитоидов, отдельных интрузивных комплексов или разнообразных изверженных пород отдельных районов.

Исследователи, ведущие подобные работы, стараются выявить общий состав акцессорных минералов в изучаемых объектах, установить в них основные закономерности в распределении отдельных минеральных видов. К сожалению, еще очень мало сводных работ по крупным регионам, и недостаточно внимания уделяется достоверной количественной оценке развития минералов, их генезису и химическому составу. Некоторые исследователи к числу акцессорных минералов относят явно посторонние и чуждые породам минералы, возникшие значительно позднее формирования интрузивных тел в результате воздействия послемагматических рудоносных растворов. Тем не менее в каждой из уже опубликованных и публикуемых в настоящем сборнике статей имеются указания на большие возможности метода изучения акцессорных минералов для решения ряда теоретических и практических вопросов геологии.

Существующая направленность исследований по акцессорным минералам вполне естественна и оправдана. В результате подобных исследований вначале должен быть накоплен большой статистический материал, который даст возможность приступить в конце концов к обобщениям. Но даже эти статистически-описательные данные имеют очень большое значение. Они позволяют, естественно при определенном количестве, приступить к составлению минералогических региональных карт, на возможность чего в свое время указывал А. Е. Ферсман.

Проведенные к настоящему времени исследования показывают, что главными объектами изучения на акцессорные минералы в основном служат горные породы гранитоидных формаций. Очень слабо затронуты исследованиями основные породы, эффузивы и дайковые образования. Наи-

более изучены изверженные породы отдельных структурно-фациальных зон Тянь-Шаня и Кавказа, менее изучены породы Казахстана, Украины, Кольского полуострова, Урала и слабо изучены восточные районы СССР. Работы по изучению акцессорных минералов и элементов в горных породах, а также использование результатов этих работ во многих случаях еще недооцениваются, недостаточно планируются и не обеспечиваются условиями для их выполнения. Наиболее эффективные результаты по акцессорным минералам получены при комплексных геологических, петрографических и геохимических исследованиях.

Более индивидуализированы породы гранитоидной формации в отношении редких минералов, таких как долоренцит, ксенотим, малакон, ферроторит, ураноторит, торинанит, берилл, поликраз-эксенит, самарскит, браверит, карбонаты и фторкарбонаты редких земель и многие другие. Эти компоненты встречаются далеко не всегда, приурочены к определенным породам определенного возраста и района развития. Именно они могут служить хорошим корреляционным критерием.

Установлено также, что в процессе формирования интрузивных комплексов отдельные виды акцессорных минералов распределяются совершенно закономерно. Одна их часть концентрируется в ранних продуктах, другая — в поздних. Эти закономерности позволяют использовать акцессорные минералы в целях реконструкции комагматичных серий изверженных пород.

Многие авторы достаточно обоснованно утверждают, что в рудоносных интрузивах наблюдаются повышенные содержания акцессорных минералов тех элементов, которые в рудопроявлениях являются ведущими рудными компонентами.

Фактический материал, полученный в результате работ по изучению акцессорных минералов и изложенный в уже опубликованных и помещенных в сборнике статьях, а также сделанные по нему теоретические и практические выводы свидетельствуют о больших возможностях метода изучения акцессорных минералов (особенно если он одновременно сопровождается изучением акцессорных химических элементов) для решения многих теоретических и практических задач. Прежде всего следует отметить возможность использования акцессорных минералов для возрастных корреляций изверженных образований и выделения комагматичных серий пород, что, в частности, очень важно для геологосъемочных работ.

Достаточно перспективно для решения ряда теоретических и практических вопросов изучение морфологии, физических, оптических и химических свойств и особенностей отдельных минеральных видов из числа акцессорных минералов, особенно из группы «сквозных» минералов.

Следует учитывать также и то, что эти данные уже сами по себе представляют большой практический и теоретический интерес. Они вносят существенный вклад в минералогию и геохимию вообще, выявляют новые особенности поведения ряда химических элементов в магматическом процессе.

В решении совещания была подчеркнута необходимость начать разработку стандартных схем для сборов и обработки фактических материалов при различных геологических и геологопоисковых исследованиях. Разработка таких схем неизбежно влечет за собой необходимость создания лабораторного оборудования и специализированных ячеек в научно-исследовательских организациях и в учреждениях Министерства геологии СССР.

Методические статьи в сборнике даны без особых сокращений, тогда как статьи по акцессорным минералам в отдельных типах пород, особенно в гранитоидах, значительно сокращены, не приводится также список литературы. Несмотря на это, возможности метода для решения многих вопросов теории и практики с точки зрения редакционной коллегии показаны достаточно полно.

МЕТОДЫ ОТБОРА И ОБРАБОТКИ ПРОБ

В. В. ЛЯХОВИЧ, С. Д. ТУРОВСКИЙ

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД

С каждым годом работы по изучению акцессорных минералов все более расширяются. Это свидетельствует о широком признании метода и его эффективности при решении теоретических и практических вопросов геологии. К сожалению, проводимые исследования все еще не совершенны и страдают рядом недостатков. Это связано прежде всего с отсутствием унифицированных методик отбора проб и их дальнейшей обработки и с отсутствием аппаратуры, облегчающей и стандартизирующей наиболее сложные и трудоемкие операции при обработке проб. Последнее приводит к получению отдельными исследователями трудно сопоставимых результатов.

Поэтому необходима быстрее разработка единых рациональных методик, достаточно простых, чтобы быть доступными широкому кругу геологов, и всесторонне продуманных, чтобы получать максимально точные и сопоставимые величины, характеризующие содержание или распределение того или иного акцессорного минерала в изверженной породе. Создание таких методик — актуальнейшая задача не одного исследователя и даже не одной организации, а всех занимающихся изучением этих интереснейших компонентов пород. Для всестороннего изучения акцессорных минералов нельзя ограничиваться обычными и даже большими петрографическими шлифами, полировками и приполированными штуфами.

Наиболее надежным методом изучения акцессорных минералов пока остается метод протолок. Именно он дает основной материал для решения поставленных перед исследователями задач: определение видового состава, количественного содержания, морфологических и физических свойств минералов, получение материала для аналитических работ и т. п.

Метод протолок предусматривает следующие операции, осуществляемые в такой последовательности: 1) составление пробы в поле, 2) дробление проб, 3) промывка проб, 4) магнитная сепарация шлиха, 5) деление шлиха в тяжелых жидкостях, 6) электромагнитная сепарация, 7) минералогическое изучение полученных фракций и 8) количественный подсчет отдельных минералов.

Само собой разумеется, что методика взятия проб, их дробления и последующая обработка будут несколько различаться в деталях в зависимости от того, что изучается: крупный гранитоидный массив, порфиритовая дайка или эффузивная свита.

Для понимания сущности выделяемых операций и их правильного

осуществления большое значение, на наш взгляд, имеют следующие положения, в доказанности которых сомневаться сейчас не приходится: 1) акцессорные минералы в количественном и видовом отношении распределяются в любой породе неравномерно; 2) акцессорные минералы, являясь главным образом наиболее поздними продуктами кристаллизации магматического расплава, в основной своей массе располагаются в межзерновых швах, по спайности, по трещинам в порообразующих компонентах и в интерстициальных полостях между ними.

Кроме того, следует подчеркнуть, что при разработке унифицированных методик необходимо предусматривать возможность обработки проб в полевых условиях, а не только в стационарных лабораториях.

Составление проб в поле является начальным этапом исследований. Для взятия пробы необходимо выбрать место отбора, которое должно удовлетворять следующим требованиям: иметь оптимальных размеров площадь, быть сложенной свежей невыветрелой породой, не нести следов постмагматических изменений и не содержать прожилков и других форм постмагматических образований¹.

При работе на концентрационных столах промывку гранитоидных пород следует повторять по крайней мере двукратно. Это обеспечивает необходимую полноту извлечения акцессорных минералов.

В любых случаях промывку следует доводить только до серого шлиха. Это обеспечивает наиболее полное извлечение акцессорных минералов, особенно легких и пластинчатых. Серый шлик подвергается магнитной сепарации и дальнейшим операциям: делению в тяжелых жидкостях и электромагнитной сепарации. Остановившись подробно на этих всем известных операциях мы не будем. Отметим лишь отдельные моменты, нуждающиеся в стандартизации.

Делить тяжелыми жидкостями нужно обязательно весь «шлих», а не отдельные отквартованные части. Этому делению предшествует магнитная сепарация. При электромагнитной сепарации надо стремиться выделить отдельные фракции, концентрирующие преимущественно один или два акцессорных минерала. К сожалению, подобная «мономинеральная» сепарация достижима не на всех электромагнитах, и поэтому при повседневной работе рекомендуется выделять четыре фракции: неэлектромагнитную, слабо-, средне- и сильноэлектромагнитные.

Минералогическое изучение. При изучении минералов под биноклем особое внимание обращается на морфологию кристаллов, их размеры, сохранность, цвет, прозрачность, зональность, трещиноватость, характер и степень изменения, наличие включений и т. п.

После диагностики всех минералов определяется их содержание в изучаемых фракциях. Наиболее распространен непосредственный подсчет при помощи иглы под биноклярной лупой. В этом случае фракция квартуется прямо на стекле, из отквартованной части вытягивается «дорожка», в которой и подсчитываются зерна. Экспериментально доказано (В. В. Ляхович и др.), что для получения вполне удовлетворительных результатов достаточен подсчет 500 зерен. Подсчет большего числа зерен не рационален, так как при значительной затрате времени не приводит к существенному уточнению результатов.

Опыт показывает, что размер площадки 25—50 м² вполне удовлетворяет требованиям взятия пробы, нейтрализует фактор неравномерности распределения минералов и дает возможность собрать представительную пробу.

На выбранной площадке проба составляется из небольших кусков размером со спичечную коробку. В тех случаях, когда необходимо составить

¹ В случае опробования неизменной породы.

представление о неравномерности распределения акцессорных минералов в породе, следует брать всю пробу из одного места, а не составлять ее из кусков, собранных на площади в несколько десятков квадратных метров. Их отбор необходимо вести систематически, лучше всего по сетке. На больших площадках куски отбираются реже (через больший интервал), на мелких — чаще (через меньший интервал). Перед отбором кусков место отбора необходимо очистить от выветрелой корки, материал для пробы отбирается только из свежей породы и должен быть лишен включений и прожилков.

Вес пробы определяет количество извлекаемых акцессорных минералов, а от этого зависит качество проводимых исследований. Естественно, что чем больше материала (тяжелой фракции), тем полнее и всесторонней будут результаты изучения, тем легче и надежнее проводить количественный подсчет содержания отдельных минералов. От веса пробы зависит и полнота видового состава акцессорных минералов. Чем больше вес, тем больше минералов можно обнаружить. Однако увеличение количества этого материала надо доводить до определенных границ.

Опытные работы показали, что оптимальным весом пробы для выявления наиболее полного качественного состава и достаточно уверенного определения содержания акцессорных минералов является 10 кг. Резко уменьшенный вес ведет к тому, что получаемые результаты не будут представительными. Большой вес, не увеличивая возможности метода, осложняет процесс обработки проб и изучения тяжелых фракций. Из 10 кг первичного материала выделяется такое количество аксессуаров, которое не только отражает видовой состав и количественное содержание их в месте взятия пробы, но и позволяет проводить их диагностику с применением микрохимических реакций, а наиболее распространенные минералы (циркон, апатит, сфен и др.) могут быть отобраны в количествах, достаточных для спектрального или рентгеноспектрального анализа.

Для специальных исследований (извлечение мало распространенного минерала в значительном количестве, получение большого количества минералов для кристаллографических и аналитических исследований) вес проб иногда приходится увеличивать до 500—1000 кг.

После сбора куски породы, объединяемые в одну пробу, перед дроблением должны быть тщательно промыты. Особенно это важно для проб, взятых в подземных выработках. Затем образцы просматриваются и описываются под биноклем, из них отбираются кусочки для изготовления шлифов и полировок.

Дробление проб. Основной целью этой операции является обеспечение максимального выхода акцессорных минералов. При этом необходимо свести к минимуму как количество сростков породообразующих минералов с аксессуарами, так и переизмельчение последних. Поэтому описываемая операция весьма ответственна. От нее зависят процент выхода акцессорных минералов и их сохранность. Слишком крупное дробление ведет к большим потерям аксессуаров, остающимся неизвлеченными из породообразующих минералов, но зато к хорошей сохранности их кристаллов. Слишком мелкое дробление нарушает целостность кристаллов, которые сильно переизмельчаются. Не ведет оно и к повышению выхода аксессуаров, хотя на первый взгляд их как будто освобождается больше. Это связано с тем, что переизмельченный материал, в том числе и аксессуары, легко удаляются при отмучивании и промывке. Таким образом, и крупное, и очень мелкое дробление ведет к большим потерям акцессорных минералов.

Большое влияние на выбор крупности дробления оказывают текстурно-структурные особенности изучаемых пород и их зернистость. Чем крупнозернистей порода, тем более крупный помол можно допускать. На основании экспериментальных данных для гранитоидов, являющихся доста-

точно крупнозернистыми породами, мы рекомендуем крупность дробления — 0,5 мм.

Крупность дробления мелкозернистых пород, естественно, уменьшается. Дайковые порфириты рекомендуется дробить до — 0,25 мм. При значительном выходе более мелкозернистой фракции эта крупность удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Говоря о работе с дробильными агрегатами (щечковая и валковая дробилки), отметим следующее. Чтобы избежать загрязнения, вначале необходимо раздробить 1—2 кг материала из каждой обрабатываемой пробы, которые затем выбрасываются. После этого можно пропускать основную пробу. Весьма желательно для каждого петрографического типа пород установить собственные дробильные агрегаты.

Несколько слов о методике дробления. Куски, слагающие пробу, вначале пропускают через щечковую дробилку. Раздробленный материал просеивается через сито выбранного диаметра (— 0,5 мм). Акцессорные минералы, основная масса которых освобождается именно в этот начальный период дезинтеграции, при этом не переизмельчаются.

Остаток пробы после просеивания пропускается через валки до полного измельчения до нужного размера. В этом случае мы рекомендуем начинать с большего интервала между валками, чем предусмотрено конечным размером дробления. Постепенно интервал сокращается до нужного. Это уменьшает выход пылевой фракции и сохраняет целостность кристаллов акцессориев.

Следует иметь в виду, что в некоторых случаях при ручном дроблении, хотя и более трудоемком, выход пылевой фракции меньше (~ 40%), чем при более быстром механическом (~ 60%). Однако при хорошей организации работы при механическом дроблении выход пылевой фракции не превышает 20%.

Промывка проб. Из раздробленной пробы методом квартования отбирается 0,5—1 кг дубликата. Он необходим для различных последующих исследований породы: силикатного, радиохимического, спектрального и ряда других анализов.

После этого раздробленная масса обязательно взвешивается и поступает для отмывки тяжелой фракции — шлиха. Эта операция также одна из наиболее ответственных. Она определяет процент выхода акцессорных минералов из раздробленной массы и зависит, с одной стороны, от тщательности, аккуратности и многократности самой промывки, а с другой — от минералогического состава породы. Промывка лейкократовых пород, состоящих в основном из кварца и полевых шпатов, происходит легче, более качественно и с наиболее полным извлечением акцессориев. Меланократовые породы, обогащенные цветными, промываются труднее и с большим смывом акцессорных минералов в хвосты. Поэтому если высокое извлечение акцессорных минералов из лейкократовых пород достигается после двух- или трехкратной промывки, то меланократовые породы приходится промывать 4—5 раз. На полноту извлечения акцессориев оказывает влияние и содержание пылевой фракции. Чем ее больше, тем больше потеря акцессориев. Это особенно сказывается при промывке в лотке или ковше. Следует также отметить, что чем больше удельный вес минерала и чем изометричней его форма, тем полнее его извлечение. Более легкие, а также пластинчатые минералы извлекаются хуже.

В настоящее время промывка ведется двумя способами: на концентрационном столе (в стационарных лабораторных условиях) и лотком или ковшом (в полевых условиях). Извлечение акцессорных минералов вторым способом — операция очень трудоемкая.

Методы подсчета акцессорных минералов. Визуальный метод прост и быстр. Он заключается в том, что при изучении фракций визуально с последующей поправкой на удельный вес определяется

содержание того или иного минерала. Оно выражается в весовых процентах к весу фракции. После этого полученные по фракциям веса отдельных минералов суммируются и пересчитываются на вес породы.

Опыт исследований Н. Н. Батыревой и С. Д. Туровского позволяет говорить, что визуальная оценка вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к исследованиям акцессорных минералов. Правда, при этом способе большую роль играет опыт исследователя. Поэтому подобные подсчеты могут вестись только опытными исследователями, систематически контролирующими свои визуальные оценки точными методами подсчета.

Следует также добавить, что визуальный метод особенно применим при работе с большим количеством проб при массовом опробовании.

Для разрабатываемых унифицированных методов изучения акцессорных минералов обычный способ подсчета зерен и визуальный малоприменимы. Необходим какой-то другой, отличающийся достаточной и постоянной точностью, быстротой осуществления и экономической выгодностью способ. Таким способом мы считаем получение мономинеральных фракций. Этим обеспечивается не только надежная оценка содержания, но и облегчается получение мономинерального материала для аналитических целей. Поэтому первоочередной задачей всех занимающихся изучением акцессориев и является разработка совершенных, высокоэффективных, быстрых и дешевых методов, а задачей конструкторских бюро — создание аппаратуры для получения мономинеральных фракций.

Как уже указывалось, полученные подсчеты содержаний отдельных минералов во фракциях обязательно пересчитываются на вес пробы. Совершенно недопустимо ограничиваться определением содержаний только во фракциях или шлихе. Могут сопоставляться только содержания минерала в породе.

Необходимо иметь в виду, что при любых способах подсчета получающиеся цифровые значения по содержанию акцессориев в породе обычно значительно занижены по сравнению с их истинным содержанием. Занижение вызвано потерями, сопровождающими извлечение акцессорных минералов из породы. В связи с этим следует шире проводить исследования по установлению поправочных коэффициентов.

Количество проб и методика опробования зависят от тех задач, которые ставятся перед предпринимаемыми исследованиями. В несколько схематизированном виде их можно объединить в следующие три группы.

1. Исследования регионального характера: а) выявление состава акцессорных минералов в изверженных горных породах различных тектономагматических этапов (в разновозрастных интрузивных комплексах) с целью сравнения и корреляции; б) выявление состава акцессорных минералов в породах последовательных фаз одного интрузивного комплекса; в) изучение региональной минералогии и др.

2. Исследования локального характера: а) минералогическая съемка отдельных объектов (С. Д. Туровский и др.); б) изучение распределения акцессорных минералов в конкретных интрузивных телах; в) изучение состава акцессориев в продуктах последовательных стадий процесса становления интрузии; г) изучение распределения рудных минералов в зонах околорудного метаморфизма; д) изучение распределения акцессориев в ореолах экзоконтактного метаморфизма; е) изучение акцессорных минералов в пределах первичных ореолов рассеяния; ж) изучение акцессориев в дайковых образованиях и т. п.

3. Специализированные исследования: а) выявление характера распределения акцессорных компонентов в породообразующих минералах; б) выявление минералов так называемого наложенного комплекса; в) работы по всестороннему изучению отдельных минеральных видов и т. п.

Основной целью исследований первой группы является получение

общих сведений о составе и содержании акцессорных минералов в отдельных массивах, слагающих тот или иной интрузивный комплекс, о минералогическом составе пород того или иного района. Для этого достаточно иметь несколько проб из каждого интрузивного тела. При этом пробы должны быть размещены по массиву равномерно и характеризовать всю площадь основной фациальной разновидности пород, отражающей петрографический тип интрузивного тела. Опыт наших исследований показывает, что количество необходимых проб в этих случаях зависит от размеров интрузива и колеблется от 5 до 20 штук. Такое количество сводит до минимума фактор случайности и дает результаты, вполне представительные для всего массива. Более количество проб усложняет и удорожает работы.

Исследования второй группы более детальные. Основной целью их является выявление характера распределения акцессорных минералов в конкретных объектах. Практически все эти работы сводятся к своеобразной минералогической съемке исследуемых объектов. По отношению к интрузивным телам рассматриваемые работы предусматривают детальное изучение акцессорных минералов как в горизонтальной плоскости массива, так и в вертикальных разрезах. При этом опробуются все фации и разновидности, зоны изменения, участки, обогащенные ксенолитами, зоны тектонических нарушений, дополнительные интрузии и жильные породы, продукты изменения: альбитизированные, грейзенизированные, каолинизированные разности и т. п.

В ряде случаев опробование осуществляется систематическим отбором проб со всего массива по профилям через определенные интервалы. Расстояния между профилями, интервалы между пробами и само количество проб определяются размерами и сложностью строения интрузивного тела, степенью обнаженности, масштабом работ и поставленными задачами. Какие-либо рекомендации о количестве проб в этом случае дать трудно.

Третья группа объединяет исследования, предпринимаемые в частных и сугубо специализированных целях. Рекомендовать какой-либо стандартный метод отбора проб в данном случае также трудно.



Б. К. ЛЬВОВ

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ

Особенно важна в настоящее время выработка единой методики количественно-минералогических исследований, которая обеспечивала бы в первую очередь максимальное извлечение акцессорных минералов из пород.

В геологической литературе имеется ряд работ, посвященных вопросам методики количественного изучения акцессорных минералов. В них рассматриваются способы опробования пород, методы извлечения из них акцессорных минералов, обсуждаются степень точности полученных количественных результатов и способы их изображения (Н. В. Иванов, В. В. Коперина, О. И. Матковский, А. В. Рабинович, С. Д. Туровский, К. Эвинг, Г. Людвиг). Сопоставление сведений, излагаемых в этих работах, с эмпирическими данными, полученными при непосредственном изучении вещественного состава гранитоидов восточного склона Южного Урала, позволило автору предложить методику отбора и комбинированной обработки проб.

Основные особенности этой методики следующие.

Пробы, предназначенные для количественно-минералогического анали-

за, составляются в общем случае из отдельных небольших кусков (вес около 100—200 г), отбираемых точечным способом по произвольной сетке с условием равномерности опробования данной разновидности породы в пределах обнажения. Общий вес пробы достигает 8—15 кг (в среднем 10 кг) и зависит от степени однородности породы и крупности слагающих ее минеральных зерен. Уменьшение однородности и увеличение размеров зерен ведут к увеличению веса пробы.

Отобранная проба подвергается механическому дроблению (на щековой дробилке и на валках) до крупности частиц $<0,5$ мм (крупно- и среднезернистые породы) или $<0,25$ мм (мелкозернистые породы). Раздробленная проба путем последовательного квартования разделяется на две неравные части (около 9,5 и 0,5 кг), дальнейшая обработка которых сильно различается. Большая часть пробы (9,5 кг) дважды промывается на лотках или в азиатских ковшах до получения серого шлиха общим весом 50—150 г. Затем этот шлик подвергается разделению в тяжелых жидкостях и на электромагните по стандартной схеме, обычно применяемой в шлиховых лабораториях и описанной в соответствующих руководствах (М. Н. Чуева, А. А. Кухаренко).

Выделенные таким способом тяжелые фракции используются для изучения морфологических особенностей кристаллов, определения физических свойств и химического состава акцессорных минералов. В то же время определить истинное или даже близкое к истинному содержание самих минералов в породе при обработке проб по этой схеме невозможно. Дело заключается в том, что при двух- и даже трехкратной промывке пробы в шлихе сохраняется не более 30% исходного количества акцессорных минералов. К тому же искажаются и количественные соотношения между ними, поскольку величина потерь различна у разных минералов и, кроме того, изменяется в зависимости от величины и габитуса кристаллов даже у одного и того же минерала (Эвинг). Последнее обстоятельство заставляет с большой осторожностью относиться и к результатам морфологических наблюдений над кристаллами, выделенными из шлихов. Так, средний размер кристалликов многих минералов, определенный при наблюдениях в шлихах, оказывается сильно завышенным по сравнению с истинным размером кристалликов, выделенных непосредственно из породы. К тому же мелкие кристаллики, теряющиеся при промывке, нередко обладают специфическими кристаллографическими особенностями по сравнению с более крупными кристаллами, предпочтительно накапливающимися в шлихе. Наконец, имеются данные, что мелкие и более крупные кристаллы могут заметно различаться между собой по химизму.

Шлиховой метод изучения акцессорных минералов таит в себе возможности значительных ошибок и не может быть использован при количественно-минералогическом анализе гранитоидов.

Как показывают данные В. В. Ляховича, извлечение тяжелых минералов не увеличивается существенно и при получении шлиха с помощью более совершенной техники (концентрационные столы), причем величина потерь также составляет не менее 70%.

В связи с этим для получения истинных содержаний некоторые исследователи предлагают использовать поправочные коэффициенты, при введении которых найденные в процессе обработки шлихов количества минералов увеличиваются примерно в 3 раза. Использование таких больших поправок вряд ли можно признать удачным, поскольку они не только не уменьшают рассмотренных возможных искажений, возникающих при выделении шлихов, а напротив, способны усугубить их, увеличивая ошибки в 3 раза.

Чтобы избежать очень больших потерь, неизбежных при выделении шлиха, извлекать акцессорные минералы необходимо непосредственно из породы. Для этого от непромывтой полукилограммовой части пробы кварто-

ванием отделяется навеска в 100 г, которая затем подвергается осторожному отмучиванию в высоких химических стаканах или в плоскодонных колбах при отстаивании в течение 1,5—2 минут. Удаление мучнистой фракции необходимо, поскольку она препятствует полному выделению минералов в тяжелых жидкостях (Брэни, Рао). При таком отмучивании теряется обычно 5—10% породы, а из сильно измененных гранитов — до 15%. В мучнистой фракции нередко отмечается концентрация акцессорных минералов, которая ведет к известному занижению данных об их количественном содержании в породе, получаемых при разделении более крупной фракции. Однако это занижение составляет, по-видимому, не более 15% от истинного содержания, поскольку обогащение мучнистой фракции обычно не бывает большим, чем двукратное.

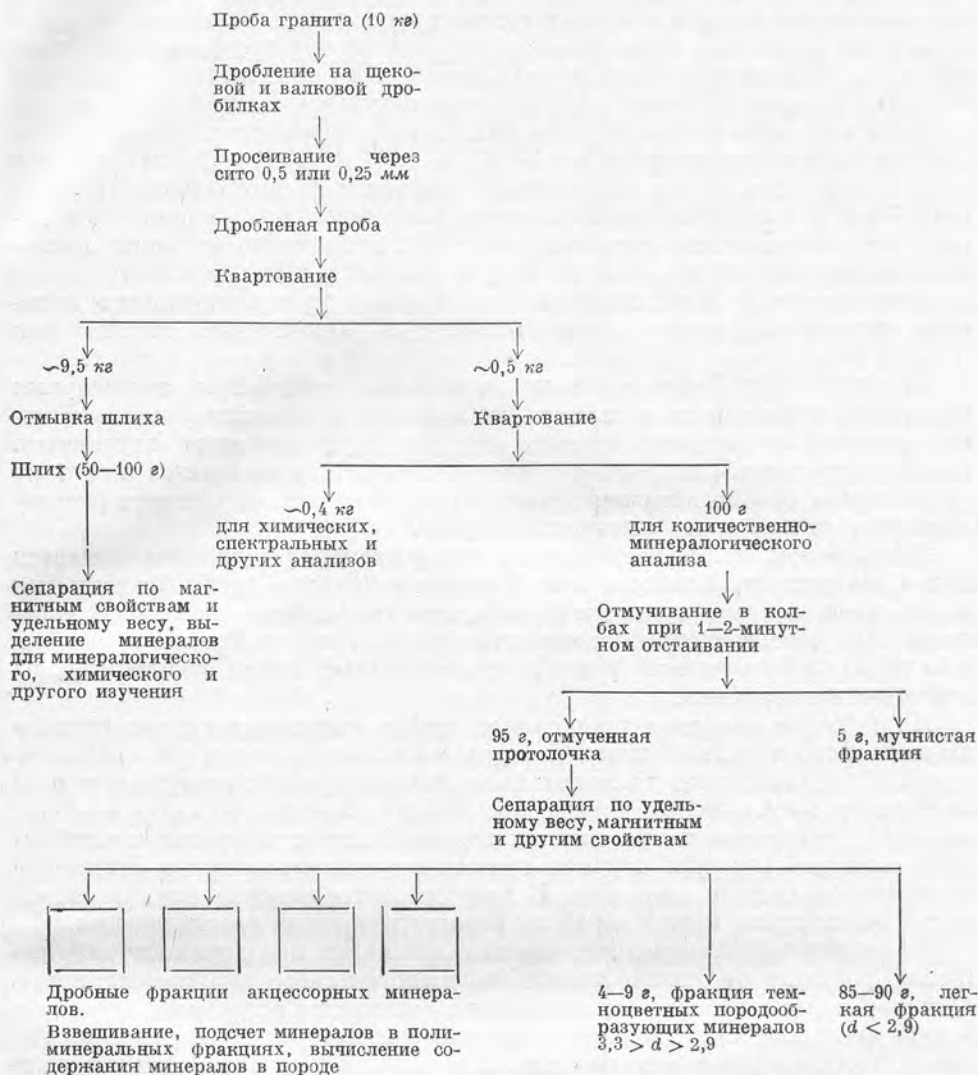
Протолочка, из которой удалена мучнистая фракция, просушивается, взвешивается (при этом определяется потеря при отмучивании) и подвергается разделению в тяжелых жидкостях (бромформ, йодистый метилен, жидкость Туле, реже жидкость Клеричи), а также магнитной сепарации. Целью такого разделения является получение мономинеральных фракций, по весу которых можно определить процентное содержание в породе каждого минерала. Однако в процессе разделения не всегда удается получить чистые мономинеральные фракции. В этом случае приходится прибегать к очистке минералов под бинокулярной лупой либо к подсчету объемного содержания каждого из минералов во фракции с дальнейшим пересчетом на весовые проценты (Н. В. Иванов, А. А. Кухаренко).

Изложенная методика обработки проб (схема) в настоящее время наиболее отвечает целям количественного и качественного изучения акцессорных минералов. Применение ее обеспечивает, с одной стороны, извлечение из проб достаточного количества материала для изучения морфологических, физических и химических особенностей акцессорных минералов (главным образом из шлиха). С другой стороны, она предусматривает получение количественных данных о содержании акцессорных минералов в породе в результате непосредственного извлечения их из нее. Присутствие минералов, содержание которых в породе меньше $1 \cdot 10^{-3}\%$ и которые вследствие этого могут отсутствовать во фракциях, выделенных из 100-граммовой навески, контролируется по фракциям шлихов, отмытых из проб весом 8—9 мг.

К недостаткам предлагаемой методики относится занижение результатов, происходящее за счет некоторого обогащения акцессорными минералами мучнистой фракции, а также вследствие того, что часть мельчайших кристалликов этих минералов при дроблении до 0,5—0,25 мм не извлекается из полевых шпатов и биотита. Правда, эти ошибки не могут идти ни в какое сравнение с ошибками шлихового метода и при обычном минералогическом исследовании ими можно даже пренебречь. Однако при геохимических работах, когда необходимо установить количественное по-минеральное распределение того или иного элемента, содержащегося в акцессорных минералах, эти погрешности могут приводить к некоторой неопределенности конечных результатов и оставляют их открытыми для критики (Н. Н. Амшинский, Б. М. Меликсетян).

Учитывая сказанное, можно предложить несколько усложненный по сравнению с основным вариант обработки опорных геохимических проб. Усложнение заключается в том, что после разделения протопочки в бромформе легкая кварц-полевошпатовая фракция додрабливается до крупности $< 0,1$ мм и после отмучивания подвергается повторному фракционированию. Кроме того, мучнистые фракции, остающиеся после отмучивания основной навески и додробленной кварц-полевошпатовой фракции, также подвергаются разделению в тяжелых жидкостях, но уже при центрифугировании. Для этого могут быть использованы специальные стаканчики с вкладышами, предложенные А. А. Кухаренко.

**Схема обработки проб для качественного
и количественного изучения акцессорных минералов**



Применение такого варианта методики обеспечивает, по нашему мнению, максимально полное извлечение акцессорных минералов из породы. Однако большая трудоемкость этого метода делает невозможным его широкое использование, в связи с чем он может применяться только при обработке отдельных опорных проб.

Затраты же труда на разделение 100-граммовых навесок по первому основному варианту не отличаются значительно от тех, какие требуются для разделения больших искусственных шлихов. Поэтому такой метод вполне может быть рекомендован для массовых работ по изучению количественного распределения акцессорных минералов.

Усовершенствование данной методики должно идти по пути увеличения дробности и чистоты фракционирования, более широкого применения центрифугирования, автоматизации процессов магнитной сепарации, использования методов электростатической и диэлектрической сепарации и т. п.

Переходя к рассмотрению способов изображения результатов количественно-минералогического анализа, можно отметить, что наиболее распространен в настоящее время табличный способ. Содержание акцессорных минералов выражается обычно в граммах на 1 т породы, причем нередко в качестве значащих цифр приводятся десятые и даже сотые доли этой величины, т. е. стотысячные и миллионные доли процента по отношению к породе в целом. Однако такая точность результатов мнимая, поскольку ни один из применяемых методов извлечения акцессорных минералов не обеспечивает точности выше 5—10 г/т, в этом нетрудно убедиться путем простых расчетов на примере любой конкретной протоочки. Поэтому нами было принято выражение содержания акцессорных минералов в породе в тысячных долях процента ($n \cdot 10^{-3} \%$). Если же по традиции применять выражение в граммах на 1 т, то эти цифры должны округляться по крайней мере до 5 г/т. Содержание минералов, присутствующих в меньшем количестве, может обозначаться как «единичные знаки» или <5(10) г/т.

Нередко употребляемое также выражение содержания акцессорных минералов в процентах к шлиху или к тяжелой фракции при изучении изверженных и метаморфических пород следует признать неудачным. Оно дает представление только о соотношениях этих минералов и в то же время может сильно исказить истинную картину количественного распределения того или иного минерала в породе.

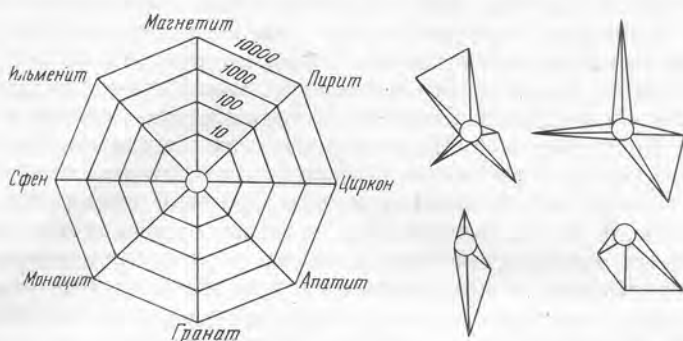
Недостатком табличного способа изображения результатов является малая наглядность, особенно при большом количестве проб. Поэтому для наглядности полезно применять различные графические методы. В частности, при сопоставлении содержания акцессорных минералов в породах различных массивов или различных возрастных групп весьма удобны вариационные графики.

Применение графиков приобретает особое значение в случае нередко наблюдаемого неравномерного распределения акцессорных минералов от пробы к пробе. В этих условиях вычисленные средние содержания того или иного минерала не всегда достаточно объективно характеризуют породы, а сравнение таких средних значений может привести к ошибочным выводам. В таких случаях правильнее сопоставлять не средние, а наиболее вероятные значения. К тому же сравниваемые группы пород могут различаться между собой по характеру кривых распределения.

В геологической практике нередко возникает необходимость изображения результатов количественно-минералогического анализа на карте. Обычный шлиховой способ изображения количества отдельных минералов в виде секторов круга в данном случае оказывается непригодным, так как с его помощью можно отобразить лишь относительную роль этих минералов в тяжелой фракции, а не их абсолютное содержание в породе. В связи с этим нами принята не совсем обычная система изображения количественных результатов, которая при сравнении с другими вариантами была признана наиболее удобной. Применяемые нами значки состоят из небольшого кружочка и отходящих от него через 45° восьми векторов (см. рисунок). Кружочек ставится на карте в месте взятия пробы. Каждый из отходящих от него векторов соответствует определенному минералу. Например, верхний вертикальный вектор всегда соответствует магнетиту, нижний вертикальный — гранату, правый горизонтальный — циркону и т. п. Некоторые из векторов отвечают двум различным минералам, встречающимся обычно порознь. В таком случае для распознавания минералов каждому из них присваивается определенный цвет. На наших картах, например, левый горизонтальный вектор отвечает обычно сфену, но иногда на нем откладывается содержание рутила. В этом случае вектор проводится не черной тупью, а красной. Увеличение количества векторов до 10 или более нежелательно, так как уменьшается наглядность значка.

Длина каждого вектора отражает содержание данного минерала в пробе.

В связи с отмечавшимися особенностями распределения акцессорных минералов (сильные колебания содержаний, резкое преобладание одних минералов над другими) применение обычного линейного масштаба при изображении их содержания практически невозможно. При этом пришлось бы либо резко увеличивать размеры значка, либо заведомо исключать из рассмотрения некоторые из минералов. Для выхода из этого положения оказалось удобным применение не линейного, а логарифмического масштаба (Людвиг). Такой способ изображения несколько смягчает второстепенные колебания содержаний отдельных минералов. Одновременно



Векторная диаграмма и примеры значков, изображающих количественное содержание акцессорных минералов в породе. Цифры соответствуют тысячным долям процента

усиливается роль минералов, присутствующих в относительно малых количествах, что дает возможность следить за их поведением одновременно с наблюдениями за поведением преобладающих по количеству минералов.

Для большей наглядности изображения концы соседних векторов соединяются между собой линией внешнего контура. В случае отсутствия того или иного минерала эта линия соединяется с поверхностью кружочка в точке начала отсутствия вектора. Форма значка, получаемая в результате соединения ломаной линией концов векторов, зависит от соотношения в пробе изображаемых минералов и подчеркивает сходство или различие их ассоциаций в различных массивах или разновидностях пород (см. рисунок).

Таким образом, при помощи этих значков можно отразить как абсолютное содержание отдельных акцессорных минералов в породе, так и их количественные соотношения между собой. Цветом линии наружного контура можно частично характеризовать породу, из которой взята проба. Так, черным контуром обводятся значки проб, взятых из главной разновидности гранитоидов данного массива. Синий контур соответствует пробам жильных гранитов, красный — пробам пегматитов, зеленая обводка значков принята нами для проб вмещающих пород. Применяя закраску внутреннего кружочка в разные цвета, можно отразить вариации любой дополнительной интересующей величины, например содержания какого-нибудь элемента или даже двух элементов (при расчленении кружочка на две части) в породе.

В целом рассмотренный способ изображения результатов количественно-минералогического анализа на картах весьма нагляден. Он может быть использован как при изображении частных результатов (на картах масштаба 1 : 100 000 и крупнее), так и для характеристики средних или типичных ассоциаций акцессорных минералов в определенных массивах или комплексах (на картах масштаба 1 : 200 000 и 1 : 500 000).

При использовании акцессорных минералов для целей петрологического изучения гранитоидов необходимы выяснение генезиса этих минералов и установление времени их кристаллизации. Как показывает опыт, только качественные наблюдения над структурно-морфологическими соотношениями акцессорных минералов не позволяют с достаточной уверенностью судить о последовательности их образования. Это связано с тем, что один и тот же минерал нередко проявляет признаки кристаллизации как в ранние, так и в поздние стадии (С. Д. Туровский; Мурхауз).

Для уточнения времени выделения различных акцессорных минералов нами были произведены многочисленные подсчеты в шлифах с целью выяснения приуроченности каждого акцессорного минерала к породообразующим. Отдельно подсчитывались кристаллики, включенные в каждый из главных минералов, и кристаллики или неправильной формы зерна, располагающиеся по границам зерен других минералов или по трещинкам в них. За истинные включения принимались только те кристаллики, которые не имели «подводящих каналов» к краям зерна-хозяина в виде трещинок или зонек изменения. На этом основании предполагалось, что образование включенного кристаллика происходило раньше или по крайней мере одновременно с образованием зерна-хозяина. Кристаллики акцессорных минералов, располагающиеся по границам зерен и по трещинкам, рассматривались как поздние образования, хотя не исключена возможность, что некоторые из них выкристаллизовались раньше, но не были захвачены другим минералом, а оказались отнесенными к границам зерен. Поэтому получаемые при подсчетах количества ранних кристалликов следует рассматривать как минимальные. Для представительности количество подсчитанных кристалликов каждого минерала доводилось не менее чем до 100, а нередко их было значительно больше.

Полученные при подсчетах данные сводились в таблицы, аналогичные табл. 1. В этих таблицах приведены цифры, показывающие количество

Таблица 1. Пример валового распределения циркона между породообразующими минералами гранитоидов Челябинского массива

Порода	Плагиоклаз	Микроклин	Кварц	Амфибол	Биотит	Мусковит	A*	Б	В	В'	В''
Гранодиориты . . .	11+(6)	—	5+(16)	11+(6)	21+(24)	—	48	21/27	45	11/37	17
Плагиограниты . . .	29+(10)	1+(1)	5+(12)	2+(1)	17+(22)	—	54	17/37	39	2/52	3
Микроклиновые											
Граниты	47+(8)	13+(7)	6+(8)	—	8+(1)	2	76	8/68	9	—	—
Розовые граниты	6+(25)	0+(13)	0+(37)	—	19	0	25	19/6	19	—	—

* А — количество кристаллов циркона, включенных в породообразующие минералы.

Б — отношение количества кристаллов циркона, включенных в биотит, к количеству кристаллов, включенных в другие породообразующие минералы.

В — суммарное количество кристаллов циркона, приуроченных к биотиту.

В' — отношение количества кристаллов циркона, включенных в амфибол, к количеству кристаллов, включенных в другие породообразующие минералы.

В'' — суммарное количество кристаллов циркона, приуроченных к амфиболу.

истинных включений акцессорного минерала в каждом из породообразующих (в процентах от общего числа наблюдавшихся кристалликов). В скобках указаны относительные количества кристалликов акцессорных минералов, располагающихся по трещинам внутри породообразующих минералов (псевдовключения) и по границам зерен.

Помимо этого, в таблицах имеется еще ряд граф, в которых отражается отношение суммарного количества кристалликов, включенных во все

породообразующие минералы, к количеству кристалликов, располагающихся в интерстициях и по трещинкам (графа А), а также отношение числа кристалликов, включенных и приуроченных к темноцветным компонентам, к количеству кристалликов, включенных и приуроченных к лейкократовым минералам (графы В и В¹ для биотита и В и В¹ для амфибола).

Сопоставление всех цифр позволяет судить о том, к каким этапам кристаллизации породы (исходя из последовательности образования порообразующих минералов) приурочено выделение главной массы данного акцессорного минерала и в какие этапы эта кристаллизация замедляется. Оно показывает, в частности, что распространенное мнение о преимущественной приуроченности акцессорных минералов в гранитах к биотиту в ряде случаев оказывается неверным. Нередко лейкократовые минералы содержат в сумме больше кристалликов акцессорных минералов, чем биотит. Ошибочность упомянутого мнения основана на том, что о распределении акцессорных минералов обычно судят по качественным наблюдениям над концентрацией их в порообразующих минералах без учета количественной роли последних в породе. Цифры относительной концентрации, также рассчитываемые и приводимые нами при описании минералов (табл. 2), указывают, по нашему мнению, на интенсивность кристаллизации минерала в каждый отдельный момент, но не отражают продолжительности его кристаллизации и не обязательно фиксируют главный ее этап.

Таблица 2. Пример относительной концентрации циркона в различных порообразующих минералах гранитоидов Челябинского массива

Порода	Плагиоклаз	Микроклин	Кварц	Амфибол	Биотит
Гранодиориты . . .	0,15	—	0,79	2,36	1,12
Плагиограниты . . .	0,50	0,15	0,18	7,33	5,73
Микроклиновые граниты	1,28	0,37	0,24	—	2,08
Розовые граниты . .	0,18	0	0	—	15,67

Примечание. Цифры концентрации получены при делении цифр, отражающих количество кристаллов циркона, включенных в данный порообразующий минерал (см. табл. 1), на процентное содержание этого минерала в породе.

Как видно из работ различных исследователей (В. А. Вахрушев, А. С. Дудыкина, С. Д. Туровский, И. И. Шафрановский, В. В. Щербина, А. А. Ярошевский) и из наших наблюдений, значительную помощь при решении некоторых петрологических вопросов могут оказать данные по изучению морфологических, физических и химических особенностей акцессорных минералов. Однако малые размеры кристаллов этих минералов и очень ограниченные количества их сильно затрудняют проведение детальных исследований и обуславливают необходимость применения специфических методов, ряд которых описан в литературе в последние годы. Так, для выявления и отображения морфологических особенностей некоторых минералов (например циркона) весьма показателен способ статистического сравнения удлиненности кристалликов, широко применяемый в последнее время А. Полдерваартом.

Определение удельного веса в малых навесках может быть выполнено по способу, предложенному Н. И. Руденко и М. М. Василевским, а в единичных зернах — по равновесию или по скорости движения их в жидкости с известным удельным весом (В. П. Петров, Страуманис).

Наибольшие трудности встречаются при изучении химизма акцессорных минералов. Большинство обычных методов невозможно применять из-за малого количества материала. Самым подходящим в этом отношении является спектральный метод, для которого требуется всего 30—100 мг вещества. Однако распространенное в настоящее время полуквантовое определение элементов сильно снижает ценность этого метода. Совершенно необходимо поэтому широкое внедрение в практику спектральных лабораторий при геологических организациях известных и достаточно разработанных методов количественного определения элементов.

Из специальных методов, удобных при изучении химизма акцессорных минералов, можно упомянуть метод люминесцентного определения урана из микронавесок или из единичных кристалликов (И. В. Старик и др.).

В заключение можно отметить, что применение изложенной методики позволяет с различных сторон и довольно полно охарактеризовать акцессорные минералы. Как показал опыт изучения варисских гранитоидов восточного склона Южного Урала, такая характеристика акцессорных минералов может быть с успехом использована при решении различных петрологических вопросов. Обладая рядом преимуществ перед другими применяемыми схемами, эта методика, по нашему мнению, может быть принята в качестве одной из исходных при выработке совершенно необходимой в настоящее время единой унифицированной методики комплексного исследования акцессорных минералов.

Следует также отметить, что имеющиеся в настоящее время технические возможности изучения акцессорных минералов находятся на очень низком уровне. Достаточно сказать, что очень большой редкостью в минералогических лабораториях являются центрифуги с большими стаканчиками, совершенно отсутствуют и не выпускаются промышленностью специальные (для разделения акцессорных минералов) центрифуги, описанные в литературе (А. Мошев). В результате в лабораториях применяется разделение минералов в делительных воронках или в чашках, т. е. более трудоемкие и менее надежные в отношении полноты извлечения способы. Не выпускаются промышленностью высокопреломляющие иммерсионные жидкости, совершенно необходимые при изучении акцессорных минералов; дефицитны сита с размером ячеек $< 0,1$ мм. Отсутствуют различного рода делительные агрегаты (магнитные, электростатические) с автоматизированным процессом деления (лишь в единичных лабораториях имеются уникальные экспериментальные экземпляры).

Учитывая возрастающее значение исследований малых компонентов пород, нужно усовершенствовать как методику изучения акцессорных минералов, так и необходимое техническое оборудование.

■

Н. Н. АМШИНСКИЙ, И. В. МАРИЧ,
А. М. ГОРЬ, Л. И. ОРЛОВА

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРАНИТОИДОВ

В настоящее время как в отечественной, так и зарубежной практике целями изучения акцессорных минералов и элементов являются: 1) выяснение геохимических особенностей акцессорных элементов в эндогенном процессе; 2) выявление геохимической и металлогенической специализации

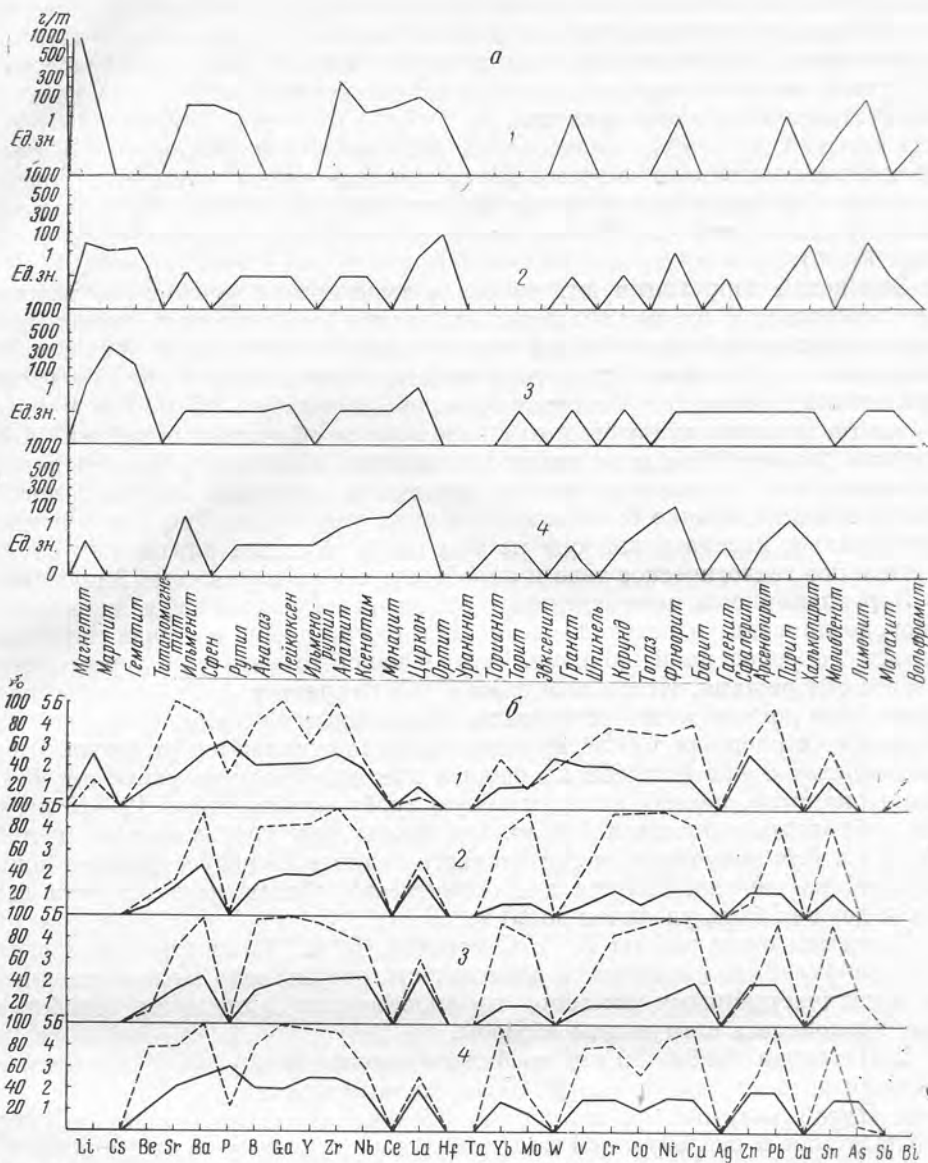


Рис. 1. Акцессорные минералы (а) и элементы (б) некоторых гранитных массивов калбинского комплекса Горного Алтая

1 — Талицкий (по данным В. В. Ляховича); 2 — Уландрыкыский; 3 — Аксайский; 4 — Тоштузекский.

Содержание элементов (сплошная линия), баллы: 1 — < 0,001; 2 — 0,0065; 3 — 0,065; 4 — 0,65; 5 — > 0,65; частота встречаемости (пунктирная линия), %

интрузий для целей прогнозирования; 3) решение вопросов генетической связи пространственно оторванного оруденения с интрузиями; 4) выяснение возможностей возрастной корреляции интрузий; 5) использование акцессорных элементов и минералов как индикаторов различных постмагматических процессов и околорудных изменений (в частности, для поисков слепых рудных тел и т. п.).

Вполне очевидно, что методика исследований должна соответствовать поставленным задачам. Однако можно наметить главнейшие методические приемы, которые должны оставаться более или менее постоянными вне

зависимости от поставленных задач. Прежде всего это касается: 1) четкого определения необходимой заданной точности желаемых результатов опробования; 2) определения веса, методики взятия проб и их обработки; 3) минимально необходимого числа проб, обеспечивающих представительную статистическую совокупность.

Учитывая, что состав аксессуарных минералов неустойчив даже в пределах одного массива, в то время как состав аксессуарных элементов, содержащихся в породах, практически не изменяется, аксессуарные элементы более удобны для целей корреляции, чем аксессуарные минералы (рис. 1 а, б).

Для целей корреляции интрузивов и выяснения основных геохимических особенностей их, как мы полагаем, можно рекомендовать применение метода маршрутных пересечений вкрест длинной оси массива. В большинстве случаев достаточно двух-трех полных пересечений с детальностью наблюдений по маршруту, соответствующей масштабу 1 : 50 000. В данном случае геохимические пробы могут дополняться обычными штуфами, пригодными для спектрального анализа. Очевидно, что в случае, когда перед исследователем поставлена задача детального изучения массива, число проб и сечений должно быть соответственно увеличено. При опробовании многофазных массивов каждую из фаз следует рассматривать как самостоятельное геологическое тело и опробовать его не менее чем 12 пробами.

Неравномерность распределения аксессуарных элементов и минералов в породе приводит к необходимости составлять пробу из ряда штуфов, взятых с определенной площади. Этим в какой-то мере уже усредняется разброс содержаний. Исследованиями И. Е. Старика и А. Я. Крылова для урана было доказано, что результаты, полученные по пробе, собранной из 10 штуфов с площади 100 м², фактически мало отличаются от результатов проб, взятых с еще большей площади и при еще большем числе штуфов. Исходя из этого, целесообразно частную пробу составлять из 10—15 штуфов, собранных с площади 100 м². Вес пробы для геохимических целей 0,5—1 кг. Для получения же достаточного количества искусственного шлиха и отбора навески биотита для определения абсолютного возраста вес пробы должен быть увеличен до 10 кг.

Учитывая опыт работы Е. Д. Семеновой, Н. Н. Амшинского и других исследователей, для получения возможности оперировать не качественными, а количественными данными по аксессуарным минералам обработка проб проводилась следующим образом.

1. Исходная проба (10 кг) дробилась сначала в щековой, а затем в валковой дробилке до диаметра 0,5 мм (первая фракция).

2. Путем квартования из первой фракции выделялась навеска 1 кг, используемая в последующем для химических и спектральных анализов, радиометрических исследований и сохранения оставшейся части в качестве неприкосновенного дубликата.

3. Остальная часть первой фракции (9 кг) просеивалась через сито диаметром 0,5 мм. Оставшийся на сите обогащенный биотитом материал шел на выделение биотита для определения абсолютного возраста и изучения биотита (рис. 2).

4. Остаток первой фракции, прошедшей через сито 0,5 мм, последовательно дробился и просеивался до диаметров 0,2 и 0,07 мм. Таким образом получалось две фракции: вторая диаметром 0,2—0,07 мм, третья диаметром < 0,07 мм и остаток, обогащенный биотитом (> 0,2 мм).

5. Вторая и третья фракции являлись основными для извлечения аксессуарных минералов. Они раздельно промывались в ванне (с предварительным отмучиванием) до серого шлиха.

6. Серые шлихи второй и третьей фракций сушились и обогащались в бромформе чашечным методом. Затем шлик отмывался от бромформа спиртом и с применением магнита и электромагнита разделялся на маг-

аксессуарных минералов. Результаты подсчетов аксессуарных минералов переводились в объемные, а затем в весовые проценты и перечислялись в граммы на 1 τ породы.

Принятая методика, как мы полагаем, дает минимальные потери аксессуарных минералов. Различные минералы обычно концентрируются в различных по крупности фракциях, и введение какого-то одного поправочного коэффициента не принесет желаемого результата (таблица).

Из данных таблицы видно, что соотношение содержаний одного и того же минерала в одинаковых фракциях в одних и тех же породах (плагитограниты Садринского массива) из разных проб не остается постоянным. Дополнительных доказательств невозможности и нецелесообразности применения поправочных коэффициентов, вероятно, не требуется.

Опыт показывает, что хорошо читаемый график всегда легче усваивается, чем таблица. На графике резче проявляются родственные или отличительные черты тех или иных сравниваемых результатов анализа. Поэтому целесообразно применять графическое изображение результатов минералогических подсчетов по способу, показанному на рис. 1, а.

Таблица. Распределение аксессуарных минералов по фракциям крупности (в z/τ)

Минерал	№ пробы							
	6/59		3/59		4/59		5/59	
	шлих *	шлам **	шлих	шлам	шлих	шлам	шлих	шлам
Магнетит	3483	1850	3574	2827	5155	2270	2554	1788
Сфен	234	530	225	254	774	1278	105	571
Апатит	54	640	44	200	131	180	13	397
Циркон	73	129	27	130	Ед. зн.	70	29	44

* Из фракции 0,2—0,07 мм.

** Пылеватая фракция, оставшаяся при промывке фракций 0,2—0,07 мм, т. е. фракции 0,07 мм.

В заключение мы считаем необходимым подчеркнуть, что изучение аксессуарных минералов изверженных горных пород следует проводить в комплексе с петрологическими и геохимическими исследованиями.

В. С. МИЩЕНКО

ИЗУЧЕНИЕ И УЧЕТ АБСОЛЮТНЫХ И ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ИСКУССТВЕННЫХ ШЛИХОВ

При минералого-геохимических исследованиях весьма остро ощущается необходимость строго количественного изучения аксессуарных минералов. Только исходя из абсолютных значений содержаний этих минералов, можно ставить и решать такие задачи, как расчленение и корреляция гранитов, выяснение связи оруденения с интрузиями и т. п., и судить о степени зараженности магмы редкими и рассеянными элементами. Кроме того,

со знанием количественных соотношений акцессорных минералов связана также возможность их привлечения для рациональной номенклатуры гранитоидов (В. В. Ляхович). Процесс обогащения, будучи связан с промывкой породы, ведет к значительным потерям акцессорных минералов и затрудняет их количественное изучение. Выход из этого положения, предложенный В. В. Ляховичем, состоит в изучении потерь, поскольку они относятся к систематическим ошибкам и поддаются учету путем ввода поправочных коэффициентов.

Однако не следует преуменьшать трудности, связанные с количественным изучением акцессорных минералов методом искусственных шлихов.

Направление методических разработок в этой области должно определяться следующими двумя предпосылками: 1) неодинаковостью относительных потерь акцессорных минералов, ведущей к искажению их первоначальных соотношений в породе; 2) неодинаковостью как абсолютных, так и относительных потерь для разных пород. Действительно, потери акцессорных минералов, с одной стороны, будут зависеть от их удельного веса, хрупкости, твердости, формы и размера зерен, степени вторичной измененности и т. п., а с другой — они будут определяться особенностями самих пород, т. е. их структурой и текстурой, минералогическим составом, степенью катаклаза и выветрелости, характером распределения акцессорных минералов среди породообразующих. Многообразие факторов, из которых перечислены далеко не все, обуславливает необходимость расчета индивидуальных поправочных коэффициентов для каждого акцессорного минерала и для каждого типа пород в отдельности. На это, по нашему мнению, необходимо ориентироваться сразу, не ограничиваясь выводом общего поправочного коэффициента.

Необходим также учет потерь в каждой лаборатории отдельно. До тех пор, пока оборудование и методы выделения и изучения акцессорных минералов не стандартизированы, эта потребность очевидна. Можно предвидеть, например, что пробы одной и той же породы, раздробленные до одного размера, скажем — 0,5 мм, но на разном оборудовании и по разным схемам, будут иметь неодинаковый гранулометрический состав, а значит и неодинаковые потери акцессорных минералов при промывке. Более того даже при стандартизации оборудования и методических приемов каждой лаборатории необходимо решать вопрос о величине потерь, так как они связаны со степенью изношенности механизмов и неизбежными субъективными факторами. Сопоставимость данных по содержанию акцессорных минералов, полученных разными авторами, явится важным следствием соблюдения указанных условий, которое целиком окупит затраченный труд.

В соответствии с отмеченными предпосылками нами был запланирован и поставлен ряд опытов по изучению и учету абсолютных и относительных потерь акцессорных минералов при получении искусственных шлихов. Сущность их состояла в том, что часть проб параллельно обрабатывалась по обычной схеме, включающей промывку, и по более трудоемкой методике, позволяющей получить близкие к истинным содержания акцессорных минералов.

Опробованию подвергались докембрийские гранитоидные породы Среднего Приднепровья. Пробы весом около 20 кг в количестве обычно 10—20 штук отбирались по 0,5—1-километровым профилям, пересекавшим карьеры, точечным способом с площади 100 м². Указанный вес проб и площадь опробования были определены опытно-математическим путем (дисперсионный анализ) как оптимальные для получения достаточно полного представления о количественном и качественном составе изучаемых акцессориев, включая минералы наложенного комплекса. Лабораторное оборудование (щекочная и валковая дробилка, вибросита) позволяло дробить породы до —0,8 мм.

Рядом опытов было установлено, что максимальный выход аксессуарных минералов обеспечивается следующим режимом дробления: большая и малая щековая дробилки, двукратное пропускание через валковую дробилку, просеивание и вновь двукратное пропускание фракции $+0,8$ мм, которая обычно обогащается биотитом, через валковую дробилку. Эти опыты имеют частное значение и на них мы не останавливаемся. Заметим лишь, что двукратное пропускание пробы через валковую дробилку при сравнительно широком зазоре между валками улучшало ее гранулометрический состав, а именно вело к увеличению содержания фракции $0,1-0,25$ и отчасти $0,25-0,5$ мм за счет более крупных фракций при мало заметном увеличении процентного содержания мучнистой фракции. Проверкой установлено, что принятый режим дробления по выходу аксессуарных минералов из шлиха равноценен дроблению до $-0,5$ мм обычным способом. Более тонкое измельчение вело к возрастанию потерь. Данные по гранулометрическому составу пород приведены в табл. 1-4.

Дальнейшая обработка проб проводилась по обычной методике. Промывка осуществлялась на промывочном столе, при этом двукратная промывка оказалась вполне достаточной, что согласуется с данными и рекомендациями других авторов (А. Б. Вистелиус, В. В. Ляхович и др.). Полученный шлик подвергался магнитной сепарации и затем делению в тяжелой жидкости с удельным весом 2,9. Это обеспечивало полное осаждение аксессуарных минералов (даже в сростках с породообразующими), хотя и вело к увеличению веса тяжелой фракции за счет темноцветных минералов. При помощи электромагнитной сепарации полученный концентрат делился на две электромагнитные и тяжелую неэлектромагнитную фракции.

Количественно-минералогический анализ проводился по методике, которая лишь в деталях отличается от методики, изложенной в одной из работ В. В. Ляховича и Д. А. Родионова. Каждая из четырех полученных фракций рассеивалась на три гранулометрических класса ($-0,1$; $0,1-0,25$ и $0,25-0,5$ мм), которые взвешивались и затем квартовались по методу А. А. Кухаренко. По достижении ширины дорожки в два-три зерна в ней подсчитывалось число зерен составляющих ее минералов, причем подсчету подвергалось не менее 500 зерен. В классах, которые содержали основную часть аксессуарных минералов, квартование и подсчет проводились 2-3 раза. Получаемые таким образом объемные проценты переводились в весовые с учетом удельного веса аксессуарных минералов: апатит и флюорит 3,2, эпидот 3,4, сфен и дистен 3,5, гранат 3,7, ортит 4,1, рутил 4,2, циркон и ильменит 4,7, монацит, пирит и гематит 5,0, магнетит 5,2. Весовое содержание в свою очередь перечислялось на стандартную единицу — в граммы на 1 т.

Контрольные пробы для изучения потерь аксессуарных минералов отбирались из каждой разновидности опробованных пород, так как, несмотря на то, что все пробы обрабатывались по единой схеме при соблюдении строгого единообразия всех приемов, не было уверенности в полной сопоставимости полученных результатов. Типы опробованных пород были сведены к пяти: гранодиориты и плагиограниты района Днепропетровска (Ямбург, Старые Кайдаки, Таромское), плагиограниты района Кременчуга и р. Саксагани, разгнейсованные плагиограниты Чикаловки и Редут, светло-серые мелко-среднезернистые порфиroidные граниты житомирского типа (Дериевка, Песчаное, Тройницкое) и розовые средне-крупнозернистые порфиroidные граниты днепровско-токовского типа (Орлик, Домоткань).

Контрольные пробы весом 10 кг дробились как обычно до $-0,8$ мм и разделялись на три части. Каждая из них в свою очередь делилась¹ на

¹ По методике, сходной с предложенной А. А. Кухаренко для квартования шлихов.

Таблица 1. Потери акцессорных минералов при получении искусственных шлихов, вывод поправочных коэффициентов и расчет их доверительных интервалов (содержание в г/т)

Проба 4/10, гранодиорит, Ямбургский карьер (район Днепротролевска), вес 10 кг

Состав породы и преобладающий размер зерен породообразующих минералов	Преобладающий размер зерен, мм	Дробление до -0,8 мм, перемешивание, разделение на подпробы весом										Средняя погрешность, %	Средний поправочный коэффициент	Доверительный интервал с коэффициентом надежности 95%			
		2 мг (промывка, разделение шлиха на фракции, подсчет содержания)		500 г (додробление до -0,25 мм, разделение породы на фракции, подсчет содержания)		статистические характеристики											
		№ подпроб		№ подпробы		$\bar{x} \pm uS/\sqrt{n}$		S		V, %							
Плагиоклаз 50—55%, роговая обманка 8—12, биотит 5—7, калинчат 3, кварц 30—35%. Размер зерен 2—5 мм	0,15—0,25	6323	6790	6091	6401 ± 399	353	5,5	13261	13551	12989	330 ± 378	333	2,5	51,8	2,07	±0,06	
	0,1—0,2	212	199	243	218 ± 25,4	22,4	10,2	749	727	784	753 ± 32,5	28,7	3,8	71,0	3,47	±0,21	
	0,2 × 0,14	488	445	531	488 ± 49,9	44,0	9,0	2406	2319	2524	2416 ± 111	98	4,1	79,8	4,96	±0,24	
	0,15 × 0,07	57	51	60	56 ± 5,0	4,6	8,2	166	160	169	165 ± 5,2	4,6	2,8	66,0	2,92	±0,20	
	0,2—0,15	6,7	8,1	6,7	7,2 ± 0,9	0,8	11,3	40,3	42,9	37,5	40,2 ± 3,0	2,7	6,7	82,4	5,63	±0,35	
	0,1 × 0,07	—	—	—	—	—	—	—	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,15—0,1	0,65	0,2	—	~0,30	—	—	0,95	1,12	0,85	0,98 ± 0,15	0,13	13,5	70,0	~3,3	—	—
	0,15 × 0,06	0,68	1,03	0,89	0,87 ± 0,2	0,18	20,2	1,9	2,1	2,4	2,1 ± 0,29	0,25	12,0	58,5	2,50	±0,45	—
	0,15—0,07	202	186	220	203 ± 19	17,0	8,4	287	293	310	297 ± 13,6	12,0	4,0	31,6	1,47	±0,11	—
	0,25	1458	1321	1699	1493 ± 219	193	13,0	7848	7104	7798	7580 ± 475	419	5,5	80,3	5,11	±0,50	—
	0,15—0,07	2,8	2,6	2,3	2,6 ± 0,3	0,25	9,9	5,2	5,4	4,9	5,2 ± 0,28	0,25	4,9	50,4	2,02	±0,14	—
	0,15	—	~0,2	—	—	—	—	0,26	0,20	0,34	0,27 ± 0,08	0,07	26,0	>90	>10	—	—
	Результаты сытового анализа дробленых пород	Фракции: — 0,1 мм 12,1%; 0,1—0,25 мм 36,9%; 0,25—0,5 мм 34,1%; 0,5—0,8 мм 16,9%										Фракции: — 0,1 мм 37,2%; 0,1—0,25 мм 62,8%		Для суммы акцессорных минералов			
	Выход пылевой фракции, отделяемой при отмучивании	11,5%										17,4%		68,7		3,20	

Таблица 2. Потери акцессорных минералов при получении искусственных шлихов, вывод поправочных коэффициентов и расчет их доверительных интервалов (содержание в z/r)
 Проба 34/5, платиногранит, Крюковский карьер (Кременчуг), вес 10 кг

Состав породы и преобладающий размер зерен породообразующих минералов	Акцессорный минерал	Преобладающий размер зерен, мм	Дробление до — 0,8 мм, перемешивание, разделение на подпробы весом						Средние потери, %	Средний поправочный коэффициент	Доверительный интервал средних поправочных коэффициентов с надежностью 95%							
			2 кг (промывка, разделение шлиха на фракции, подсчет содержания)			500 г (подрабывание до —0,25 мм, разделение порошка на фракции, подсчет содержания)												
			№ подпробы		статистические характеристики	№ подпробы		статистические характеристики										
			1	2		3	$\bar{x} \pm uS / \sqrt{n}$		S	V, %	1	2	3	$\bar{x} \pm uS / \sqrt{n}$	S	V, %		
Плагноклаз ~55%, биотит ~8%, роговая обманка ~1%, калишпат 4—7%, кварц 30—35%. Размер зерен 2—6 мм	Магнетит	0,13—0,20	1219	1163	1330	1237 ± 95	85	6,9	2351	2348	2400	2366 ± 34	30	1,3	47,6	1,92	±0,11	
	Апатит	0,17 × 0,12	109	97	112	106 ± 9,0	7,9	7,5	485	472	520	492 ± 28	24,8	5,0	78,3	4,65	±0,23	
	Циркон	0,13 × 0,07	30,6	26,8	31,8	29,7 ± 3,0	2,6	8,8	71,0	72,1	76,3	73,1 ± 3,2	2,8	3,8	59,3	2,47	±0,21	
	Орпиг	0,2—0,4	8,9	9,6	10,9	9,8 ± 1,1	1,0	11,0	3,4	9,0	53,4	51,9 ± 2,9	2,5	4,9	81,1	5,33	±0,42	
	Рутил	0,2 × 0,08	~0,05	~0,10	~0,05	0,07 ± 0,03	0,03	41,5	0,13	0,20	0,16	0,16 ± 0,4	0,035	21,9	56,2	2,60	±0,68	
	Сульфиды	0,2—0,4	9,8	8,0	8,1	8,6 ± 1,2	1,0	31,2	0,12	1,1	10,7	12,5	11,8 ± 1,1	0,95	8,0	27,1	1,37	±0,18
	Сфен	0,2	1,9	1,7	2,4	2,0 ± 0,41	0,36	18,0	6,2	7,2	7,6	7,0 ± 0,8	0,72	10,3	71,4	3,55	±0,65	
	Эпидот	0,2	20,8	18,3	24,7	21,3 ± 3,6	3,2	22,15	1,85	5,80	10,94	6	86,7 ± 8,3	7,3	8,4	75,6	4,09	±0,31
	Результаты сытового анализа дробленых проб			Фракции: —0,1 мм 15,5%; 0,1—0,25 мм 39,4%; 0,25—0,5 мм 31,4%; 0,5—0,8 мм 13,7%. 13,1%						Фракции: —0,1 мм 39,5%; 0,1—0,25 мм 60,5%						Для сумм акцессорных минералов		
	Выход пылеватой фракции, отделяемой при отмучивании			19,2%						54,0						2,18		

Таблица 3. Потери акцессорных минералов при получении искусственных шлихов, вывод поправочных коэффициентов и расчет их доверительных интервалов (содержание в г/т),
 Проба 32/5, плагиогранит, Чикаловский карьер, вес 10 кг

Состав породы и преобладающий размер зерен породобразующих минералов	Акцессорный минерал	Преобладающий размер зерен, мм	Дробление до -0,8 мм, перемешивание, разделение на подпробы весом										Средняя потеря, %	Средний поправочный коэффициент	Доверительный интервал средних поправок на надежность 95%				
			2 кг (промывка, разделение шлиха на фракции, подсчет содержания)			500 г (подрабавание до -0,25 мм, разделение порошк на фракции, подсчет содержания)			статистические характеристики										
			№ подпробы		статистические характеристики	№ подпробы		статистические характеристики	статистические характеристики		S	V, %							
			1	2		3	1		2	3						$\bar{x} \pm uS / \sqrt{n}$	S		
Плагиоклаз ~55%, биотит ~9%, роговая обманка ~1%, калишпат 5-7%, кварц 30-35%. Размер зерен 2-6 мм	Магнетит	0,06-0,012	58,3	59,8	51,0	56,4	±5,3	4,7	8,3	192	225	212	210	±1,8	16,6	7,9	73,1	±0,48	
	Апатит	0,17×0,13	130	154	147	144	±13,9	12,3	8,6	737	798	874	780	±41,5	36,6	4,7	81,5	±0,27	
	Циркон	0,12×0,07	25,3	31,1	29,8	28,7	±3,7	3,23	11,3	3,91	199,8	102,6	97,8	±68	6,0	6,1	70,5	±0,23	
	Ортит	0,2-0,5 до 1,5	11,1	13,6	15,1	13,3	±2,3	2,02	15,2	66,9	74,88	0,7	74,1	±7,8	6,9	9,3	82,0	±0,37	
	Рутил	0,2×0,08	0,08	0,12	0,08	0,09	±0,03	0,03	~30	0,26	0,29	0,21	0,25	±0,04	0,04	16,4	64,0	±0,49	
	Сфен	0,25-1,0	1,9	2,6	2,0	2,2	±0,4	0,38	17,4	7,8	9,1	8,6	8,5	±0,76	0,65	7,7	74,1	±0,42	
	Сульфиды	0,15	1,7	2,1	2,2	2,0	±0,3	0,26	13,1	3,3	3,7	3,6	3,5	±0,23	0,21	6,1	42,9	±0,18	
	Элиодит	0,2-0,4	690	774	650	705	±73	63	9,0	4088	4169	3	794	4017	±231	204	5,1	82,4	±0,33
	Гематит	0,1	-	0,08	0,16	0,12	-	-	-	0,20	-	0	40	0,30	-	-	-	60,0	~2,5
	Результаты сытого анализа дробленых проб			Фракции: -0,1 мм 15,9%; 0,1-0,25 мм 36,8%; 0,25-0,5 мм 31,0%; 0,5-0,8 мм 16,3%			Фракции: -0,1 мм 41,9%; 0,1-0,25 мм 58,1%			Для сумм акцессорных минералов				81,5	5,43				
Выход пылевой фракции, отделяемой при отсу- щивании			14,4%			22,1%							81,5	5,43					

Таблица 4. Потери акцессорных минералов при получении искусственных шлихов, вывод поправочных коэффициентов и расчет их доверительных интервалов (содержание в г/т).

Проба 37/6, гранит, карьер района Кременчугской ГЭС (Песчаное), вес 10 кг

Состав породы и преобладающий размер зерен породообразующих минералов	Акцессорный минерал	Преобладающий размер зерен, мм	Дробление до -0,8 мм, перемешивание, разделение на подпробы весом										Средняя потеря, %	Средний поправочный коэффициент	Доверительный интервал средних поправочных коэффициентов с надежностью 95%		
			2 кг (промывка, разделение шлиха на фракции, подсчет содержания)			500 г (дорабывание до -0,25 мм - разделение породы на фракции, подсчет содержания)			статистические характеристики								
			№ подпроб		статистические характеристики	№ подпробы		статистические характеристики	$\bar{x} \pm uS/\sqrt{n}$		S	V, %					
1	2	3	$\bar{x} \pm uS/\sqrt{n}$	S	V, %	1	2	3	$\bar{x} \pm uS/\sqrt{n}$	S	V, %						
Плагиоклаз ~ 40%, калишпат ~ 30%, кварц ~ 30%, биотит 3-4%. Размер зерен 1-3 мм, порода слегка порфировидна (тип житомирского гранита)	Магнетит	0,1-0,2	11,9	12,3	14,4	12,9 ± 1,5	1,35	10,5	23,0	25,6	24,4	24,3 ± 1,5	1,3	5,3	47,0	1,91	±0,22
	Анагит	0,15 × 0,10	6,2	6,9	8,3	7,1 ± 1,2	1,07	15,1	34,2	34,4	39,9	36,2 ± 3,7	3,24	8,9	80,3	5,10	±0,40
	Циркон	0,13 × 0,06	3,7	3,2	4,1	3,7 ± 0,51	0,45	12,2	10,8	10,5	11,9	11,1 ± 0,84	0,74	6,7	66,7	3,03	±0,24
	Монашит	0,06 × 0,09 × 0,02	6,1	6,7	7,7	6,8 ± 0,93	0,81	11,9	26,1	25,9	27,9	26,6 ± 1,3	1,16	4,35	74,3	3,92	±0,35
	Рутил	0,15 × 0,05	0,38	0,50	0,45	0,44 ± 0,07	0,06	13,7	1,00	1,12	1,11	1,08 ± 0,08	0,07	6,2	59,2	2,44	±0,22
	Сфен	0,2	0,21	0,35	0,22	0,26 ± 0,09	0,08	31,0	0,80	1,00	0,65	0,82 ± 0,20	0,18	22,0	68,3	3,17	±0,52
	Флюорит	0,1-0,4	—	0,95	—	0,32	—	—	4,45	3,87	3,82	4,05 ± 4,0	0,35	8,8	>90	>10	
	Сульфиды	0,15-0,25	4,7	5,3	6,3	5,4 ± 0,74	0,65	12,1	18,8	19,5	21,1	19,8 ± 1,4	1,24	6,2	72,6	3,67	±0,70
	Гранат	0,5 до 1-3	532	597	566	598 ± 100	88	14,6	1060	1151	1143	1121 ± 61	54	1,8	46,8	1,89	±0,23
	Дистен	0,15	0,05	0,11	0,08	0,08 ± 0,03	0,03	36,2	0,16	0,23	0,24	0,21 ± 0,05	0,043	20,5	63,5	2,76	±0,67
	Гематит	0,15	9,0	10,9	10,8	10,2 ± 1,2	1,07	10,4	25,6	27,9	27,8	27,1 ± 1,5	1,33	4,9	62,2	2,66	±0,20
	Эпидот	0,15-0,20	1,0	1,2	0,9	1,0 ± 0,2	0,16	16,0	5,3	5,2	4,6	5,0 ± 0,43	0,38	7,6	79,6	4,91	±0,57

Результаты ситового анализа дробленных проб

Фракции: -0,1 мм 20,0%;
0,1-0,25 мм 44,8%; 0,25-0,5 мм 26,2%; 0,5-0,8 мм 9,0%

Фракции: -0,1 мм 48,1%;
0,1-0,25 мм 51,9%

Для суммы акцессорных минералов

Выход пылевой фракции, отделяемой при отмучивании

18,5%

26,9%

49,5

1,98

пробу весом 2 кг, которая затем проходила весь описанный цикл обработки, и пробу 500 г. Последняя додразбивалась до — 0,25 мм (с частым просеиванием во избежание переизмельчения), отмучивалась, проходила магнитную сепарацию и делилась в больших воронках в жидкости с удельным весом 2,9. Тяжелый концентрат при помощи электромагнитной сепарации разделялся на четыре-пять фракций по электромагнитной восприимчивости. При этом тяжелая неэлектромагнитная фракция дополнительно очищалась в бромформе, а электромагнитная фракция с биотитом и роговой обманкой — в жидкости Клеричи. Затем следовал количественно-минералогический анализ.

Шлам при отмучивании проб делился на три части: оседавший в воде в течение 1—1,5 мин., 5—6 мин. и оставшийся во взвешенном состоянии после этого времени. Изучены могли быть лишь первые два класса. Из их навесок (10 г) на центрифуге выделялась тяжелая фракция, которая затем подвергалась магнитной и грубой электромагнитной сепарации и вновь очистке в тяжелых жидкостях на центрифуге от биотита и роговой обманки. Для первого гранулометрического класса шлама, где размер аксессуарных минералов составлял в среднем 0,01—0,02 мм, а чешуек биотита 0,01—0,06 мм, количественно-минералогический анализ был достаточно надежным. Для второго же класса с размером аксессуарив < 0,01—0,005 мм он был сильно затруднен и потому весьма приблизителен. Содержание аксессуарных минералов в третьем классе, оставшемся во взвешенном состоянии и составлявшем около 35—40% общего веса шлама, условно принималось равным их содержанию во втором классе. Общий выход шлама колебался от 11,5 до 18,5% в разных породах.

Соотношения минералов в шламе существенно отличались от таковых в шлехе. Помимо значительного обогащения биотитом, отмечено повышение содержания также некоторых аксессуарных минералов: циркона (в 1,5—2 раза), монацита и ортита (в большей мере это касается первого гранулометрического класса). Вместе с тем содержание таких минералов, как пирит, гранат и отчасти магнетит, оказалось заниженным. Все это внесло некоторые коррективы при расчете общего содержания аксессуарных минералов. Полученные нами сведения согласуются с данными Е. Д. Семеновы и О. Д. Ставрова.

Итоговые результаты количественно-минералогического анализа контрольных проб сведены в табл. 1—4. В них приведены также некоторые статистические характеристики содержаний: среднее арифметическое (\bar{x}), стандартные отклонения (S), доверительные интервалы средних значений и коэффициенты вариации, которые рассчитывались по следующим формулам:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i; \quad S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2; \quad \bar{x} \pm u_{95\%} \frac{S}{\sqrt{n}};$$

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%,$$

где n — количество проб; x_i — содержание минералов по отдельным пробам; $u_{95\%}$ — значение критерия u , при котором $\theta(u)$ имеет заданное значение 0,950.

Эти же характеристики рассчитаны для выводимых поправочных коэффициентов на потери аксессуарных минералов, которые получают путем деления содержаний по подпробам весом 500 г на соответствующие содержания по прошедшим промывку подпробам весом 2 кг.

При рассмотрении и сопоставлении данных табл. 1—4 прежде всего бросаются в глаза весьма значительные различия в поправочных коэффициентах (ПК) для разных видов аксессуарных минералов и типов пород. При этом размах колебаний ПК для различных аксессуарных минералов

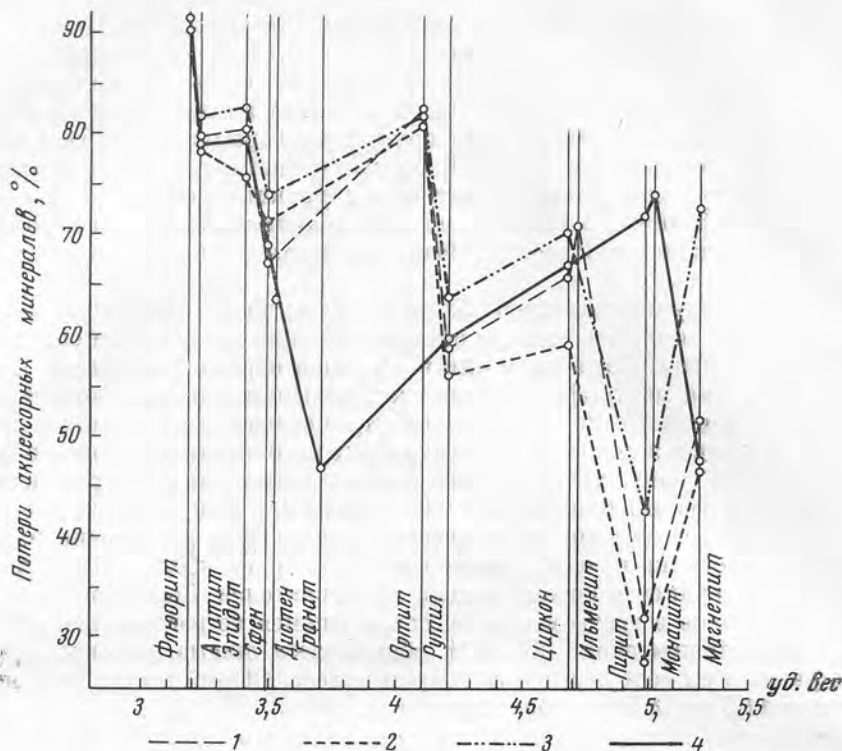


График корреляции между удельным весом аксессуарных минералов и степенью их потерь при получении искусственных шлихов
 1 — гранодиорит, проба 4/10; 2 — плагиогранит, проба 34/5; 3 — разнейсованный плагиогранит, проба 32/5; 4 — гранит мелко-среднезернистый, проба 37/6

(от 1,47 до 5,71) вполне сопоставим с размахом колебаний ПК для различных типов пород (от 1,98 до 5,43). Вместе с тем колебания ПК для одних и тех же минералов в различных породах в большинстве случаев значительно более узкие: для циркона от 2,47 до 3,41, для апатита от 4,65 до 5,44, для рутила от 2,44 до 2,76 и т. п. Большая разница в ПК для разных минералов показывает, насколько искажаются в шлихе их исходные соотношения, характерные для пород. Некоторые аксессуарные минералы обладают аномально низкими (пирит) или аномально высокими потерями (флюорит).

Сравнение ПК для суммы аксессуарных минералов показывает, что их использование создало бы только видимость благополучия, так как их значения почти целиком зависят от степени потерь преобладающего аксессуарного минерала, в одних случаях магнетита, а в других — граната.

Из данных табл. 1—4 видно также, что точность выведения ПК определяется главным образом разбросом цифр содержаний в пробах, прошедших промывку, что указывает на основной источник ошибок. Среднее значение коэффициентов вариации по этим пробам составляет 10—15%, в то время как по пробам, не проходившим промывку, ~5%. В последнем случае это обусловлено случайными ошибками квартования, количественно-минералогического анализа, сепарации и в какой-то степени, по-видимому, некоторой неоднородностью проб.

На рисунке наглядно видно, что удельный вес является главным признаком, определяющим степень потерь аксессуарных минералов при промывке. Вместе с тем наличие на графике резких пиков указывает на все-

ма важное, иногда даже преобладающее значение и других их особенностей. Высокие относительные потери ортита — следствие его общеизвестной хрупкости и вторичной измененности; это же касается ильменита. Для циркона на первый план выступает мелкий размер зерен, а для монацита дополнительно также уплощенная форма кристаллов, благоприятствующая их смыву. Значительные в одном случае потери магнетита обусловлены его гематитизацией. Аномально низкие потери пирита объясняются приуроченностью его зерен к стыкам минералов и к трещинкам в породе (как минерала наложенного комплекса), а отсюда их легкой отделяемостью от породообразующих минералов. Дополнительными факторами были высокая твердость и относительно слабая хрупкость. В случае же, когда пирит образует землистые и микрозернистые агрегаты, его потери аномально возрастают (проба 37/6). Наконец, низкие потери граната обусловлены крупными размерами его зерен и легкой отделяемостью от породообразующих минералов.

Значение текстурных особенностей пород вытекает из сравнения ПК в породах, представленных пробами 34 и 32, которые аналогичны друг другу во всем, за исключением того, что одна из них разгнейсована. Полученные данные полностью подтверждают исходные предпосылки и указывают на необходимость расчета индивидуальных ПК как для каждого вида минералов, так и для каждого типа пород.

Интересно было выяснить, насколько оправдано вычисление постоянных поправочных коэффициентов для отдельных типов пород. Другими словами, не будет ли изменяться ПК в зависимости от абсолютного содержания аксессуарных минералов в пределах одной разновидности пород, т. е. нет ли корреляции между ними. Наличие множества факторов, обуславливающих потери, не позволяет сделать априорно какого-либо определенного заключения. Поэтому возникла необходимость в постановке специального опыта.

Из серии проб по профилю (Ямбургский карьер) было отобрано пять проб, давших крайние и промежуточные между ними содержания аксессуарных минералов. Затем в дубликатах этих проб (весом по 100 г) по описанной методике были определены истинные содержания минералов и выведены поправочные коэффициенты (табл. 5).

Для выяснения зависимости между ПК и абсолютным содержанием аксессуарных минералов был применен метод статистического анализа; форма связи при этом предполагается линейной, а мерой силы связи принимается выборочный коэффициент корреляции. Для оценки значимости корреляции мы воспользовались критерием t . Нулевая гипотеза при этом состоит в том, что корреляция отсутствует, т. е. что $r=0$. Мощностность критерия для проверки гипотезы $r=0$ вполне удовлетворительна, независимо от того, как распределены x и y : нормально или нет (Ван-дер-Варден). Соответствующие формулы и результаты расчетов приведены в табл. 5.

Для всех рассмотренных минералов корреляция оказалась незначимой, так как все рассчитанные значения критерия t меньше табличных значений для 1- и 5%-ного уровней значимости. Однако, поскольку основным «критерием» математической статистики является здравый смысл, необходимо подчеркнуть, что во всех случаях коэффициент корреляции имеет отрицательное значение, что вряд ли случайно. По этому поводу можно предположить, что некоторые систематические потери, связанные с определенными методическими приемами, остаются постоянными и не зависят от содержаний минералов. Именно при этом возможно нарушение пропорциональности потерь абсолютным содержаниям минералов и возникновение отрицательной корреляции между ними. Довольно определенно отрицательную корреляцию можно связать и с тем, что при больших содержаниях аксессуарных более значительный их процент представлен крупными зернами. В первую очередь это касается апатита и магнетита.

Таблица 5. Корреляция между абсолютным содержанием акцессорных минералов и степенью их потерь при получении искусственных шлихов

Минерал	Грандиорит, Ямбургский карьер, № пробы												S _x	S _z	r _{xz}	t _{xz}			
	4/12			4/6			4/β			4/4							4/1		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z					x	y	z
Магнетит	6260	2979	2,09	8600	3983	2,16	8941	4671	1,92	11869	5858	2,02	14802	7442	1,90	3300	0,11	-0,67	1,57
Ильменит	886	265	3,34	1455	422	3,44	861	225	3,60	604	178	3,39	791	240	3,29	320	0,12	-0,13	0,23
Апатит	1056	208	5,06	1415	294	4,81	2650	528	5,01	2801	563	4,97	3061	654	4,67	901	0,16	-0,38	0,71
Циркон	52,1	18,6	2,80	109	36,1	3,03	111	39,1	2,84	159	53,0	3,00	172	64,2	2,67	47,5	0,15	-0,08	0,14
Шприт	276	197	1,40	25,2	16,7	1,51	109	80	1,36	142	89	1,60	30,0	18,4	1,63	102	0,12	-0,51	1,03
Эпидот	2042	399	5,42	1529	300	5,09	2058	441	4,90	3140	602	5,13	494	96,4	5,22	954	0,19	-0,16	0,28

t_{05, f=3} = 3,18; t_{01, f=3} = 5,84

Графы: x — содержание акцессорных минералов в породе, установленное путем разделения на фракции 100 г породы, дробленной до -0,25 мм; y — то же, установленное подсчетом во фракциях искусственного шлиха, полученного при промывке 2 кг породы, дробленной до -0,8 мм; z — поправочный коэффициент на потери акцессорных минералов.

Коэффициент корреляции $r_{xz} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(z_i - \bar{z})}{(n-1) \cdot S_x \cdot S_z}$ где n — число определений; x_i, z_i — каждое из содержаний; \bar{x} — среднее арифметическое из n определений; S_x и S_z — стандартные отклонения соответственно x и z.

Критерий $t_{xz} = \frac{r_{xz}}{\sqrt{1-r_{xz}^2}} \cdot \sqrt{n-2}$

Для полноты выводов необходимо выяснение, в каком направлении предпочтительнее в первую очередь совершенствовать методику: в сторону ли улучшения гранулометрического состава пород для более полного отделения аксессуарных минералов или же в сторону более тщательной промывки. Поставленный опыт, когда аксессуарные минералы были выделены одновременно из дробленой до $-0,8$ мм пробы, прошедшей промывку, и пробы без промывки, а также из дробленой до $-0,25$ мм пробы, показал, что для большинства аксессуарных минералов основным источником потерь является промывка (табл. 6).

Таблица 6. Относительные потери аксессуарных минералов, обусловленные промывкой и недостаточным дроблением.

Проба 32/3, плагиогранит, Чикаловский карьер (район Кременчуга)

Аксессуарный минерал	Содержание аксессуарных минералов, г/т			Общие потери, обусловленные промывкой и недостаточным дроблением, %	Потеря, обусловленная промывкой, %	Потеря, обусловленная недостаточным дроблением, %
	дробленые до $-0,8$ мм, промывка, разделение шлиха на фракции (вес 2 кг)	дробленые до $-0,8$ мм, разделение породы на фракции (вес 500 г)	дробление до $-0,25$ мм, разделение породы на фракции (вес 100 г)			
Магнетит . . .	26,8	66,4	100	73,2	54,1	45,9
Апатит . . .	101	436	554	81,7	73,9	26,1
Циркон . . .	19,9	55,7	70,7	71,9	70,4	29,6
Ортит . . .	24,2	71,9	118	79,0	50,9	49,1
Сфен . . .	0,65	1,8	2,4	70,0	65,7	34,3
Рутил . . .	0,18	0,41	0,51	64,6	69,7	30,3
Пирит . . .	0,25	0,35	0,50	50,0	40,0	60,0
Флюорит . . .	—	1,4	2,1	100,0	—	~30,0
Эпидот . . .	919	4634	5490	83,2	82,4	17,6
Гематит . . .	0,6	1,1	1,5	60,0	55,6	44,4

Значение расчета индивидуальных поправочных коэффициентов очевидно. В этом отношении можно сослаться, например, на такой факт. Отсутствие отдельных данных по потерям аксессуарных минералов из плагиогранитов района Кременчуга и Чикаловки привело бы к выводу о наличии существенных различий между ними по содержанию главных аксессуарных минералов: циркона, ортита, апатита. С учетом же этих данных породы хорошо коррелируются, несмотря на то, что они удалены друг от друга на 15 км и находятся по обе стороны от Криворожско-Кременчугской железорудной полосы.

Большая часть описанных опытов проводилась в обогатительной лаборатории института геологических наук АН УССР. Автор выражает свою признательность заведующей лабораторией Г. Я. Терец и С. Г. Башмаковой.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И МИНЕРАЛОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Статистический анализ распределения концентраций химических элементов и минералов в горных породах, выполненный рядом исследователей, показывает, что это распределение довольно сложно и часто не подчиняется нормальному закону Ляпунова — Гаусса.

Для выяснения особенностей распределения химических элементов мы изучали характер распределения элементов-примесей в искусственных кристаллах ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$), в акцессорных магнетитах и магнетитах из руд скарнового месторождения одного из районов Северного Казахстана. Определение микроэлементов в кристаллах и мономинеральных пробах проводилось спектрохимическим и химическим методами.

На искусственных кристаллах рассматривалось поведение элемента-примеси (в данном случае галлия) в процессе равновесной и неравновесной кристаллизации и проводилось сравнение с распределением элементов-примесей в кристаллах, образовавшихся при кристаллизации в природных условиях.

На рис. 1 приведены соответствующие кривые плотности вероятности распределения галлия в исследованных кристаллах. Из кривых следует, что распределение элемента-примеси в случае равновесной кристаллизации происходит по закону В. Г. Хлопина и хорошо описывается нормальным законом. При неравновесной же кристаллизации распределение элемента-примеси в продуктах кристаллизации более сложно (этот тип кристаллизации описан и изучен Дернером и Хоскинсом) и подчиняется логарифмическому закону.

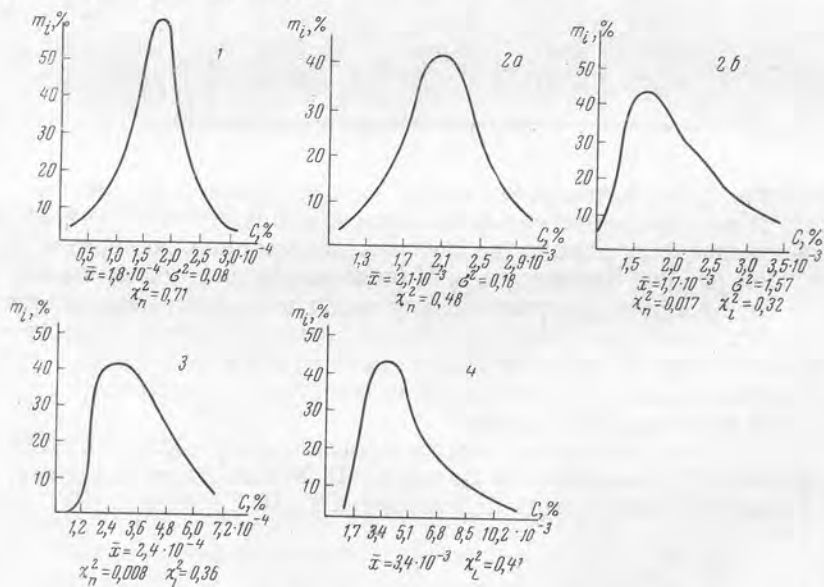


Рис. 1. Кривые распределения галлия в искусственных кристаллах (m_i — частота встречаемости, C — концентрация галлия)

1 — «чистые» кристаллы; 2 — изоморфное вхождение галлия: а — случай равновесной кристаллизации, б — случай неравновесной кристаллизации; 3 — сорбция галлия на поверхности чистых кристаллов; 4 — сорбция галлия на поверхности кристаллов типа 2

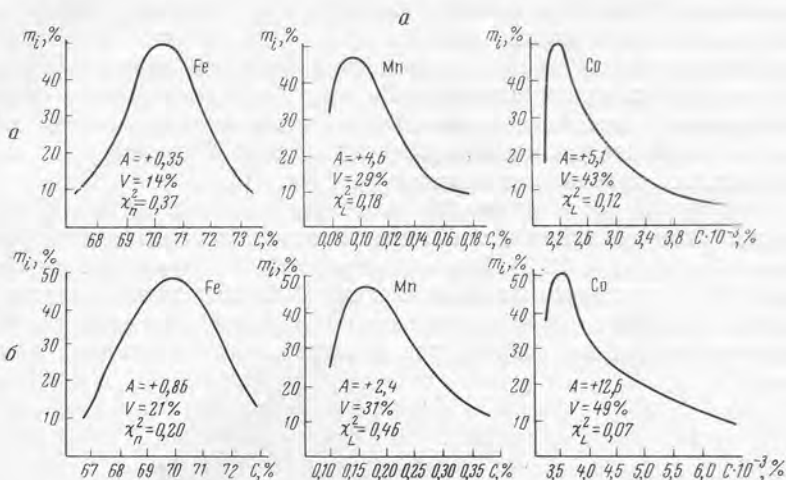


Рис. 2. Кривые распределения элементов-примесей в аксессуарных (а) и рудных (б) магнетитах

Таким образом, изменение только коэффициента кристаллизации приводит к увеличению положительной асимметрии распределения концентраций микрокомпонента. Изменение же в процессе кристаллизации и физико-химических условий вызывает еще более значительный сдвиг кривых распределения плотностей вероятности в сторону положительной асимметрии.

Кривые (рис. 1) свидетельствуют о последовательном увеличении положительной асимметрии от «чистых» кристаллов к кристаллам с содержанием изоморфного и сорбированного галлия.

В природных условиях распределение элементов-примесей в мономинералах значительно более сложно. Кроме фактора разделения элементов в процессе кристаллизации (несомненно одного из преобладающих), определенное влияние оказывают и другие факторы (понижение температуры, изменение химизма магмы и др.). Кривые плотностей вероятности распределения микрокомпонентов в этих случаях обладают большой асимметрией и иногда выходят за пределы соответствия логарифмическому закону.

Нами были отобраны 50 мономинеральных проб аксессуарного магнетита из гранодиоритов Атансорского массива и подвергнуты спектрохимическому анализу на содержание Fe, Mn, Co с последующим построением вариационных кривых распределения концентраций этих элементов. Эти кривые сравнивались с кривыми статистического распределения тех же элементов в пробах магнетита из руд скарново-магнетитового рудопроявления, генетически связанного с Атансорским массивом (рис. 2).

Целью сопоставления являлось выяснение отличий в характере статистического распределения Fe, Mn и Co в аксессуарных магнетитах интрузивных пород, характеризующихся широким диапазоном времени и условий формирования, и магнетитах, образовавшихся в сравнительно узком диапазоне скарново-магнетитового рудного процесса.

Рассмотрение сопоставляемых кривых статистического распределения позволяет сделать некоторые выводы.

1. Коэффициент вариации (V) кривых распределения рассматриваемых элементов в рудных магнетитах больше, чем в аксессуарных.
2. Коэффициент асимметрии (A) кривых для этих же магнетитов также больше, чем для аксессуарных магнетитов (за исключением Mn). Наи-

меньшим коэффициентом асимметрии обладает кривая распределения Fe, большим Mn и наибольшим Co.

Характерно, что критерий соответствия (χ^2) логнормальному и нормальному закону для распределения Co в рудных магнетитах в обоих случаях оказывается настолько малым, что ни одна из этих гипотез не может быть принята. Это же устанавливалось и для типа 3 кривой распределения в искусственных кристаллах кварцов (см. рис. 1).

3. Обращает на себя внимание значительное различие показателей асимметрии распределения Co в магнетитах аксессуарных по сравнению с рудными (5,1 против 12,6). Это свидетельствует о различии в форме нахождения Co в исследуемых магнетитах. Действительно, в аксессуарных магнетитах Co присутствует в качестве изоморфной примеси, тогда как в магнетитовых рудах он встречается в виде самостоятельных минералов (кобальтин).

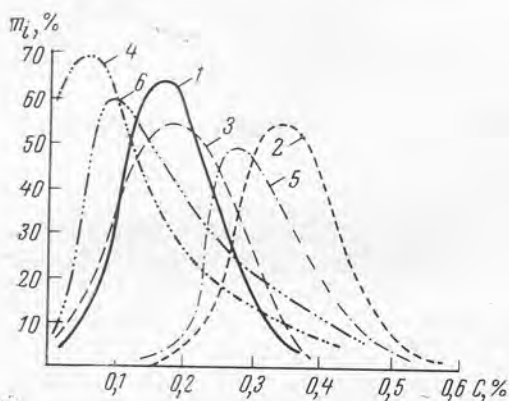


Рис. 3. Кривые распределения титана в гранитоидах

Массивы: 1 — Крыккудукский ($\bar{x} = 0,18$, $A = 0,00$); 2 — Ащикольский ($\bar{x} = 0,35$, $A = 0,02$); 3 — Балыкбайский I ($\bar{x} = 0,18$, $A = 0,2$); 4 — Боровской ($\bar{x} = 0,07$, $A = 0,35$); 5 — Тасадырский ($\bar{x} = 0,25$, $A = 4,04$); 6 — Балыкбайский II ($\bar{x} = 0,09$, $A = 2,01$)

Приведенные данные, а также исследования других авторов (Д. А. Родионов, И. Д. Рябчиков) позволяют предположить, что распределение элементов в минералах, формировавшихся в конкретных достаточно узких физико-химических условиях, по-видимому, должно приближаться к нормальному или логнормальному закону. Это относится к элементам, равномерно рассеянным среди минералов пород, к порообразующим элементам, содержание которых в главных минералах сопоставимо, и к элементам, изоморфно замещающим названные элементы.

В других же случаях (преимущественное концентрирование элементов в отдельных минералах, широкий диапазон изменения условий формирования минералов и др.) характер распределения элементов в породе будет отличаться от нормального и в ряде случаев от логнормального законов, что прежде всего относится к рудным и редким элементам, преимущественно концентрирующимся в аксессуарных или рудных минералах простого состава.

В связи с этим можно предположить, что сравнительное рассмотрение кривых статистического распределения химических элементов в горных породах может быть использовано для косвенной оценки преимущественных форм нахождения химических элементов.

В качестве примера можно привести кривые статистического распределения титана в некоторых массивах Северного Казахстана (рис. 3). Из них Крыккудукский, Балыкбайский I и Ащикольский гранодиоритовые массивы первой фазы интрузивной деятельности образовались в эпоху интенсивной складчатости ($O_2 I$), Боровской, Тасадырский и Балыкбайский II гранофиновые граниты — образования субплатформенных условий ($S_2 - D_1$) второй интрузивной фазы.

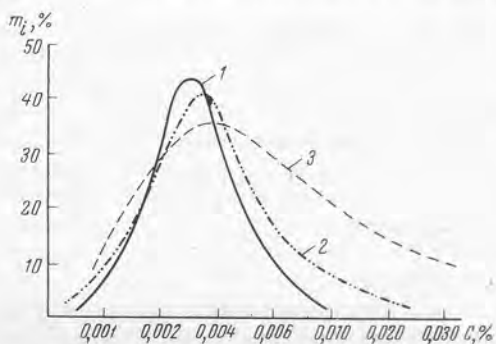
Данные, приведенные на рис. 3, свидетельствуют об аналогии в ха-

рактуре распределения титана среди пород однофазных массивов. Это подтверждается прежде всего близостью значений коэффициентов асимметрии кривых распределения (A). Так, интрузивные массивы первой фазы внедрения, представленные гранодиоритами, характеризуются нормальным или близким к нормальному распределением титана (критерий согласия χ^2 изменяется от 0,46 до 0,71). В них величина асимметрии изменяется от 0 до +0,2. В то же время для массивов второй интрузивной фазы (Боровской, Тасадырский и Балыкбайский II) характерны значительные величины положительной асимметрии (A меняется от +2,01 до +4,04).

Величины наивероятнейших концентраций (\bar{x}) в рассматриваемых массивах этих двух фаз также отличаются между собой. Так, Кырккудукский и Балыкбайский I массивы ($\bar{x}=0,18\%$), с одной стороны, Боровской и Балыкбайский II (\bar{x} соответственно равно 0,07% и 0,09%) — с другой, представляют собой главные фазы внедрения. Ащикольский и Тасадырский же массивы, пространственно тесно связанные между собой, являются более поздними образованиями Кырккудукского и Боровского комплексов. Несмотря на близкие значения наивероятнейших концентраций титана в породах Ащикольского и Тасадырского массивов, виды распределения в обоих случаях неодинаковы. Об этом прежде всего свидетельствует явное отличие в величинах асимметрии (0,02 и 4,04 соответственно). Это обуславливается различным характером распределения основных минералов — носителей титана в породах первой и второй

Рис. 4. Кривые распределения меди в гранитоидах

Массивы: 1 — Кырккудукский ($\bar{x} = 0,0030$, $A = +0,2$);
2 — Аккудукский ($\bar{x} = 0,0034$, $A = +1,7$);
3 — Ащикольский ($\bar{x} = 0,0040$, $A = +7,4$)



интрузивной фаз. Действительно, основными носителями Ti в гранитах Тасадырского массива являются темноцветные минералы, в основном биотит при подчиненном значении акцессорных минералов, тогда как в Ащикольском массиве основными носителями Ti являются акцессорные минералы при подчиненном значении темноцветных (М. И. Толстой, М. И. Остафийчук). Новые данные, полученные по Ащикольскому массиву, показывают, что на акцессорные минералы приходится 64,6% Ti , а не 34,8%, как мы считали ранее. Возможность косвенной оценки преимущественных форм нахождения химических элементов по кривым распределения особенно важна при изучении металлоносности или геохимической специализации различных интрузивных массивов.

На рис. 4 представлены распределения меди в трех генетически тесно связанных между собой интрузивных массивах с одинаковым вещественным составом (гранодиориты). Из рис. 4 следует, что наивероятнейшие концентрации меди во всех трех массивах примерно одинаковы, однако поведение кривой распределения меди в Ащикольском массиве (по коэффициентам асимметрии и вариации A и V) резко отличается от остальных.

Как показало изучение минералогического состава этих интрузивов, Ащикольский массив характеризуется значительным обогащением такими минералами, как халькопирит, куприт, халькозин и малахит, обусло-

вивших значительную положительную асимметрию и коэффициент вариации распределения меди.

Изучение металлогении территории развития пород Ащикольского, Кръккудукского и Аккудукского массивов показало, что с Ащикольским массивом связан целый ряд рудопроявлений меди различной ценности.

Исследования С. Д. Туровского, И. Х. Хамрабаева, Б. К. Львова и других свидетельствуют о достаточно широком диапазоне условий формирования акцессорных минералов и неравномерности их распределения в изверженных горных породах. Это же подтверждается исследованиями Д. А. Родионова и других, из которых следует, что распределение акцессорных минералов в породах не подчиняется нормальному закону. Поэтому можно считать, что строгое сопоставление интрузивных массивов по количественному подсчету акцессорных минералов возможно лишь при учете статистического распределения этих минералов.

Действительно, статистическое распределение акцессорных минералов в горных породах при соблюдении требований, предъявляемых к сравнимым выборкам (идентичность условий отбора проб, их дробление и выделение мономинеральных фракций, равномерность опробования, обеспеченность выборки необходимым числом проб), в значительной степени определяется условиями формирования минералов в горных породах. При увеличении диапазона времени и условий формирования акцессорных минералов кривая статистического распределения будет характеризоваться увеличением коэффициента вариации и асимметрии. В связи с этим пользоваться методикой отбора единичных даже большего веса протокочек нельзя и предпочтение следует отдать равномерному опробованию массива или его участков с последующим анализом сборной пробы. Однако в случае значительной неравномерности распределения минерала в массиве также возможна ошибка в определении наивероятнейшей концентрации в нем минерала. Дело в том, что подсчет количества минерала по такой сборной пробе предусматривает нормальный закон распределения, а это при положительной асимметрии кривых распределения приводит к завышению данных по отношению к наивероятнейшим значениям. В связи с этим, по-видимому, более правильным было бы подсчет акцессорных минералов осуществлять по частным пробам в пределах установленного В. В. Ляховичем минимума зерен (500).

Количество частных проб в общем случае должно определяться требованиями, предъявляемыми к получению обеспеченной выборки для построения вариационной кривой, с одной стороны, и неравномерностью распределения акцессорных минералов, условиями их формирования и пространственного нахождения — с другой. С достаточной для практических целей точностью число представленных для характеристики рассматриваемого массива частных проб должно быть не меньше 30—50.

Во всех случаях наиболее целесообразным следует считать равномерное опробование массива по сети, размеры которой определяются размерами изучаемого объекта, его обнаженностью, однородностью строения, поведением границы эрозионного среза. Однако при относительной равномерности строения массива и распределения в нем акцессорных минералов при плохой обнаженности предпочтение следует отдать опробованию массива по отдельным участкам.

Число таких участков должно быть не менее пяти. В пределах каждого участка необходимо отобрать не менее пяти проб. В этом случае даже при неоднородном строении массива и неравномерном распределении в нем акцессорных минералов можно получить обеспеченную вариационную кривую общего распределения акцессорного минерала в массиве.

Вес частных проб определяется прежде всего типом пород и распределением в них акцессорных минералов и устанавливается экспериментальным путем или опытом опробования подобных объектов.

Выполненные по этим частным пробам расчеты количества минералов должны служить исходными данными для построения вариационной кривой распределения изучаемого акцессорного минерала в массиве или его части (неизменные породы, эндоконтакт, определенная фаза интрузивной деятельности), параметры которой (наивероятнейшее значение концентрации мономинерала в граммах на 1 т, коэффициенты вариации, асимметрии и др.) используются при сопоставлении различных массивов или их частей. В этом случае, кроме сопоставления наивероятнейших концентраций в массивах, во внимание будет принят и характер распределения мономинералов, который преимущественно определяется условиями формирования как акцессорных минералов, так и сравниваемых массивов.

Необходимость в вариационно-статистической обработке данных еще в большей степени наблюдается при геохимической корреляции интрузивных пород по элементам-примесям в акцессорных минералах. Здесь на неравномерность распределения акцессорных минералов в породах накладывается неравномерность в распределении элементов-примесей в самих минералах. В связи с этим подобные исследования следует осуществлять путем статистической обработки анализов минералов, отобранных из частных проб, и количественную геохимическую корреляцию выполнять только при сопоставлении параметров вариационных кривых распределения элементов-примесей в акцессорных минералах сравниваемых массивов.



Е. А. КУЗНЕЦОВ

МЕТОД СРАВНИТЕЛЬНОЙ ДИСПЕРСИИ ДВУПРЕЛОМЛЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ

В табл. 1 приведен состав цирконов, определенный из разных горных пород Урала методом сравнительной дисперсии двупреломления. В дополнение к этому сделана попытка определения состава некоторых апатитов из пород того же интрузивного комплекса (табл. 2).

Полученные цифры показывают, что анализированные оптическим методом минералы соответствуют обычному их составу. Как пределы колебаний в содержании отдельных окислов, так и сумма их удовлетворительны. Надо отметить, что базисом для составления диаграмм, опубликованных ранее, послужили около 15 апатитовых кристаллов, состав которых был определен в лаборатории ИГЕМ З. В. Васильевой, специально исследовавшей апатиты. Ею были предоставлены и шлифы, послужившие исходным материалом для составления диаграмм состав — дисперсия.

Апатиты распространены среди горных пород Тагильского массива и служат характерным акцессорным минералом для габбро, диоритов и различных гранитоидов этого массива. Среди ультраосновных пород не было встречено акцессорного апатита. Наибольшее содержание его наблюдается среди габбровых пород (иногда более 2%). Среди гранитоидов его меньше, но среди кварцевых диоритов он играет большую роль.

По составу минерал относится к смешанным членам ряда, содержащим как фтор, так и хлор, но в кислых членах ряда фтор господствует. Минерал относится к сравнительно поздним продуктам кристаллизации и развит в виде короткостолбчатых кристаллов. Лишь в некоторых габбро с офитовой структурой он встречается в виде сравнительно крупных длинностолбчатых кристаллов, идиоморфных по отношению к уралиту, замещающему пироксен. Иногда зерна апатита имеют неправильную форму и

Таблица 1. Состав циркона из пород Тагильского массива по оптическим анализам

№ анализа	SiO ₂	ZrO ₂	HfO ₂	ThO ₂	Nb ₂ O ₅	V ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	H ₂ O	Сумма
777*а	32,73	62,87	2,63	0,20	0,36	0,15	0,12	0,12	0,27	0,00	0,66	100,11
777б	32,45	62,16	3,20	0,24	0,31	0,17	1,06	0,07	0,17	0,00	0,16	99,99
718а	32,44	64,76	0,00	0,19	0,37	0,14	0,00	0,10	0,35	0,14	0,26	99,45
718б	32,47	62,85	1,80	0,14	0,35	0,13	1,26	0,10	0,14	0,21	0,67	100,04
718в	32,17	65,63	0,00	0,25	0,28	0,12	0,00	0,07	0,34	0,00	0,45	99,31
718г	32,65	62,09	2,65	0,15	0,29	0,16	0,54	0,14	0,23	0,22	0,18	99,30
718д	32,59	62,59	2,03	0,12	0,40	0,14	1,48	0,07	0,12	0,26	0,38	100,18
718е	32,48	62,40	2,22	0,11	0,37	0,14	1,76	0,13	0,08	0,10	0,25	100,24
778	32,72	61,99	2,78	0,20	0,40	0,14	2,10	0,06	0,04	0,10	0,24	100,77
579	32,63	62,41	2,44	0,22	0,35	0,15	1,40	0,11	0,11	0,06	0,20	100,09
806	32,26	62,34	1,92	0,02	0,54	0,19	2,96	0,22	0,00	0,46	0,00	101,23
553	32,62	63,72	0,94	0,24	0,44	0,16	1,06	0,10	0,17	0,04	0,53	100,02
796	32,49	61,89	2,84	0,18	0,35	0,18	0,86	0,76	0,19	0,16	0,11	100,01
682	32,50	63,67	0,13	1,13	0,33	0,14	0,36	0,81	0,25	0,25	0,84	100,41

* № 777 (а, б) — циркон из кварцевых диоритов Тагильского массива; № 718 (4а — е) — обломки циркона в рассланцованном и сосюритизированном кварцевом диорите, там же. № 778, 579 и 806 — циркон из кварцевого диорита, квартал 157 Тагильского леспромхоза; № 553 — микроклиновый крупнозернистый пегматитовый гранит, там же;

№ 796 — кварцевый диорит микроклинсодержащий (7%); № 682 — кварцевый диорит, там же.

Таблица 2. Состав апатитов Тагильского массива по оптическим определениям

№ анализа	CaO	SrO	Na ₂ O	TR	P ₂ O ₅	Cl	F	SO ₃	H ₂ O	Сумма
787*	54,4	0,4	0,7	0,3	40,3	1,2	1,9	0,0	0,3	99,5
709	54,2	0,5	Следы	0,0	41,1	1,6	1,6	0,0	0,5	99,5
716	51,2	0,0	0,0	0,0	44,2	0,9	2,7	0,0	0,3	99,3
670	54,5	0,0	0,0	0,0	40,9	0,0	4,3	0,0	0,6	100,3
577	53,6	0,8	0,4	0,0	40,7	1,6	1,6	0,0	0,5	99,2
546	49,9	0,8	0,1	1,0	39,1	0,0	3,9	4,6	0,5	99,9
763	52,3	0,6	0,3	0,0	39,9	0,0	3,3	3,3	0,7	100,4
837/2	53,5	0,8	0,1	0,0	40,4	0,8	3,5	0,0	0,7	99,8
189	52,3	0,9	0,0	0,0	41,1	0,3	3,3	0,0	0,2	99,0
583а	53,1	0,3	0,0	0,0	41,4	1,2	2,0	0,0	0,4	98,4
583б	53,0	0,0	0,0	0,0	40,3	0,7	2,4	0,0	0,2	96,6

* № 787 — кварцевый габбро-норит с кварцем (1,5%) и плагиоклазом № 49;

№ 709 — габбро с плагиоклазами № 42; № 716 — сосюритовое габбро и уралитовое;

№ 670 — сосюритизированное на 95% габбро и уралитовое с составом реликтов плагиоклазов № 35;

№ 577 — кварцевый диорит; № 546 — сосюритовый габбро-диорит; № 763 — монцогаббро-сиенит;

№ 837/2 — авгитовый сиенит; № 189 — сиенит; № 583а — плагиоаплит метаморфизованный, ядро кристалла;

№ 583б — тот же кристалл, периферическая зона.

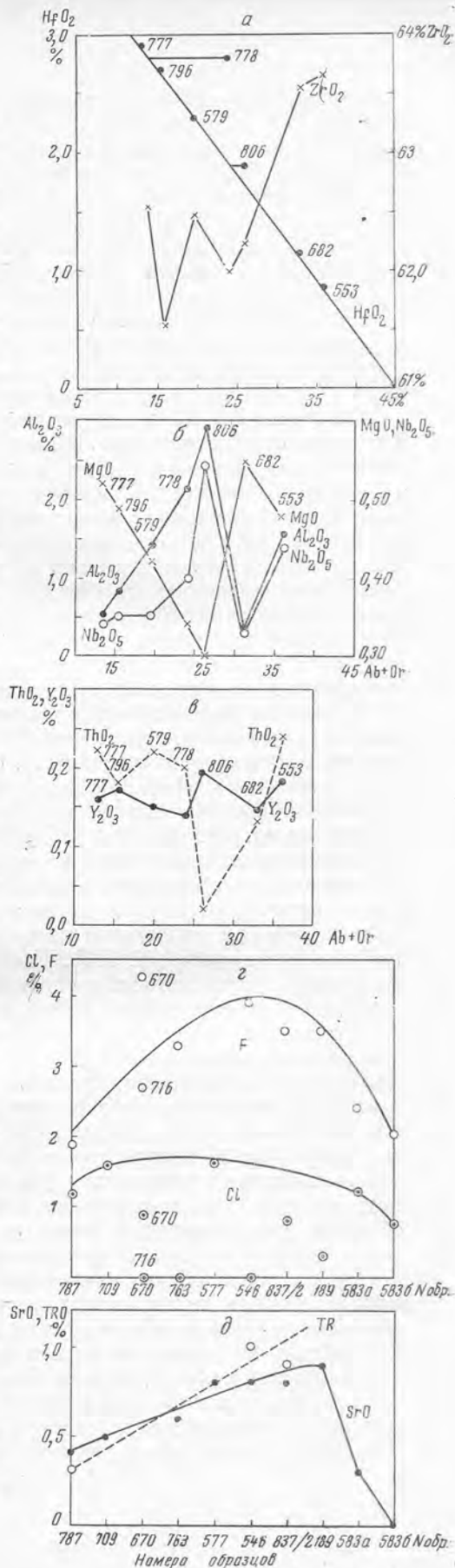
Ход изменения содержания:

a — двуокиси гафния и циркония в зависимости от содержания альбита и калиевого полевого шпата; *б* — магния, алюминия и ниобия в цирконах Тагильского массива (порядок анализов тот же); *в* — трехокиси иттрия и двуокиси тория в цирконах Тагильского массива (порядок анализов тот же); *г* — хлора и фтора в апатитах из пород Тагильского массива. Порядок анализов: габбро (N 787 и 709), соссюритовое габбро (N 670 и 716), мондзогаббро-сиенит (N 763), кварцевые диориты (N 577 и 546), сиениты (N 837/2 и 189) и плагиоаплит (N 583 а и б); *д* — окиси стронция и редких земель в апатитах Тагильского массива (порядок анализов, как на позиции *a*)

являются наложенными, образовавшимися в позднее время. В таком случае они имеют вид зерен, следующих рядами в структуре пород, и при их образовании, по-видимому, большую роль играли летучие компоненты: галоиды и фосфор, а также некоторые другие.

Рассмотрим вопросы, связанные с составом цирконов и апатитов. На рисунке (*a*) приведена диаграмма связи содержания гафния в составе цирконов (согласно с табл. 1) с содержанием щелочных компонентов в составе пород. Выразителем щелочных компонентов принято содержание в породах альбитовой и ортоклазовой составляющих полевых шпатов. Для этого были пересчитаны количественно-минералогические составы горных пород, причем количество альбита принималось равным тому содержанию его, которое соответствует составу плагиоклазов, определенному оптическим путем (Е. А. Кузнецов). В тех случаях, когда в породах присутствует калиевый полевой шпат, он присоединялся к альбитовому компоненту, так как анортитовый компонент в составе микроклина играет небольшую роль.

По оси абсцисс отложено содержание альбита и калиевого полевого шпата в породах, а по оси ординат — количество окиси гафния в составе циркона. Из диаграммы видно, что количество гафния постепенно понижается с увеличением щелочности породы. Только в анализе № 778 (кварцевый диорит-пегматит) количество окиси гафния уклоняется от



прямой зависимости от содержания щелочных компонентов полевых шпатов, вероятно, в значительной степени из-за недостаточности площади и отсутствия точных данных минерального состава породы.

Казалось бы, что наличие большого количества щелочей должно было бы соответствовать большему содержанию гафния в составе цирконов (В. В. Ляхович, И. Д. Шевалеевский), однако надо иметь в виду, что в наиболее богатом щелочными полевыми шпатами граните пегматоидного вида (№ 553), содержащем более 30% микроклина, измерившийся кристаллик циркона (не более 0,05 мм) представлял собой включение в кристалле плагиоклаза, что свидетельствует о раннем времени выделения минерала в довольно вязкой среде. Щелочной состав расплава должен был удерживать гафний от выделения в составе первых кристаллов, тогда как других более поздних выделений минерала в породе не было.

Интересно сравнить содержание других компонентов в составе цирконов этого комплекса пород. Естественно, что содержание циркония как главного компонента в составе минерала в общем обратно по отношению к содержанию гафния. Содержание окиси алюминия и окиси магния взаимно противоположно по характеру изменения (см. рисунок, б), что естественно, так как они определяются по дисперсии двуреломления одной и той же волны, что показывает их изоморфизм в составе циркона. Хотя содержание пятиокси ниобия определяется не на одной волне с окисью алюминия, тем не менее вполне согласное поведение ее в составе минералов с поведением алюминия указывает на тесную связь этих элементов и их окислов и делает очень вероятным то, что ниобий представлен в составе минералов в виде трехвалентного иона.

Близко по форме и распределению трехокси иттрия в составе цирконов, тогда как изменение в содержании двуокси тория имеет противоположный характер (см. рисунок, в).

Для состава апатитов не было найдено компонента, по которому можно было бы проводить сравнение минералов из отдельных пород. Поэтому на диаграмме (см. рисунок, г) представители горных пород расположены на равных расстояниях друг от друга. Сначала идут габброиды в порядке их убывающей основности, о чем можно судить по составу их плагиоклазов, количеству сосюрита, пироксенов и другим признакам; затем точки, соответствующие кварцевым диоритам, потом сиенитам и, наконец, аплитам гранитного ряда (№ 583). Диаграммы построены по содержанию хлора и фтора, редких земель и стронция.

В среднем содержание фтора в апатитах комплекса превосходит содержание хлора и постепенно увеличивается к кислым членам ряда, кроме одного плагиоаплита, в котором оно меньше, тогда как содержание хлора постепенно падает, хотя изменяется незакономерно. Содержание стронция обнаруживает закономерное увеличение от основных габброидов (габбро-нориты) к сиенитам, и только плагиоаплит № 583 обнаруживает пониженное количество этого компонента (см. рисунок, д). Таким образом, апатит плагиоаплита уклоняется по ряду признаков от апатитов других пород, что, по-видимому, связано с тем, что апатит в этой породе обнаруживает вторичный характер, вероятно благодаря перекристаллизации породы, так как структура ее гранобластовая.

Редкие земли обнаружены только в трех образцах апатитов: в габбро-норите, в одном из кварцевых диоритов и в сиените. В последних двух образцах апатиты наиболее богаты редкими землями. Диаграмма для редких земель не может считаться строго установленной, так как в этой сборной ассоциации элементов фактически не может быть строго подобранной длины волны, отражающей все их содержание. Также не может считаться строго установленным и содержание фтора и хлора, так как диаграмма, составленная для них, оправдывается для суммы компонентов,

Таблица 3. Состав апатитов Лебяжинского и Высокогорского месторождений (по А. К. Болдыреву)

№ анализа	CaO	MgO	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TR	P ₂ O ₅	F	Cl	SO ₃	H ₂ O	CO ₂
1	49,90	0,32	0,05	2,15	0,24	0,24	1,05	39,14	0,89	1,04	0,27	0,72	3,74
2	52,94	0,29	0,07	0,50	0,38	1,14	1,54	40,68	0,45	1,27	0,19	0,16	0,16
3	51,53	0,64	—	—	2,95	0,53	2,05	37,97	—	0,83	—	1,98	1,48

Примечания. Анализ № 1 — буро-серый апатит, Лебяжинский рудник, из гнезда в магнетите; № 2 — зеленый прозрачный апатит, отсюда же, вместе с диопсидом, биотитом, магнетитом и другими минералами; № 3 — высокогорный апатит.

Сумма в анализе № 1 равна 100,80 при 1,59% нерастворимого остатка и при сильной карбонатизации минералов; в анализе № 2 она равна 99,87 при 0,10% нерастворимого остатка и в анализе № 3 99,96% при наличии вторичных пленок окислов железа на кристаллах,

тогда как для каждого из них наблюдались отклонения. Все же общая тенденция увеличения содержания фтора к кислым породам очевидна.

Апатиты из контактового ореола сиенитов Тагила были анализированы А. К. Болдыревым. Их состав для сравнения приведен в табл. 3.

При сравнении апатитов из месторождения с апатитами из сиенитов вдали от месторождения (см. табл. 2) устанавливается следующее. Главное отличие состоит в том, что апатиты из месторождения преимущественно хлористые, тогда как в магматических породах они имеют смешанный состав, но при господстве из летучих компонентов фтора. В магматических породах количество элементов воды меньше, чем в апатитах из месторождений. Обращает на себя внимание относительно небольшое количество серы в апатитах из месторождений. В апатитах магматических пород она (SO₃) установлена в двух разностях — в апатитах из монцонита (3,3%) и в сильно метаморфизованном сосюритовом габбро-амфиболите, что естественно для последнего случая (так как апатит в нем сопровождается пиритом).

Максимальная концентрация редких земель в апатитах из магматических пород составляет 0,9—1% (соответственно сиенит № 189 и кварцевый диорит, № 546). В апатитах из рудных месторождений содержание редких земель возрастает до 2,05%, что естественно, так как в рудные месторождения отходят остаточные растворы, богатые летучими и редкими компонентами.

В апатите из аплита (№ 583) по оптическим анализам не могла быть получена сумма более 98,4%, что связано с зональностью апатита и плохими условиями наблюдения момента компенсации. Судя по зональности, к периферии кристалла увеличивается содержание фтора за счет хлора.

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ СЕПАРАЦИИ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ

Г. А. КОЦ, Е. Г. РАЗУМНАЯ

МИКРООБОГАТИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ СЕПАРАЦИИ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

В широкой минералогической практике до последнего времени из известных методов сепарации применялись главным образом магнитная сепарация (магнит и электромагнит) и метод разделения в тяжелых жидкостях, включая центрифужный анализ. Внедрить в область минералогического анализа и других методов гравитационное обогащение, а также флотацию и электросепарацию было невозможно из-за отсутствия приспособленной для этих целей малогабаритной обогатительной аппаратуры.

В 1962 г. промышленностью вышущена полевая малогабаритная обогатительная лаборатория (ПОЛМ) для сепарации минералогических проб.

ПОЛМ представляет собой комплект приборов для измельчения, рассева по крупности и сепарации всеми наиболее распространенными в практике обогащения полезных ископаемых методами пробы весом от нескольких граммов до нескольких килограммов.

Измельчение и рассев проб осуществляются при помощи комбинированного прибора, работающего как планетарная шаровая мельница или как ситовой анализатор для навесок 20—80 г.

Гравитационное, флотационное и жировое обогащение осуществляется при помощи комбинированного прибора, основными частями которого являются: микрогабаритный концентрационный стол с декой размером 150×260 мм и производительностью 3 кг/час, флотационная машина механического типа для навесок 25—50 г, съемный грохот для навесок 200—300 г, жировой лоток и жировой стакан для сепарации проб на липких поверхностях. Помимо этого, в комплекте лаборатории имеются малогабаритный винтовой сепаратор для гравитационного обогащения проб производительностью 10—20 кг/час и ручная пневматическая флотомашина для навесок 0,5—5 г.

Сепарация минералов по различиям в их электропроводности в ПОЛМ осуществляется при помощи электрического сепаратора коронного типа с подводом тока от электродной машины, имеющего производительность 1—2 кг/час, и электрического прибора для микронавесок (0,2—2 г). Магнитное обогащение проб в слабом поле производится ручным магнитом с чехлом, весьма удобным для сепарации как крупных (0,5 мм), так и самых мелких классов (0,05 мм) руд, и постоянным магнитом А. Я. Сочнева.

Лаборатория укомплектована также всем необходимым мелким оборудованием, инвентарем, посудой и реагентами.

Характерной особенностью всех приборов, входящих в состав этой приспособленной для полевых работ лаборатории, является то, что они приводятся в движение от ручного привода. В соответствии с назначением для полевых работ оборудование упаковано в специальные вычурные ящики. Общий вес всех четырех ящиков с упаковкой 125 кг.

Для стационарных организаций разработан вариант лаборатории с механическими приводами всех приборов — МОЛМ.

При выделении мономинеральных фракций из руд различного типа и горных пород необходимо учитывать следующее.

Поскольку в большинстве случаев рудные минералы отличаются от жильных и породообразующих более высокими удельными весами, то, как правило, бывает целесообразным положить в основу схемы сепарации гравитационное обогащение на концентрационном столе или при помощи винтового сепаратора. Однако можно указать и на некоторые исключения. При сепарации руд, содержащих в значительных количествах магнитные минералы, такие как магнетит, титаномагнетит и пирротин, процесс сепарации целесообразно начинать с выделения этих минералов при помощи магнита РМЧ. Если необходимо выделить минералы из группы сульфидов, обогащение на гравитационных аппаратах может быть заменено флотацией. В некоторых случаях, когда все рудные минералы относятся к категории проводников, целесообразно применить в первую очередь электрическую сепарацию.

Для разделения полученного тем или иным способом так называемого коллективного концентрата рудных минералов обычно используются электромагнит и электрический сепаратор для микронавесок. На этом этапе большое значение имеет и метод разделения минералов по удельному весу в тяжелых жидкостях. В частности, больших успехов в разделении тяжелых минералов с удельным весом 3,4 удается добиться методом фракционной домывки в чашках в тяжелых жидкостях. На конечном этапе не удается полностью отказаться и от отбора зерен под бинокляром, так как ни одним из методов механического обогащения нельзя получить абсолютно чистые мономинеральные фракции. Для сепарации приборами лабораторий ПОЛМ и МОЛМ наиболее удобен размер частиц измельченной руды от 0,25 до 0,05 мм, при необходимости этот диапазон может быть расширен приблизительно от 0,5 до 0,002 мм. В случаях особенно тонкозернистых руд при оптимальном для сепарации измельчении пробы значительная часть минералов остается в ней в виде сростков.

Приведем несколько примеров выделения мономинеральных фракций.

Выделение отдельных сульфидов из полиметаллической руды одного из месторождений (галенит, пирит, сфалерит и пирротин) проводилось по трем различным схемам. В основу первой схемы положено сочетание магнитного обогащения (для отделения пирротина) с гравитационным на столе. По второй схеме после магнитного обогащения применялась флотация, по третьей — электросепарация. Разделение коллективных концентратов сульфидов осуществлялось домывкой в чашках в бромформе.

По всем трем схемам получены высококачественные концентраты отдельных сульфидов: галенитовые концентраты с содержанием галенита 99—99,5%, пиритовые — около 98%, сфалеритовые — 97%.

Выделение мономинеральных фракций из тантало-ниобиевой руды (колумбит, пирохлор и касситерит) осуществлялось на концентрационном столе с домывкой концентрата в чашках. Гравитационный концентрат в дальнейшем обрабатывался с использованием электромагнита и электрического сепаратора в комбинации с фракционной домывкой в чашках в бромформе. В результате получены концентраты: колумбитовый (98% колумбита), касситеритовый (98% касситерита), топазовый (99,5% топаза) и коллективный концентрат из цирколита и топаза, содержащий 40% цирколита.

Мономинеральные фракции псеелита и пирита из их совместного концентрата удалось выделить методом флотации. Одинаково хорошие результаты получены и на механической, и на пневматической флотационных машинах.

Концентрация аксессуарных минералов из горных пород наиболее производительна на винтовом сепараторе. Разработана схема сепарации гранита при помощи этого прибора в комбинации с домывкой концентратов в чашках. При обогащении по этой схеме аксессуарные минералы, имеющие удельный вес более 4 (пирит, ильменит, магнетит, циркон и др.), извлекаются в концентрат практически полностью, при удельном весе минералов $\sim 3,5$ (ортит) извлечение их в концентрат составляет 90%. Хорошие результаты по концентрации аксессуаров могут быть получены и на концентрационном столе.

Дальнейшее разделение концентрата аксессуаров на отдельные минералы может осуществляться по схеме, представляющей сочетание магнитной сепарации с электрической и с разделением в тяжелых жидкостях. При обработке гранита по этой схеме выделены богатые концентраты магнетита, ильменита, сфена, циркона, ортита и апатита. Кроме того, эта схема может быть дополнена электросепарацией, которая осуществляется до или после электромагнитной сепарации.

Введение электросепарации позволяет дополнительно сильно сузить круг минералов, попадающих в отдельные фракции. Так, электросепарация электромагнитной фракции позволяет, например, отделить ильменит от ставролита и турмалина, при сепарации немагнитной фракции отделяется рутил от циркона.

При другом составе шлиха из магнитной фракции в проводниковую фракцию отделились хромит, гематит и лимонит, в то время как железистые силикаты — гранат, эпидот, пироксены и оливин — остались в непроводниковой. Электрическая сепарация немагнитной фракции этого шлиха позволила отделить пирит и другие сульфиды от таких минералов, как циркон, апатит и др.

При изучении распределения редких и рассеянных элементов по минералам большую помощь может оказать сепарация специально отобранных проб руды с дальнейшим химическим анализом полученных продуктов и соответствующей интерпретацией этих анализов. Сепарация, проводящаяся для выявления носителей редких элементов, имеет свои особенности. В этом случае необязательно добиваться получения мономинеральных фракций, что иногда и невозможно, достаточно достигнуть известной концентрации различных минералов в отдельных продуктах сепарации. С другой стороны, при таком исследовании очень важно проанализировать все полученные продукты, чтобы иметь возможность подвести количественный баланс определяемых элементов. Важным преимуществом широкого применения ПОЛМ и МОЛМ являются возможность стандартизации методов сепарации, а также возможность попутной предварительной оценки обогатимости руд при их минералогическом анализе.

Проведенными в ВИМСе опытами оценки обогатимости некоторых руд на приборах ПОЛМ при навесках 0,5—5 кг и условии измельчения исходного материала до крупности 1 мм достигнуты показатели обогащения, мало отличающиеся от получаемых на лабораторной обогатительной аппаратуре обычных размеров при обработке проб весом 20—100 кг и даже от результатов полупромышленных испытаний проб весом в несколько сот тонн. Эти опыты требуют более детальной экспериментальной проверки на рудах различных типов. В случае подтверждения хороших результатов открываются перспективы проведения оценочных обогатительных работ при помощи ПОЛМ и МОЛМ непосредственно в полевых условиях, что позволит сократить сроки и снизить стоимость работ.

СХЕМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ УЛЬТРАОСНОВНЫХ, СРЕДНИХ, КИСЛЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

Практика выделения акцессорных минералов из горных пород показывает, что весь процесс разделения можно разбить на три этапа: 1) дробление, 2) выделение концентрата акцессорных минералов и 3) разделение концентрата акцессорных минералов на мономинеральные фракции.

Дробление. Схему дробления нужно выбирать такую, которая обеспечит максимум раскрытия зерен акцессорных минералов без их переизмельчения. При этом необходимо учитывать размер зерен, твердость и хрупкость не только акцессорных, но и породообразующих минералов, а также их характер срастания между собой. Крупнозернистые породы следует дробить до 1 мм, в случае необходимости (наличие сростков в концентратах) додрабливая до — 0,5 или — 0,25 мм.

Среднезернистые породы дробятся, как правило, до — 0,5 мм и додрабливаются до — 0,25 и даже — 0,1 мм. Мелкозернистые породы дробятся до — 0,25 и додрабливаются до — 0,1 и в некоторых случаях до — 0,05 мм.

Дробление последовательно ведется на щековых и валковых лабораторных дробилках и дисковых истирателях. Дробление на валковых дробилках и дисковых истирателях следует осуществлять последовательно 2 раза с контрольным рассевом во избежание переизмельчения.

Контрольный рассев полученных классов проводится на ситах или грохотах в зависимости от количества дробленого материала.

Следует отметить, что в процессе разделения при необходимости выделения мономинеральных фракций часто применяется додрабливание вручную (раздавливание пестиком в яшмовых ступках) отдельных фракций с последующей отмывкой от пыли и рассевом на классы для лучшей сепарации и получения мономинеральных фракций.

Выделение концентрата акцессорных минералов. При разработке схемы выделения концентратов акцессорных минералов мы руководствовались необходимостью создания наиболее рациональной (короткой) схемы, которая требует наименьшей затраты труда и расхода дорогостоящих реактивов. На выбор схемы влияют начальный вес проб, который практически колеблется от 2 до 40 кг, процентное соотношение в породе лейкократовых и меланократовых минералов, зернистость породы, количество акцессорных минералов и их свойства.

Нами, как правило, применяются две схемы для выделения концентратов акцессорных минералов. Схема 1 применяется, когда начальный вес пробы более 7 кг, количество темноцветных не более 10% и вес концентрата после концентрационного стола не превышает 0,5 кг (обычно это кислые и средние, реже основные породы).

В этом случае проба, предварительно отмытая от пыли, подвергается обогащению на концентрационном столе, из концентрата еще в мокром состоянии ручным магнитом выделяется магнетит, а немагнитная фракция, содержащая пара- и диамагнитные минералы, если ее вес не превышает 300 кг, подвергается разделению в бромформе. Тяжелая фракция после обработки бромформом поступает на электромагнитную сепарацию, которая ведется при заданном напряжении так, чтобы в первую и вторую электромагнитные фракции обособлялись породообразующие парамагнитные темноцветные и некоторые акцессорные минералы.

Схема 1, Аб применяется в том случае, когда вес концентрата концентрационного стола составляет более 300 г и в нем содержится значительное количество породообразующих темноцветных минералов. При этом

непосредственное применение бромформа для разделения концентрата экономически нецелесообразно, и его предварительно подвергают электромагнитной сепарации на роликовом сепараторе.

Схема II применяется в тех случаях, когда вес пробы невелик (до 7 кг), а количество темноцветных породообразующих достигает 30—40% от веса всей породы (обычно это основные, ультраосновные и некоторые породы среднего и щелочного состава). В этом случае вес концентрата после концентрального стола достигает 1,5 и даже 2 кг. Такие пробы не промываются на концентраторном столе, а после отмывки от пыли поступают

Схемы выделения концентратов аксессуарных минералов

Схема 1

Выделение магнетита из дунита

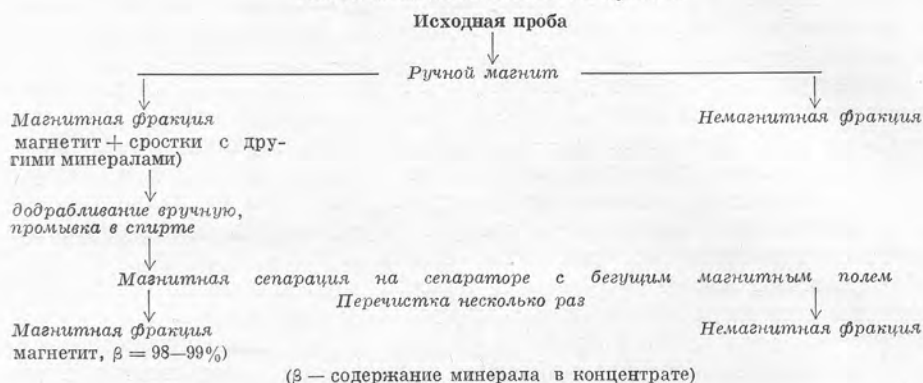


Схема 2

Выделение хромшпинелида из дунита

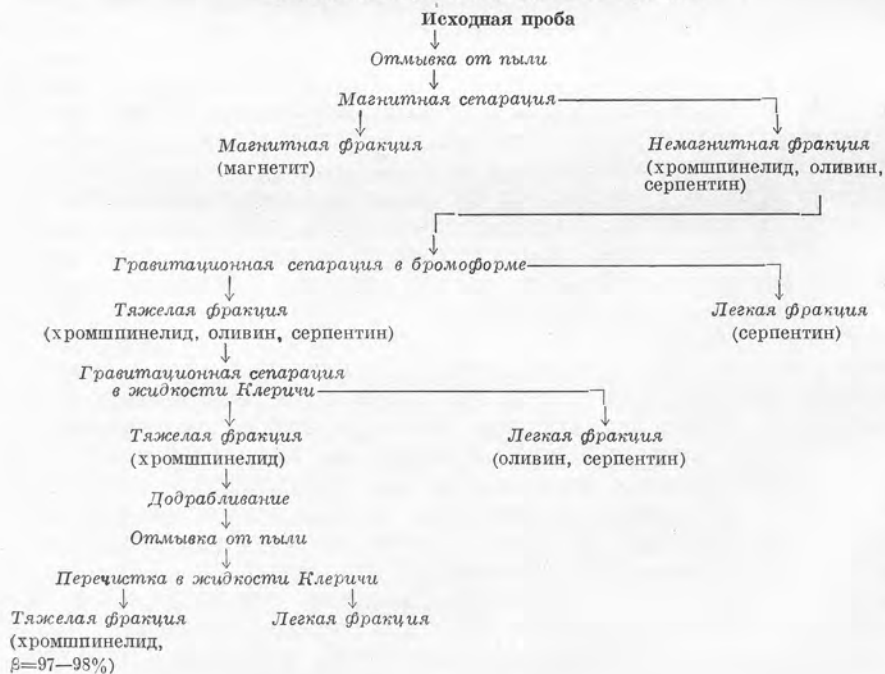


Схема 3
Выделение сфена из гранитов

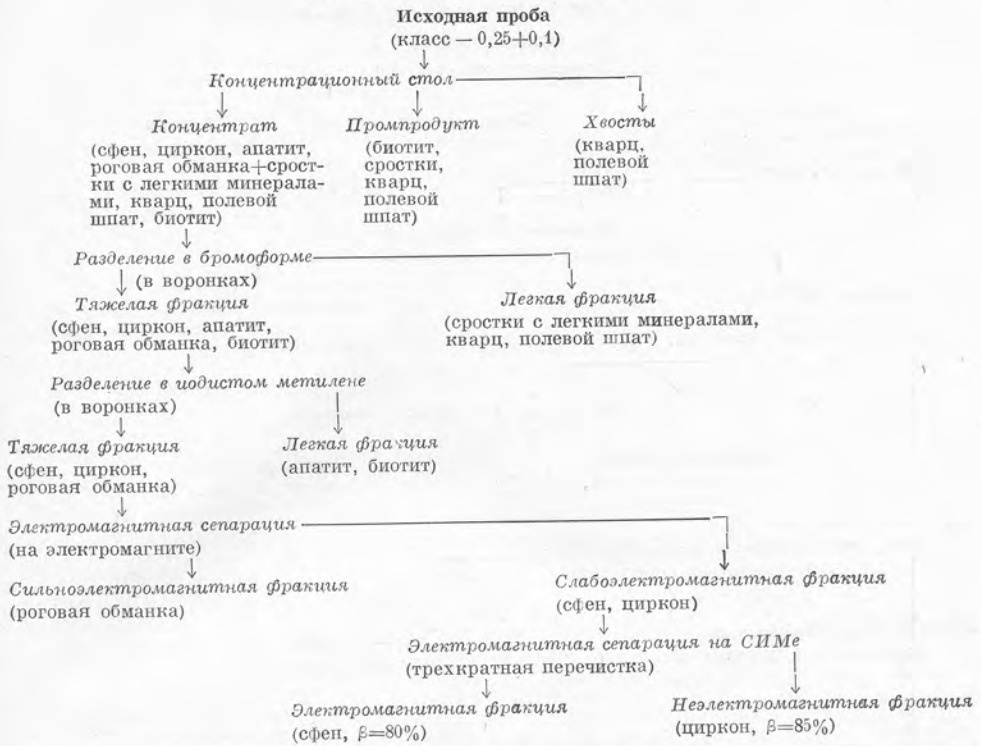


Схема 4
Выделение циркона и апатита из гранит-порфира

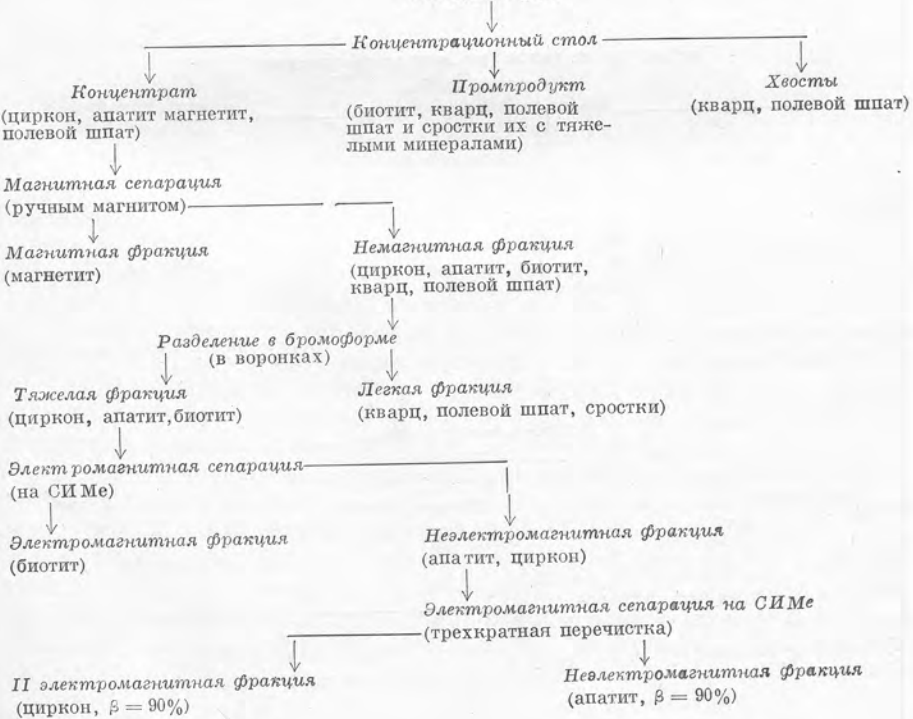


Схема 5

Выделение циркона из порфирита

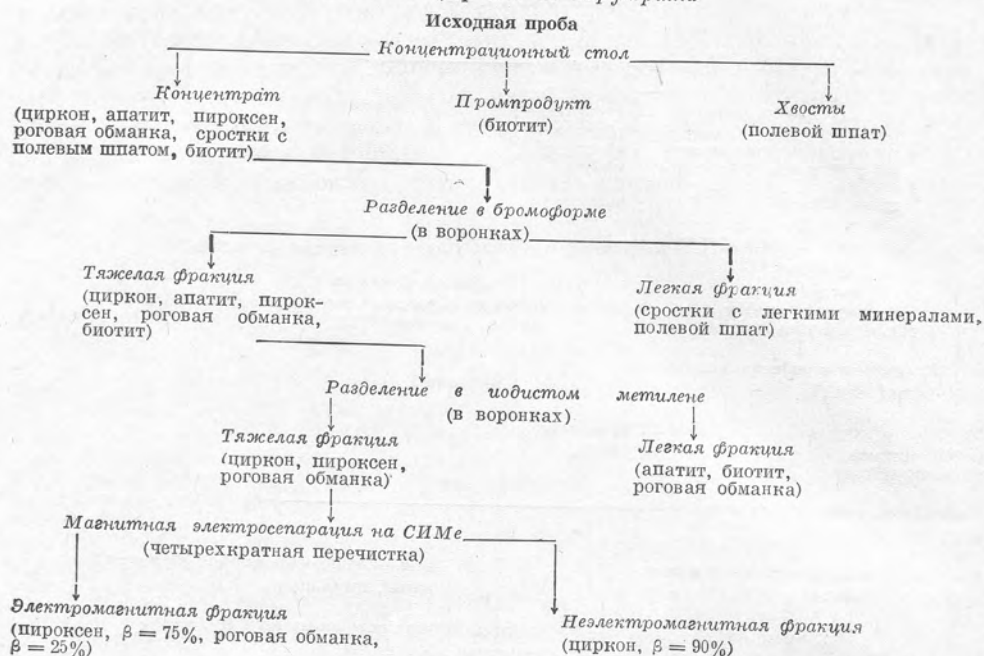


Схема 6

Выделение пирита из метаамфиболита

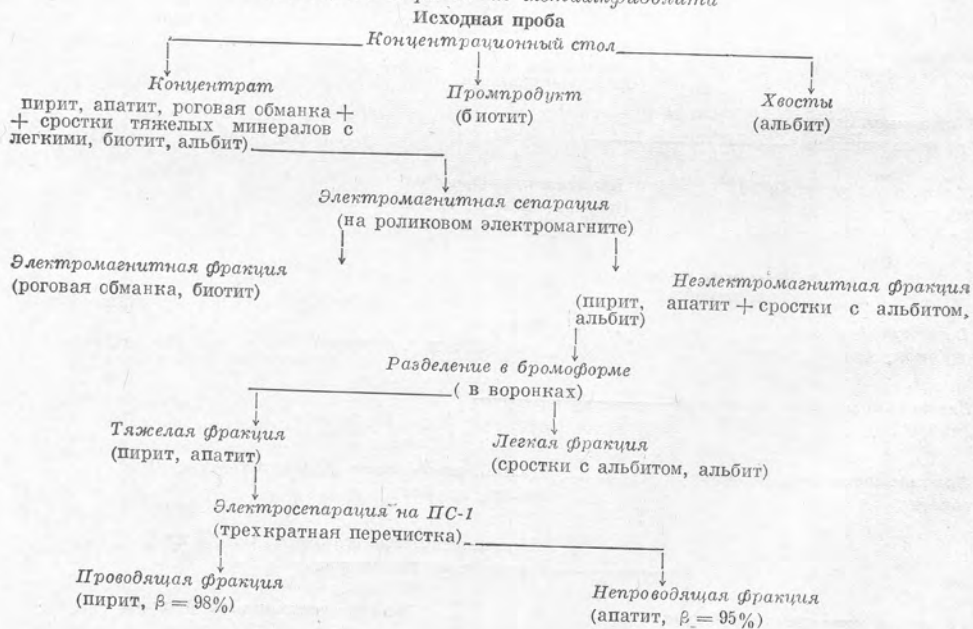


Схема 7

Выделение касситерита и вольфрамита из грейзена

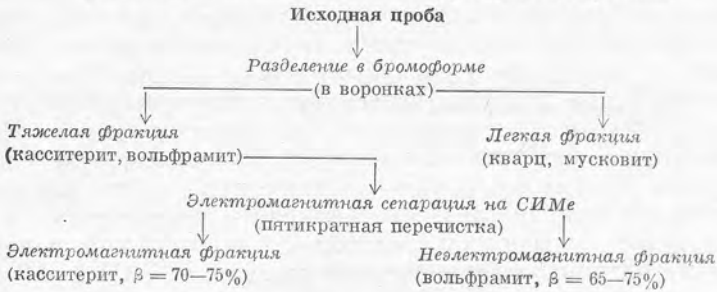
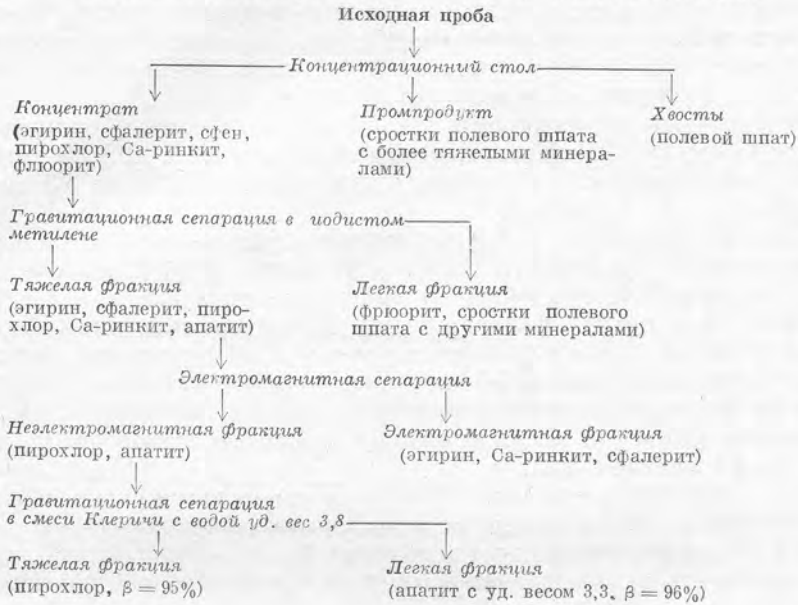


Схема 8

Выделение пирохлора из пегматитов Хибинского комплекса



на роликовый электромагнитный сепаратор для отделения основной массы темноцветных. Если вес неэлектромагнитной фракции более 300 г, то она может пропускаться через концентрационный стол (схема II, Ba), при весе менее 300 г она сразу поступает на разделение в бромформе (схема II, Bб). Приведем некоторые пояснения к основной схеме I.

Проба, предварительно отмытая от пыли, подвергается обогащению на концентрационном столе; из концентрата еще в мокром состоянии ручным магнитом выделяется магнетит, а немагнитная фракция, содержащая аксессуарные и породообразующие темноцветные минералы, подвергается электромагнитной сепарации на роликовом электромагните (схема I, Аб).

В первую и вторую электромагнитную фракции обычно попадают биотит, амфиболы, пироксены и другие породообразующие парамагнитные минералы. Из аксессуарных могут концентрироваться гранаты, турмалин и шпинель. Последние могут быть отделены сепарацией на СИМ-1, а затем очищены от примесей гравитационной сепарацией. В неэлектромагнитной фракции при заданном напряжении поля остаются остатки минералов легкой фракции (полевые шпаты, кварц, нефелин), а из аксессуарных — апатит, флюорит и др.

После роликового сепаратора неэлектромагнитную фракцию разделяют в бромформе. В легкой фракции концентрируются минералы с удельным весом менее 2,9 (полевой шпат, кварц и их сростки с меланократовыми породообразующими минералами). В тяжелой фракции с удельным весом более 2,9 остаются акцессорные и темноцветные. После разделения в бромформе вес концентрата уменьшается в 1,5—2 раза. Тяжелая фракция после бромформа вторично подвергается электромагнитной сепарации на более сильном электромагните с получением до пяти фракций. В первую и вторую фракции обособляются из акцессорных минералов гранат, шпинель и турмалин, в третью и четвертую — сфен, циркон и эпидот и, наконец, в пятую (неэлектромагнитную) — апатит, пирит и др.

При повторных перераспределениях первой — четвертой электромагнитных фракций на магнитном изодинамическом сепараторе СИМ-1 (М. Я. Кац) могут быть получены мономинеральные фракции некоторых акцессорных минералов с применением додразливания и повторного отсева на классы. При близких электромагнитных параметрах разделяемых минералов электромагнитная сепарация не всегда позволяет выделить в одну фракцию акцессорные минералы, и возникает необходимость вторичного применения гравитационной сепарации с использованием иодистого метилена (удельный вес 3,15) и жидкости Клеричи (удельный вес 4,2).

В легкой фракции иодистого метилена обособляются минералы с удельным весом 2,9—3,3 (apatит, флюорит, турмалин и др.). В тяжелой фракции концентрируются минералы с удельным весом более 3,3 (пирит, сфалерит, киноварь, топаз и др.).

Тяжелая фракция после иодистого метилена при необходимости подвергается разделению в жидкости Клеричи. В легкую фракцию после разделения в жидкости Клеричи попадают минералы с удельным весом от 3,3 до 4,15 (топаз, сфен, ортит, сфалерит и др.). В тяжелую фракцию обособляются все минералы с удельным весом более 4,15. Применение электрической сепарации на приборе ПС-1 позволяет получать отдельные мономинеральные фракции акцессорных минералов, отделяя минералы проводники (халькопирит, пирит) от полупроводников (сфалерит, киноварь) и диэлектриков (топаз, анатаз и др.).

Кроме изложенных основных схем I и II, приводится еще восемь схем выделения одного или нескольких акцессорных минералов. Выделение магнетита из дунита рекомендуется по схеме 1.

В зависимости от содержания магнетита и веса исходной навески пробу обрабатывают по-разному. В данном случае при большом содержании магнетита и небольшой навеске из пробы ручным магнитом выделяют магнетит, затем додразливают его в яшмовой ступке, промывают спиртом и пропускают через сепаратор с бегущим магнитным полем (К. К. Никитин) до получения концентрата 98%-ной чистоты.

В тех случаях, когда содержание магнетита мало, а вес пробы большой, пробу пропускают через концентрационный стол и из концентрата в мокром виде ручным магнитом выделяют магнетит, заливают его спиртом и сушат. Затем полученную магнитную фракцию стирают вручную в яшмовой ступке и пропускают несколько раз через сепаратор с бегущим магнитным полем до получения концентрата 98%-ной чистоты.

Выделение хромшпинелида из дунита осуществляется по схеме 2 (см. рис. 2), сфена из гранитов — по схеме 3, циркона и апатита из гранит-порфира — по схеме 4, циркона из порфирита — по схеме 5, пирита из метаамфиболита — по схеме 6, касситерита и вольфрамита — по схеме 7, пирокласта из пегматитов — по схеме 8.

Применение перечисленных схем с использованием новой аппаратуры ПС-1 и СИМ-1 позволило получить высокопроцентные концентраты с содержанием выделяемых минералов (β) от 75 до 99%.

Схема выделения аксессуарных минералов из проб горных пород

ИСХОДНАЯ ПРОБА

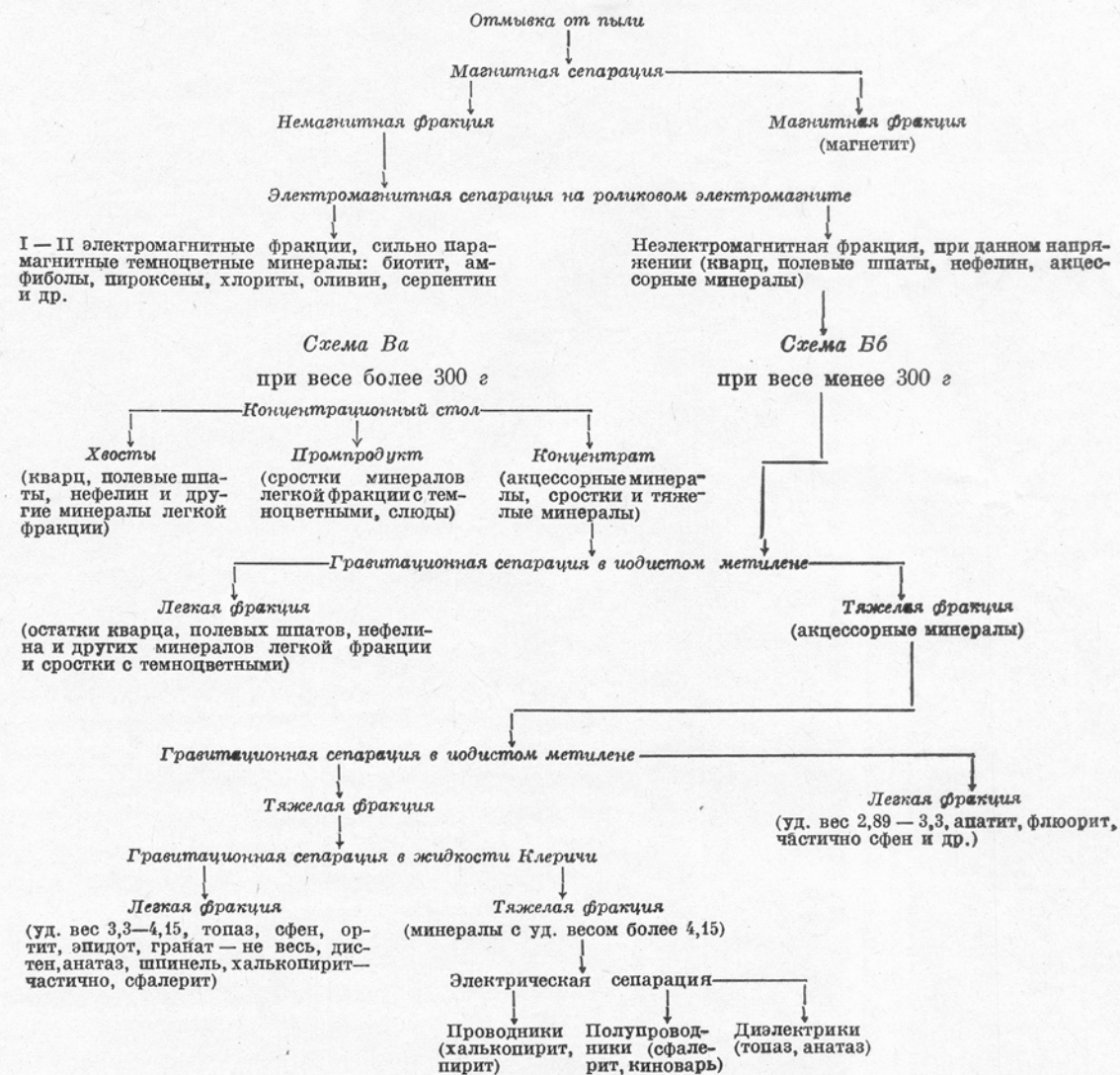
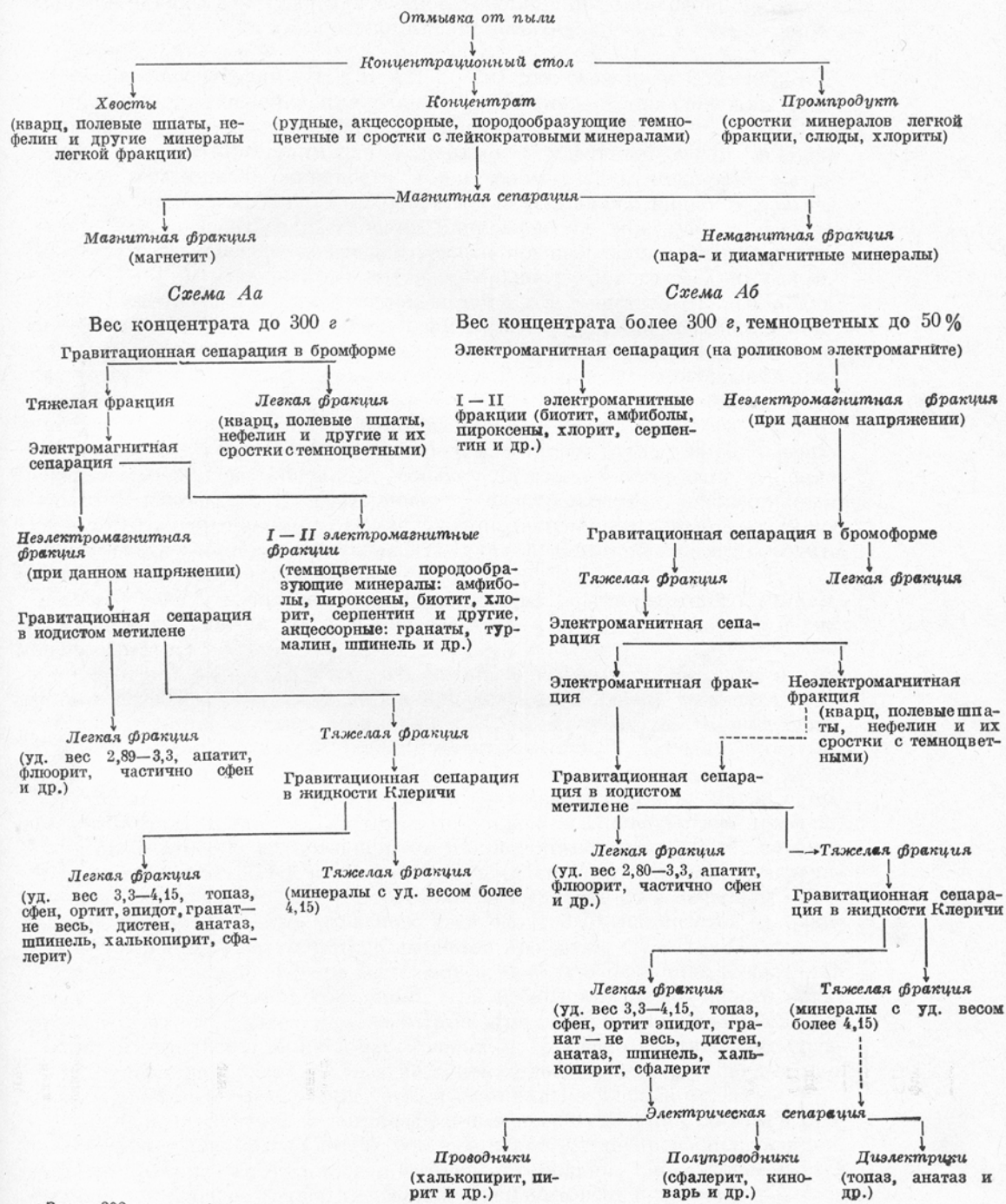
Дробление и рассев в зависимости от зернистости пород

Схема I

Схема II

Начальный вес пробы более 7 кг, количество темноцветных не более 10%, вес концентрата после концентрационного стола не превышает 0,5 кг (обычно кислые и средние, реже основные горные породы)

Начальный вес пробы до 7 кг, количество темноцветных велико, вес концентрата после концентрационного стола достигает 1,5 — 2 кг (обычно ультраосновные, щелочные и некоторые основные горные породы)



НЕКОТОРЫЕ ПРОСТЫЕ МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ МОНОМИНЕРАЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ

Нами будут изложены простые и общедоступные способы, которые можно применять для предварительного обогащения минерала, предназначенного к отборке на химический анализ и находящегося в смеси с другими минералами.

В нашей лаборатории (ИГЕМ АН СССР) для этой цели применяются два способа: 1) разделение минералов в разбавленной тяжелой жидкости и 2) отмывка минералов в тяжелой жидкости.

Первый способ применим для минералов с удельным весом меньше удельного веса тяжелой жидкости (бромформ — 2,90, иодистый метилен — 3,33, жидкость Клеричи 4,20), т. е. когда, разбавляя жидкость растворителем, можно добиться расслоения минералов на тяжелую и легкую фракции. Второй способ удобен для разделения небольших количеств минералов (1—2 г), удельный вес которых больше удельного веса жидкости.

Чтобы отобрать под бинокуляром иглой 2—3 г чистого минерала для химического анализа, нужно много времени и труда. Если возможно сконцентрировать нужный минерал так, чтобы его было во фракции около 95%, то задача получения мономинеральной фракции значительно упрощается. Тогда не требуется много времени для очистки этого концентрата от посторонних минералов под бинокуляром.

Для выделения аксессуарных минералов из пробы горных пород обычно проводят стандартные операции: отмывку на столе или в лотке, деление в тяжелых жидкостях и разделение на электромагните по магнитным свойствам. Как правило, при таком делении полученные фракции состоят из трех-четырех минералов каждая. Из таких фракций обычно и проводится отборка минералов для анализа.

Однако если у минералов, присутствующих в стандартной фракции, удельный вес разнится на две-три десятых, указанными способами их можно обогатить.

Рассмотрим первый способ, который особенно удобен для разделения легкой фракции, полученной при делении в любой тяжелой жидкости. Этот метод широко применялся П. П. Авдусиным (петрография осадочных пород), который работал с жидкостью Туле, разбавляя ее водой.

В нашей лаборатории используется бромформ, разбавленный спиртом. Разбавлять можно любую тяжелую жидкость. Приведем два примера. Из пробы весом 300 г, состоящей из микроклин-пертита (40%), альбита (10%), нефелина (30%) и темноцветных (в сростках со всеми перечисленными минералами, 20%), требовалось выделить 20 г нефелина. Бромформ, разбавленный до удельного веса около 2,70, наливается в делительную воронку, а затем туда высыпается проба.

Сростки с темноцветными выпадают в тяжелую фракцию, а частично находятся во взвешенном состоянии. При добавлении очень малого количества спирта и тщательном размешивании стеклянной палочкой все сростки осаждались в нижней части воронки. Полученную тяжелую фракцию спускают на фильтр и снова постепенно добавляют спирт до тех пор, пока не произойдет расслоение легкой фракции по удельному весу.

Полученные тяжелая и легкая фракции после удаления сростков просушиваются и под бинокуляром устанавливается, где произошла концентрация нефелина. Та фракция, в которой его больше, снова подвергается делению с еще более тонкой подгонкой удельного веса жидкости.

Иногда представляют интерес минералы, находящиеся во взвеси. Тогда их просто надо собрать на отдельный фильтр.

Таким путем нам удалось получить 20 г 90%-ного концентрата нефелина за 6 час. работы. Вообще это сложный случай, так как разделение нельзя контролировать непосредственно в воронке, потому что оба минерала — полевой шпат и нефелин — одного цвета. Если минералы отличаются по цвету, то получение мономинеральной фракции значительно легче, так как тогда можно контролировать процесс разделения, наблюдая за ним невооруженным глазом.

Во втором случае надо было отделить зерна чистого прозрачного нефелина от того же нефелина серого цвета (окраска обусловлена тончайшим волосовидным прорастанием эгирином). В этой пробе удалось за 2 часа получить 15 г 100%-ного концентрата чистого нефелина с размером зерен от $-0,10$ до $+0,07$ мм.

Разбавлением бромформа спиртом нам легко удается отделять адуляр (удельный вес 2,56) от кварца (удельный вес 2,65), берилл (удельный вес 2,70) от кварца и полевого шпата (удельный вес 2,58), микроклин (удельный вес 2,57) от андезина (удельный вес 2,67).

Второй способ — отмывка в тяжелой жидкости — применяется тогда, когда у минерала, который нужно сконцентрировать, удельный вес больше, чем у жидкости. Способ этот простой и при некотором навыке очень быстрый. Его недостатки: 1) нельзя отмывать минералы если у обоих удельный вес выше 6, например киноварь (удельный вес 8,2) от галенита (удельный вес 7,6); 2) неудобно одновременно работать с навесками больше 5 г.

В фарфоровую чашку наливается бромформ, высыпается фракция и осуществляется круговое вращательное движение чашки, подобное движению при отмывке в ковше. Бромформ с более легкими минералами, ставшими в жидкости более подвижными, сливается во вторую чашку, затем снова наливается бромформ и снова сливается.

Таким путем можно отделить циркон (удельный вес 4,70) от касситерита (удельный вес 7,0), т. е. смесь, которая не разделяется ни в жидкости Клеричи (удельный вес 4,20), ни на электромагните. Правда, для этой смеси лучшие результаты получаются, если вместо бромформа применять иодистый метилен. Очень хорошо также отделяется апатит (удельный вес 3,20) от циркона.

Комбинируя отмывку в бромформе, деление в воронке в разбавленном иодистом метилене и работу на электромагните, в нашей лаборатории за одну неделю два сотрудника выделили для химического анализа семь различного состава пироксенов (по 3 г каждая группа) из группы эгирин-авгита. Так как пироксен находился в тонком срастании с полевым шпатом, пришлось работать с фракцией — 0,1 мм. Пироксены выделялись из пяти проб щелочных пород с примерным составом: роговая обманка 10%, альбит 60% и пироксен 30%. Из одной пробы получено три разновидности эгирин-авгита, разные по цвету, с удельными весами 3,27; 3,33 и 3,39.

Каждая из семи выделенных мономинеральных фракций состояла на 99,9% из пироксена определенного химического состава и удельного веса и не требовала дополнительной отборки под бинокуляр.

Часто бывают случаи, когда нужный минерал высокого удельного веса находится в сростках с более легкими минералами. От таких сростков можно избавиться отмывкой в тяжелой жидкости. Второй путь — это механическое разрушение сростков растиранием на матированном стекле или в фарфоровой чашке с удаленной плавиковой глазурью. Фракция, состоящая из сростков, рассыпается тонким слоем на стекло и с легким нажимом растирается резиновой пробкой. При этом разрушаются сростки, зерна распадаются на отдельные минералы и не получается переизмельчения. Если минерал покрыт тонкой наростшей корочкой другого минерала, например

хромит с пленкой серпентина или циртолит с наросшими кристалликами альбита, то лучше проводить растирание в жидкости (вода или спирт) в фарфоровой чашке. В этом случае, сменяя помутневшую жидкость, можно точно установить, когда будет удалена корочка.

Из всего сказанного видно, что оборудование для проведения такого рода работ очень простое. Оно состоит из электромагнита, нескольких фарфоровых чашечек разного диаметра и тяжелых жидкостей: бромформа и желательно подистого метилена.



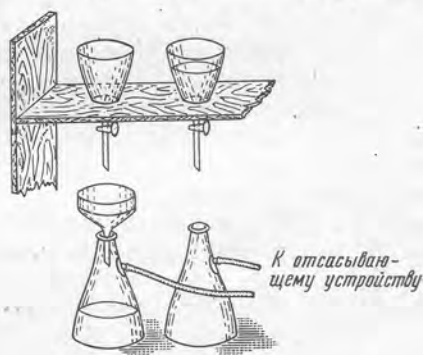
С. Д. ТУРОВСКИЙ, А. В. ШЕНДРИК

НЕКОТОРЫЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ПРИЕМЫ ОБРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ ФРАКЦИЙ ИЗ ПРОТОЛОЧЕК

Ряд операций обработки тяжелых фракций из протолочек изверженных пород очень трудоемок. Этот недостаток особенно чувствуется при массовых работах, когда исследователю приходится иметь дело с большим количеством проб. Мы опишем приемы, благодаря которым удалось несколько усовершенствовать некоторые операции.

Ускоренный метод деления шлихов в тяжелых жидкостях. Одна из наиболее длительных операций — деление в тяжелых жидкостях. Обычная последовательность ее следующая. Проба засыпается в делительную воронку, наполненную тяжелой жидкостью. После отстаивания тяжелая, а затем легкая фракции спускаются в обычные воронки с вложенными в них фильтрами. После тщательного (для максимального извлечения тяжелой жидкости) отфильтровывания фракции

Установка для промывки фракций



промываются растворителем. **Заключительной** операцией является сушка промытых фракций на песчаной бане. Все перечисленные операции требуют много времени, особенно отфильтровывание тяжелой жидкости и промывка растворителем. Одну пробу приходится обрабатывать несколько часов.

Для ускорения процесса деления тяжелыми жидкостями мы рекомендуем использовать воронку Бюхнера, соединенную через колбу Бунзена с отсасывающим устройством, в качестве которого могут служить насос Комовского, медицинский электроотсасыватель или любой вакуумный насос. Последовательность операции в этом случае следующая. Из делительной воронки тяжелая, а затем легкая фракции спускаются в воронки

Бюхнера, на дно которых помещены фильтры. Затем включается насос. После откачки тяжелой жидкости в колбы Бунзена воронки переносятся в другие колбы и под вакуумом осуществляется промывка фракций. Принципиальная схема подобной установки приведена на рисунке.

Рекомендуемый метод, как показал наш опыт, сокращает время обработки пробы в 7—8 раз, что достаточно наглядно видно из данных таблицы.

Таблица. Время, затрачиваемое на деление шлиха различными методами

Операция	Время на деление 56 г шлиха, мин.	
	без применения отсасывающего устройства	с применением отсасывающего устройства
Засыпка пробы (шлиха) в делительную воронку и отстаивание	10	10
Спуск тяжелой и легкой фракции	10	10
Отфильтровывание тяжелой жидкости	45	10
Промывка фракций растворителем	125	5
Сушка фракций	35	—
Всего	225	35

Применение отсасывания ускоряет процесс фильтрования. Кроме того, применение рекомендуемого метода упраздняет операцию сушки, так как фракции просушиваются в самой воронке Бюхнера током воздуха.

Несколько модернизированная и усовершенствованная нами воронка Бюхнера опубликована в одной из наших статей в 1960 г.

Некоторые приемы получения мономинеральных концентратов. Мономинеральные концентраты ряда наиболее распространенных ведущих минералов можно получать обычными имеющимися в каждой лаборатории средствами. Для этого необходимы обычный лабораторный электромагнит и две тяжелые жидкости: бромформ (удельный вес 2,8) и подистый метилен (удельный вес 3,3). Применяя методику Н. Н. Батыревой¹ отмывки минералов в тяжелых жидкостях, можно получить 95—98%-ные концентраты флюорита, апатита, циркона, сфена, гематита, топаза и ряда других минералов. На способах получения этих почти мономинеральных фракций мы и остановимся.

В грубом приближении в зависимости от петрографического состава изучаемых объектов приходится иметь дело практически с двумя типами шлихов: с высоким и низким содержанием темноцветных компонентов.

Шлихи первой группы могут содержать следующие группы минералов: 1) порообразующие, составляющие основную массу обрабатываемого серого шлиха: пелевые шпаты (плагноклазы, калиевые полевые шпаты), пироксены, амфиболы, биотит, кварц; 2) ведущие акцессории, представляющие 95—98% всех акцессориев пробы: апатит, магнетит, сфен, циркон, ильменит; 3) второстепенные компоненты: ортит, пирит,

¹ В данном сборнике помещена статья Н. Н. Батыревой, посвященная описанию данной методики.

турмалин, изредка торит, флюорит и др. Остальные минералы являются незначительными примесями, присутствующими в виде единичных зерен.

Шлихи второй группы могут содержать среди породообразующих минералов полевые шпаты (в основном калиевые), кварц, немного биотита и редко мизерные количества амфибола. Среди ведущих аксессуаров обычно присутствуют апатит, циркон, флюорит, магнетит, пирит, гематит, реже — другие минералы. К второстепенным относятся: торит, циртолит, рутил, турмалин, галенит, барит, ильменит, монацит, ферриторит, в некоторых породах ортит, сфен и иногда ряд других минералов. Остальные минералы, как и в предыдущем случае, присутствуют обычно в виде единичных зерен.

Содержание и последовательность операций при обработке указанных типов шлихов для получения обогащенных отдельными минералами концентратов немного отличаются и заключаются в следующем.

1. Как всегда, первой операцией является магнитная сепарация. При этом отделяется магнетит, находящийся часто в сростках с породообразующими минералами. От них можно достаточно просто избавиться осторожным раздавливанием их в бромформе. Породообразующие компоненты (главным образом полевые шпаты) при этом всплывают и затем удаляются. Если же в сростках находились темноцветные, то после раздавливания требуется повторная магнитная сепарация. Во всяком случае неоднократное повторение этой операции позволяет получить почти мономинеральный магнетитовый концентрат.

2. Деление шлиха бромформом. В легкую фракцию (удельный вес менее 2,8) отходят полевые шпаты и кварц, в тяжелой фракции (удельный вес более 2,8) остаются темноцветные и все аксессуарные минералы.

3. Деление тяжелого очищенного шлиха с удельным весом более 2,8 иодистым метилом. В результате получают снова две фракции. Одна, с удельным весом $> 2,8 < 3,3$, содержит флюорит, апатит, турмалин, биотит, амфибол, карбонаты и некоторые другие минералы. Другая, с удельным весом более 3,3, концентрирует в себе пироксены и все остальные аксессуарии.

В результате выполнения указанных трех операций получается исходный материал, из которого затем выделяются обогащенные отдельными минералами концентраты.

4. Материал с удельным весом $> 2,8 < 3,3$ подвергается электромагнитной сепарации. В шлихах первой группы в неэлектромагнитной фракции останется практически один апатит, так как остальные минералы присутствуют в ничтожно малом количестве. Следовательно, получается уже почти мономинеральный апатитовый концентрат. При дальнейшей дробной сепарации электромагнитного остатка можно получить фракцию, в которой обособится апатит в сростках с породообразующими минералами, фракцию, в которой сконцентрируется основная масса турмалина, и фракцию, куда отойдут биотит и амфибол. Из фракции, в которой сконцентрировались апатитовые сростки, апатит выделяется осторожным раздавливанием этих сростков в бромформе.

В шлихах второй группы в неэлектромагнитной части останутся тот же апатит и флюорит, которого в этих шлихах бывает иногда достаточно много. Их разделение лучше всего осуществить отмывкой в бромформе. Разница в удельных весах флюорита (3,18) и апатита (3,20) позволяет без особых трудностей отделить флюоритовый концентрат от апатитового. Таким образом, получают почти мономинеральные апатитовый и флюоритовый концентраты. В электромагнитную фракцию уйдут биотит и турмалин. Турмалин можно отделить от биотита или электромагнитной сепарацией, или, что лучше, отмывкой биотита (удельный вес 3,0—3,1) от турмалина (удельный вес 3,1—3,2) в бромформе. При этом получается почти мономинеральный турмалиновый концентрат.

5. Материал с удельным весом более 3,3 также подвергается электромагнитной сепарации. В шлихах первой группы в неэлектромагнитной фракции практически остается один циркон. Остальных минералов будет настолько мало, что их можно не принимать в расчет. В электромагнитную фракцию отделяются пироксены, сфен, ильменит, ортит, гранаты и ряд других менее распространенных минералов. Последующей дробной электромагнитной сепарацией из этого агрегата можно выделить фракции с преимущественным развитием сфена (удельный вес 3,5), граната (удельный вес 3,5—4,2) и пироксенов (удельный вес 3,3), а также ильменита (удельный вес 4,7) и ортита (удельный вес 4,4). Очистить сфен и гранат от захваченных породообразующих минералов можно отмывкой в иодистом метиле. Пироксены и другие минералы как более легкие легко смоются, и получаются почти мономинеральные сфеновый и гранатовый концентраты. Освободить ортит и ильменит от пироксенов также можно отмывкой в иодистом метиле.

В шлихах второй группы в неэлектромагнитной фракции останутся циркон (удельный вес 4,7), пирит (удельный вес 5), галенит (удельный вес 7,5), арсенопирит (удельный вес 6), барит (удельный вес 4,3) и другие минералы. Рядом последовательных отмывок в иодистом метиле из этого агрегата можно выделить баритовый и цирконовый концентраты. В электромагнитную фракцию отойдут монацит, ферриторит, циртолит, ильменит, ряд сульфидов, гематит, в некоторых случаях сфен, ортит и некоторые другие минералы. Гематит полностью отделяется простым магнитом, так как при воздействии электромагнитного поля он приобретает вторичную магнитность. Повышенные концентраты остальных минералов можно получить дробной электромагнитной сепарацией. К сожалению, отмывкой их разделить очень трудно, так как их удельные веса близки и сильно отличаются от удельного веса иодистого метилена.

Применение только что описанной методики дает вполне удовлетворительные результаты и значительно облегчает изучение акцессорных минералов.

■

Г. М. КОЗЛОВА, К. К. НИКИТИН

ВЫДЕЛЕНИЕ БИОТИТА, ЛЕПИДОЛИТА, МУСКОВИТА ВЕРМИКУЛИТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АБСОЛЮТНОГО ВОЗРАСТА И ДРУГИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

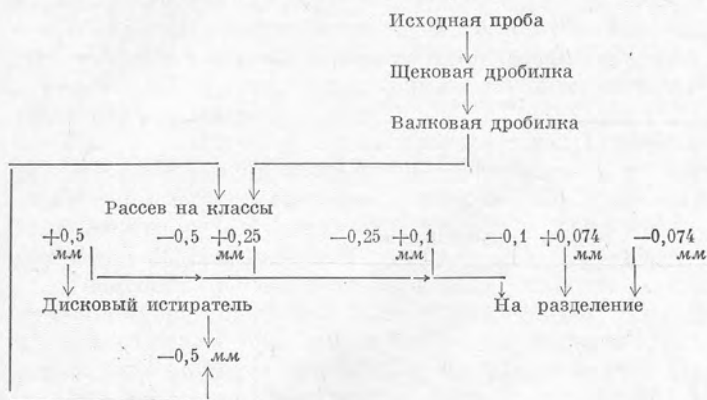
В связи с тем, что при определении абсолютного возраста горных пород калий-аргоновым методом наиболее пригодным материалом считаются слюды (в частности биотит), их выделение в мономинеральные фракции представляет особый интерес.

Обычно одна навеска используется не только для определения абсолютного возраста, но и для термических и химических исследований слюд, поэтому приходится выделять из пробы значительное количество чистого минерала (10—20 г).

Вес поступающих на разделение проб, как правило, колеблется от 5 до 20 кг, иногда возрастая до 40 или уменьшаясь до 1 кг.

Начальный вес отбираемой пробы зависит от содержания в ней слюды и от зернистости породы. Чем более мелкозерниста порода, тем больше должен быть начальный вес пробы, так как извлечение в этом случае

Схема дробления проб горных пород для последующего выделения слюд



Выделение мусковита и биотита из проб горных пород с применением реагентов

Схема I

Дробленая и рассеянная на классы навеска

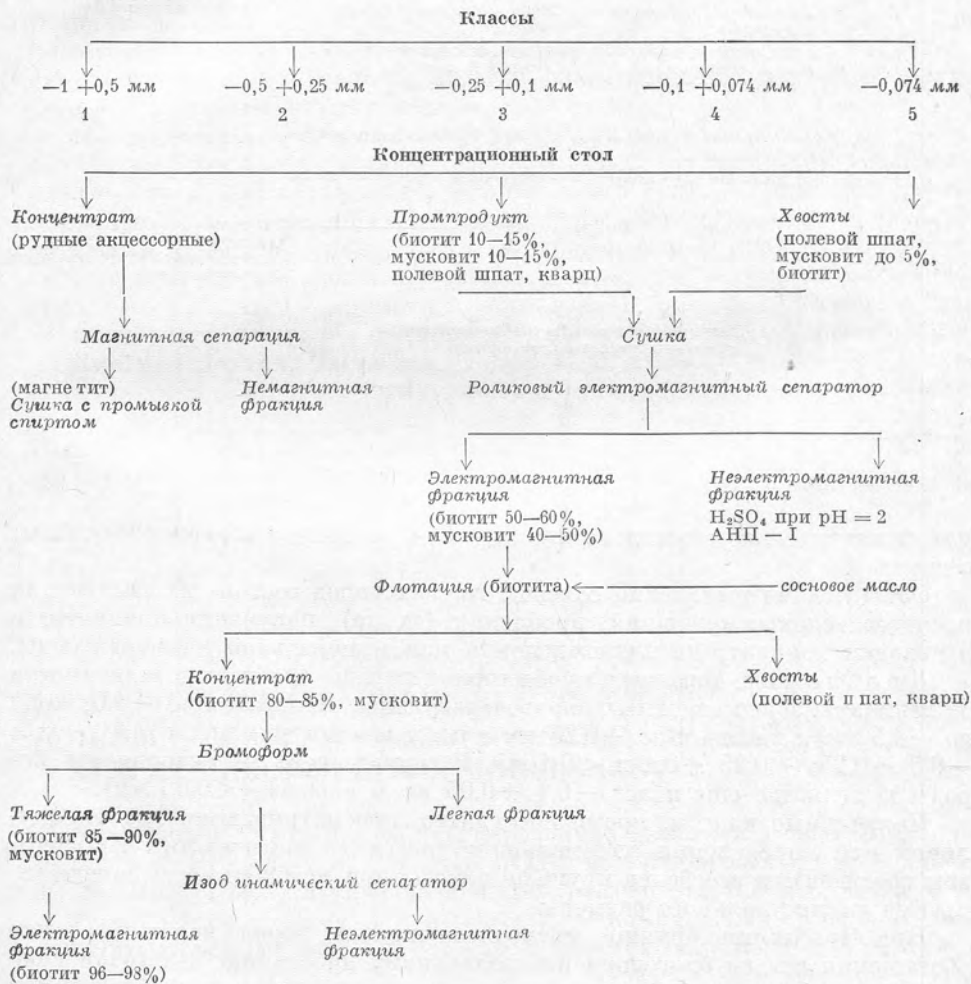
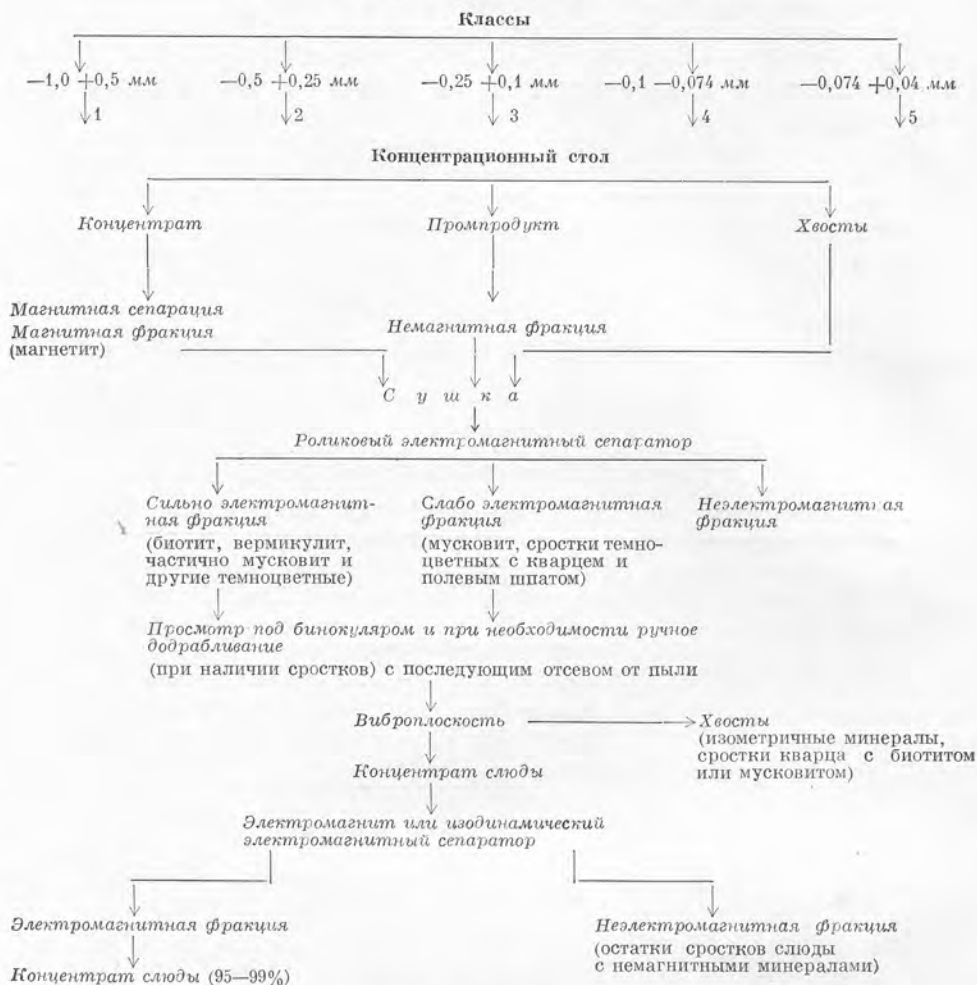


Схема II
Дробленая и рассеянная на классы навеска



может значительно снижаться (до 20—30% от общего содержания слюды в породе).

Общая схема выделения слюд из горных пород состоит из следующих последовательных операций: дробления (схема), получения концентрата и доводки концентрата для выделения мономинеральной навески слюды.

Д р о б л е н и е. Исходная проба горной породы дробится в зависимости от величины зерен основных породообразующих минералов до $-1,0$, чаще до $-0,5$ мм, а иногда и до $-0,25$ мм и рассеивается на классы $-1,0 +0,5$; $-0,5 +0,25$; $-0,25 +0,1$ и $<0,1$ мм. В случае очень мелкозернистой породы выделяется еще класс $-0,1 +0,05$ мм и «пыль» ($<0,05$ мм).

Полученные классы, кроме последнего, просматриваются под бинокляром для определения оптимального класса (с наименьшим количеством сростков), и все более крупные классы при необходимости додрабливаются до оптимального размера.

При дроблении крупно- и среднезернистых пород нередки случаи обогащения слюды благодаря избирательному дроблению. Листочки слюды крупнее $0,5—1$ мм измельчаются медленнее других породообразующих

минералов и при рассеивании концентрируются на ситах. Надситовые концентраты переочищаются на виброплоскости до получения мономинеральных навесок слюды.

Дробление производится по схеме, которая в каждом конкретном случае может несколько изменяться в зависимости от исходного веса пробы, зернистости породы, содержания слюды и наличия комплекта дробильного оборудования.

Получение концентрата слюд. Используются два способа получения концентратов слюд из горных пород: 1) выделение слюд с применением реагентов (см. схему I); 2) выделение слюд без применения реагентов (см. схему II). Схема II из-за неоднократного повторения операций более трудоемка по сравнению с предыдущими.

Дробленая, рассеянная на классы навеска последовательно по классам пропускается через концентрационный стол. Мусковит концентрируется главным образом в хвостах и частично в промпродукте, только отдельные крупные ($>0,5$ мм в поперечнике) агрегаты, состоящие из многих листочков, попадают в концентрат. Биотит концентрируется большей частью в промпродукте, менее в концентрате и еще меньше его уходит в хвосты.

После тщательного, но осторожного высушивания (температура не должна превышать 90°) навеска, содержащая наибольшее количество слюды (промпродукт или хвосты), подвергается электромагнитной сепарации. Биотит и другие железосодержащие слюды концентрируются с другими темноцветными в сильно электромагнитной фракции, а мусковит в немагнитной или слабоэлектромагнитной фракции. В последнем случае он иногда содержит мельчайшие вросстки магнетита или каких-либо других ферро- или парамагнитных минералов.

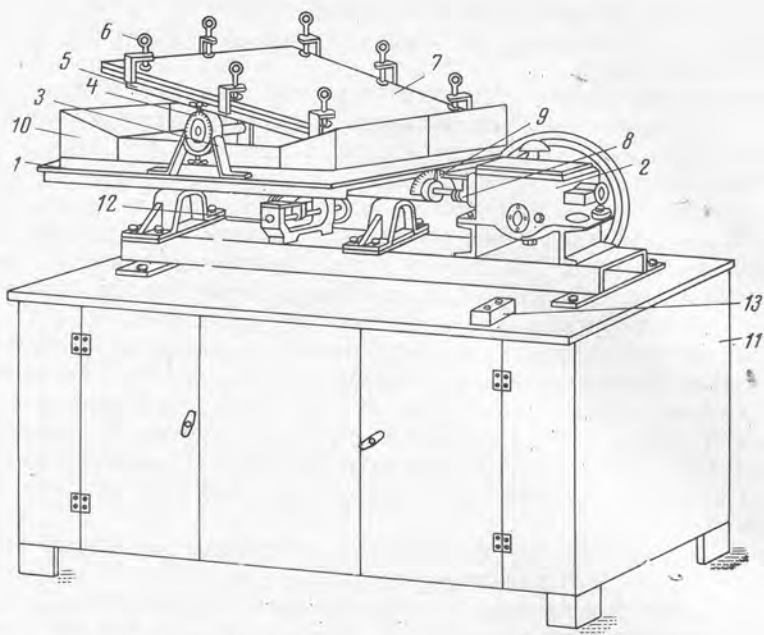
Полученные концентраты слюд просматриваются под биноклем и в случае наличия значительного количества сростков слюд с другими минералами осторожно вручную додразниваются в яшмовых ступках (раздавливанием, а не истиранием), отсеиваются от пыли и поступают на виброплоскость. С рабочей поверхности виброплоскости снимается концентрат, содержащий чистые пластинки слюды и некоторое количество пластинчатых сростков слюды с другими минералами. В бункера попадают остатки изометричных минералов и изометричные сростки слюды с порообразующими минералами. Часто разделение на этом заканчивается, но бывают случаи, когда количество сростков велико и, кроме того, наблюдается значительное количество полевых шпатов. Тогда концентрат слюд еще раз подвергается электромагнитной сепарации на электромагните. После двухкратной переочки удается получать 95—98%-ный концентрат слюды.



Г. М. КОЗЛОВА, К. К. НИКИТИН

ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ ПЛОСКОСТИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ МОНОМИНЕРАЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ СЛЮД И ДРУГИХ ПЛАСТИНЧАТЫХ МИНЕРАЛОВ

Вибрационная плоскость, сконструированная авторами в лаборатории разделения минералов ИГЕМ АН СССР и изготовленная при участии Е. М. Прохоровой, предназначена для разделения минералов по форме зерен, главным образом для выделения мономинеральных фракций пластинчатых минералов: слюд, хлоритов, некоторых тальков и волокнистых



Общий вид вибрационной плоскости

1 — плоскость основания; 2 — шатуно-рычажный механизм; 3 — кронштейны; 4 — ось, регулирующая величину продольного угла наклона; 5 — основание рабочей плоскости; 6 — зажимы; 7 — рабочая плоскость; 8 — вал; 9 — механизм для фиксации поперечного угла наклона; 10 — приемники; 11 — шкаф; 12 — механизм для регулировки поперечного угла наклона; 13 — пульт управления

минералов (хризотил- и амфиболосбест). При разделении используется различие в коэффициентах трения пластинчатых и изометричных минералов, благодаря чему можно получать в комплексе с другими методами сепарации высокопроцентные, почти мономинеральные фракции пластинчатых минералов.

Устройство прибора. Вибрационная плоскость представляет собой прибор, состоящий из плоскости (1) основания, приводимой в неравномерное возвратно-поступательное движение в горизонтальном направлении шатуно-рычажным механизмом 2 концентрационного стола лабораторного типа при помощи обычного трехфазного мотора переменного тока (Таггарт).

Плоскость 1, заменяющая деку концентрационного стола, является основанием разделяющей части прибора, на ней при помощи кронштейнов 3 и оси 4 крепится основание рабочей плоскости 5, на которой зажимами 6 устанавливается рабочая плоскость 7. Благодаря валу 8 плоскость 1, а следовательно, и рабочая плоскость 5 при помощи механизма 9 может менять поперечный наклон в обе стороны на $15-20^\circ$. Рабочая плоскость 5 может менять также и продольный наклон благодаря перемещению вокруг оси 4.

На плоскости 1 плотно установлены приемники 10 для приема скатывающихся с плоскости изометричных минералов. Мотор, запасные приемники и рабочие плоскости помещаются в шкафу 11 основания прибора.

В зависимости от крупности подаваемого материала регулируются продольный и поперечный наклон рабочей плоскости и устанавливаются, как обычно в приводном механизме концентрационного стола, ход деки и количество качаний в минуту.

Подготовка материала к сепарации и порядок работы. Перед началом работы на приборе необходимо отмытый от пыли и вы-

сушенный материал тщательно рассеять на классы $-1 + 0,5$; $-0,5 + 0,25$; $-0,25 + 0,1$; $-0,1 + 0,07$, закрепить рабочую поверхность, представляющую собой фанерную плоскость с наложенной на нее ватманской бумагой, установить ход деки, равный 8 мм, и придать определенный угол наклона рабочей плоскости, согласно табл. 1.

Таблица 1. Зависимость углов наклона рабочей плоскости от крупности сепарируемого материала

Крупность обогащаемого материала, мм	Минеральный состав	Рабочая поверхность	Ход деки, мм	Угол наклона рабочей поверхности, град	Угол наклона основания, град
$-1 + 0,5$	Биотит, мусковит, полевой шпат, кварц	Ватман	8	0—5 влево	0—5
$-0,5 + 0,25$ $-0,25 + 0,1$	То же	»	8	5—10 вправо	0—5
$-0,1 + 0,07$	» »	»	8	10—15 вправо	0—5

При обогащении относительно крупных классов $-1 + 0,5$ или $-0,5 + 0,25$ мм весь материал перемещается по ходу деки стола (влево). При обогащении классов $-0,25 + 0,1$ и $-0,1 + 0,074$ мм полевой шпат и кварц скатываются с рабочей плоскости в направлении, обратном ходу деки (вправо), а биотит перемещается вверх по плоскости, т. е. в направлении прямого хода стола (влево).

В зависимости от крупности разделяемого материала, а следовательно, правого или левого наклона плоскости материал засыпается и разравнивается щеткой на определенной четверти (считая справа) рабочей поверхности. Рекомендуемое первоначальное положение и количество засыпаемого материала приведены в табл. 2.

Таблица 2. Рекомендуемое первоначальное положение рабочей поверхности и количество засыпаемого материала в зависимости от крупности зерен

Класс, мм	Рекомендуемая часть рабочей поверхности	Навеска, г
$-1,0 + 0,5$	Первая четверть	До 15
$-0,5 + 0,25$	Первая и вторая четверти	12—15
$-0,25 + 0,1$	Вторая четверть	8—10
$-0,1 + 0,074$	Вторая и третья четверти	6—8

Затем виброплоскость пускается в ход, с началом вибрации рабочей поверхности материал начинает перемещаться вдоль продольной оси, причем изометричные зерна скатываются в приемники, а пластинчатые медленно передвигаются вдоль плоскости. При достижении ими $\frac{3}{4}$ длины рабочей поверхности и при наличии еще оставшихся сростков материал щеткой возвращается в исходное положение (без остановки прибора).

При достижении достаточной степени очистки порция выделенных пластинчатых минералов после остановки прибора сметается щеткой в один из порожних бункеров. Разделение последующих порций осуществляется в аналогичном порядке, пока из всей пробы не будут выделены

пластинчатые минералы. После просмотра под биноклем полученного концентрата его при необходимости подвергают вторичной пересортировке на виброплощадке и доводят до мономинерального состояния (на виброплощадке или другими методами — флотация, тяжелые жидкости, электромагнит).

Результаты обогащения некоторых проб на виброплощадке приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты обогащения проб на виброплощадке

Минеральный состав	Крупность материала, мм	Ход деки, мм	Плоскость	Угол наклона рабочей поверхности, град	Угол наклона основания, град	Примечание
Биотит (30%), кварц (30%), полевошпатовый шпат (40%)	-1+0,5	8	Ватман	5 влево	0	Биотит, 95%
То же	-0,25+0,1	8	»	10 влево	0	Биотит, 90%
Мусковит (30%), полевошпатовый шпат (30%), кварц (30%)	-0,1+0,07	8	»	10 вправо	0	Мусковит, 80%

Качество получаемого на виброплощадке концентрата зависит в первую очередь от выбранного оптимального размера, до которого дробится проба и который обеспечивает наиболее полное раскрытие зерен пластинчатых минералов. Не менее важны тщательность отсева на классы и отсутствие в полученных классах пылеватых частиц, присутствие которых резко ухудшает качество сепарации.

Правильная регулировка хода плоскости, количество качаний и натяжения возвратной пружины также влияют на качество концентрата и производительность прибора. Слишком тугое и резкое качание плоскости ухудшает качество сепарации и приводит к сбрасыванию пластинчатых минералов в бункера (уменьшает выход), так же как и увеличение хода плоскости более чем на 12 мм.



К. К. НИКИТИН

ВЫДЕЛЕНИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МИНЕРАЛОВ НА МАГНИТНОМ СЕПАРАТОРЕ С БЕГУЩИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Практика получения мономинеральных навесок тонкодисперсных ферромагнитных минералов в лабораторных условиях мокрым способом на электромагнитных анализаторах типа БИТ-2 или скобе Девиса показала, что при неоднократном растирании материала и его сушке происходит (по данным химического анализа) частичное окисление закисного железа, влияющее на точность химического анализа.

В лаборатории разделения минералов был сконструирован электромагнитный сепаратор с бегущим магнитным полем, в котором выделение ферромагнитных минералов осуществляется сухим способом без опасности их

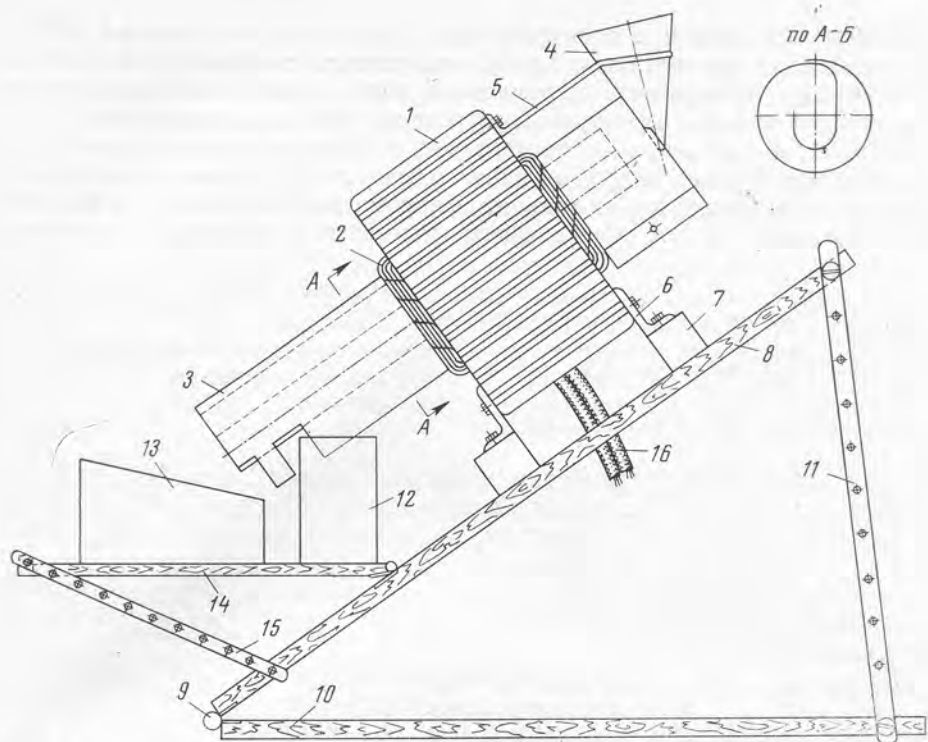


Рис. 1. Схема магнитного сепаратора с бегущим магнитным полем

1 — статор мотора асинхронного трехфазного электромотора; 2 — обмотка статора; 3 — спиральная разделительная трубка; 4 — загрузочный бункер с калиброванным отверстием; 5 — кронштейн бункера; 6 — кронштейн крепления статора; 7 — подставка статора; 8 — наклонная плоскость; 9 — шарнир крепления наклонной плоскости к основанию; 10 — основание; 11 — регулировочная рейка наклонной плоскости; 12 — приемный бункер для пара- и диамагнитных минералов; 13 — приемный бункер для ферромагнитных минералов; 14 — бункерная площадка; 15 — регулировочная рейка бункерной площадки; 16 — концы обмотки статора

окисления. Основой для разработки прибора послужило исследование сепарируемости твердых тел, проведенное С. Н. Красниковым, в магнитном поле статора малоомощного асинхронного мотора трехфазного тока.

Устройство прибора. Основной частью прибора является статор асинхронного трехфазного электромотора 1 мощностью 0,6 квт (рис. 1).

Статор при помощи подставок 7 и кронштейнов 6 укрепляется на наклонной плоскости 8, которая шарниром 9 соединена с основанием 10 прибора; две регулировочные рейки 11 с отверстиями могут изменять угол наклона плоскости.

Внутри статора помещается латунная спиральная трубка 3 специального сечения (см. разрез по АА) и с тремя вырезами: одним в верхнем конце для помещения загрузочного калиброванного бункера 4 и двумя в нижнем конце, под которые помещаются приемные бункера — передний для размещения концентрата магнетита (13) и второй для пара- и диамагнитных минералов (12). Загрузочный бункер укреплен кронштейном 5, а приемные бункера располагаются на бункерной площадке 14, шарнирно соединенной с наклонной плоскостью и сохраняющей горизонтальное положение при изменении углов наклона при помощи двух регулировочных реек 15 с отверстиями.

Обмотка статора 2 через трехфазный реостат включается в сеть переменного тока напряжением 220 в. В одну из фаз подключается амперметр. Электрическая схема прибора приведена на рис. 2.

Прибор, его детали и электрическая схема просты и поэтому сепаратор может быть изготовлен в любой лаборатории своими силами при наличии мотора трехфазного переменного тока. Может быть использован даже старый мотор с неисправными ротором или подшипниками.

Порядок работы. Растертый ($< 0,02$ мм) материал засыпается в загрузочный бункер, и прибор включается в сеть. Материал из бункера попадает на внешний виток спирали, ферромагнитные минералы под действием бегущего магнитного поля намагничиваются и, вращаясь, притяги-

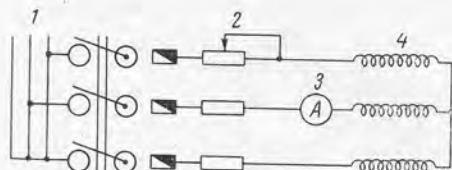


Рис. 2. Электрическая схема прибора

1 — сеть; 2 — ползунковый реостат; 3 — амперметр; 4 — обмотка статора

ваются к полюсным поверхностям магнитной системы и, перемещаясь по внутренней поверхности спирали в направлении, обратном вращению поля, попадают во внутренний полувиток, по которому как по желобу ссыпаются в передний приемный бункер.

Пара- и диамагнитные минералы и их сростки с ферромагнитными минералами, оставшиеся на внешнем витке, ссыпаются во второй приемный бункер.

Полученный концентрат перечищается дву-трехкратным пропусканием через прибор. Вводя дополнительное сопротивление при повторных пропусках, можно получить концентрат 98—99,5%-ной чистоты. Если материала мало и он характеризуется тонким проращением, его необходимо дополнительно измельчать в яшмовой ступке. На получение 5—7 г магнетита в зависимости от его зернистости и характера проращения с другими минералами затрачивалось от 1 до 3 час., включая и время на трех-четырёхкратное растирание в яшмовой ступке.

На приборе, изготовленном в лаборатории своими силами в 1960 г., выделялся тонкодисперсный магнетит из разнообразных изверженных пород, руд, а также из сильновыветрелых, экзогенноизмененных пород: охр и нонтронитов по серпентинитам и т. п.

А. Э. ГАУКЕ

РАЗДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ И СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ¹

Выделение мономинеральных фракций — одна из важных и трудоемких задач, возникающих при изучении минерального сырья и геологических особенностей пород, в частности при исследовании акцессорных минералов.

Концентрация акцессорных минералов из проб большого объема требует применения высокопроизводительных и относительно дешевых методов обработки. Ими могут служить методы, применяемые при обогащении руд: концентрация по удельному весу, флотация, электрическая и магнитная сепарация и др.

¹ Работа выполнена под руководством А. И. Берлинского.

В данной статье основное внимание уделяется электрической сепарации. Однако это не значит, что электрическая сепарация предлагается как универсальный метод, исключающий все остальные, хотя она во многих случаях более удобна и эффективна. Например, в случае, если комплекс содержит свыше 30% легких минералов, обычно проводят гравитационное обогащение на винтовых сепараторах или концентрационных столах. Если содержание магнитных минералов превышает 30%, то проводят магнитную сепарацию, постепенно повышая напряженность магнитного поля, предотвращая этим механическое засорение магнитных фракций менее магнитными (или немагнитными) минералами. Для деления комплексов, содержащих более 30% проводящих минералов, целесообразно проводить электрическую сепарацию (электрическая сепарация может быть с успехом применена и при содержании проводящих минералов в пробе от 1% и выше). Если проба содержит легкофлотируемые минералы, то они могут извлекаться флотацией. Для окончательной очистки полученных мономинеральных фракций применяют метод, позволяющий наиболее полно удалить загрязняющие эти фракции минералы. Получаемые таким образом мономинеральные фракции содержат 98—99% одного минерала.

Электрические свойства минералов. Электрическая сепарация минералов основана на различии их электрических свойств: диэлектрической проницаемости и электропроводности.

По поведению в поле электрического сепаратора минералы можно классифицировать следующим образом: хорошие проводники (сульфиды, сульфосоли, самородные металлы), средние и слабые проводники (окислы и гидроокислы) и непроводники (силикаты, карбонаты, фосфаты и некоторые другие). Необходимо отметить, что существуют исключения. Например, сфалерит фактически является средним или слабым проводником, а шеллит — непроводником.

Один и тот же минерал из-за переменного химического состава (или из-за степени измененности поверхности) имеет различные электрические свойства. Зависимость измененности проводимости минералов от их химического состава можно представить в виде рядов в порядке снижения проводимости (схема).

Ильменит
(по степени лейкоксенизации)

Чистый ильменит	Слабейкоксенизированный ильменит	Сильнейкоксенизированный ильменит	Лейкоксен (по ильмениту)
-----------------	----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------

Рутил
(по степени лейкоксенизации)

Чистый рутил	Слабейкоксенизированный полупрозрачный рутил	Сильнейкоксенизированный непрозрачный рутил	Лейкоксен (по рутилу)
--------------	--	---	-----------------------

Рутил
(по степени сфенизации)

Чистый рутил	Слабосфенизированный рутил	Сильносфенизированный рутил	Сфен (по рутилу)
--------------	----------------------------	-----------------------------	------------------

Сфалерит

Марматит	Темно-коричневый	Боричневый и красный	Зеленый и серо-зеленый	Светло-розовый, светло-серый	Клейофан
----------	------------------	----------------------	------------------------	------------------------------	----------

Циркон
(по степени цирколитизации)

Цирколит	Непрозрачный (цирколитизированный) циркон	Полупрозрачный циркон	Прозрачный циркон
----------	---	-----------------------	-------------------

Лучше идут в проводящую фракцию

Лучше идут в непроводящую фракцию

Так же как у рутила и ильменита, изменяется при «лейкоксенизации» проводимость колумбита и вольфрамита.

Электрическая сепарация минеральных комплексов. Пробу руды (или песков), предназначенную для разделения, дробят (или дезинтегрируют) до полного раскрытия составляющих ее минералов, отмывают от илов ($< 20 \text{ мк}$) и классифицируют по крупности. Во избежание переизмельчения отдельных минералов дробление и измельчение проб необходимо проводить с максимальной предосторожностью, периодически отсеивать измельченный (готовый) материал. Для успешного ведения сепарации классификация проб по классам крупности осуществляется на ситах со шкалой $K=2$, например: $-2,0 + 1,0 \text{ мм}$; $-1,0 + 0,5 \text{ мм}$; $-0,5 + 0,25 \text{ мм}$ и т. д. Каждый класс просушивается, взвешивается и раздельно направляется на электрическую сепарацию. Перед электрической сепарацией для повышения концентрации тяжелых минералов проба может быть обработана гравитационным или флотационным (коллективная флотация) методом.

Схема барабанного электросепаратора приведена на рис. 1. Деление минеральных комплексов осуществляется в комбинированном электрическом поле, создаваемом коронирующим 5 и отклоняющим 6 электродами, к которым подводится высокое напряжение, и заземленным барабаном — осадительным электродом 3. Материал из бункера 1 поступает на вибродоток 2, подается на вращающийся осадительный электрод 3 и вводится в электрическое поле коронирующего электрода. В поле короны весь материал заряжается. Непроводящие минералы отдают электрический заряд очень медленно, притягиваются к заземленному барабану и, описав с ним почти полный оборот, счищаются щеткой 4 в приемник непроводящей фракции 10. Проводящие минералы быстро разряжаются (а хорошие проводники и перезаряжаются) и сбрасываются в приемник проводящей фракции 8. В промежуточную (промпродуктовую) фракцию 9 сбрасывается материал, еще не успевший разделиться (проводящие и непроводящие минералы). Если выход этой фракции значителен, то она должна подвергаться повторной сепарации (при необходимости полного извлечения минералов). В промпродуктовой фракции могут сосредоточиваться и минералы с пониженной проводимостью (слабые проводники). Для отсеивания определенной ширины веера разделяемого материала служат шибера 7.

На рис. 2 приведена принципиальная схема первой стадии электросепарации, целью которой является отделение всех проводящих минералов

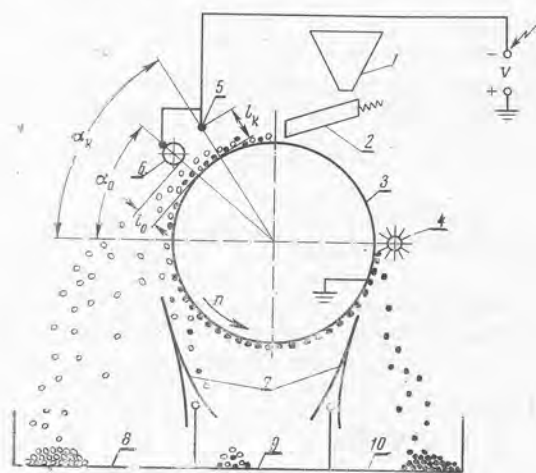


Рис. 1. Схема барабанного электросепаратора

1 — бункер; 2 — вибродоток; 3 — вращающийся осадительный электрод; 4 — щетка; 5 — коронирующий электрод; 6 — отклоняющий электрод; 7 — шибера; 8 — приемник проводящей фракции; 9 — приемник промежуточной (промпродуктовой) фракции; 10 — приемник непроводящей фракции; α_k — угол отклонения коронирующего электрода от горизонтали; α_0 — угол отклонения отклоняющего электрода по горизонтали; l_k — расстояние коронирующего электрода от барабана; l_0 — расстояние отклоняющего электрода от барабана; V — высокое напряжение постоянного тока, подаваемое на систему электродов; n — плоскость вращения барабана (осадительного электрода)

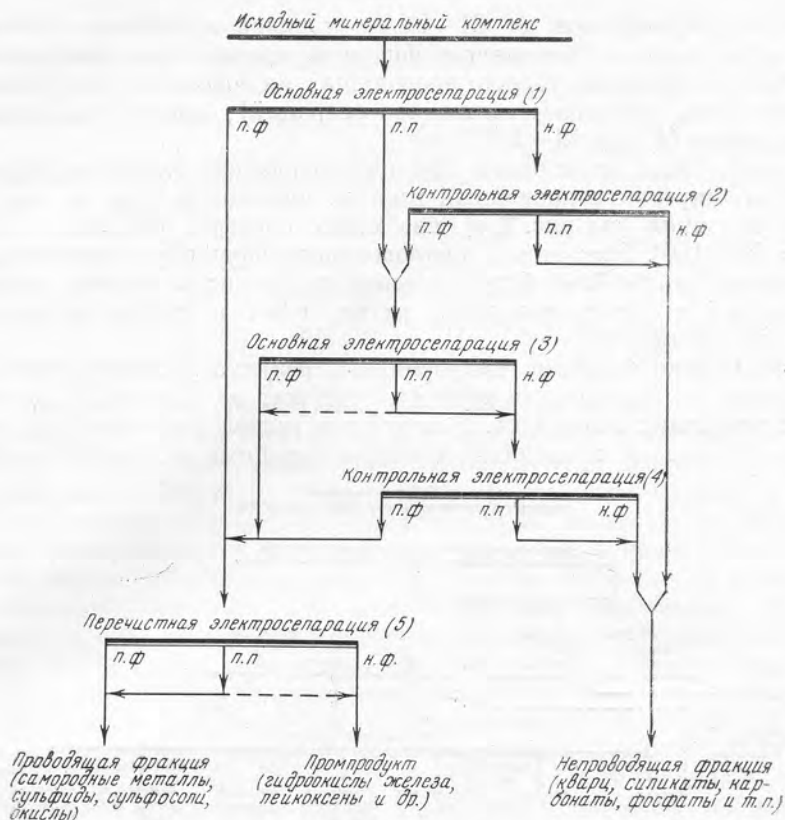


Рис. 2. Схема первой стадии электросепарации

П.Ф.— проводящая фракция; П.П.— промпродукт; Н.Ф.— непроводящая фракция

от непроводящих. Эта стадия сепарации состоит из пяти операций: двух основных (см. рис. 2, 1, 3), двух контрольных (см. рис. 2, 2, 4) и одной перечистой (см. рис. 2, 5). Часто бывает достаточно одной или двух операций (либо одной основной, либо основной и перечистой, либо основной и контрольной). В процессе основной сепарации в проводящую фракцию выделяется главная масса проводящих минералов.

Контрольная операция проводится в том случае, если часть проводящих минералов осталась в непроводящей фракции и должна быть извлечена. Перечистная сепарация необходима тогда, когда проводящая фракция загрязнена непроводящими минералами.

Режим первой стадии следующий:

$$\alpha_k = 57^\circ \quad l_k = 20-30 \text{ мм}$$

$$\alpha_0 = 40^\circ \quad l_0 = 5-10 \text{ мм};$$

скорость вращения барабана для различной крупности обрабатываемого материала (n , об/мин):

-2,0+1,0 мм	40—60	-0,15 (0,10)+0,074 мм	280—320
-1,0+0,5 мм	60—80	-0,074+0,044 мм	320—400
-0,50+0,25 мм	80—120	-0,044+0,020 мм	420;
-0,25+0,15 (0,10) мм	160—260		

напряжение на электродах (V):

15 кВ для классов мельче 0,25 мм
 18 кВ для классов крупнее 0,25 мм

(повышение напряжения до 21—24 кВ снижает извлечение минералов слабых проводников в проводящую фракцию; однако, если необходимо получить чистую фракцию хорошо проводящих минералов, то такое повышение напряжения сокращает количество операций); температура разделяемого материала ($t^{\circ}_{\text{мат}}$) 18—20° С.

В случае, если проводящая фракция загрязнена такими минералами, как апатит, цирколитизированный циркон, нефелин и т. п., то при перечистой сепарации (см. рис. 2, 5) необходим подогрев разделяемого комплекса до 70—100°. При этом в непроводящую фракцию перечистки, кроме указанных минералов, будут уходить гидроокислы железа, лейкоксенизированный и сфенизированный рутил, сфен и другие минералы — слабые проводники.

Непроводящие фракции, полученные в результате первой стадии электросепарации по описанному режиму, содержат не более 0,5% примесей суммы проводящих минералов. Дальнейшее разделение комплекса непроводящих минералов проводится соответствующими методами, например



Рис. 3. Схема разделения комплекса проводящих минералов

деление по удельным весам (флотация, магнитная сепарация и др.)¹. Если в процессе этого разделения образуются фракции, засоренные проводящими минералами, то их подвергают повторной электросепарации (с режимными условиями первой стадии).

Проводящая фракция содержит около 99% суммы проводящих минералов.

Электрическая сепарация обычно применяется для разделения несulfидных минеральных комплексов. Вместе с тем этот метод представляет практический интерес как при выделении из минеральных комплексов суммы сульфидов, сульфосолей и самородных металлов, так и при разделении этой суммы хороших проводников на отдельные мономинеральные фракции.

В поле коронного разряда из разделяемого материала в проводящую фракцию выделяются самородные металлы, сульфиды и сульфосоли (исключение составляет сфалерит, который целиком переходит в непроводящую фракцию вместе с минералами-окислами и гидроокислами). Это явление и было положено в основу дальнейшего разделения проводящей фракции первой стадии сепарации. Схема разделения комплекса проводящих минералов приведена на рис. 3.

¹ Вопрос разделения непроводящих минералов на электросепараторах нами подробно не изучался. Однако есть данные, показывающие, что электросепарация может быть с успехом применена и при делении некоторых комплексов непроводящих минералов (например, полевой шпат и кварц, кимберлит и алмаз, кальцит и кварц и др.).

Разделяемый материал обрабатывается на электросепараторе в следующих режимных условиях:

$$\alpha_k = 55-60^\circ \quad I_k = 15-20 \text{ мм}$$

$$Y = 12-15 \text{ кв} \quad I^\circ_{\text{мат}} = 18-20^\circ;$$

скорость вращения барабана для различной крупности обрабатываемого материала (n , об/мин):

—0,50+0,25 мм	40—60
—0,25+0,15 (0,10) мм	60—80
—0,15 (0,10)+0,074 мм	80—100
—0,074+0,044 мм	100—120
—0,044+0,020 мм	140—190

Отклоняющий электрод при этой сепарации снимается.

Отделение сульфидов, сульфосолей и самородных металлов в этих условиях протекает весьма эффективно. Непроводящая фракция, в которой концентрируются титанаты, тантало-ниобаты, хроматы, окислы и гидроксиды железа, вольфрамит, касситерит и т. п., может быть загрязнена лишь сфалеритом. Других сульфидов в непроводящей фракции не остается. Проводящая фракция чаще всего содержит не более 1—2% несulfидных минералов. Если выход сульфидных минералов составляет менее 1—2% общей суммы проводящих минералов, бывает необходима перемешивающая сепарация (проводимая в том же режиме), в процессе которой эта фракция освобождается от загрязняющих минералов. Такой метод отделения сульфидов, сульфосолей и самородных металлов от несulfидных минералов может представить большой практический интерес при доводке редкометальных концентратов до кондиций по сере, мышьяку, сурьме, меди, молибдену и другим, которые в данном случае являются вредными примесями.

Разделение непроводящей фракции этой стадии электросепарации может быть осуществлено любым из описанных методов¹, например магнитной сепарацией, в процессе которой могут быть получены и мономинеральные фракции. Если в процессе магнитной сепарации (или другого метода деления комплекса) какая-либо фракция обогащается непроводящими минералами, то ее обрабатывают на электросепараторе по режиму первой стадии электросепарации.

Деление комплексов сульфидных минералов при помощи электрической сепарации. В поле коронного разряда электросепаратора в проводящую фракцию извлекается сумма минералов: сульфиды, сульфосоли и самородные металлы. Здесь, в частности, содержатся и наиболее распространенные сульфиды: пирит, халькопирит и галенит.

Электрические свойства данных минералов очень близки. Поэтому несмотря на то, что некоторая разница в поведении их в электрическом поле заметна, разделить их при помощи электрической сепарации без специальной обработки сколько-нибудь эффективно практически невозможно. Разделить эти минералы по магнитной восприимчивости или удельному весу не удастся, так как все они немагнитны и имеют большой удельный вес.

Хорошие результаты по разделению пирита, халькопирита и галенита могут быть получены путем применения флотации. Но флотация с целью

¹ Электрическая сепарация комплекса несulfидных минералов-проводников не только осуществима, но в отдельных случаях и более эффективна, чем другие методы. Однако из-за большого числа режимных условий, соответствующих каждому отдельно взятому составу минерального комплекса, в данной статье этот вопрос опущен.

получения мономинеральных фракций для геологической службы имеет некоторые недостатки. К их числу относятся такие, как необходимость иметь в составе партии опытных флотаторов и флотационное оборудование, необходимость применения для селективной флотации сульфидов высокотоксических веществ, например цианидов, и т. п.

Пирит, халькопирит и галенит обладают различными химическими свойствами и различной сорбционной способностью поверхностей. В связи с этим перспективным направлением изучения возможности разделения сульфидов является селективное изменение их поверхностной электропроводности путем обработки минералов различными реагентами. Нами было исследовано действие на биминеральные искусственные смеси сульфидов олеиновой кислоты, окиси кальция и серной кислоты, азотной кислоты. Лучшие результаты элетрической сепарации были получены после обработки биминеральных сульфидных комплексов азотной кислотой.

Обработке подвергались смеси пирита с галенитом, халькопирита с галенитом и пирита с халькопиритом в соотношении 1 : 1 по весу. Материал имел крупность — 0,065 + 0,044 мм (—250 + 325 меш), так как в большинстве случаев сульфидные минералы имеют в природе тонкое взаимное прорастание.

Электрическая сепарация биминеральных смесей, обработанных реагентом, проводится в режимных условиях, соответствующих электросепарации сульфидных минералов от несульфидных (см. выше) для материала данной крупности.

Навеска смеси двух сульфидов обрабатывается в фарфоровой глазурованной чашке, емкость которой для удобства дальнейшей отмывки должна быть в 15—20 раз больше объема подаваемого количества раствора реагента. Для навесок 10—20 г требуется от 5 до 20 мл раствора (в зависимости от концентрации кислоты в растворе), следовательно, емкость фарфоровой чашки должна быть 200—300 мл.

Обработка навески проводится следующим образом: навеска смеси сульфидов помещается в фарфоровую чашку; готовится раствор азотной кислоты необходимой весовой концентрации; раствор кислоты заливается в фарфоровую чашку, и стеклянной палочкой навеска перемешивается в этом растворе; по истечении заданного времени контакта сульфидов с кислотой в чашку доливаются вода (вода используется водопроводная, как и для приготовления раствора кислоты, это упрощает всю работу, не отражаясь на качестве дальнейшего разделения сульфидов); навеска перемешивается стеклянной палочкой, затем после оседания минералов раствор декантируется; эта операция повторяется 5—6 раз, после чего кислоты в растворе практически не остается (декантацию следует проводить осторожно во избежание потерь минералов со сливом); после отмывки навеска подсушивается на пламени газовой горелки (следует избегать перегрева навески выше 100°, периодически убирая пламя).

Просушенная и перемешанная деревянной палочкой навеска готова для электрической сепарации. В процессе обработки смеси сульфидов раствором кислоты необходимо соблюдать следующие условия: при взаимодействии сульфидов с крепкими растворами кислоты (начиная от 40% и выше) может происходить сильное выделение газов. Это заметно по «вскипанию» смеси и особенно при обработке пиритсодержащих навесок. Если «вскипание» начинается на первой же минуте обработки и не прекращается до 2 мин. со времени приливания кислоты, то по истечении 2 мин. обработку необходимо прекращать и проводить отмывку материала. Чем выше концентрация кислоты, применяемой для обработки, тем раньше начинается «вскипание», поэтому время обработки соответственно сокращается. Весь процесс обработки необходимо проводить под тягой.

Нами было изучено действие на биминеральные смеси сульфидов рас-

творов азотной кислоты различной концентрации при различном времени обработки смеси сульфидов¹.

На рис. 4 показана зависимость извлечения галенита и пирита в проводящую фракцию от концентрации азотной кислоты, применяемой для обработки смеси пирита и галенита (1 : 1 по весу). Время обработки в данном случае составляет 5 мин. Меньшее время обработки этого комплекса (0,5; 1 и 2 мин.) дает худшие результаты электросепарации, так как обработка проводится относительно слабыми растворами кислоты. Но при

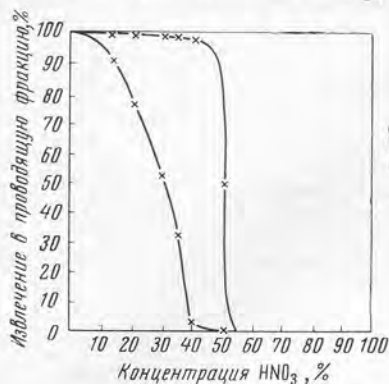


Рис. 4. Зависимость извлечения галенита (1) и пирита (2) в проводящую фракцию электросепарации от концентрации азотной кислоты

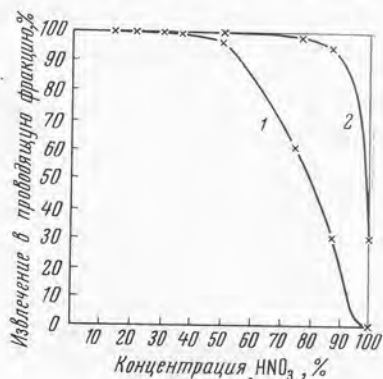


Рис. 5. Зависимость извлечения галенита (1) и халькопирита (2) в проводящую фракцию электросепарации от концентрации азотной кислоты

обработке смеси пирита и галенита 50%-ным раствором азотной кислоты уже через 2 мин. все минералы изменяются настолько сильно, что извлечение их в проводящую фракцию практически равно нулю (при тех же условиях сепарации и галенит, и пирит извлекаются в данном случае в непроводящую фракцию). Из рис. 4 видно, что галенит становится менее проводящим раньше, чем пирит, т. е. при более слабых концентрациях кислоты. Наибольшая селективность электрической сепарации комплекса пирит-галенит достигается после 5 мин. обработки его 35%-ным раствором азотной кислоты. После подсушки навеска слегка темнеет. Под бинокулярной лупой хорошо различимо изменение блеска галенита до матового и цвета до серого. Пирит изменяет блеск до матового и приобретает сероватый оттенок лишь после обработки комплекса 50%-ным раствором кислоты в течение 2 мин.

Весь процесс разделения навески смеси пирит-галенит весом от 5 до 30 г (крупность $-0,065 + 0,044$ мм) вместе с обработкой, отмывкой и подсушкой занимает не более 20 мин. (при массовом делении проб это время может быть сокращено).

За один пропуск навески смеси через сепаратор (один прием сепарации) в непроводящую фракцию извлекается до 40% галенита с чистотой 98—99%. Перечисткой проводящей фракции после повторной обработки можно получить пиритный концентрат с чистотой 98—99% в проводящей фракции.

Зависимость извлечения галенита и халькопирита в проводящую фракцию электросепарации от концентрации азотной кислоты при обработке комплекса халькопирит-галенит (1 : 1 по весу) показана на рис. 5.

¹ Для удобства применявшаяся азотная кислота ЧДА, фактически содержащая 67% HNO₃, условно принята за 100%-ную.

Время обработки принято равным 2 мин., так как осязаемое изменение проводимости галенита начинается лишь после обработки смеси 75%-ным раствором кислоты. Интересно отметить, что поверхность галенита начинает изменять блеск уже после обработки этого комплекса 30—35%-ными растворами кислоты. Однако отделения изменившегося галенита от халькопирита не происходит. Лучшие результаты электрической сепарации получены после обработки смеси халькопирит-галенит 87%-ным раствором азотной кислоты в течение 1,5 мин. (этого времени достаточно для изменения поверхности галенита, тогда как электропроводность и внешний

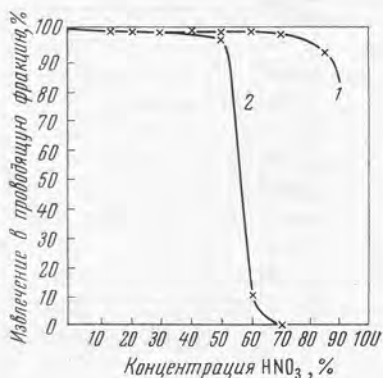


Рис. 6. Зависимость извлечения халькопирита (1) и пирита (2) в проводящую фракцию электросепарации от концентрации азотной кислоты

вид халькопирита остаются практически неизменными). Около 40% галенита извлекается в непроводящую фракцию, содержащую до 98% минерала, за один пропуск через электросепаратор.

На рис. 6 приведен график зависимости извлечения халькопирита и пирита в проводящую фракцию при обработке смеси халькопирит-пирит (1:1 по весу) растворами азотной кислоты различной концентрации. Время обработки — 2 мин. Из рис. 6 видно, что при обработке этой смеси 50—60%-ными растворами азотной кислоты пирит резко изменяет поверхностную проводимость (внешне пирит приобретает матовый блеск и сероватый оттенок) и извлечение его в проводящую фракцию резко снижается. Непроводящая фракция, в которую за одну операцию извлекается до 50% всего пирита, содержит его 97—99%.

Эти исследования показали возможность модифицирования электрических свойств минералов путем обработки их поверхности химическими соединениями и последующего разделения сульфидных комплексов в поле электросепаратора. Химизм явлений, происходящих при обработке сульфидов различными реактивами, в частности азотной кислотой, должен быть изучен более подробно.

Электрический сепаратор ПС. Выделение мономинеральных фракций методом электросепарации в ЦНИГРИ проводится на известном сепараторе поискового типа (ПС). Сепаратор ПС представляет собой трехпродуктовый барабанный комбинированный электросепаратор. Преобразователь напряжения смонтирован в общий корпус. Производительность сепаратора до 20 кг/час. Минимальный вес навески, подлежащей сепарации по отработанному режиму, 200 мг. Верхний и нижний пределы крупности разделяемого материала равны соответственно 2 мм и 20 мк.

ОПЫТ ВЫДЕЛЕНИЯ МОНОМИНЕРАЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ ГАЛЕНИТА, ПИРИТА, ХАЛЬКОПИРИТА, СФАЛЕРИТА, КВАРЦА И ПОЛЕВОГО ШПАТА МЕТОДОМ ФЛОТАЦИИ

Известно, что минералы разных месторождений (особенно это касается сульфидов) и даже минералы, взятые из разных участков одного и того же месторождения, ведут себя при флотации по-разному. Самые незначительные изменения поверхности минерала (степень ее окисленности, наличие эмульсионной вкрапленности посторонних минералов и т. п.) сильно влияют на его флотационную активность. Из-за этого в обоганительной практике не найдено какой-либо зависимости показателей флотации ни от количества минерала в пробе, ни тем более от состояния минеральной поверхности, вследствие чего оптимальный реагентный режим выявляется в ходе обширных экспериментальных исследований.

Всем известно, что сколько существует месторождений, столько и схем обогащения. Поскольку минералогические пробы, поступающие в обработку, сильно отличаются друг от друга как по составу минеральных компонентов, так и по процентному содержанию минералов в пробе, интересно было выяснить, возможно ли использовать принципиальные схемы обогащения для выделения мономинеральных фракций. Кроме того, в обоганительной практике, где широко применяется флотация, не ставится задача получения сульфидных фракций такой чистоты, как это требуется для геохимических целей.

Нами выделялись фракции галенита, сфалерита, халькопирита и пирита¹ из минерального комплекса — галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, барит, кварц, карбонаты, хлорит, серицит и другие минералы — с целью изучения форм нахождения и распределения некоторых редких и рассеянных элементов, таких как галлий, галлий, индий, селен, теллур, висмут, кобальт и другие в отдельных сульфидных минералах.

Существует два варианта схем флотации:

1) последовательно селективная флотация; 2) коллективно-селективная флотация.

По схеме селективной флотации из пробы последовательно выделяют отдельные сульфидные минералы. При содержании в пробе галенита, халькопирита, сфалерита и пирита сначала выделяют халькопирит-галенитовый концентрат (флотационные свойства халькопирита и галенита чрезвычайно близки), подавляя флотацию сфалерита и пирита цианидом, пинковым купоросом и известью. Затем флотируют сфалерит, депрессируя пирит большим расходом извести, и в последней стадии флотации флотируется пирит. Восстанавливается флотационная активность пирита (активируется пирит) изменением pH среды до слабоокислой при помощи серной кислоты. Активаторами пирита являются также сода и медный купорос.

Собирателями всех сульфидных минералов (собиратель — реагент, который покрывает поверхность минерала и делает ее гидрофобной, благодаря чему минерал становится способным прикрепляться к пузырьку воздуха и выноситься на поверхность флотационной машины в пену)

¹ В лаборатории аксессуарных минералов методом флотации разделен минеральный комплекс: халькопирит, пентландит, пирротин; флотируется биотит и мусковит с получением конечных продуктов чистотой 98—99% (см. Труды ИМГРЭ, 1963, вып. 18).

являются ксантогенаты. В цикле халькопирит-галенитовой флотации целесообразно применять более слабый по силе гидрофобизирующего эффекта этиловый ксантогенат, в цикле флотации сфалерита и пирита — более сильный ксантогенат (бутиловый).

Галенит-халькопиритный концентрат разделяют, подавляя флотирuemость халькопирита большим расходом цианида, галенит при этом сохраняет свою флотационную способность. Каждый концентрат, полученный в так называемой основной флотации, несколько раз перечищается с применением депрессоров (подавители тех минералов, которые могут присутствовать в том или ином концентрате). Концентрат галенита чаще всего перечищают с добавлением цианида, халькопиритовый — с добавлением цинкового купороса, сфалеритовый — с известью для подавления флотирuemости пирита, пиритовый — с добавлением жидкого стекла для депрессии кварца, полевого шпата и других сопутствующих минералов. Можно заметить, что кварц хорошо депрессируется жидким стеклом и кремнефтористым натрием. Кальцит лучше депрессируется алюмосиликатом натрия, т. е. сочетанием реагентов; солей алюминия с жидким стеклом. Первый вариант схем флотации применяется при большом содержании минералов в пробе (больше 5%).

При небольшом содержании минералов в пробе целесообразнее применять схему коллективной флотации с последующей селекцией. По схеме коллективно-селективной флотации сначала получают коллективный сульфидный концентрат, освобождаясь от сопутствующих минералов, затем в той же последовательности, что и при прямой селективной флотации, получают отдельные сульфидные концентраты. Цикл коллективной флотации по возможности ведут при более грубом помеле, чтобы осуществить раскрытие только сульфидных минералов с сопутствующими. Коллективный концентрат подвергается дополнительной обработке для десорбции реагента-собирателя с поверхности минеральных частиц. Эта обработка обычно включает в себя отмывку коллективного концентрата водой и дополнительное измельчение, при котором достигается наиболее полное раскрытие сульфидных минералов между собой и обнажение свежей минеральной поверхности, не обработанной реагентами, что облегчает последующую селекцию минералов.

Для десорбции реагента-собирателя с поверхности минералов можно применять обработку коллективного концентрата сернистым натрием при расходе последнего 6—8 кг/т концентрата и весовом отношении твердого к жидкому при перемешивании с сернистым натрием 1 : 2. Время перемешивания 20—30 мин. После этого концентрат промывается водой 3—4 раза и подвергается селективной флотации.

Ниже приведена схема коллективно-селективной флотации проб Белоусовского месторождения (Рудный Алтай), содержащих халькопирит, пирит, сфалерит и галенит. При флотации по этой схеме было получено: халькопиритовая фракция 97%-ной чистоты, пиритовая — 96%-ной, сфалеритовая — 93%-ной и галенитовая 90%-ной чистоты.

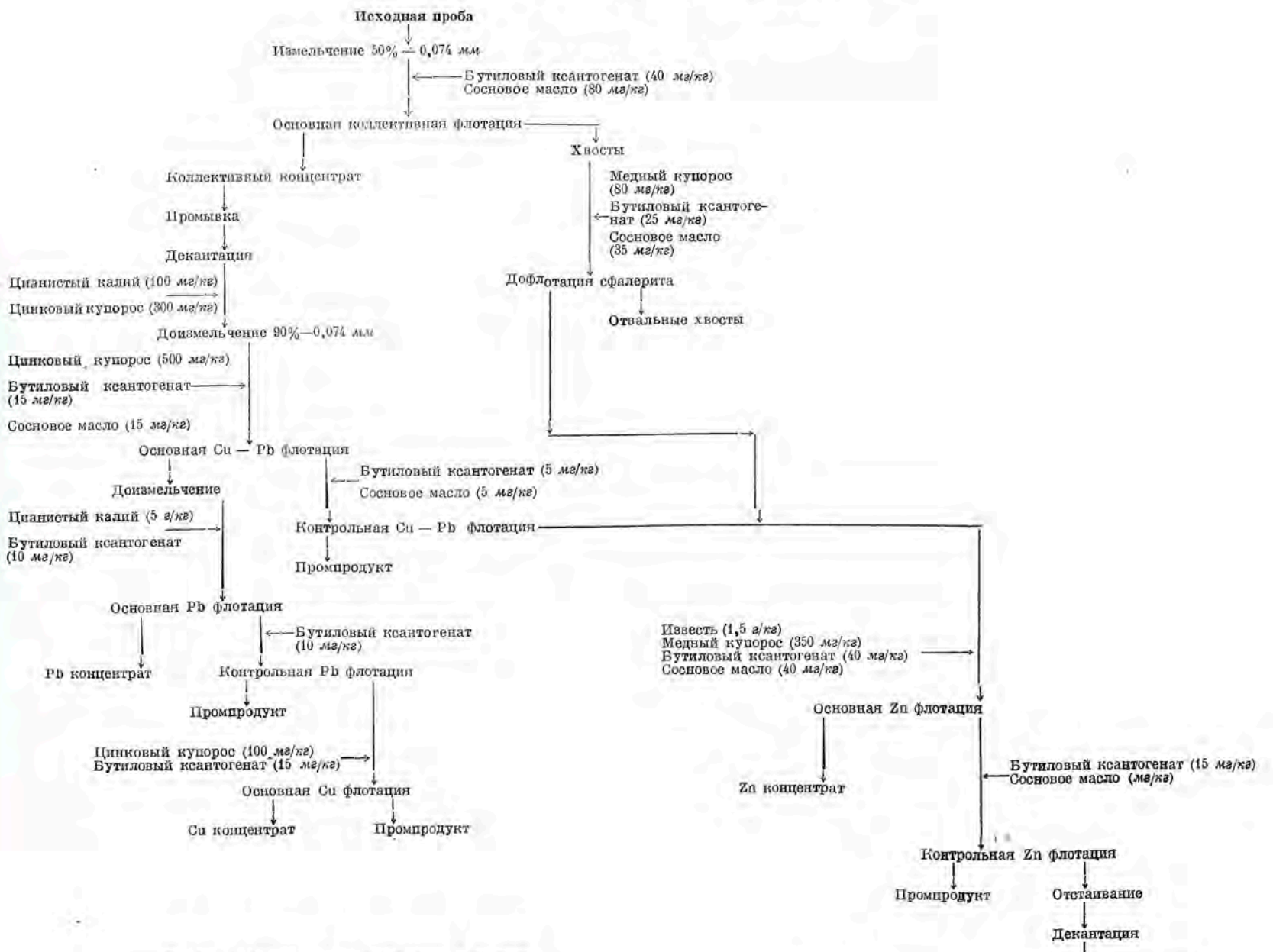
Если в руде, кроме несulfидных минералов, содержится только два сульфидных минерала, например халькопирит и пирит, схема обработки упрощается. По этой схеме получены халькопиритовый (содержание меди 33,6%) и пиритовый (содержание железа 45,3%) концентраты.

Чрезвычайно проста схема флотации, когда в руде содержится один сульфидный минерал. Он извлекается ксантогенатом. Депрессия сопутствующих минералов осуществляется жидким стеклом.

Таким образом, опыт работы лаборатории акцессорных минералов ИМГРЭ по выделению мономинеральных фракций сульфидов методом флотации показал, что, зная несколько принципиальных схем обогащения проб определенного минерального комплекса и какими реагентами можно

Схемы коллективно-селективной флотации проб Белоусовского месторождения. Рудный Алтай

Пробы, содержащие халькопирит, пирит, сфалерит и галенит



Пробы, содержащие халькопирит и пирит

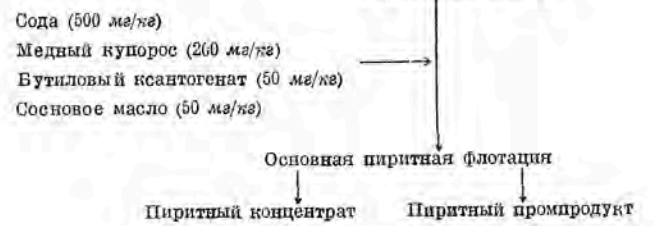
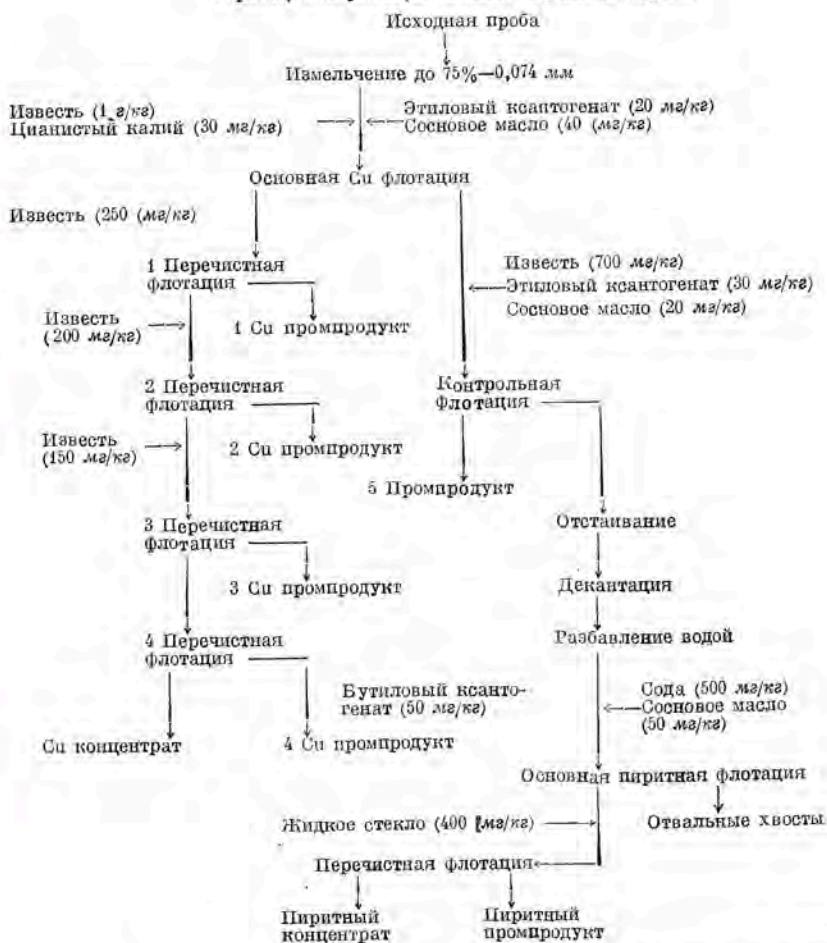


Схема флотации полевых шпатов



Реагенты рассчитаны на исходную навеску. Для упрощения на схеме не приведены перечистные операции концентратов основной флотации.

улучшить флотуемость того или иного минерала и, наоборот, как подавить флотационную способность минерала, который в данный момент не должен переходить во флотационную пену, можно выделять мономинеральные фракции сульфидных минералов. Характерные особенности флотационных схем для целей выделения мономинеральных фракций следующие: 1) большая их развернутость (большое число перечистных операций); 2) порционная подача реагентов, так как приходится непосредственно в ходе опыта определять расход реагента, который достаточен для извлечения в пену только одного минерала; 3) просмотр продуктов основной флотации под бинокляром, чтобы наметить схему перечистных операций флотации.

Большим преимуществом флотационного метода является возможность выделения минералов с тонким взаимным проращением, когда раскрытие зерен происходит при измельчении до 0,1 и 0,074 мм. Методом флотации в лаборатории акцессорных минералов ИМГРЭ разделены кварц и полевые шпаты с чистотой 98—99%. Полевые шпаты флотируются катионным реагентом АНП, кварц депрессируется фтористоводородной кислотой. Схема флотации очень проста.

В заключение можно отметить, что для получения мономинеральных фракций необходимо применять сочетания методик, использующих все разнообразие свойств минералов: удельный вес (концентрация на столах, разделение в тяжелых жидкостях), магнитную восприимчивость (магнитная и электромагнитная сепарация), электрическую проводимость (электрическая сепарация), гидрофобность и гидрофильность минеральной поверхности (флотация), коэффициент трения (разделение на виброплатформах) и другие свойства минералов. Только применяя сочетание различных методик, можно разделить пробу на составляющие ее компоненты.

■

М. Я. КАЦ, В. В. БАРАНОВ

ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ ОДНОЗОННЫХ ПОЛЮСОВ К ИЗОДИНАМИЧЕСКОМУ СЕПАРАТОРУ МИНЕРАЛОВ

Как известно, сила, действующая на зерно минерала в магнитном поле для парамагнитных и диамагнитных сред, а также для сред с небольшими примесями ферромагнетиков, выражается соотношением

$$F = \frac{\kappa V}{2} \cdot \text{grad} (H^2), \quad (1)$$

где κ — магнитная восприимчивость минерала; V — объем зерна; H^2 — напряженность магнитного поля.

Разделение минералов по их магнитным свойствам (магнитной восприимчивости) играет существенную роль при минералогических и геологических исследованиях. Это обусловлено в основном тем, что магнитная сила пропорциональна магнитной восприимчивости минерала, которая для разных минералов может меняться более чем на шесть порядков.

Из формулы (1) следует, что магнитная сила пропорциональна скорости изменения квадрата напряженности магнитного поля, т. е. магнитная сила тем больше, чем неоднороднее магнитное поле. Поэтому в наиболее простых магнитных сепараторах стремились создавать большие неоднородные поля при помощи полюсных наконечников типа плоскость — клин в сепараторе Окунева (рис. 1, а) и тип конус — конус в сепараторах Бит-2

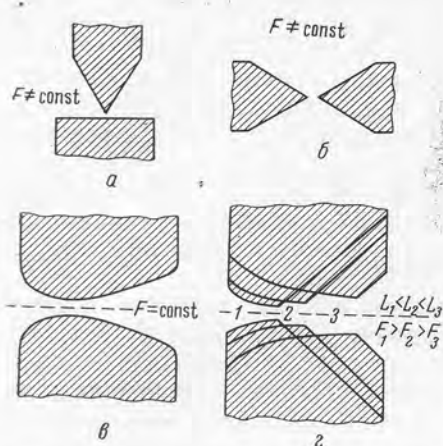


Рис. 1. Типы полюсов (сечение) в магнитных сепараторах

a — плоскость-клин; *б* — конус-конус; *в* — двухзонные изодинамические; *г* — сменные однозонные изодинамические

и СЭМ-1 (рис. 1, б). Однако при этом большие силы развиваются лишь в малых объемах у острия полюсов, и эти силы в разных точках неодинаковые. В сепараторах с неизодинамическими полюсами имеются два существенных недостатка: 1) лишь небольшая часть энергии магнитного поля воздушного зазора между полюсами используется для деления;

2) при неодинаковых магнитных силах зерна смеси будут находиться в неодинаковых условиях, что сильно затрудняет полноту выделения того или иного компонента и чистоту разделения смесей. В изодинамических сепараторах этих недостатков нет. Основным узлом изодинамических сепараторов является профиль полюсных наконечников. Теоретическими расчетами, моделированием магнитных полей в электролитической ванне и прямым анализом магнитных полей между полюсными наконечниками показано (М. Я. Кац и др.), что профиль полюсов, обеспечивающий изодинамическое поле, должен удовлетворять соотношению

$$\rho^{3/2} \cdot \sin(3/2\alpha) = \rho_0^{3/2}, \quad (2)$$

где ρ — радиус-вектор, α — угол в полярных координатах; ρ_0 — численный параметр, равный кратчайшему расстоянию от начала координат до кривой.

Из соотношения (2) следует также, что изодинамическое поле получается в объеме между тремя полюсами: два полюса с профилем по соотношению (2) и один нулевой полюс с профилем клина. В сообщениях иностранных авторов приводятся некоторые теоретические расчеты, схематические характеристики и методика работы на двухзонных сепараторах с нулевым полюсом в одной из зон. Нами (М. Я. Кац и др.) опубликованы детали конструкции и результаты деления минералов на изодинамическом сепараторе с двухзонными полюсами без нулевого полюса (см. рис. 1, в). Здесь же приводятся некоторые результаты анализа изодинамического сепаратора минералов с более рациональными сменными полюсами (однозонные без нулевого полюса, см. рис. 1, г), а также результаты деления тонких классов минералов на изодинамическом сепараторе.

Установлено, что профиль однозонных изодинамических полюсов характеризуется тремя параметрами: ρ_0 — кратчайшее расстояние от начала координат до кривой, определяющее масштаб изодинамической кривой; α_1 — полярный угол, при котором обрывается изодинамическая кривая со стороны узкой части зазора между полюсами; α_2 — полярный угол, при котором обрывается изодинамическая кривая со стороны широкой части зазора между полюсами.

В работах, опубликованных нами, подробно описаны три сепарационных устройства к изодинамическому сепаратору при одной паре полюсов, методы работы на них и некоторые результаты деления минералов. Анализ работы сепаратора показал, что каждое сепарационное устройство требует вполне определенного объема изодинамической зоны и что рациональнее иметь к каждому сепарационному устройству свою пару полюсов.

Так как с увеличением объема изодинамической зоны магнитные силы уменьшаются, можно подогнать параметры ρ_0 , α_1 и α_2 так, чтобы для данного сепарационного устройства магнитные силы были бы максимальными.

Приведем анализ трех пар полюсов со следующими параметрами (рис. 2):

1) полюс для наклонного метода сепарации: $\rho_0 = 5,5$ мм, $\alpha_1 = 7,5^\circ$, $\alpha_2 = 90^\circ$;

2) полюс для вертикального метода сепарации: $\rho_0 = 8,25$ мм, $\alpha_1 = 7,5^\circ$, $\alpha_2 = 90^\circ$. Оба метода дают возможность делить смеси зерен ($\geq 0,05$ мм) диамагнитных и парамагнитных минералов, а также с небольшими примесями ферромагнетиков;

3) полюс для деления тонких классов минералов ($\geq 0,001$ мм), а также для деления более грубых классов зерен ($\geq 0,05$ мм) с большими магнитными восприимчивостями (типа ферромагнетиков): $\rho_0 = 13,75$ мм, $\alpha_1 = 7,5^\circ$, $\alpha_2 = 90^\circ$.

Соединение изодинамической части профиля с краями полюса показано на рис. 2.

Экспериментальные кривые на рис. 2 получены следующим путем. При помощи милливеберметра М-119 и калиброванных катушек диаметром от $\geq 2,5$ до ≤ 4 мм и числом витков 250—300 измерялась напряженность магнитного поля вдоль ширины полюсов (через 1, 2 или 3 мм). По каждому двум значениям напряженности магнитного поля в смежных точках по соотношению (1) рассчитывались абсолютные значения магнитных сил в расчете на зерно объемом 1 мм^3 с магнитной восприимчивостью $\kappa = 0,01$ ед. CGSM.

Из рис. 2 легко установить, что чем меньше параметр ρ_0 , тем больше по абсолютной величине магнитные силы F и тем меньше ширина изодинамической зоны L (см. рис. 1, г: $F_1 > F_2 > F_3$ и $L_1 < L_2 < L_3$). Их абсолютные значения видны из рис. 2. Можно предположить, что для целей сепарации минералов достаточно постоянство магнитных сил с точностью до $\pm 10\%$ от их абсолютной величины. Кроме того, из рис. 2 видно, что с правой стороны силы уменьшаются достаточно быстро, а с левой —

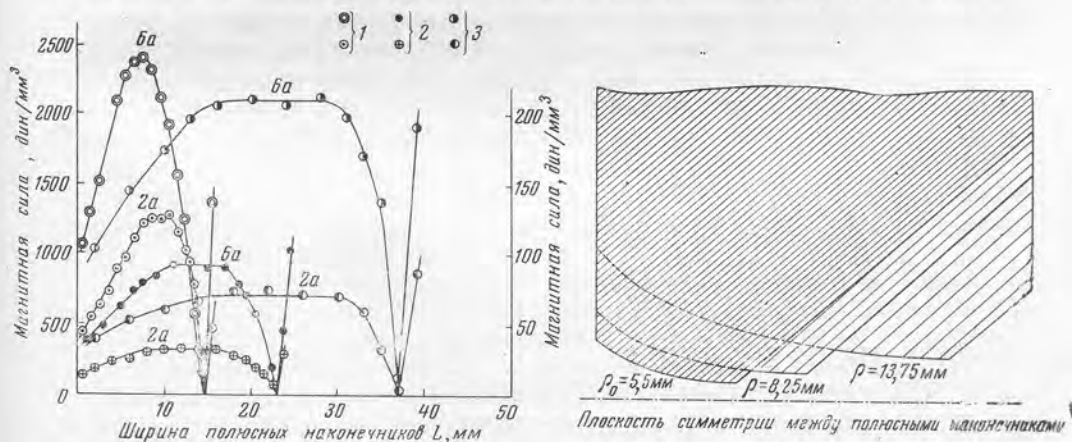


Рис. 2. Профиль сменных однозонных изодинамических полюсов и топология магнитных сил в воздушном зазоре (в плоскости симметрии) между ними

Кривые 1, 2 и 3 относятся к полюсам с параметром ρ_0 соответственно 5,5; 8,25 и 13,75 мм (см. рис. 1, г). По оси ординат отложена магнитная сила (в динах), действующая на зерно минерала в 1 мм^3 и магнитной восприимчивостью $\kappa = 0,01$ CGSM. Шкала по оси ординат для кривых 1 и 2 дана слева, для кривых 3 — справа. Для каждой пары полюсов магнитные силы измерены при двух силах тока в катушке электромагнита (2а и 6а)

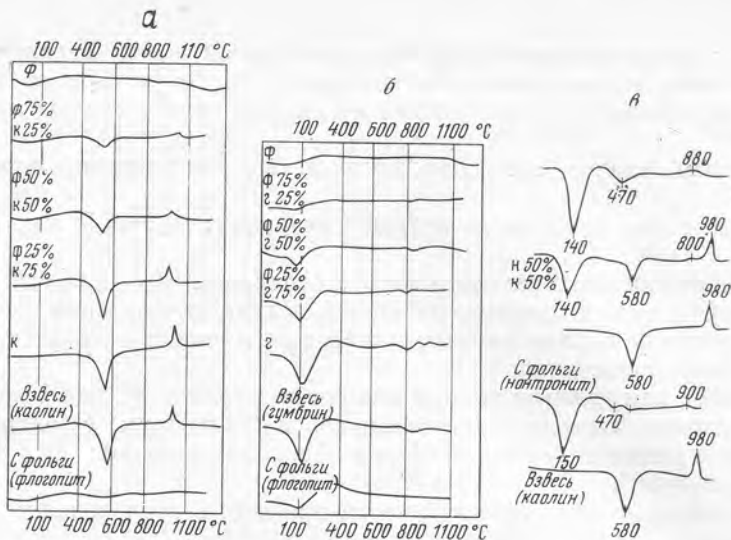


Рис. 3. Результаты термического контроля исходных компонент, их смесей и разделенных компонент тонких классов минералов на магнитном изодинамическом сепараторе при магнитной силе 1000 дин/мм^3 в пересчете на минерал с магнитной восприимчивостью $\kappa = 0,01 \text{ CGSM}$ (см. рис. 2)

а — смесь флогопита (Ф) с каолином (к); б — смесь флогопита (Ф) с гумбрином (г); в — смесь нонтронита (н) с каолином (к)

недостаточно быстро, что приводит к вредному уменьшению изодинамической зоны. Дальнейшие эксперименты покажут, в какой мере параметры были выбраны оптимальными.

В отличие от зарубежных изодинамических сепараторов, где имеются лишь наклонный и вертикальный методы сепарации смесей зерен размером $\geq 0,05 \text{ мм}$, в Геологическом институте АН СССР разработан метод деления тонких классов минералов ($\geq 0,001 \text{ мм}$) на изодинамическом сепараторе. На рис. 3 приведены результаты контрольных делений в изодинамическом поле трех искусственных смесей: флогопит — каолин, флогопит — гумбрин и нонтронит — каолин. Аналогичные результаты получены и при делении естественной смеси диккит-гематит. В разных опытах размер зерен был от $\geq 0,001$ до $\sim 0,01 \text{ мм}$. Как видно из рис. 3, наиболее чистой оказывается компонента с меньшей магнитной восприимчивостью: сростки, как правило, притягиваются магнитными силами вместе с более магнитной компонентой.

ДИСКУССИЯ ПО РАЗДЕЛАМ «МЕТОДЫ ОТБОРА И ОБРАБОТКИ ПРОБ» И «ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ СЕПАРАЦИИ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ»

Г. А. Ильинский (Ленинградский государственный университет). Потери минералов при обработке раздробленного материала обусловлены не только смывом тяжелых минералов в процессе промывки и доводки, но и выносом их мельчайших зерен при отмучивании пробы. Для учета та-

ких потерь в одних случаях применяют общий поправочный коэффициент, в других — производят фракционирование в тяжелых жидкостях без промывки.

Для изучения потерь, связанных с переизмельчением минералов при дроблении, нами был проведен ряд опытов с искусственными пробами (брались в известных весовых пропорциях специально подобранные минералы в виде зерен более 0,5 см в поперечнике). Такая проба дробилась в ступке при оптимальном режиме, а полученный материал очищался от пыли ситованием фракции — 0,25 мм или отмучиванием. После удаления пыли содержание отдельных минералов вновь определялось в весовых процентах.

В пробе, состоящей из магнетита и актинолита, потери актинолита всегда примерно в 2 раза больше (см. таблицу).

Таблица. Результаты опытов

Серия проб	Исходный состав пробы, вес. %	Потеря минералов в виде пыли, % к исходному	Окончательный состав пробы, вес. %
1. Магнетит	72,1	12,5	76,5
1. Актинолит	27,9	29,5	23,5
2. Магнетит	50,0	17,1	54,0
2. Актинолит	50,0	29,4	46,0
3. Магнетит	20,2	14,9	23,5
3. Актинолит	79,8	30,1	76,5

Потери кварца и алмандина, минералов с близкими механическими свойствами практически одинаковы, независимо от количественных соотношений и меняются от 10 до 20% в зависимости от режима дробления. В смеси циркона, магнетита и сидерита потери в виде пыли составляли соответственно 11,2; 15,2 и 35,0%.

Степень переизмельчения (процент пылевидной фракции) зависит от хрупкости, твердости, числа и совершенства направлений спайности. В какой-то мере она связана и с содержанием минерала в пробе, но количественно изучить такую зависимость трудно из-за различий в механических свойствах минералов. Если в пробе много минерала с небольшой твердостью и хорошей спайностью и мало минерала без спайности и с высокой твердостью, то после дробления и отмучивания количественные соотношения между ними нередко изменяются. Поэтому используемый в ряде работ поправочный коэффициент для учета потерь должен иметь разное значение для каждого минерала.

Полученные данные позволяют распределить изученные минералы в ряд по уменьшению их механической стойкости при дроблении: шпинель — циркон — магнетит — алмадин — кварц — турмалин — полевые шпаты — пироксены — амфиболы — флюорит — сидерит — барит.

В гранитоидах потери от переизмельчения минералов, присутствующих в незначительных количествах, менее существенны. В связи с этим заметное перераспределение количеств акцессорных минералов после дробления происходит лишь для тех из них, которые сильно различаются по механическим свойствам. Для богатых минералами тяжелой фракции пород (щелочные сиениты, измененные породы и т. п.) такое переизмельчение может исказить истинное соотношение минералов в исходной породе.

М. И. Задумина (Саратовский государственный университет). Используя при исследованиях акцессорных минералов гранитоидов Южного

Урала (Орское Зауралье) методику, применяемую Б. К. Львовым, мы получили вполне обнадеживающие результаты.

Среди геологов, как известно, нет единого мнения по вопросу о времени кристаллизации акцессорных минералов. Одни, основываясь в большинстве случаев на наличии идиоморфных очертаний акцессорных минералов, склонны думать, что основная их масса выделяется в высокотемпературный этап кристаллизации, другие утверждают, что акцессорные минералы в большинстве своем замыкают процесс кристаллизации, так как они нередко приурочены к интерстициям и межзерновым пространствам, и т. п.

М. И. Задуминой проведен количественный подсчет приуроченности акцессорных минералов ко всем породообразующим минералам в многофазовой Джабыгасайской интрузии гранитоидов (Южный Урал). Как показали результаты этих исследований, время кристаллизации акцессорных минералов различно. Среди них можно выделить типичные высокотемпературные (магнетит, возможно монацит), средне- и низкотемпературные. Чаще же всего кристаллизация таких обычных для магматических пород акцессорных минералов, как апатит, циркон и некоторые другие, сильно растягнута во времени, причем в процессе кристаллизации породы в них наблюдаются отдельные импульсы и спады в кристаллизации определенных минералов, которые в различных производных гранитоидов часто приурочены к различным породообразующим минералам.

Метод графического изображения полученных количественных соотношений акцессорных минералов, предложенный Б. К. Львовым, относительно прост, розы-диаграммы ассоциаций акцессорных минералов легко читаются и сопоставляются, не перегружая геологической основы карты.

Чрезмерное увлечение некоторых исследователей мономинеральным фракционированием с последующим взвешиванием каждой выделенной мономинеральной фракции акцессорных минералов и пересчетом веса всех количеств в проценты не всегда оправдано, так как известно, что выделение мономинеральной фракции — очень длительная и трудоемкая работа. Вполне удовлетворительные результаты могут быть получены при обычном количественном подсчете отдельных акцессорных минералов в искусственном шлихе с последующим пересчетом объемных процентов в весовые с учетом удельных весов акцессорных минералов.

Е. Д. Надеждина остановилась на наиболее рациональной схеме обработки проб основных пород для выделения из них акцессориев, к которой она пришла опытным путем при изучении акцессорных минералов основных пород, входящих в состав трапшовой формации Сибирской платформы.

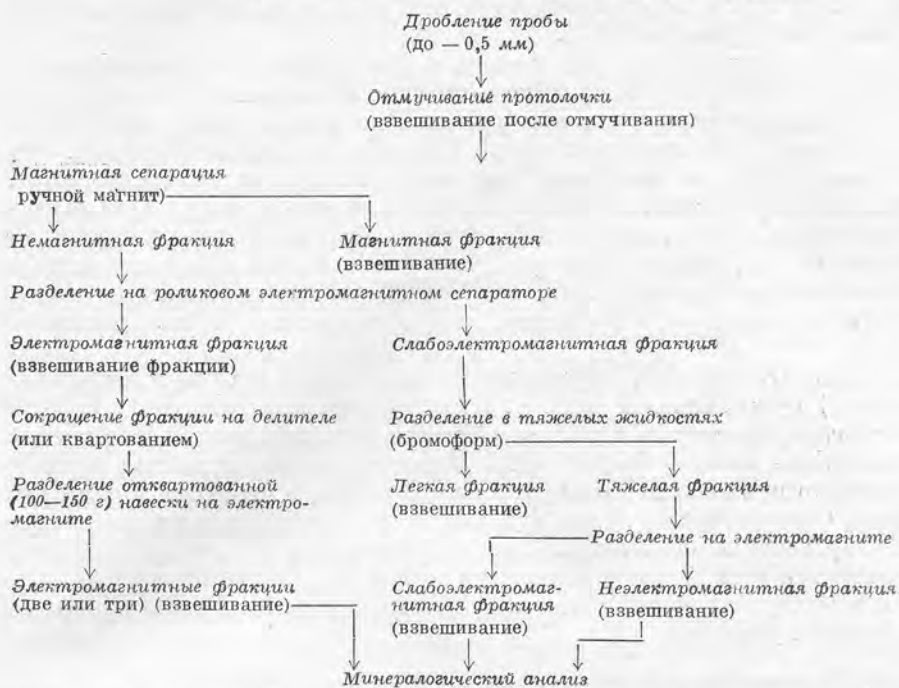
Схема обработки проб основных пород, предложенная С. Ф. Соболевым, по ее мнению очень громоздкая, требует больших затрат времени, труда и дорогостоящих реактивов. В то же время, как отмечает и сам С. Ф. Соболев, в результате обработки получается чрезмерно большое количество фракций, нередко дублирующих друг друга, что, естественно, затрудняет как подсчет минералов, так и их видовое определение.

Более проста и удобна предлагаемая схема обработки разделения проб основных пород. К преимуществам этой схемы относятся: резкое сокращение времени обработки пробы; экономичность, обусловленная уменьшением количества необходимого для разделения дорогостоящего реактива (бромформ), более высокий процент выхода акцессорных минералов, так как из схемы разделения изъята отмывка пробы на столе Вельфлея; уменьшение количества полученных для минералогического анализа фракций.

М. Я. Кац (Геологический институт АН СССР) указал на следующее:

1. Изучение функции распределения зерен ряда минералов по удельному весу показало, что разные зерна мономинерального образца облада-

Схема механического анализа проб основных пород



ют существенно разными удельными весами. Если кривые распределения зерен по удельному весу каждого из минералов, входящих в природную смесь, перекрываются, то разделить такую смесь на мономинеральные компоненты по удельному весу в принципе невозможно. Если часть кривой распределения одной из компонент не перекрывается кривой распределения другой компоненты, то тогда эту часть можно выделить в виде мономинеральной фракции. Однако такой метод выделения мономинеральной фракции часто может оказаться порочным и непригодным для минералогических и геохимических исследований: отобранная таким методом мономинеральная фракция не будет отображать истинных физических и химических свойств данного минерала в виде зерен, находящегося в исходной породе.

Совершенно аналогичное замечание справедливо и в отношении магнитных и электрических свойств минералов.

Наличие зерен в виде сростков разных минералов еще больше усложняет картину.

2. До сих пор все описываемые в отдельных исследовательских работах и рекламируемые в журналах сепараторы, даже серийно выпускаемые (в том числе и за рубежом), характеризуются лишь в общих чертах: какие типы минералов можно делить или обогащать на данном приборе, до какого значения заданной физической константы еще работает прибор (например, для магнитного изодинамического сепаратора часто указывают, что на нем можно делить минералы до магнитной восприимчивости $\sim 10^{-6}$) и т. п. Если учесть наше первое замечание, то такого типа характеристики сепараторов следует признать неудовлетворительными. Может оказаться, что наименьший интервал по шкале данной физической константы (например, магнитная восприимчивость, электрическая восприимчивость или удельный вес), в пределах которого еще можно выделить фракцию из природной смеси минералов, будет меньше крайних пределов функции распределения зерен данной компоненты смеси по шкале этой физической константы. Например, функция распределения зерен образца мономинер-

рального кварца часто имеет общую ширину по шкале удельного веса до $\sim 0,04$, а точность, с которой можно делить минералы по удельному весу на градиентной трубке, $\sim 0,005$.

Поэтому следует стремиться к тому, чтобы приборы, как вновь разрабатываемые, так и особенно серийно выпускаемые, имели бы количественные характеристики, в каких пределах по шкале данной физической константы можно на данном приборе выделить отдельные фракции. Это может иметь большое значение при минералогических исследованиях. Широко распространенные в геологической литературе магнитные характеристики минералов (немагнитные, слабомагнитные, магнитные, сильномагнитные и т. п.) имеют чисто качественный характер и поэтому результаты, получаемые в разных лабораториях на разных приборах, не имеющих количественных характеристик, могут оказаться несопоставимыми.

Г. А. Коц (Всесоюзный научно-исследовательский институт минерального сырья) присоединился к М. Я. Кацу, сказав, что очень хорошо было бы иметь градуированные приборы. Обогаителям приходится сталкиваться с вопросами свойств минералов. Установить точные градации трудно, так как часто приходится иметь дело со сростками, а не с отдельными минералами. Смачиваемость водой при флотации, например, зависит от примесей. Определение физических характеристик — очень сложная задача. При сочетании всех методов сепарации можно достигать хороших результатов и к этому нужно стремиться. Создание установки ПОЛМ — первый шаг в этом направлении.

С. И. Голосов (Институт геологии и геофизики СО АН СССР) остановился на четырех вопросах.

1. Современные возрастающие требования к методике обработки проб. Бурное развитие научных исследований в нашей стране, рост разнообразных исследований горных пород и составляющих их минералов, а также непрерывное совершенствование и резкое повышение чувствительности анализов заставляют пересмотреть распространенные методики обработки проб.

С. И. Голосов привел два примера.

Абсолютный возраст породы часто определяется соответствующими исследованиями выделенных из нее аксессуарных минералов. Чувствительность масспектрометрических и спектральных анализов настолько высока, что внесение ничтожных примесей некоторых элементов при ее дроблении или обогащении приводит к браку в исследованиях. Автору пришлось отказаться от флотационного выделения минералов, предназначенных для масспектрометрических исследований и перейти к более трудоемким методам обработки проб, чтобы получить в целом от всего исследования большую эффективность.

В наше время рождается новое направление геолого-минералогических исследований, изучающее изменения в минералах за длительный период времени после их кристаллизации. В отличие от сложного, трудоемкого определения абсолютного возраста минерала в новых методах намечается возможность простой и быстрой оценки относительной продолжительности периода существования минерала. Известны изменения электрических свойств минералов со временем, изучаются изменения состава содержащихся газообразных продуктов. Особенно прост метод замера термолюминесценции минералов, позволяющий в несколько минут зафиксировать соответствующую характеристику породы или минерала. Исследования показали, что высвечивание минералов начинается с температур $100-150^\circ$. Так как в минералах после нагрева до этой температуры, очевидно, происходят необратимые изменения, возникает необходимость пересмотра существующих методов измельчения и обработки проб и, кроме жестких

условий сохранения вещественного состава, необходимы столь же жесткие условия для исключения хотя бы кратковременных повышений температуры.

2. Измельчение проб. В наше время методики измельчения проб не должны ориентироваться на ручной труд.

Из докладов на недавно происходившем первом европейском симпозиуме по вопросам измельчения известно, что только на измельчение вязущих строительных материалов расходуется более 1% всей вырабатываемой электроэнергии. Теоретические расчеты показывают, что более 99% энергии при этом выделяется в виде теплоты. Это следует учитывать при выборе методов измельчения, хотя для нас имеет значение не сокращение затрат энергии, а вредное влияние разогрева проб.

Для крупного измельчения проб нельзя предложить чего-либо нового, кроме широко распространенной щековой дробилки.

Среднее и мелкое измельчение проб, согласно выступлениям ряда докладчиков, осуществляется валковыми дробилками. Этот тип дробилки следует считать непригодным для проб, используемых в исследованиях акцессорных минералов. Конструктивно валковая дробилка не может обеспечить измельчения проб в продукты с равномерными зернами размером в десятки доли миллиметра. Для среднего и мелкого измельчения проб следует рекомендовать стержневые барабанные мельницы. Преимуществами таких мельниц являются: возможность регулировки дробящего усилия подбором диаметров измельчающих стержней, регулируемая временем измельчения высокая тонкость готового продукта, однородность материала по крупности, исключение потерь, лучшие санитарные условия работы и т. п.

В условиях геологоразведочных организаций стержневые мельницы могут быть изготовлены кустарно из буровых труб диаметром около 200 мм. Удобны конструкции вращающихся валов, покрытых резиновыми плангами, на которые помещается четыре или более работающих барабана. Следует поставить вопрос о серийном выпуске таких мельниц заводами.

3. Методы выделения акцессорных минералов. Распространенные в горных породах акцессорные минералы наиболее часто имеют размеры около одной десятой доли миллиметра. В арсенале процессов обогащения есть единственный применимый способ выделения частиц столь малого размера — флотация.

В прошлом, когда разрабатывалась аппаратура для промывки естественных шлихов, создавались различные приборы мокрого гравитационного обогащения: отсадочные машины, пульсаторы и пр. Из-за малых размеров зерен акцессорных минералов подобные аппараты не могут решить поставленную задачу. Из существующих приборов характерную особенность имеет концентрационный стол. Скорости движения струй воды на деке стола, подобно тому как это происходит в реках, изменяются от нуля возле самой деки до величины, определяемой наклоном стола на высотах 0,5 и 1 мм от поверхности деки. В «головку» концентрата здесь собираются мелкие тяжелые зерна. Это свойство стола позволяет достигать некоторых результатов, но процент извлечения акцессорных минералов часто низок.

Таким образом, методика выделения акцессорных минералов должна включать выделение шлиха из дробленой породы на концентрационных столах с предварительным разделением пробы на два-три ситовых класса, обрабатываемых на столе отдельно.

4. Одно из направлений в области изыскания методов выделения акцессорных минералов. Если рассмотреть основные действующие силы современных способов обогащения, то выявляется, что почти все методы основаны на использовании естественной гравитационной силы.

Сила веса тяжелых минералов концентрирует их при промывке в лотке.

Вес немагнитных минералов препятствует увлечению их в магнитную фракцию. Весом пульпы вытесняется пузырек воздуха с закрепленной на нем частицей в процессе флотации.

Стремление извлечь механическим путем из смеси зерен ничтожные по размерам частицы минералов оказывается неосуществимым из-за слишком малого их веса и незначительных скоростей движения в воде. Это положение может быть изменено, если искусственно увеличить силы, действующие на частицы. Это делается при помощи центрифуг.

Примером приборов этого направления является разработанная в ВИМСе центральная мельница. В этой мельнице, имеющей планетарное устройство, два и более барабанов вращаются вокруг своих осей и одновременно вокруг центральной оси всей системы. Если в обычной шаровой мельнице измельчающие шарики производят работу своим весом, то в центральной мельнице искусственно увеличиваются сила работы каждого шара и частота их работы.

Первые мельницы имели увеличения силы по сравнению с силой тяжести в 100 раз, при этом барабаны вращались в 10 раз быстрее шаровой мельницы, т. е. частота работы шаров возрастала в 10 раз и общее расчетное ускорение процесса по сравнению с шаровой мельницей увеличивалось в 1000 раз. Практически при работе мельницы ускорение измельчения превышало эту цифру. Сейчас прибор прочно входит в оборудование лабораторий как в СССР, так и других странах.

Опыты, проведенные авторами по измельчению минералов на приборах с ускорением процесса примерно в 20 000 раз, позволяют надеяться на возможность различных новых открытий в области физико-химии разрушения минералов.

В прошлом методы, разработанные минералогами, использовались промышленностью. Примером является электромагнитный способ выделения монацита из шлихов и россыпей, который в последующем использовался при эксплуатации месторождений.

Разработка новых эффективных способов выделения акцессорных минералов позволит получить новые научные данные и будет способствовать решению практических задач.

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ СССР

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРАНИТОИДОВ¹

О. И. ЕГИПКО

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ДОКЕМБРИЙСКИХ ГРАНИТОИДОВ СВОДОВОЙ ЧАСТИ ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

Коренные обнажения докембрийских гранитоидов по р. Дон известны с 1857 г. Они неоднократно описывались многими геологами с различной степенью детальности (В. Н. Лодочников, Н. Х. Платонов, А. И. Педашенко, М. М. Веселовская, Л. А. Варданыц, А. И. Тугаринов). Важной особенностью гранитоидных пород Воронежской антеклизы, как и других районов Русской платформы, является широкое развитие в них метасоматических процессов.

Изученный массив гранитоидов имеет зональное строение. Осевая зона шириной 8—10 км сложена относительно однородными и массивными породами. Преобладают крупно-среднезернистые розовато-серые порфирированные и порфиробластические граниты, граносиениты. В них встречаются полосы и неправильной формы участки розовых крупно-среднезернистых лейкократовых гранитов. Подчиненное развитие имеют жильные тела мелкозернистых аплитовидных гранитов, аплит-пегматитов и пегматитов.

В периферических зонах массива широко развиты реликтовые участки вмещающих гнейсов и амфиболитов, в различной степени мигматизированных и постепенно переходящих в породы гранитоидного состава. При детальной документации устанавливается многократное полосчатое чередование полос гранитоидного состава с реликтовыми полосами гнейсов. В северо-восточной эндоконтактной зоне массива гранитоидов преобладают средне- и крупнозернистые гибридные гнейсовидные породы состава кварцевых диоритов и гранодиоритов, представляющие собой продукт «гранитизации» вмещающих гнейсов и амфиболитов. Определения абсолютного возраста, выполненные сотрудниками ГЕОХИ АН СССР (А. И. Тугаринов) для массива и смежного района КМА, позволяют считать, что гранитообразование происходило в архее и протерозое. Наиболее позднее проявление кремниево-щелочного метасоматоза относится, очевидно, к среднему-верхнему протерозою, так как он накладывается на протерозойские породы. В связи с интенсивным развитием метасоматических замещений для изучаемых гранитоидов характерна сильная изменчивость количественно-минералогического состава, устанавливаемая на расстояниях от долей метра до нескольких метров.

¹ Все статьи печатаются в сокращенном виде.

Выделяется несколько парагенетических ассоциаций минералов, отвечающих различным стадиям формирования породы. Ассоциация олигоклаз — андезин, обыкновенная роговая обманка, биотит I, кварц I, омфациит, титанистый магнетит I, сфен I, циркон I, гранат I (альмандин) унаследована от метаморфических и магматических пород, сформировавшихся до гранитизации. При калиевом метасоматозе произошло замещение плагиоклаза, роговой обманки и альмандина микроклином и биотитом. Этот процесс сопровождался выпадением магнетита II, сфена II и апатита за счет избыточных количеств железа, титана и кальция, освобождающихся при таком замещении. Натровый метасоматоз в изучаемых гранитоидах проявился значительно слабее калиевого.

Более интенсивная альбитизация установлена в лейкократовых гранитах и пегматитах юго-западной окраины массива. В этих породах наблюдается повышенное содержание граната второй генерации (спессартин-альмандин). Последовавшие за щелочным метасоматозом окварцевание, грейзенизация, хлоритизация сопровождалась разложением биотита, сфена, магнетита и выпадением лейкоксена, ортита, эпидота, гематита, рутила, пирита, халькопирита, молибденита и сульфидов серебра. Ввиду наложения кремнево-щелочного метасоматоза на все разновидности пород достоверное расчленение магматических и метасоматических разностей гранитоидов при современной степени изученности не всегда представляется возможным.

Акцессорные минералы изучались нами попутно при проведении петрографо-геохимических исследований. Определения и количественные подсчеты минералов проводились в прозрачных, полированных шлифах и искусственных шлихах. Для приготовления искусственных шлихов отбирались пробы зерна из разновидностей гранитоидов с одинаковым минералогическим составом и структурой. Были отобраны серии проб различного веса: 0,2—0,5; 3—5 и 12—14 кг.

Дробление осуществлялось вручную до крупности 0,25 мм с рассевом на две фракции: $-0,25 + 0,1$ и $-0,1 + 0,05$ мм. Полученные фракции после отмучивания полностью разделялись на концентраты, состоящие из двух-трех минералов. Подсчет содержаний выполнялся отдельно в каждом концентрате. После сложения содержаний минералов в концентратах и введения поправки на удельный вес вычислялось весовое содержание минералов в породе с точностью до 10 г/т. Нами обработаны шлихи из проб весом 0,2—0,5 кг. Невысокая представительность этих проб и шлифов дает основание считать, что приводимый список акцессорных минералов после обработки проб большого веса будет пополнен наиболее редкими минералами и что будут уточнены цифры количественных содержаний, приводимые в таблице.

На проведенном этапе работ основное внимание уделялось изучению наиболее распространенных акцессорных минералов: магнетита, сфена, апатита, циркона, пирита и граната. Эти минералы присутствуют почти во всех изученных разновидностях гранитоидов. Их количественные содержания и морфологические свойства испытывают значительные колебания в зависимости от геологического положения, структуры породы и интенсивности метасоматических изменений.

Магнетит относится к наиболее распространенным акцессорным минералам изучаемых гранитоидов. Можно выделить не менее трех разновозрастных генераций магнетита: 1) магнетит магматический и метаморфический, выделившийся до калиевого метасоматоза; 2) магнетит, синхронный с калиевым метасоматозом; 3) магнетит, выделившийся в конечные стадии щелочного и в течение кремниевого метасоматозов. К первой генерации нами отнесены единичные изометричные зерна и кристаллики (0,1—0,8 мм), включенные в роговую обманку и плагиоклаз и, как правило, окруженные оболочками сфена и лейкоксена. Магнетит второй генера-

Таблица. Ориентировочные содержания главнейших аксессуарных минералов в некоторых разновидностях гранитоидов юга Воронежской области (по результатам количественно-минералогических анализов дробленных шлихов и подсчетам в прозрачных и полированных шлифах в ε/τ)

Минерал	I *	II	III	IV	V	VI
Магнетит	19 510	12 270	15 000	4370	260	1 010
Сфен	16 830	5 250	600	2,100	80	—
Лейкоксен	1 400	950	1 100	520	—	—
Апатит	9 210	2 190	80	560	2 020	810
Циркон	370	310	110	180	420	80
Шприт	320	210	50	90	140	160
Ильменит	90	280	~200	110	10	410
Гематит	1—5	~10	50	~10	—	—
Эпидот	5 820	390	70	270	100	—
Ортит	Ед. зн.	~10	90	~10	—	—
Кальцит	2 010	1 790	~100	490	~200	~200
Гранат	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	20	50
Рутил	1—5	1—5	1—5	1—5	—	10
Молибденит	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.
Монацит	—	—	—	—	—	10
Число проб	5	8	3	3	1	1

* I — апоамфиболитовые гранодиориты и кварцевые сиениты;

II — крупнозернистые порфиридные и порфиробластические граносиениты, граниты;

III — крупно-среднезернистые лейкократовые граниты (сильно микроклинизированные и окварцованные);

IV — мелкозернистые аплитовидные граниты, секущие граносиениты;

V — плагиограниты;

VI — среднезернистые монацитоносные граниты юго-западной окраины массива.

ции преимущественно приурочен к зернам роговой обманки, биотита и их контактам с остальными минералами. Полуколичественные спектральные анализы магнетитов, выполненные в лаборатории ИГЕМ АН СССР, показали, что в изучаемых гранитоидах он является одним из основных концентраторов Zn, Ge, Mo, Sn, V, Cr.

Основная масса сфена выделилась при калиевом метасоматозе одновременно с замещением роговой обманки биотитом. Формы его выделений разнообразны. Размеры кристаллов сфена уменьшаются от 3—5 мм в гибридных гранодиоритах и сиенитах до 0,5—1 мм в крупнозернистых граносиенитах и 0,05—0,4 мм в мелкозернистых гранитах. В этом же направлении цвет сфена меняется от темно-красно-бурого до коричневого и желтовато-коричневого. В начальные стадии окварцевания сфен осветляется с периферии, частично растворяется и переотлагается в виде мелких светлоокрашенных кристалликов третьей генерации, приуроченных к микроклин-кварцевому замещающему комплексу.

В большинстве рассматриваемых разновидностей гранитоидов сфен является основным концентратором Nb, Sn и одним из концентраторов Y, TR, Mo.

Апатит установлен во всех разновидностях гранитоидов, кроме жил альбитизированных пегматитов. Подобно магнетиту и сфену, выделяются три разновозрастные генерации апатита. Кристаллики ранней генерации включены в роговую обманку и плагиоклаз. Апатит второй генерации совместно с магнетитом и сфеном накапливается у стыков зерен микроклина и биотита с плагиоклазом и роговой обманкой. Апатит третьей генерации

образует в зернах кварца врослки длиннопризматических кристалликов длиной 0,01—0,05 мм с коэффициентом удлинения от 4 до 12. Окраска апатита в шлихе меняется от зеленовато-голубой в меланократовых разновидностях гранитоидов до бледно-желтой в плагиогранитах, лейкократовых и мелкозернистых гранитах. Из аксессуарных элементов в апатите наиболее характерны TR, Sr, Mn, Ag.

Ц и р к о н стоит на первом месте среди остальных аксессуарных минералов по изменчивости морфологии его кристаллов. Наиболее широко распространены в изучаемых гранитоидах кристаллы гиацинтового и изометрического типов по А. А. Кухаренко. Реже встречаются кристаллы цирконового и копьевидного типов, а также округлые эллиптические с шероховатой поверхностью. Подобные цирконы описывались неоднократно (И. Д. Батиева, И. В. Бельков, В. А. Вахрушев, Хоппе). Из аксессуарных элементов в цирконах содержатся Hf, Sc, Pb, Y.

В гранитоидах установлен пирит трех генераций: 1) комбинация граней куба, октаэдра и пантагондодекаэдра или кубические кристаллы с грубой штриховкой на гранях, притупленные по углам гранями октаэдра. Этот пирит замещается с периферии каемками магнетита; 2) почковидные сростки кубических кристаллов и дендритовидные выделения в промежутках между зернами породообразующих минералов. Преимущественно развит в мелкозернистых гранитах и пегматитах; 3) сыпь мелких кристалликов и отдельные зерна в зонах окварцевания. Пирит всех генераций содержит Co, Ni, Cu, Ag.

Г р а н а т встречен в мелкозернистых гранитах и пегматитах и содержит Ti, Zn, Sn, Ge, Ga, Ba, Y, TR.

И л ь м е н и т в крупнозернистых гранитоидах присутствует в подчиненном количестве по отношению к магнетиту, и его роль возрастает в мелкозернистых лейкократовых гранитах. Наиболее характерные аксессуарные элементы в ильмените Mn, Zn, Nb, Sn, Pb.

Рутил (две генерации), гематит, гетит, эпидот, ортит, кальцит, сидерит, марказит, монацит, ксенотим, молибденит, галенит, халькопирит, борнит, сульфиды серебра и пирротин встречаются спорадически. Отметим, что рудные минералы определялись в отраженном свете В. П. Буковшиным и Н. М. Чернышевым.

ВЫВОДЫ

1. По составу и количественному содержанию аксессуарных минералов гранитоиды изучаемого массива можно разделить на две группы. К первой относятся крупнозернистые порфириовидные граниты, граносиениты и гранодиориты, занимающие большую часть площади массива. Для них характерны сфен, магнетит, апатит, циркон и пирит. Ко второй группе отнесены мелко- и среднезернистые граниты юго-западной окраины массива, в которых преобладают апатит, гранат, циркон, ильменит и пирит.

2. Для многих аксессуарных минералов установлено по две-три разновозрастные генерации, отвечающие различным этапам формирования породы (домагматическому, магматическому и постмагматическому).

3. Количественные содержания аксессуарных минералов в изучаемых гранитоидах подвержены существенным колебаниям, что связано с широким развитием метасоматических процессов.

ЗНАЧЕНИЕ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ В ИЗУЧЕНИИ ВОПРОСОВ ПЕТРОЛОГИИ ГРАНИТОИДОВ

Отдельные разновидности гранитоидов ряда каледонских и герцинских геосинклинальных областей характеризуются общей ассоциацией мельчайших, микроскопических аксессуариев. Впервые они были выявлены и изучены нами на Большом Кавказе. Ими характеризуются древние двуслюдяные гранитоиды Главного Кавказского хребта (именуемые также «серыми» гранитами Кавказа). Двуслюдяными гранитами сложена значительная часть древних гранитоидных массивов Большого Кавказа. Для этих гранитоидов очень характерно обилие мельчайших акцессорных минералов, среди которых волосовидный и призматический рутил, удлиненно-призматический циркон и игольчатый апатит с базопирамидальным обликом главным образом включены в кварцевые зерна, а также в наружные кислые зоны плагиоклаза и в микроклин (рис. 1, 2). Хотя степень их проявления разная, три перечисленных минерала всегда присутствуют вместе. Они измеряются сотыми, тысячными, десятитысячными долями миллиметра. Из-за чрезмерной мелкокристалличности под микроскопом при нормальном увеличении их обнаружить не удается. Поэтому они изучались при больших увеличениях (300—1050 раз).

Диагностика вышеназванных минералов проводилась главным образом оптическими методами. Кроме того, были поставлены опыты для частичного извлечения аксессуариев из полиминерального агрегата: фракционное обогащение размолотой массы породы при помощи флотации, электромагнитная сепарация флотированной лейкократовой фракции и спектрохимическое изучение ее, обработка немагнитной фракции плавиковой кислотой, иммерсионно-оптическое изучение нерастворимого вещества и фторидовых остатков, спектрохимические исследования нерастворимого вещества, в результате чего отмечалось повышение интенсивности линии Ti и частично Zr.

Мельчайшие аксессуарии, особенно волосовидные разновидности рутила, широко распространены во внутренних частях интрузивного тела. В верхних или периферийных частях интрузива их роль уменьшается. В сравнительно малом количестве выявлены мельчайшие аксессуарии в гибридных, диоритовых породах, а также в породах, которые сохранили облик контактированных гранитоидов. Мельчайшие микроскопические аксессуарии наблюдаются и в контактовом ореоле интрузий двуслюдяных гранитоидов. Ими обогащены гранитные мигматиты во внутреннем контактовом ореоле. Мигматизация, инъекция и механическая инфильтрация гранитоидного материала во вмещающих метаморфитах проявлены в пределах изоповерхностей силлиманита и граната. За пределами этой полосы, в средне- и низкотемпературных зонах и фациях внешнего контактового ореола, мельчайшие аксессуарии не встречаются. Гранатовая изограда (изоповерхность) является верхней границей распространения мельчайших аксессуариев в контактовом ореоле.

Кроме аксессуариев ультрамикроскопических размеров, в двуслюдяных гранитоидах присутствуют аксессуарии сравнительно крупных размеров (десятые доли миллиметра и больше), изучение которых доступно обычными методами исследования: циркон неправильной формы, крупный, ксеноморфный апатит, ильменит, сфен, титаноморфит, вольфрамит, шеелит, ксеногенные силлиманит, андалузит, скаполит (мейонитового ряда — $\text{Ma}_{40}\text{Me}_{60}$), гранат и другие петрогенные и металлогенные аксессуарии. Нормальные разновидности микроклиновых гранитов и аляскитов микроскопических аксессуариев не содержат.

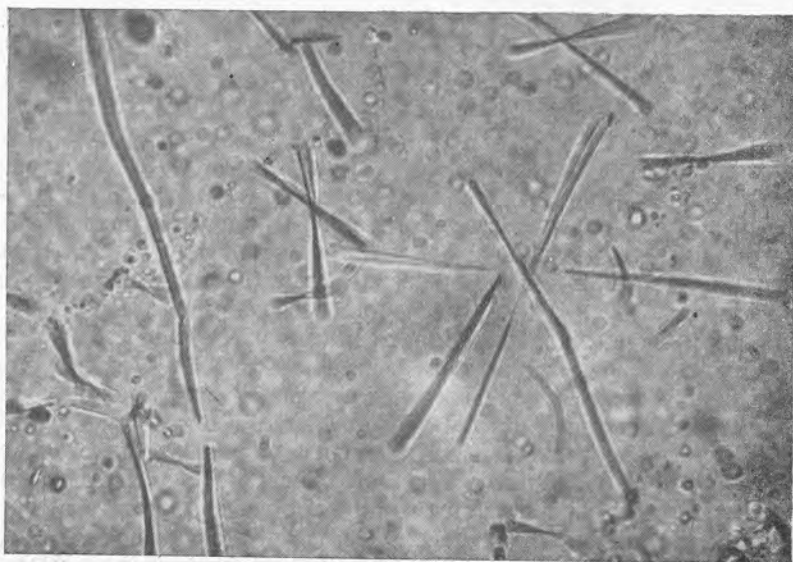


Рис. 1. Поперечные сростки рутила (сагенитового типа) в кварце из двуслюдяного гранита. Малый Зеленчук, Северный Кавказ. Увеличение 500. Без анализатора (аксессуары фотографировались с включенным конденсатором Лазо)

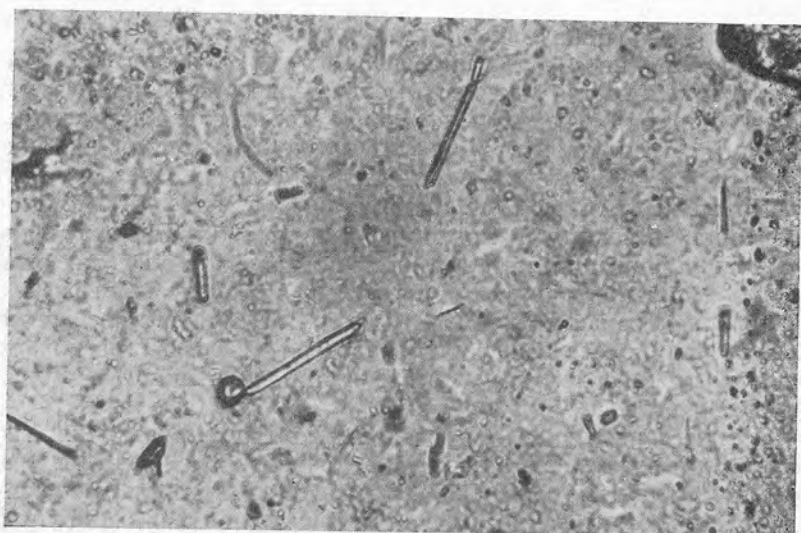


Рис. 2. Призматические кристаллы рутила и циркона в кварце из двуслюдяного гранита. Малый Зеленчук, Северный Кавказ. Увеличение 260. Без анализатора

Мельчайшие акцессории встречены также в кварцевых диоритах, плагиогранитах и гранодиоритах, которые нередко принимают участие и в строении массивов микроклиновых гранитов. Вероятно поэтому их объединяли в группу пород микроклиновых гранитов, хотя по минеральному составу они скорее всего относятся к двуслюдяным гранитам, нежели к микросклиновым. При помощи ультрамикроскопических акцессориев была найдена родственная связь между определенными интрузивными и жильными представителями комплекса.

Содержание мельчайших акцессорных минералов постепенно уменьшается от двуслюдяных к микроклиновым гранитам. Обильное развитие равномерно расположенных акцессориев постепенно превращается в участковое или гнездовое расположение. Вблизи микроклиновых гранитов отмечаются единичные включения и, наконец, в типичных микроклиновых гранитах они совсем исчезают. Видовой состав акцессориев уменьшается с увеличением микроклина в породе. В большинстве случаев встречается рутил, реже апатит и циркон.

В периферийных частях массивов, сложенных микроклиновыми гранитами, при помощи микроскопических акцессориев были выявлены ксенолитообразные включения двуслюдяных гранитоидов. Эти акцессории дали возможность оконтурить массивы двуслюдяных гранитоидов и реликтовые участки этих пород в батолитоподобном интрузиве гранитоидов Главного Кавказского хребта района Малого Зеленчука. И, наконец, выяснилось, что по отношению к массивам двуслюдяных гранитоидов тела микроклиновых гранитов имеют секущее расположение. В то же время жильные тела аляскитовых гранитов секут как двуслюдяные, так и микроклиновые граниты.

Все эти перечисленные разновидности гранитоидных пород Г. Д. Афанасьевым ранее объединялись в комплекс гранитоидов Главного Кавказского хребта.

Гранитоиды, содержащие ультрамикроскопические акцессории, мы выделяем в отдельную группу двуслюдяных гранитоидов. Наличие микроскопических акцессориев в гранитоидах помогло нам обосновать новую схему классификации пород комплекса гранитоидов Главного хребта.

1. В отличие от ранее существовавшей схемы в семейство двуслюдяных гранитоидов вошла большая часть пород комплекса: кварцевые диориты, плагиограниты, гранодиориты и двуслюдяные граниты; жильные образования — кварцевые диорит-порфиры, плагиогранит-порфиры, гранодиорит-порфиры и гранит-порфиры; аплиты; рудные и нерудные пегматоиды; пегматиты; кварц-полевошпатовые и кварцеворудные жилы.

2. Семейство микроклиновых гранитов включает микроклиновые граниты, аляскитовые разновидности микроклиновых гранитов и крупнозернистые (частично крупнопорфировидные) микроклиновые граниты.

3. В семейство аляскитовых гранитов входят аляскитовые граниты, гранит-аплиты и гранит-пегматиты.

Таким образом, микроскопические акцессории могут играть большую роль при расчленении комплекса пород на отдельные семейства или группы.

Неясности, которые возникли в ходе изучения вопросов возраста и этапов формирования гранитоидов Главного Кавказского хребта, побудили нас заняться изучением терригенных отложений палеозоя Северного Кавказа. Было установлено, что терригенные отложения среднего девона, карбона, а также перми в ряде районов Северного Кавказа содержат материал гранитоидов Главного Кавказского хребта. В гальках из отложений среднего девона и нижнего карбона присутствуют маркирующие мельчайшие акцессории (рутил, циркон, апатит) семейства двуслюдяных гранитоидов. А в то же время возраст двуслюдяных гранитов считался верхнепалеозойским. Привлекло внимание и то обстоятельство, что материал,

который содержит мельчайшие акцессории, в отложениях среднего девона и карбона представлен исключительно плагиогранитами и частично гранодиоритами. В отличие от них гальки из нижнепермской красноцветной толщи, также содержащие акцессории, представлены микроклинизированными разновидностями гранитов. И эти данные показали, что породы, объединенные в комплекс гранитоидов Главного Кавказского хребта, не являются представителями одного магматического цикла, что породы комплекса сформировались в два разновозрастных этапа: нижнепалеозойский и верхнепалеозойский. Сказанное подтверждается и другими не менее важными фактами геологического и петрологического характера.

Мельчайшие микроскопические акцессории и все минералы первой генерации в двуслюдяных гранитах являются нижнепалеозойскими образованиями. Богатая акцессориями порода первоначально имела гранодиоритовый состав, в верхнем палеозое она претерпела метасоматическое преобразование и приобрела состав двуслюдяного гранита. Акцессории являются продуктами активности магмы, имевшей плагиогранит-гранодиоритовый (трондземитовый) состав.

В результате специальных петролого-металлогенических исследований была установлена генетическая связь вольфрам-мышьякового оруденения с нижнепалеозойским этапом магматизма.

В выявлении генетической связи и возраста оруденения существенную помощь также оказали мельчайшие микроскопические акцессории. Рудносные пегматоиды содержат те же включения акцессориев ультрамикроскопических размеров, что и двуслюдяные гранитоиды. Состав и оптикоморфологические особенности петрогенных минералов вольфрамоносных пегматоидов и минералов двуслюдяных гранитоидов аналогичны. Генетическая связь оруденения с гранитоидами подтверждается и другими фактами.

Таким образом, ассоциация мельчайших акцессориев сыграла существенную роль в изучении некоторых вопросов петрологии гранитоидов Большого Кавказа. Мы уверены, что и в будущем в познании сложных вопросов региональной петрологии гранитоидов Кавказа акцессории окажут большую услугу исследователям.

Большой интерес представляет также изучение вопросов региональной минералогии акцессориев и корреляции древних гранитоидов ряда геосинклинальных областей.

Нами было установлено региональное распространение отмеченной ассоциации акцессорных минералов в древних гранитоидах Кавказа (Большой Кавказ, Дзиркульский, Храмский, Локский массивы), что позволяет в дальнейшем произвести корреляцию разобщенных массивов, имеющих сходные генезис, возраст, условия формирования и другие общие особенности петрогенеза.

Масштабы регионального распространения мельчайших микроскопических акцессориев «кавказского типа» не ограничены Кавказом, они были обнаружены нами и в шлифах гранитоидов из других областей развития каледонид и герцинид (Средняя Азия — Кара-Тюбе, Кой-Таш и др., Восточное Забайкалье — район Смирновского рудного поля; Карелия, Финляндия, Оденвальд, Тюрингия, Саксония, Рудные Горы — полоса саксонотюрингской зоны герцинской складчатости), граниты Гарца и массив Броккен (герцинская тектоническая зона, Грампианские горы и другие регионы). Привлекает внимание и то обстоятельство, что, как и на Кавказе, с гранитоидами древних геосинклинальных областей связано редкометальное оруденение главным образом вольфрама (месторождения Кара-Тюбинского района СССР, Найдорфер, Кристиансенн-Ставангер и др.).

В заключение можно отметить, что ассоциация мельчайших микроскопических акцессориев распространена исключительно в областях развития каледонских и герцинских интрузивов преимущественно кислого со-

става. В будущем, по-видимому, станет возможным в областях развития докембрийских и палеозойских образований провести при помощи ультрамикроскопических аксессуариев более четкое расчленение докембрийских, нижне- и верхнепалеозойских гнейсов, гранито-гнейсов и гранитов с унаследованными гнейсовидными структурами.



Б. М. МЕЛИКСЕТЯН

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ В ГРАНИТОИДАХ МЕГРИНСКОГО ПЛУТОНА

Крупнейший в Закавказье Мегринский плутон приурочен к присводовой части Сюникского антиклинория, сложенного вулканогенно-осадочными отложениями нижнего палеозоя, осадочной толщей верхнего мела и вулканогенно-осадочными образованиями нижнего эоцена с суммарной мощностью 2,5—3 км. Возраст плутона как по геологическим, так и по радиологическим данным датируется верхним эоценом — олигоценом. В пространственной и генетической связи с гранитоидами плутона находится ряд медно-молибденовых среднетемпературных рудопроявлений прожилково-вкрапленного и жильного типа. Геологии и петрографии этого интересного в петрометаллогеническом отношении плутона посвящено значительное количество статей и монографий (С. С. Мкртчян, В. Г. Грушевой, А. И. Адамян, А. Т. Асланян).

Анализ обширных геологических данных и проведенные автором комплексные петрографо-минералого-геохимические исследования позволяют расчленить плутон на три разновозрастных интрузивных комплекса со своими жильно-магматическими сериями и постмагматическими образованиями: монцонитовый, граносиенитовый и гранитовый.

Все три комплекса сопровождаются однотипной жильной серией двух этапов, петрографо-геохимические особенности которых близки к породам собственно интрузивной фазы.

Среди жильных пород первого этапа выделены жильные граниты, аплиты и различные пегматиты. Последовательность внедрения жильных пород второго этапа от основных к кислым (габбро-порфириты, диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры и гранит-порфиры).

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ, ИХ СОСТАВ И СВОЙСТВА

При исследовании акцессорных минералов нами была принята методика, предложенная В. В. Ляховичем, которая с успехом применяется в ИМГРЭ и является, по нашему мнению, наиболее совершенной и обоснованной. Пробы весом 10—12 кг отбирались из всех генетических типов и разновидностей пород с возможно большей площади (200—300 м²) кусками свежей породы весом 100—200 г. Точки опробования располагались на площади плутона равномерно.

Обработка всех протоколов (250 штук) проводилась по усовершенствованной и единой методике. При количественной оценке содержания путем подсчета зерен под биноклюляром и последующего определения весового процента вводились поправка на удельный вес и поправочный коэффициент (K) для отдельных акцессорных минералов, полученный экспериментальным путем и учитывающий потери на переизмельчение и

Таблица 1. Распределение и количественные соотношения аксессуарных минералов в породах Мегринского плутона (в вес. %)

Минерал	Монцонитовый комплекс			Граносиенитовый комплекс	Гранитовый комплекс
	габбро-диориты, габбро	монцониты, сиенито-диориты	щелочные сиениты	гранодиориты и граносиениты	порфиroidные граниты
Магнетит	2,25	1,65	0,85	0,62	0,54
Титаномагнетит	0,75	0,30	0,15	Ед. зн.	—
Ильменит	0,15	Ед. зн.	0,012	0,001	Ед. зн.
Хромит	Ед. зн.	—	—	—	—
Апатит	0,5—2,0	0,45	0,64	0,30	0,25
Циркон	0,012	0,042	0,21	0,052	0,068
Сфен	0,015	0,38	0,45	0,34	0,20
Ортит	Ед. зн.	0,016	0,009	0,001	0,009
Моноцит	Ед. зн.	0,01	0,05	Ед. зн.	Ед. зн.
Ксенотим	—	Ед. зн.	—	0,0035	0,001
Шпинель	0,006	Ед. зн.	—	—	—
Гранат	—	0,0013	Ед. зн.	—	—
Сильманит	—	Ед. зн.	—	—	—
Андалузит	—	Ед. зн.	—	—	—
Корунд	—	—	Ед. зн.	—	—
Циртолит	—	0,01	—	0,001	0,0014
Малакон	Ед. зн.	0,02	0,012	Ед. зн.	0,0036
Эвксенит	—	—	—	—	0,0002
Бетафит	—	Ед. зн.	0,003	—	—
Торит	—	0,0002	0,001	0,002	Ед. зн.
Ураноторит	—	—	—	—	0,002
Уранинит	—	—	—	—	Ед. зн.
Давидит	—	—	—	—	0,0005
Бадделеит	—	—	0,007	—	—
Рутил	—	0,001	—	Ед. зн.	Ед. зн.
Анатаз	—	Ед. зн.	0,001	Ед. зн.	0,002
Брукит	—	Ед. зн.	—	—	—
Касситерит	—	—	—	—	Ед. зн.
Шеелит	—	Ед. зн.	—	0,008	Ед. зн.
Турмалин	0,001	0,028	0,003	Ед. зн.	—
Флюорит	—	—	0,1	—	Ед. зн.
Молибденит	Ед. зн.	0,0002	Ед. зн.	0,0003	0,0006
Арсеноспирит	—	—	—	—	Ед. зн.
Пирит	0,006	0,10	0,001	0,02	0,015
Халькопирит	Ед. зн.	0,0015	0,0005	0,0003	0,001
Галенит	—	Ед. зн.	—	Ед. зн.	0,0014
Сфалерит	0,001	0,006	—	Ед. зн.	Ед. зн.
Висмутит	—	—	—	Ед. зн.	0,001
Гематит	0,16	0,02	0,001	—	Ед. зн.
Ворнит	—	Ед. зн.	—	Ед. зн.	0,0002
Ковеллин	—	Ед. зн.	—	—	Ед. зн.
Халькозин	—	—	—	—	Ед. зн.
Самородный свинец	—	—	—	—	0,0006
Самородная медь	—	—	—	Ед. зн.	—
Самородный цинк	—	—	—	—	0,0002
Самородное олово	—	—	—	Ед. зн.	—
Киноварь	—	Ед. зн.	—	—	Ед. зн.
Барит	—	—	—	—	Ед. зн.

Таблица 1 (окончание)

Минерал	Монцонитовый комплекс			Граносиенитовый комплекс	Гранитовый комплекс
	габбро-диориты, габбро	монцониты, сиенито-диориты	щелочные сиениты	гранодиориты и граносиениты	порфириовидные граниты
Лимонит	0,006	0,08	0,002	0,01	0,006
Малахит	—	Ед. зн.	Ед. зн.	0,003	Ед. зн.
Азурит	—	Ед. зн.	—	0,001	0,005
Повеллит	—	Ед. зн.	—	Ед. зн.	0,003
Базобисмутит	—	—	—	Ед. зн.	0,0008

промывку (в зависимости от физических свойств отдельных минералов и их содержания K колебался от 1,0 до 2,5).

Всего в интрузивных породах, как уже отмечалось нами в 1964 г., установлено свыше 50 аксессуарных минералов, принадлежащих различным классам (окислы — 14, силикаты — 11, сульфиды — 10, самородные элементы — 4, фосфаты — 3, карбонаты — 3, гидроокислы — 3, фториды — 1, вольфраматы — 1, молибдаты — 1).

Ассоциации аксессуарных минералов и их количественные соотношения (табл. 1) в различных фациях разновозрастных комплексов находятся в согласии с их петрохимическими и геохимическими особенностями. Так, магнетит, хотя он в значительном количестве устанавливается во всех типах пород, более характерен для гибридных, контаминированных фаций, отличающихся повышенным содержанием фемических минералов, что, видимо, связано с высоким окислительным потенциалом в этих участках кристаллизовавшейся магмы.

В породах дополнительных интрузий жильных пород первого этапа содержание магнетита, как правило, ниже, а в дайках второго этапа выше, чем в главной интрузивной фации. Выделяются две генерации магнетита, причем поздняя из них образовалась при процессах амфиболизации и биотитизации. Магнетит из гибридных пород первой фазы, эндоконтактных фаций поздних фаз и даек второго этапа содержит (в %): Zn (0,1—0,3), Sc (0,001), Al (0,03—0,1), V (0,1—0,3), Co (0,03—0,1), Cr (0,003), Mg (0,01) и Ti (3—5). В то же время в магнетитах из гранитоидов поздних фаз и поздних дифференциатов содержатся преимущественно (в %): Mo (0,003—0,01), Pb (0,001—0,003), Cu (0,003—0,03), Ga (0,003—0,01) и др.

Помимо магнетита, особенно в монцонитах, габброидах и щелочных сиенитах, наблюдаются титаномагнетит и ильменомангнетит (TiO_2 3,5%).

Ильменит устанавливается в основном в породах монцонитовой интрузии и в эндоконтактных фациях поздних комплексов в виде пластинчатых кристаллов. Характерно присутствие в нем Mo (0,01—0,03), Nb (0,1—0,3), Cu (0,001—0,003), Sn (0,003—0,01), Pb (0,003), редко Y, La. Формы кристаллов аксессуарных минералов из гранитоидов плутона приведены на рис. 1, 2.

Апатит весьма типичен как для пород с явными признаками гибридизма, так и для нормальных фаций гранитоидов. В целом намечается некоторое понижение содержания апатита, как и магнетита, от первой интрузивной фации к третьей (см. табл. 1).

Габитус кристаллов апатита в монцонитах удлиненно-призматический, в габброидах в эндоконтактных фациях гранитоидов поздних фаз и жильных породах основного состава игольчатый (удлинение 1:5), в нормаль-

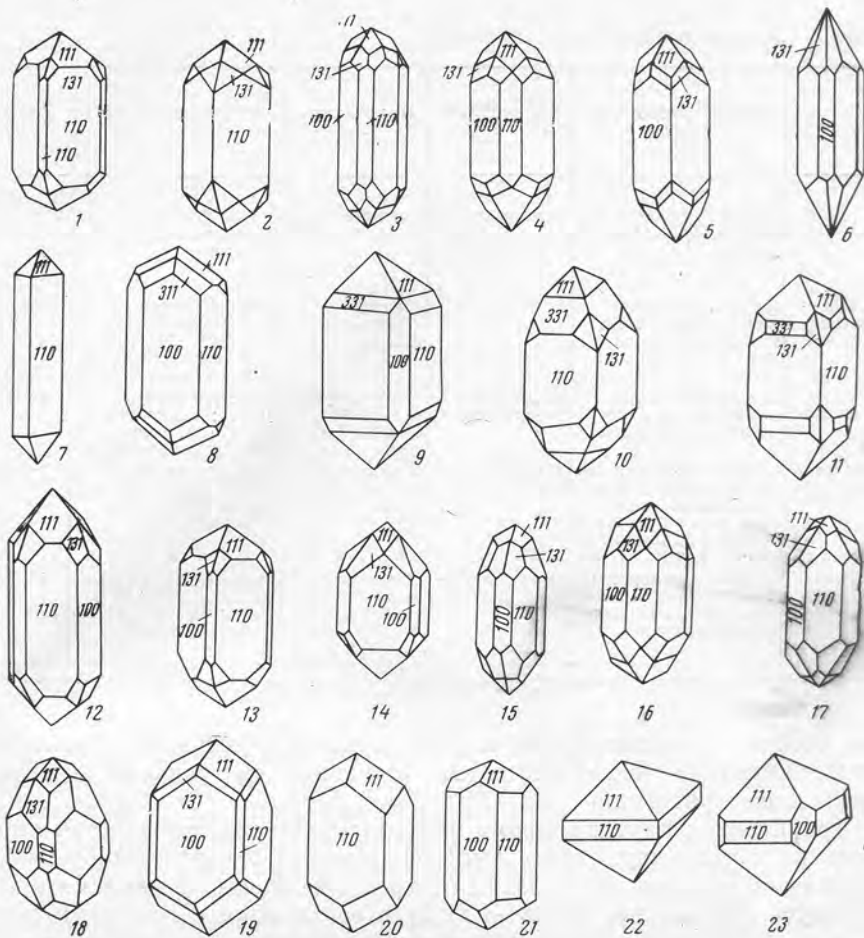


Рис. 2. Формы кристаллов циркона из различных фаций разновременных фаз Мерзинского плутона

1—2 — из габброидных фаций первой фазы; 3—5 — из монзонитов и сиенито-диоритов первой фазы; 6—8 — из мелкозернистых граносиенитов и микромонзонитов (дополнительные интрузии) первой фазы; 9—11 — из щелочных фаций первой фазы; 12—14 — из граносиенитов и гранодиоритов второй фазы; 15—17 — из порфиридных гранитов и гранодиоритов третьей фазы; 18—23 — из гранитов

Проведенные химические анализы апатитов свидетельствуют о редкоземельно-радиоактивной их природе. Содержание TR_2O_3 (цериевая и неодимовая подгруппы) понижается от апатитов гранитоидов первой интрузивной фазы (1,05%) к апатитам гранитоидов второй и третьей фаз (0,68 и 0,51%), а в апатитах щелочных пород 2,4%. В том же направлении уменьшается содержание Th (от 0,06 до 0,03%), а содержание Y (0,004—0,006%) возрастает, как и содержание Y (0,03—0,1, редко 1—2%), Mo (0,001—0,003, редко 0,01%), Cu (0,003—0,01%), Pb (0,001—0,003%), Sr и Ba (0,03—0,1%), Li, Be и др. В темных апатитах, помимо Mg, Al, Fe (0,3—1,0%), установлены Ti (0,3%), V (0,03%), Zn 0,01% и др. (рис. 3 и 4).

Циркон является важным корреляционным минералом. Намечается некоторое возрастание содержания циркона параллельно возрастанию кислотности пород от первой интрузивной фазы к третьей (табл. 2). В жильных производных первого этапа всех комплексов циркона всегда больше, чем в породах главной фации, а в жильных породах второго

Таблица 2. Характеристика типов циркона

Тип циркона	Генетический тип пород	Особенность распределения	Кристаллы, мм	Кристаллографические формы	Среднее удлинение
А («нормальный»)	Главные фации гранитоидов поздних фаз	Равномерное	Средние (0,25 × 0,1)	(110), (100) (311); кристаллы симметричные	1 : 2
Б («дифференциационный»)	Породы дополнительной интрузии, жильные породы первого этапа всех фаз	»	Мелкие (0,12 — 0,03 и менее)	Основные (110) и (111); слабо развиты (100), (311); кристаллы симметричные	1 : 4
В («метасоматический»)	Щелочные фации ранней фазы и щелочные пегматиты	Крайне неравномерное	Очень крупные (0,6 × 0,3 и более)	Простые (110), (111); редко (110), (311), (331); кристаллы искаженные	1 : 1,5
Г («гибридизированный»)	Гибридизированные (контаминированные) фации гранитоидов поздних фаз и кислые дайки второго этапа	Неравномерное	Небольшие (0,15 × 0,6)	(100), (111) (311); слабо развиты (110); кристаллы неправильные	1 : 3,0
Д («гибридный»)	Гибридные породы ранней фазы и дайки основного состава второго этапа	Очень неравномерное	Различные (от 0,1 × 0,05 до 0,4 × 0,15)	(110), (111); слабо развиты (100) и (311); кристаллы асимметричные	1 : 2,6

этапа, особенно основного состава, значительно меньше. В пределах отдельных интрузий более обогащены цирконом центральные и глубоко эродированные участки.

В гранитоидах плутона, кроме циртолит-малакона, выделяется циркон гиацинтового типа двух генераций: 1) ранние, прозрачные бесцветные кристаллы с равномерно развитыми гранями нормально-призматического габитуса (удлинение 1 : 1,8—1 : 2,2) в ассоциации с полевыми шпатами; 2) поздние, розовые, темно-розовые прозрачные кристаллы удлиненно-призматического габитуса (1 : 2,6—1 : 3,5) с неравномерно развитыми гранями и многочисленными включениями, слабо зональные. Они характерны для гибридных пород первой интрузивной фазы, гибридизированных фаций поздних и основных даек второго этапа. Весьма интересно, что формы, габитус, размер, цвет, состав аксессуарных элементов и другие физические свойства изменяются при переходе от основных (и средних) пород к кислым, щелочным, и в то же время в одних и тех же фациях и фазах разновозрастных комплексов эти изменения идентичны (см. рис. 2). Таким образом, циркон с успехом может применяться не только как корреляционный минерал, но и как чувствительный индикатор петрогенетических процессов (дифференциация, ассимиляция, гибридность и метасоматоз), что подтверждается выделенными пятью генетическими типами циркона (см. табл. 2).

Детальное изучение состава элементов-примесей и кристаллохимических особенностей показало следующее: 1) содержание HfO_2 в цирконах в ходе магматической дифференциации возрастает от 1,13% в цирконах первой интрузивной фазы до 1,4—1,52% в цирконах гранитоидов поздних фаз и до 2,5—3,55% в цирконах из аплитов и пегматитов, а отношение Zr/Hf закономерно понижается соответственно от 52—61 до 40—42 и 18—25, лишь в щелочных фациях достигая 83—86; 2) содержание в цирконах Th (от 0,08 до 0,35%), U (от 0,06 до 0,16%), Nb (от 0,01 до 0,1%) возрастает от пород раннего комплекса к позднему; 3) в том же направлении возрастает содержание в цирконах (от 1 до 3%) сумма редких земель (от 0,06 до 0,7%), причем в составе лантаноидов 35—55%

Характер граней	Цвет, прозрачность	Внутреннее строение	Ассоциация	Особенности состава элементов, примеси
Развиты равномерно, гладкие	Бесцветные, прозрачные	Незонален, включения редки: апатит, рутил	С полевыми шпатами и биотитом	Характерны: Sn, Be, W, Mo, Ag, Pb, Nb, Li, $\Sigma Y \geq \Sigma Ce$ $U \geq Th, Zr/Hf = 40-42$
Развиты неравномерно, гладкие	Бледно-розовые, прозрачные	Газово-жидкие включения и мелкие трещины	С ортитом в биотите	Характерны: Li, Be, Mo, Pb, Nb, Ta, Sn, Bi, $\Sigma Y \geq \Sigma Ce$, $U \geq Th, Zr/Hf = 20-25$
Развиты неравномерно, гладкие	Вишнево-розовые, прозрачные	Много газово-жидких включений магнетита, биотита и амфибола	С биотитом, альбитом	Характерны: Mn, Ba, Ga, Al, Ti, Ni, La, V, $\Sigma Ce \geq \Sigma Y$, $Th \geq U, Zr/Hf = 86$
Развиты неравномерно, матовые	Темно-розовые, прозрачные	Редко зонален, много включений магнетита	Крупные скопления в биотите и роговой обманке	Характерны: Mn, La, Ti, V, Sc, Co, Cu, $\Sigma Ce > \Sigma Y$, $Th > U, Zr/Hf = 50$
Развиты неравномерно, корродированные	Коричнево-розовые, мутные	Зонален, много включений реолитового циркона	Скопления в феррических минералах	Характерны: Al, Mg, Ti, V, Zn, Sc, Co, Fe, Cu, $\Sigma Ce \geq \Sigma Y, Th > U$, $Zr/Hf = 52-61$

приходится на цериевую подгруппу и лишь в гранитоидах третьего комплекса увеличивается роль иттриевой подгруппы (55—75%). Кроме того, для мегринских цирконов характерно высокое содержание Nb (0,01—0,03%), Mo (0,001—0,003%), Cu (0,01—0,03%), Pb (0,01—0,03%), W (0,01—0,05%), Sn (0,001—0,003%), Ag (0,0003—0,001%), Be (0,0003—0,001, редко 0,01%), а также, особенно для цирконов из гибридных фаций и пород монцонитового комплекса, Al, Mg, Fe, Mn, Co, Ti, V и др. (рис. 3 и 4).

Сфен является вторым по распространенности акцессорным минералом после магнетита. Содержание сфена от пород первой интрузивной фазы к породам третьей фазы понижается в 1,5—2 раза и как правило возрастает в эндоконтактных фациях и дайках второго этапа и заметно понижается в глубоко эродированных фациях.

Сфены вообще, а Мегринского плутона в частности, отличаются высокой изоморфной емкостью, достигающей, как показали исследования Н. И. Забавниковой, 8—12%. Установленное повышенное содержание TiR_2O_3 (1,5—2%) и Y_2O_3 (2,5—5%) в сфенах позволяет отнести их к иттротитанитам.

В сфенах из пород ранней фазы к сфенам из гранитоидов поздних и далее к сфенам из аплитов и пегматитов неуклонно возрастает содержание Y (от 2,5 до 5%), суммы редких земель (от 1,23 до 1,65%), Th (от 0,13 до 0,54%), U (от 0,01 до 0,02%), Nb (от 0,03 до 1%), Sn (0,003—0,1%), Mo (0,003—0,01, редко 0,03—0,1%), а также W (0,05—0,1%), Ta (0,01—0,03%), Cu (0,01—0,03%), Ga (0,001—0,003%), Ge (0,003%), Be (0,0003—0,001%). Уменьшается содержание Al, Fe, Mg, Mn, Ni, Co, V, Cr и др. (см. рис. 3 и 4).

Состав лантаноидов в сфенах из пород разновозрастных интрузий характеризуется заметной монотонностью: около 60% приходится на цериевый, 30% на неодимовый и 10% на иттербиевый максимумы.

Ортит является наиболее характерным акцессорным минералом различных по составу пород плутона. Преимущественное накопление его наблюдается в монцонитах и сиенито-диоритах первой интрузивной

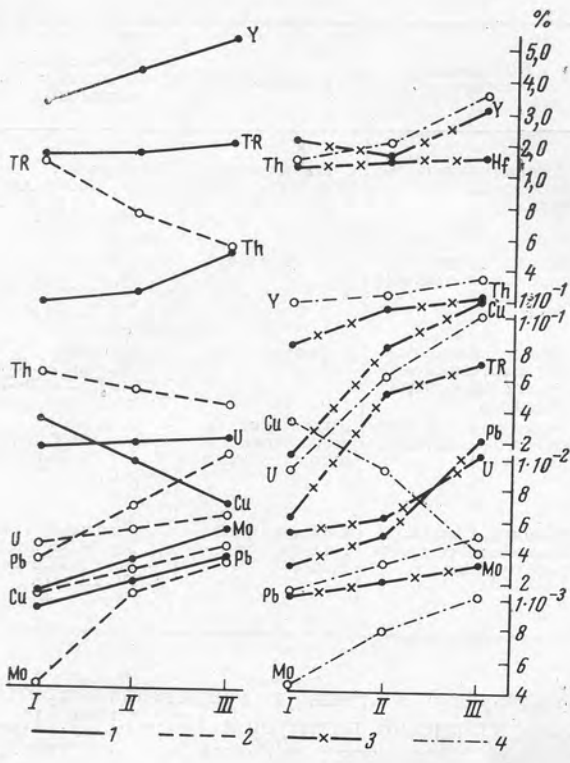


Рис. 3. Распределение характерных для провинции элементов-примесей (Cu, Mo, Pb, Th, TR, U, Y) в главных акцессорных минералах из гранитов разновременных фаз Мегринского плутона

I — монзониты; II — граносиениты; III — граниты; 1 — сфены; 2 — апатиты; 3 — цирконы; 4 — ортиты

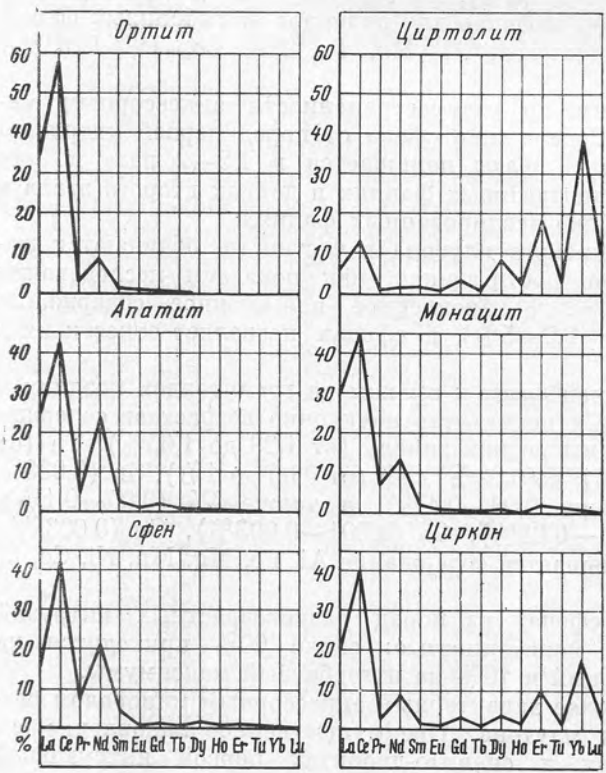


Рис. 4. Распределение редкоземельных элементов в процентах от суммы редких земель, принятых за 100%, в TR-содержащих акцессориях

фазы, в эндоконтактных зонах гранитоидов поздних фаз и в дайках гранодиорит-порфиров. Ортит обычно концентрируется в гибридизированных фациях, характеризующихся избытком CaO, MgO, FeO и др. Между ортитом и монацитом наблюдается заметный антагонизм.

Показатели преломления ортита понижаются от монзонитов ($N_g = 1,768$; $N_p = 1,750$) к порфировидным гранитам ($N_g = 1,756$, $N_p = 1,741$), что связано с уменьшением их железистости. Химический анализ ортита (аналитик И. С. Разина) и кристаллохимическая формула приведены в табл. 3.

Таблица 3. Химический анализ ортита

SiO ₂	TiO ₂	ThO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	(La, Nd) ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	FeO
32,09	0,11	1,28	14,83	8,11	11,88	8,78	0,16	7,90
MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	Уобщ	Сумма	
0,49	1,73	11,29	0,16	0,27	0,95	0,012	100,11	

Кристаллохимическая формула ортита: $Ca_{1,15}, Ce_{0,42}(La, Nd)_{0,32}Y_{0,015} \times Th_{0,025}Na_{0,03}K_{0,04})_2 (Al_{1,54}Fe_{0,63}^{2+}Fe_{0,58}^{3+}Mg_{0,24}Ti_{0,04}Mn_{0,04})_{3,09} [Si_{3,03}Al_{0,06} \times O_{12,36}] (OH)_{0,64}$.

В составе редких земель из ортита рентгеноспектральным анализом установлены (в %): La 32, Ce 58,0, Pr 3,4, Nd 6,5, Sm₀ 0,1.

Редко, особенно в аплитах и пегматитах, встречаются зерна акцессорного гидроортита, покрытые беловато-желтыми продуктами разложения (рабодофанит?).

От ортитов из пород первой интрузивной фазы к ортитам поздних фаз возрастает содержание Th (1,28—2,5%), U (0,01—0,3%), Y (0,2—0,3%), Nb (0,03—0,1%), Sc (0,001—0,003%), Ge (0,001—0,003%), Mo (0,001—0,005%), Pb (0,001—0,003%), а также Li, Be, Ba, Sr (0,01—0,3%), уменьшается содержание Co, V и Cr.

Монацит (акцессорный) встречается реже ортита, преимущественно в щелочных сиенитах, нефелиновых монзонитах, сиенитах, реже в порфировидных гранитах, гранодиорит-порфирах, лампрофирах и пегматитах.

В противоположность ортиту монацит концентрируется в породах, насыщенных известью и пересыщенных глиноземом и кремнеземом. Встречается он в виде пластинчатых по (100) бесцветных мелких (0,06—0,15 мм) кристаллов в монзонитовой серии и в виде медово-желтых призматических кристаллов в гранодиоритах и пегматитах. В шлифах наблюдается в виде идиоморфных кристаллов с хорошо заметной спайностью по (001) и (100). Угол $cNg = 2-3^\circ$, $+2V = 12-16^\circ$, $Np = 1,775$. Слабо плеохроирует.

Химический состав (аналитик И. С. Разина) монацита из сиенита (в %): TR_2O_3 62,3, V_2O_5 2,5, Th 5,26, U_3O_8 0,62, P_2O_5 29,1%. В составе редких земель (в %): La 35,5, Ce 44,5, Pr 6,8, Nd 12,0, Sm 1,0, Gd 0,2. Кроме того, присутствуют (в %): Sc (0,001—0,003), Be (0,001), Mo (0,001—0,003), Pb (0,003), Sr (0,01) и др. (см. рис. 3 и 4).

Ксенотим акцессорный в виде серовато-желтых бипирамидальных кристаллов устанавливается в гранитоидах поздних фаз, жильных гранитах, аплитах и особенно часто в пегматитах. Ассоциирует с акцессорными цирколитом, монацитом и уранитом.

Показатели преломления ксенотима: $N_g=1,77$, $N_p=1,712$. Содержит Y ($> 10\%$), Yb (0,3 — 1,0%), Th (1—3%), U ($\geq 3,0\%$), Nb (0,01%) и Be (0,01%).

Циртолит-малакон (акцессорный) встречается преимущественно в гранитоидных комплексах и особенно часто в жильных гранитах, аплитах и пегматитах. Образует бипирамидальные или бипирамидально-призматические кристаллы желто-серого или буро-коричневого цвета.

Изученные нами метамиктные цирконы по химическому составу близки к общей формуле цирколита и малакона по Е. Е. Костылевой: (Zr, Hf, Th, U, TR, Ca) (Si, Al) (OH, O)₄. Химический состав циртолит-малакона (в %): ZrO₂ 63,0, HfO₂ 2,55, TR₂O₃ 0,7, Y₂O₃ 3,0, TiO₂ 1,63, U_{общ} 3,0, а также Si 23,44, Al₂O₃ 1,70, CaO 0,8 и др. В составе лантаноидов 75,4% приходится на иттриевые редкие земли. Кроме того, в циртолит-малаконе устанавливаются спектральным анализом: Nb (0,03—0,1%), Sc (0,003—0,01%), Sn (0,03%), Be (0,01%), Li (0,003%), Pb (0,1%), Mo (0,003%) и др. (см. рис. 3).

Ураноторит и торит (акцессорные). Ураноторит присутствует в гранитоидах третьей фазы в виде изумрудно-зеленых бипирамидальных кристаллов, торит в виде оранжевых кристаллов встречается в гранитоидах повышенной основности первой и второй интрузивных фаз. Кроме того, встречаются продукты их изменений: хиблит, гидроторит, а в пегматитах, кроме того, фосфороторит и ферриторит. В ураноторите установлено 9,8% суммарного урана, а также, как и в торите, Pb (0,01%), Sn (0,003%), Y (0,3—1,0%), P (0,03—1%), Sc (0,01%), Be (0,001%), Nb (0,01%), Mo (0,001%), Cu (0,01%) и др.

Титано-тантало-ниобаты в гранитоидах плутона встречаются крайне редко. В порфировидных гранитах, особенно в лейкогранитах и аляскитах, был установлен эвксенит, а в щелочных сиенитах, особенно в альбитизированных разностях, — бетафит в ассоциации с акцессорным бадделейтом. В пегматитах, кроме них, встречены акцессорные самарскит, блонстрандин, пирохлор, гатчеттолит, фергюсонит, виикит и др. Цвет желто-бурый до буро-черного. Идентификация минералов этой группы проводилась рентгенометрическим и кристаллографическим методом в комплексе со спектральным. Из элементов-примесей в титано-тантало-ниобатах отмечены (в %): Ta (0,3—1), Sn (0,01), Y (1—3), La (0,3—1), Yb (0,01—0,3), Th (1—3), U (0,3—3), Mo (0,01), Cu (0,1—0,3), Pb (0,1—0,3), Zn (0,01) и др.

Давидит в незначительном количестве в виде изометричных кубообразных кристаллов встречается в порфировидных гранитах, особенно часто в участках альбитизации, и в связанных с ними аплитах и пегматитах в ассоциации с акцессорными эвксенитом, самарскитом, ксенотимом, ураноторитом и др. Очень похож на ильменит. Спектральным анализом установлены (в %): Ti (> 5), Nb (0,1—0,3), Fe (3—10), La (0,3—1), Y (0,3—1), Th (3—5), U (> 3) и др. Вокруг зерен давидита образуется характерный желто-красный ореол гидроокислов железа. Размер выделений 0,3—0,8 мм.

Уранинит весьма редкий акцессорный минерал. В виде мельчайших (0,03—0,05 мм) кубических кристаллов бархатно-черного цвета был установлен в крупнозернистых порфировидных гранитах третьей интрузивной фазы и в гранодиорит-порфировом штоке дополнительной интрузии. Нередок в пегматитах. Судя по высокому содержанию тория (3%) и рентгенометрическому анализу, относится к бреггериту — раннему торийсодержащему ураниниту.

Бадделейт (акцессорный) установлен в нефелиновых монцонитах г. Пхрут, в щелочных сиенитах субфазы и в связанных с ними пегматитах. Образует удлиненно-призматические кристаллы с вертикальной штрихов-

кой. Цвет коричнево-бурый. Спектральным анализом в бадделеите установлены (в %): Hf (0,3), Nb (0,03), Y (0,01), La (0,003).

Образование бадделеита в щелочных породах связано с высокой подвижностью комплексных соединений циркония в резкощелочной среде, что при недостатке кремнезема в позднемагматическую стадию привело к образованию бадделеита вместо розового циркона II.

А н а т а з встречается в виде бипирамидальных остроконечных кристаллов черно-бурого (в монцитонитовом комплексе) и темно-синего цвета (в гранитовом комплексе). Кристаллы мелкие. Из примесей характерны: Nb (0,3—1,0%), Ta (0,03—0,1%), Mo (0,001%), Cu (0,001%), Pb (0,001%), U (0,03—0,1%) и др.

Р у т и л встречается спорадически. Распределен крайне неравномерно, особенно в монцитонитовой интрузии. Редко, но довольно постоянно отмечается в гранитоидах поздних фаз, особенно в эндоконтактных фациях, аплитгах, пегматитах, в безрудных кварцевых жилах и др. Обычны призматические кристаллы красно-бурого цвета. Характерны элементы примеси: Y (0,1—0,3%), Cr (0,1%), Cu (0,001—0,003%), Mo (0,003—0,01%), Sb (0,01%), Sn (0,01%), Nb (0,3—1%) и Ce (0,03%).

Ш е е л и т встречается редко в ряде проб монцитонитов крупнозернистого сложения, в породах дополнительной интрузии граносиенитов (с. Ньюади), в граносиенитовой и гранитовой интрузии, особенно в лейкократовых фациях. Интерес представляет наличие значительного количества шеелита (0,1—0,2%) в амфиболовых габбро, габбро-диоритах и горнблендитах с. Вагравар, являющихся эндоконтактной фацией граносиенитового комплекса.

Образует тетрагонально-бипирамидальные или изометричные зерна серовато-белого цвета. В виде примеси в нем установлены: Ni (0,003%), Co (0,001%), Pt (0,001%), Cu (0,01%), Mo (0,003—0,01%) и Pb (0,003%).

Т у р м а л и н (аксессуарный) в виде удлиненно-призматических зерен с четкой штриховкой на гранях призм встречается только в гранитоидах повышенной основности раннего комплекса. Цвет черно-бурый. Судя по показателям преломления ($N_g = 1,667$, $N_p = 1,643$), относится к турмалину с 70% шерла. Спектральным анализом установлены: Cu, Pb, Zn (0,01—0,03%), Mo (0,001%), Sn (0,001%), Li (0,03%), Be (0,001%) и др.

Ф л ю о р и т встречается редко. В единичных зернах он отмечается в гранодиоритах и граносиенитах второй интрузивной фазы и в апикальных и приконтактных частях интрузии порфиroidных гранитов, а также в ее сателлитах. В значительно больших количествах (0,06%) устанавливается в субфазе щелочных пегматоидных сиенитов. Осколки и октаэдрические кристаллы фиолетового и бледно-фиолетового цвета. Характерная ассоциация микроэлементов: Be (0,003%), Y (0,1—0,3%), Sr (0,03—0,1%), La (0,03%).

П и р и т наиболее распространен среди аксессуарных сульфидов. Встречается во всех разностях пород плутона. Содержание пирита возрастает от главной фации к эндоконтактной; много его в породах дополнительных интрузий, в жильных породах первого и второго этапов. Кристаллы пирита в монцитонитовом комплексе имеют преимущественно октаэдрический и кубоктаэдрический габитус, в поздних комплексах — кубический и пентагон-додекаэдрический. Спектральным анализом установлены: Co (0,03—0,1%), Cu (0,1—0,3%), As (0,01), Pb (0,001%), Mo (0,003%), Zn (0,01%) и Bi (0,003%).

Х а л ь к о п и р и т встречается, так же как и пирит, почти во всех типах пород. Породы раннего комплекса по сравнению с породами третьего комплекса более обогащены халькопиритом. Много его в жильных дериватах первого этапа и в кислых разностях даек второго этапа. Распределен довольно равномерно. Встречается в виде неправильных осколков и редко

образует типичные тетраэдрические кристаллы. Характерны изоморфные примеси: Sn (0,001%), Mo (0,001—0,003%), Bi (0,003—0,01%), Ag (0,003%), As (0,03%), Zn (0,01%) и Pb (0,1—0,3%).

Молибденит в породах монцонитовой интрузии распределен неравномерно и очень редко. Более характерен для дополнительных интрузий и гранитоидов субфазы. Равномерно и в сравнительно большем количестве молибденит встречается в гранитоидах поздних интрузивных фаз (0,0006%). В кислых жильных породах как первого, так и второго этапа в дополнительных интрузиях молибденит встречается постоянно и в большем, чем в главной фации, количестве. В аляскитовых и альбитизированных фациях порфириовидных гранитов содержание его достигает 0,0012%. Образует шестигуговые пластинки и бипирамидальные мелкие кристаллики. В виде примеси в молибденитах спектральным анализом обнаружены: Bi (0,001%), Ni (0,003%), Ti (0,003%), Cu (0,01—0,03%), Pb (0,001%). Химическим анализом в акцессорном молибдените из порфириовидных гранитов установлено 0,0247% рения, т. е. значительно меньше, чем в молибденитах гидротермальных образований района.

Галенит отмечается преимущественно в гранитоидах поздних комплексов. Характерен для порфириовидных гранитов и особенно для эндоконтактовых обогащенных калишпатом и кварцем фаций аплитов, а также даек гранодиорит-порфириов. Образует кубические кристаллы с характерным пластинчато-ступенчатым изломом. Из элементов-примесей в акцессорном галените установлены: Cu (0,01—0,03%), Zn (0,3—0,5%), Ti (0,01%), Mn (0,01—0,03%), Ag (0,1—0,3%), Sb (0,1—0,3%), Bi (0,01—0,03%) и As (0,03%).

Сфалерит сравнительно часто встречается в породах монцонитовой интрузии и редок в гранитоидах поздних фаз. Наблюдается в виде осколков и октаэдрических кристаллов бурого и желто-коричневого цвета. Примеси: Fe (1%), Mn (0,3—1%), Cu (0,1—0,3%), Ag (0,01%), Pb (0,3—1%), Ga (0,01—0,03%), Gd (0,1%), In (0,001%) и др.

Арсенопирит в виде единичных удлиненно-призматических кристаллов встречается в порфириовидных гранитах, нор-аревикских гранитах монцонитовой интрузии и в других породах. Характерно присутствие в виде примеси: Mo (0,001%), Cu (0,01—0,03%), Pb (0,003%) и Sb (0,01%).

Висмутин в виде крайне редких пластинчатых оловянно-белых агрегатов встречен в порфириовидных гранодиоритах главного тела и в сателлитах.

Из других редко встречающихся сульфидов в породах отметим находки в эндоконтактовой зоне интрузии порфириовидных гранитов борнита, ковеллина, халькозина и в аплитах — киновари. Интерес представляют редкие находки в гранитоидах самородных элементов: олова и свинца в порфириовидных гранитах, особенно зоны эндоконтакта, цинка и меди в граносиенитах второй интрузивной фазы. На находки самородного олова и свинца в гранитоидах указывали С. Д. Туровский и ряд других исследователей.

В незначительном количестве в отдельных пробах из монцонитов отмечались гранат, силлиманит, андалузит, барит, брукит, касситерит, гематит, хромит и шпинель. Следует отметить присутствие в породах спорадически встречающихся вторичных по сульфидам минералов: повеллита, базовисмутита, малахита, азурита, лимонита, церуссита и др.

Касаясь генезиса акцессорных минералов в гранитоидах, следует отметить, что проведенные исследования склоняют нас к точке зрения (С. Д. Туровского, О. П. Елисейевой, и др.), согласно которой образование акцессорных минералов происходит в течение всего магматического этапа,

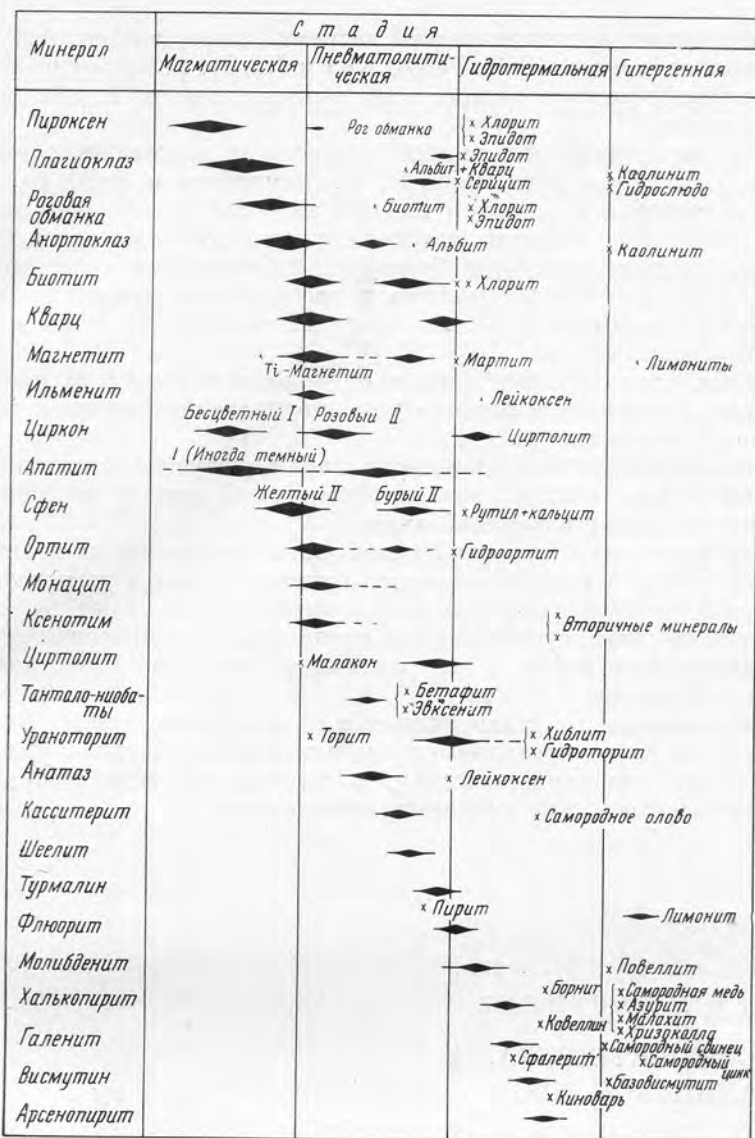


Рис. 5. Схема последовательности кристаллизации породообразующих и акцессорных минералов в гранитоидах Мегринского плутона

не главная масса их (радиоактивные, редкоземельные, редкометалльные и рудные) связана с конечными моментами кристаллизации остаточного расплава, совпадающими с резким уменьшением концентрации щелочей одновременно с образованием биотита и после его выделения. Для них характерны сингенетичность и полигенетичность (рис. 5).

Такая особенность последовательности кристаллизации акцессорных минералов, совпадающая с главными этапами формирования гранитоидов (магматический, позднемагматический и пневмогидротермальный), обусловлена кристаллохимическими и физико-химическими особенностями микрокомпонентов магмы (акцессорных, рассеянных и рудных).

Видовое разнообразие и количественное содержание акцессорных минералов будут определяться первичной геохимической специализацией

магмы, поведением и концентрацией летучих (сера, фосфор, бор и др.), петрогенных элементов (CaO , Fe_2O_3 , K_2O и Na_2O), режимом щелочности, кристаллохимическими особенностями микроэлементов и общим ходом кристаллизации.

В свете изложенного и в отличие от прежних толкований термина акцессории (И. А. Преображенский, И. Х. Хамрабаев и др.), по нашему мнению, акцессории в широком понимании — это качественно характерные для геохимически специализированных изверженных пород магматогенные редкие минералы. Они образованы избыточными главными петрогенными, акцессорными элементами и рассеянными микрокомпонентами магмы, выделяющимися в течение всего магматического этапа и особенно в последние его стадии.

Учитывая, что некоторые данные по закономерностям распределения акцессорных минералов в плутоне уже публиковались автором, приведем ниже лишь краткие выводы.

1. Каждый интрузивный комплекс характеризуется ассоциацией типоморфных акцессорных минералов, отражающей петрохимические и геохимические условия его формирования.

2. Видовой состав ассоциаций акцессорных минералов, их количественные соотношения и состав элементов-примесей в них в разновозрастных интрузивных комплексах Мегринского плутона указывают на единство магматического очага, существование первичной геохимической специализации гранитоидной магмы и на различную роль процессов дифференциации и гибридизма.

3. В ассоциации и составе рудных и главных акцессорных минералов гранитоидов плутона проявляются особенности его металлогенетической специализации, что свидетельствует о генетической связи оруденения с интрузивными, особенно поздними, комплексами.

■
П. М. БАРТИКЯН

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ШАМШАДИНСКОЙ ГРУППЫ ИНТРУЗИВОВ (Армения)

Петрографическое изучение пород Шамшадинской группы интрузивов, проведенное разными авторами (Ш. А. Азизбеков, А. Т. Асланян; С. И. Баласанян; К. Н. Паффенгольд, И. Н. Ситковский), в настоящее время можно считать достаточным. К сожалению, имеющиеся в этих работах сведения об акцессорных минералах далеко не полные. Спорным является также возраст пород. Одни исследователи (И. Н. Ситковский, К. Н. Паффенгольд) возраст этих интрузивов определяют как третичный, другие (В. Е. Хаин, В. В. Тихомиров) — как досеноманский, третьи (Ш. А. Азизбеков) — как послетуронский. По данным А. Т. Асланяна, между гранитоидами Шамшадинской группы интрузивов и кварцевыми плагипорфирами наблюдается тесная генетическая связь и они, безусловно, внедрились в верхнебайосское время. Согласно данным Г. Н. Керимова, в Кедабекской группе интрузивов, имеющей очень много общего с Шамшадинской группой, плагииграниты прорывают верхнебайосские кварцевые плагипорфиры и имеют гальку в базальных конгломератах бата. Мы считаем, что Шамшадинская группа интрузивов по возрасту стоит близко к кварцевым плагипорфирам верхнебайосского возраста. Плагииграниты внедрились

Таблица. Содержание главных акцессорных минералов в породах Шамшадинской группы интрузивов (в г/т)

Ведущий элемент	Минерал	Кварцевые плагиопорфиры					Плагиограниты Мехрабской интрузии						
		5037	5038	5060	5074	5075	5065	5064	5063	5068	5067	58-М	56-М
Fe	Гематит Пирит Лимонит, Гетит	+	+	+	+	+	+	1,1	+	+	+	+	+
		10,8	79,4	0,7	275,2	12,4	5,0	2,0	174,1	64,6	4,7	6,7	11,8
		—	—	—	+	—	+	+	+	+	—	—	
Al	Корунд	—	—	—	—	—	—	+	—	+	—	—	
Ca	Апатит Флюорит Подолит	0,6	13,1	81,3	26,9	74	51,8	77,9	6,5	12,7	38,7	57,2	6,3
		—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zr	Циркон Циртолит	0,1	+	1,3	+	0,7	+	+	+	+	+	3,2	0,3
		—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	4,6	0,3
Ti	Ильменит	—	—	—	—	+	+	—	+	—	—	—	—
	Сфен	—	—	—	—	—	0,5	+	—	—	—	—	—
	Рутил	—	—	—	3,5	—	2,4	+	—	529,2	2,9	3,2	—
	Анастас	—	—	3,5	—	—	+	—	—	—	—	—	—
	Лейкоксен	—	—	1,5	2,8	—	0,1	—	—	+	1,6	—	—
TR	Ортит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mo	Молибденит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,1	—	—
As	Арсенопирит	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—
Cu	Халькопирит Ковеллин	—	24,1	—	—	—	—	—	—	+	0,3	—	—
		—	—	—	—	—	—	+	—	+	—	—	—
Cu	Халькозин	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—
	Самородная медь	—	—	+	—	—	+	1,5	+	—	+	—	—
	Азурит	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—
Pb	Галенит Самородный свинец	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—
		—	—	+	—	—	—	+	—	—	+	—	—
Zn	Сфалерит Самородный цинк	—	—	—	—	+	—	—	—	—	+	—	—
		—	+	—	—	—	—	—	+	+	0,1	—	—
Hg	Киноварь	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—
Ag	Самородное серебро	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
Au	Самородное золото	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—
Ba	Барит	+	—	+	—	1,4	—	—	—	—	+	3,4	—

Таблица (продолжение)

Ведущий элемент	Минерал	Породы Тоузской интрузии										
		плагииграниты						плагиигранит-порфиры				
		5036	5042	5041	5001	5002	5004	5006	5007	5008	5003	5011
Fe	Гематит	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+
	Пирит	3678	21	25	1,3	1,3	0,8	3,6	2,5	1,4	3,1	1,9
	Лимонит	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-
	Гетит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	Корунд	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	Апатит	33,2	0,7	2,2	68,6	51,8	53,2	62,8	35,7	34,3	2,7	1,6
	Флюорит	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
	Подолит	-	-	-	-	-	-	3,5	-	-	-	-
Zr	Циркон	2,3	0,3	0,6	+	+	1,4	3,5	0,6	+	0,4	0,2
	Циртолит	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
Ti	Ильменит	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
	Сфен	-	-	1,5	101,3	25,5	3,6	3,8	0,8	0,4	-	-
	Рутил	-	-	-	2,2	0,7	-	159,3	87,5	69,7	-	-
	Анализ	-	-	-	+	+	0,7	+	+	-	-	-
	Лейкоксен	-	-	-	-	-	-	10,8	1,7	1,0	-	-
TR	Ортит	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Mo	Молибденит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As	Арсенопирит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	Халькопирит	21,9	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ковеллин	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Cu	Халькозин	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Самородная медь	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Азурит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	Галенит	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-
	Самородный свинец	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	Сфалерит	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
	Самородный цинк	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	0,15
Hg	Киноварь	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag	Самородное серебро	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au	Самородное золото	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	Барит	-	11,2	-	-	-	+	-	-	1,5	-	0,6

Таблица (окончание)

Ведущий элемент	Минерал	Породы Тоузской интрузии										
		порфиroidные плагиограниты						аляскитовые граниты				
		5061	5018a	5062	5052a	5017б	5017a	5059	5019б	5019a	5020a	5020б
Fe	Гематит	—	+	481,2	364,7	+	+	107,4	+	68,5	+	+
	Пирит	1,1	+	3,4	86,4	+	+	0,8	+	68,5	+	+
	Лимонит	—	—	—	+	—	—	—	+	5,7	4,8	6,2
	Гетит	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+
Al	Корунд	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ca	Апатит	53,3	11,8	30,8	72,1	13,3	66,6	0,8	3,7	2,6	3,2	4,4
	Флюорит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Подолит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zr	Циркон	2,5	6,4	10,0	19,1	5,6	14,3	—	3,6	5,3	6,2	7,8
	Циртолит	1,04	3,1	3,2	6,4	3,5	5,5	179,4	47,7	45,2	55,6	65,3
TR	Ильменит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Сфен	193,9	146,4	1178	2382	32	44,8	—	3,2	8,4	5,8	6,8
	Рутил	—	+	—	4,8	—	+	—	—	—	—	—
	Анализ	—	+	—	—	—	—	—	+	+	+	+
	Лейкоксен	—	—	—	—	—	—	—	3,4	13	9,2	10,2
Ti	Ортит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mo	Молибденит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	Арсенопирит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu	Халькопирит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ковеллин	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu	Халькозин	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Самородная медь	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Азурит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pb	Галенит	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+
	Самородный свинец	+	—	—	+	—	—	—	+	+	+	+
Zn	Сфалерит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Самородный цинк	—	—	—	—	+	+	—	+	+	+	+
Hg	Кинноварь	+	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—
Ag	Самородное серебро	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Au	Самородное золото	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ba	Барит	—	—	13,0	—	14,2	—	—	38,6	73,4	52,3	48,8

Примечание: 1. Цифры под названиями пород обозначают номера проб. 2. Знак + означает, что минерал встречается в виде единичных зерен.

вслед за кварцевыми плагипорфирами. Образование плагигранитов в последней, завершающей, фазе магматической деятельности верхнебайосского вулканизма отмечается Р. Н. Абдуллаевым.

Акцессорные минералы изучались в искусственных шлихах. Отбирались пробы весом 10—12 кг с площади 100—200 м² небольшими кусками (100—200 г). Опробовались все типы пород, а также гидротермально измененные. Пробы дробились в чугунных ступках до 0,5 мм с частым просеиванием. После промывки полученный шлик обрабатывался магнитом, бромформом и электромагнитом, затем изучался под бинокулярной лупой и микроскопом. Искусственные шлихи использовались в основном для определения видового состава минералов, а также для получения мономинеральных фракций. Для количественной характеристики акцессорных минералов отбирались средние пробы (150—200 г) и по методике, предложенной А. В. Рабиновичем, отмучивались в стакане. Процент муки был определен для каждой разновидности пород отдельно. Он служил поправочным коэффициентом.

Количественные соотношения минералов определены следующим образом. После квартования (А. А. Кухаренко) и получения средней фракции в ней подсчитывалось 400 зерен (В. В. Ляхович, В. В. Коперина). Результаты переводились в объемные проценты, и расчет искомого веса данного минерала осуществлялся по формуле, предложенной автором:

$$P_m = \frac{d_m V_m P}{\sum_{i=1}^n d_i V_i}, \quad 1 \leq m \leq n,$$

Порода	Количество	Размер	Прогрессивность	Включения	Трициклопальность	Цвет	Таблица	Формы кристаллов		
								Циркон		Цирколит
								Главные	Редкие	
Кварцевые плагипорфиры										
Плагиграниты Мехрабский интрузии										
Породы Тоузской интрузии										
	Плагигранит-порфиры									
	Порфиroidные плагиграниты									
	Аляскитовые граниты									

Рис. 1. Некоторые особенности кристаллов циркона и цирколита в породах Шамшадинской группы интрузивов

где P_m — искомый вес данного минерала в данной фракции шлиха; d_m — удельный вес этого минерала; V_m — объемный процент минерала в данной фракции шлиха; P — вес фракции шлиха; $\sum d_i V_i$ — сумма произведений удельных весов на объемные проценты отдельных присутствующих во фракции минералов.

Полученные количественные определения отдельных минералов выражались в граммах на 1 т породы.

Содержания аксессуарных минералов в изученных породах приведены в таблице, где минералы в соответствии с рекомендациями В. В. Ляховича классифицированы по ведущему элементу.

В результате проведенных работ автор пришел к следующим выводам.

1. Аксессуарный состав пород Шамшадинской группы интрузивов характеризуется большим разнообразием. Установлено более 30 минералов.

2. По типу аксессуарных минералов Шамшадинскую группу интрузивов можно отнести к апатит-цирконовому типу. Содержание апатита более высокое в породах ранних фаз (кварцевые плагиопорфиры, плагиограниты — Мехрабский интрузив). В этих же породах апатит более прозрачен и идиоморфен (рис. 1). Спектральным анализом в апатитах установлены Yb, Zr, Sr, Ba. Циркон, хотя и является постоянным минералом в породах Шамшадинской группы интрузивов, но содержится в них в незначительных количествах. Содержание циркона, размер его зерен, прозрачность, включения, трещиноватость, окраска, морфология кристаллов закономерно изменяются от ранних фаз к поздним (рис. 2). Характерными кристаллографическими формами в цирконах (рис. 3) являются призма (100) и биширамида (111). Иногда ограниченное развитие получают призма (110) и острые биширамиды (311) и (101).

Спектральным анализом в цирконах установлены Hf, Yb, Ga, Y. Во всех разновидностях пород, кроме кварцевых плагиопорфиров, установлен циртолит, часто зонального строения. Максимальное его содержание отмечается в аляскитовых гранитах. По данным количественно-перлювлюминесцентного анализа, циртолиты содержат 0,6% урана. Кроме того, в циртолитах спектральным анализом установлены следующие элементы: Ni, Co, Cu, Hf, As, P, Be, Ba, Bi, Y, Yb, Sc, La, Sn, Ge, Pb, Ga; в сфенах — V, As, Y, Yb, и Ce; в ортитах — As, Yb, Y, La, Ce; в рутилах — V, Yb, Zr, Y, Sr. Содержание церия в сфенах иногда достигает 0,1%. Повышенные

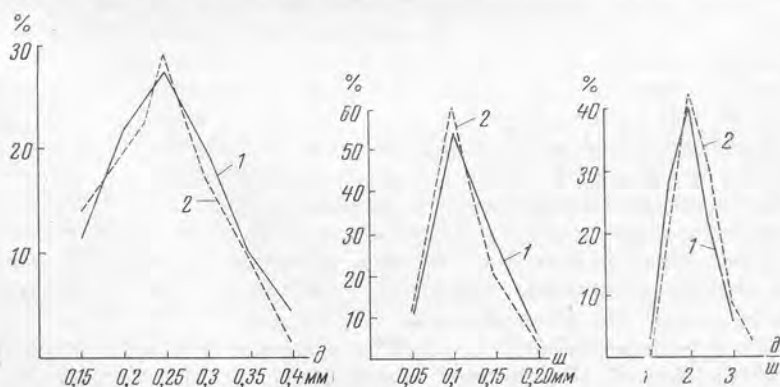


Рис. 2. Вариационные кривые длинной оси (d), поперечника (u) и отношения длинной оси к поперечнику кристаллов циркона из шлифов меловых осадочных пород и участка распространения интрузий в Шамшадинском районе Армении

1 — циркон из районов распространения интрузий; 2 — циркон из осадочных пород мел

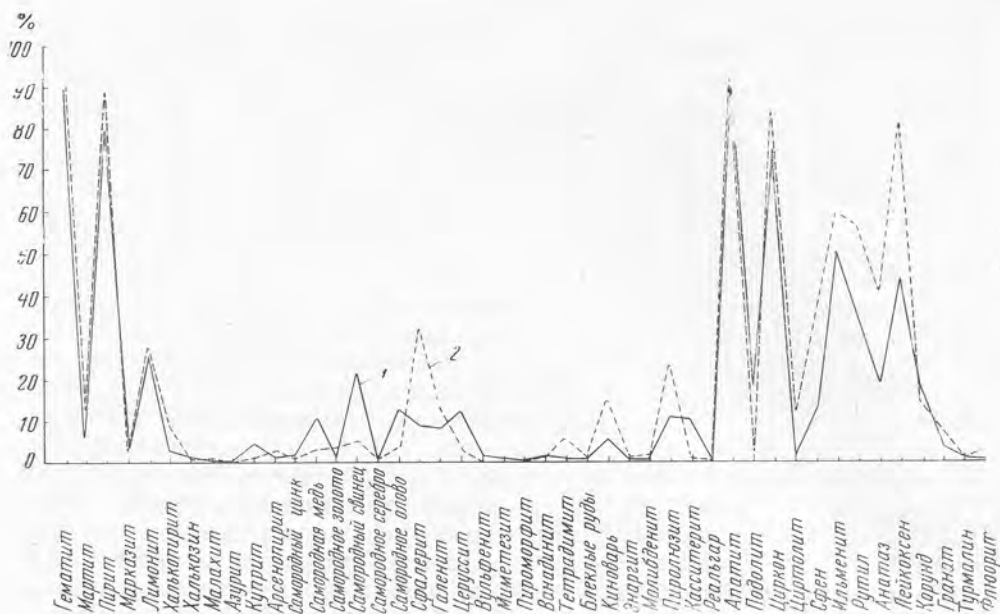


Рис. 3. Вариационные кривые частоты встречаемости минералов тяжелых фракций из шлихов меловых осадочных пород и района распространения интрузий в Шамшадинском районе Армении

1 — шлихи из меловых осадочных пород; 2 — шлихи из района интрузий

содержания магнетита характерны для гибридных серий пород Шамшадинской группы интрузивов.

3. Учитывая небольшие размеры, а также гипабиссальный характер интрузий, можно предполагать отсутствие гомогенизации магматического расплава в отношении аксессуарных компонентов. Этим можно объяснить резкие различия в содержании, а иногда и в характере аксессуарных минералов в пределах одной фазы.

4. Наблюдается уменьшение содержания, а в отдельных случаях даже полное отсутствие аксессуарных минералов в метаморфизованных, пиритизированных разностях пород. Пирит содержат все без исключения разновидности пород. Его содержание варьирует в довольно широких пределах, причем оно увеличивается с усилением интенсивности постмагматической переработки пород. Спектральным анализом в пиритах установлены следующие микроэлементы: Mo, Cu, Ag, Co, As, Pb, Ni, Be.

5. Гранитоиды Шамшадинской группы интрузивов характеризуются высоким содержанием свинца, цинка и ртути, а также присутствием в аксессуарной части самородного свинца, цинка, галенита, сфалерита и кинновари. Учитывая наличие рудопроявлений свинца, цинка и ртути вблизи интрузий, можно говорить о возможной генетической связи этого оруденения с интрузиями. Спектральным анализом в самородном цинке установлены: Cu, Ag, Ni, Pb, Cd, Sn, в самородном свинце — Ni, Ag, Sn, Be, Zn, Bi, Sb, Cu, в сфалеритах — Cu, As, Cd, Pb, Ga, Be, редко Ge, As, Sb. Появление в виде аксессуарных минералов самородного свинца и цинка автором связывается с химизмом магмы (гранитоиды Шамшадинской группы интрузивов имеют резко выраженный натриевый облик).

6. Домеловой возраст интрузий и оруденения, пространственно с ними связанного, нами доказывается сопоставлением ассоциации аксессуарных

минералов в породах и вещественного состава рудопроявлений с минералами естественных шлихов, отобранных из участков распространения меловых осадочных пород, примыкающих к этим интрузиям. Было отобрано 500 шлихов по равномерной сетке с площади 250 км² (см. рис. 3). Минералы, обнаруженные в этих двух комплексах пород, либо магматические, либо пневматолитические и гидротермальные и, в довольно ограниченном количестве, гипергенные, т. е. в основном это продукты эрозии гранитоидов.

7. Таким образом, по акцессорным минералам возрастной предел интрузий и рудопроявлений Шамшадинского района нами определяется как домеловой. Проведенными исследованиями подтверждается возможность определения возраста интрузивных пород путем корреляции акцессорных минералов интрузивных и вмещающих осадочных пород.

■

М. И. ЗАДУМИНА

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ И ЭЛЕМЕНТЫ В ГРАНИТОИДАХ КОТАНСУЙСКОГО МАССИВА (Южный Урал)

Котансуйский массив занимает площадь 2000—2500 км² и имеет неправильную форму. В его строении принимает участие довольно разнообразный комплекс пород. Это кварцевые диориты и гранодиориты (первая интрузивная фаза), плагиограниты и биотит-ортоклазовые порфиroidные крупнозернистые граниты (вторая фаза), биотитовые, мусковитовые и двуслюдяные средне- и мелкозернистые граниты (третья фаза), аляскиты (четвертая фаза), сопровождающиеся широко развитыми и разнообразными жильными отщеплениями.

Распределение названных пород в массиве неравномерное. Основная его площадь на юге занята биотит-ортоклазовыми порфиroidными гранитами второй интрузивной фазы, а на севере — биотитовыми, мусковитовыми и двуслюдяными средне- и мелкозернистыми гранитами третьей фазы. Остальные разновидности гранитоидов занимают подчиненное положение.

Среди жильных отщеплений преимущественно развиты пегматиты, аплиты, кварцевые порфиры и кварцевые жилы. Все они генетически связаны с биотит-ортоклазовыми порфиroidными гранитами и с биотитовыми, двуслюдяными и мусковитовыми мелко- и среднезернистыми гранитами, т. е. с производными второй и третьей интрузивных фаз массива. Аплиты и пегматиты в основном приурочены к эндоконтактовым его частям.

По массиву было отобрано и обработано 120 протолок и выполнено около 700 количественных спектральных анализов. Вес исходной протопочки в каждом случае был равен 10 кг. Проба составлялась из отдельных свежих образцов, отобранных с площади 500—600 м² точечным методом по произвольной сетке. Затем она подвергалась механическому дроблению до крупности 0,5 мм. Из полученной раздробленной массы путем последовательного квартования отбиралась навеска 0,5 кг, которая подвергалась отмучиванию для удаления пылеватых частиц. После этого из очищенной таким способом массы обычным путем извлекались магнитная,

электромагнитная и немагнитная фракции, каждая из которых взвешивалась. Под бинокулярной лупой проводилась тщательная диагностика акцессорных минералов (с применением в отдельных случаях микрохимических и оптических методов) и их количественный подсчет. Затем полученные объемные проценты перечислялись на стандартную единицу — грамм на 1 г. При этих пересчетах для получения наиболее приближающихся к истинным количественным данным в каждом случае учитывался удельный вес акцессорного минерала.

Дальнейшая обработка сводилась к выделению мономинеральных фракций. При этом проводилась электромагнитное фракционирование на БИТ-4 (работа была выполнена в НИГРИ г. Кривой Рог) и ручная разборка под бинокулярной лупой. Полученные мономинеральные фракции взвешивались и также пересчитывались в граммы на 1 г.

Таким образом, количественная оценка акцессориев в ряде случаев осуществлялась двумя способами. Следует отметить, что сопоставление полученных величин привело к вполне приемлемым результатам. Расхождение не превышало 10%.

Выделенные мономинеральные фракции из 0,5 кг исходной пробы нередко имели очень незначительный вес, а иногда были представлены единичными зернами, поэтому для получения более представительных фракций, над которыми можно было бы проводить дальнейшие специальные исследования (химический, спектральный анализы, определение удельных весов и т. п.), нами из многих проб дополнительно по описанной методике обрабатывалось еще 2 кг исходного материала. Изучение акцессорных минералов показало, что гранитоиды различных интрузивных фаз массива характеризуются специфическими комплексами акцессорных минералов, которые обычно включают несколько парагенетических ассоциаций (таблица).

Ассоциации второстепенных минералов не были постоянными в процессе эволюции магматического очага. При этом резко изменялся как их вещественный состав, так и количественные соотношения (см. таблицу). Сквозными минералами, присутствующими во всех фазах, являются магнетит, апатит и циркон. В породах первой интрузивной фазы отсутствует ильменит, хотя он и типичный минерал гибридных пород (В. В. Ляхович и др.).

Для кварцевых диоритов характерно полное отсутствие редкоземельных минералов. В то же время, по данным количественных спектральных анализов, церий и иттрий присутствуют в породах первой интрузивной фазы.

Комплексы «спорадических» акцессорных минералов в плагиогранитах по сравнению с породами первой интрузивной фазы заметно расширяется и включает ильменит, ставролит, турмалин, шеелит, сфен, лейкоксен, пирит, анатаз, топаз и танталит-колумбит. Эта ассоциация «спорадических» минералов указывает на приконтактовое образование пород и на существенную роль постмагматических процессов в их преобразовании.

В биотитовых ортоклазовых порфиридных гранитах, представляющих собой одну из основных фаз в истории формирования Котансуйской интрузии, ассоциация акцессорных минералов существенно отличается от ассоциации их в описанных породах. Это касается как их вещественного состава, так и количественных соотношений. Комплексы «сквозных» акцессорных минералов в описываемых породах существенно изменяется. Он представлен гранатом, монацитом, апатитом и цирконом. Изменяются внешний облик кристаллов и их цвет. Преимущественно они красные и темно-красные и имеют правильную идиоморфную огранку. Для них характерны формы в виде ромбододекаэдров и пентагон-додэкаэдров.

Впервые в ассоциации акцессорных минералов появляется собственный редкоземельный минерал — монацит, который присутствует почти повсеместно. В породах второй интрузивной фазы среди «спорадических»

Таблица. Аксессуары минералы в гранитоидах Котансуйского массива (в з/т)

Фаза	Порода	Связные минералы										Спорадические минералы
		Число пров	магнетит	марит	сфен	монацит	гранат	апатит	циркон	лимонит, гематит		
I	Кварцевые диориты, гранодиориты	6	7880 и >*		100—1000 (>)	—		7—125	1—97	—	Лимонит, гематит, ставролит, рутил, шприт, топаз	
			7880		600			98	16			
II	Платнограниты (краевая фация)	7	0—15	180—441	—	—	22—3000	16—260 (>)	Ед. зн.	—	Ильменит, ставролит, лимонит, турмалин, шприт, сфен, лейкоксен, шприт, анатаз, топаз, танталит-колумбит	
				220			1656	260				
III	Биотитовые ортоклазовые порфиритовидные граниты	19	30—4300	0—70	—	Ед. зн.—	Ед. зн.—904	50—500	1—250	—	Сфен, ильменит, торит, ксеротим, гематит, лимонит, лейкоксен, шприт, топаз	
			2100	4		Ед. зн.—	320	210	34			
IV	Биотитовые мелко- и среднезернистые граниты	4	1700	0—189	—	Ед. зн.—	Ед. зн.	108—780	Ед. зн.—30	—	Лейкоксен	
				4		Ед. зн.—		167	20			
IV	Двуслюдяные и мусковитовые мелко- и среднезернистые граниты	17	0—509	12—684	—	—	Ед. зн.—624	2—810	Ед. зн.—58	Ед. зн.—825	Сфен, рутил, флюорит, анатаз, топаз, молибденит, торбернит, шприт, халькопирит, шпатель, берилл	
			20	182		Ед. зн.—	Ед. зн.	58	14	208		
IV	Аляскитовые граниты	3	0—38	—	—	—	Ед. зн.—96	2—36	28—156	—	Ильменит	
			26				80	28	30			
IV	Вмещающие гнейсы (западный контакт)	5	700—820	—	—	—	1290—233	117—238	Ед. зн.—284	—	Ильменит, ставролит, турмалин, сфен, шприт, халькопирит, анатаз, андалузит	
			3540				150	163	16			
IV	Вмещающие гранито-гнейсы (восточный контакт)	5	3—700	—	—	35—70 >	303—4091	20—67	47—155	—	Лимонит	
			35			35	3000	29	47			

* В числителе указаны пределы колебания аксессуарных минералов, в знаменателе — их средние содержания.

отмечаются акцессорные минералы самого разнообразного генезиса. Это сфен и ильменит — минералы гибридных пород, торит и ксенотим — магматогенные минералы, а также лимонит, лейкоксен, пирит и топаз, возникающие в процессе разнообразных постмагматических преобразований (автометасоматоз, пневматолито-гидротермальные и гипергенные преобразования).

По данным количественных спектральных исследований, биотитовые микроклиновые граниты характеризуются наличием иттрия. В то же время минерал иттрия ксенотим в них присутствует не повсеместно и в незначительных количествах (единичные зерна). Поэтому можно предположить, что в породах второй интрузивной фазы основная масса иттрия находится в рассеянном состоянии, изоморфно входя в кристаллические решетки таких акцессорных минералов, как циркон, гранат, торит, апатит и монацит.

Сквозными минералами в биотитовых гранитах третьей фазы являются магнетит, гранат, апатит и циркон, спорадическими — лейкоксен. Двуслюдяные и мусковитовые граниты третьей интрузивной фазы (в отличие от биотитовых) характеризуются большим видовым разнообразием комплекса «спорадических» акцессорных минералов, парагенетически тесно связанных друг с другом. Присутствуют они довольно часто, а иногда даже почти повсеместно (пирит и флюорит) и нередко в значительных количествах. Спорадические акцессорные минералы представлены сфеном, рутилом, флюоритом, анатазом, топазом, молибденитом, торбернитом, бериллом и зеленой шпинелью. Все они, кроме последнего, образовались в высокотемпературную стадию наложенных постмагматических процессов. Зеленая шпинель образовалась в зонах контакта описываемых гранитов с вмещающими алюмосиликатными породами.

Все перечисленные особенности в поведении акцессорных минералов хорошо иллюстрируются также данными количественного определения содержания акцессорных редких элементов. Установлено, что акцессорный церий в минералах гранитов первой фазы присутствует в тех же количествах, что и в минералах гранитов второй фазы, в минералах мусковитизированных и мусковитовых гранитов третьей фазы совершенно отсутствует акцессорный итрий. Заметно уменьшилось содержание циркония, но несколько возросло содержание акцессорных бериллия, свинца, молибдена, тантала и лантана.

Аляскитовые граниты обычно сильно обеднены акцессорными минералами, которые имеют в них ограниченный видовой состав и резко пониженное содержание (см. таблицу). По данным количественных спектральных исследований, описываемые породы содержат акцессорные цирконий и итрий. Цирконий, вероятно, в основном связан с цирконом, тогда как итрий соответствующих минералов не образует и находится в рассеянном состоянии, изоморфно входя в кристаллические решетки гранатов, апатита и циркона.

Для жильных проявлений, генетически связанных с интрузиями второй и третьей фаз, характерно следующее: 1) ассоциация акцессорных минералов в общем повторяет ассоциацию этих минералов пород, с которыми генетически связаны данные жильные отщепления; 2) концентрации типичных магматогенных акцессорных минералов в них (монацит, апатит, циркон, магнетит) резко снижаются; 3) типичный преобладающий акцессорный минерал аплитов представлен гранатом; 4) редкоземельные минералы повсеместно сосредоточены в пегматитах первого, реже второго этапов внедрения. Молодые по возрасту пегматиты третьего этапа обычно лишены их; 4) в пегматитах различного возраста отмечаются местные локальные концентрации редкометалльных акцессорных минералов, представленных танталитом, бериллом и висмутином.

Таким образом, в различных интрузивных производных гранитоидов

ассоциации аксессуаров обычно состоят из нескольких парагенетических групп, причем количественные взаимоотношения между ними сильно варьируют. Выделяется группа гибридных и приконтактовых минералов (сфен, в меньшей степени — ильменит, ставролит, гранат и шпинель), группа преимущественно магматогенных минералов, возникшая в условиях слабого гибридизма (магнетит, монацит, апатит, циркон, ксенотим, торит и частично гранат), группа постмагматических минералов, обязанная своим происхождением пневмолито-гидротермальным, а частично, возможно, гиперенным процессам, а также автотасоматозу (лимонит, гематит, лейкоксен, турмалин, топаз, флюорит, пирит, молибденит, халькопирит, танталит-колумбит, торбернит и др.). Преобладание одной из групп обычно указывает на геохимическую направленность процессов минералообразования.

Многие акцессорные минералы чутко реагируют на изменения физико-химических условий среды, являясь своего рода ее индикаторами. Это особенно характерно для группы типичных магматогенных аксессуаров (магнетит, монацит, ксенотим, апатит, циркон и др.).

В изученных гранитоидах устанавливается определенный антагонизм в поведении акцессорных сфена и монацита. В то же время намечается парагенезис акцессорных монацита и гранатов. Исходя из этого, укоренившееся представление о том, что гранат является контактовым минералом, справедливо не во всех случаях. По-видимому, гранат полигенетичен и способен образовываться и как магматогенный минерал.

Анализ ассоциаций акцессорных минералов и элементов говорит о том, что исходная магма имела специфическую редкоземельную металлогеническую специализацию, унаследованную от догерцинского магматического очага.

Минимальные концентрации акцессорных минералов наблюдаются в приконтактовых плагиогранитах, в аляскитовых гранитах и некоторых жильных производных.

Изучение акцессорных минералов в пределах вмещающих толщ показало, что акцессорные минералы в гнейсах западного и восточного контактов массива неодинаковы, что, вероятно, указывает на их различную первичную природу (см. таблицу). Исходя из внешнего облика этих пород и комплекса породообразующих и акцессорных минералов, можно сказать, что древние гнейсы восточного экзоконтакта по природе являются ортопородами, т. е. гранито-гнейсами и, возможно, магма, давшая начало гранитам Котансуйского массива, унаследовала их редкоземельную металлогению.

Гнейсы, развитые в районах западного контакта массива, имеют совершенно иную ассоциацию акцессорных минералов, которая представлена магнетитом, ильменитом, гранатом, ставролитом, андалузитом, турмалином и апатитом. Иногда отмечаются флюорит, халькопирит и анатаз. Ильменит местами достигает значительных концентраций, гранат, напротив, присутствует в незначительном количестве. Отдельные скопления акцессорного турмалина отмечены в зонах грейзенов, обнаруженных нами в экзоконтактах серии западных сателлитов Котансуйского массива. Показательно полное отсутствие монацита.

Вероятно, основная масса гнейсов, развитых в районах западного экзоконтакта описываемого плутона, является парапородами. На ассоциации их акцессорных минералов сказались постмагматические процессы, резко преобразовавшие гранитоиды прорывающего интрузива.

Таким образом, комплексное количественное исследование особенностей поведения и распространения акцессорных минералов и редких элементов во многих случаях позволяет правильнее интерпретировать эволюцию магматического очага во времени и способствует выявлению промышленно интересных минерализаций.

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ И РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ СЕВЕРНОГО ТИМАНА

Данные по акцессорным минералам в магматических комплексах Северного Тимана в литературе отсутствуют. Имеется лишь одна крупная монография, посвященная акцессорным минералам гранитов Южного Тимана (Д. П. Сердюченко), в которой отмечены и некоторые редкометалльные акцессории из гранитоидов Северного Тимана. О присутствии в породах Северного Тимана ряда редкометалльных акцессорных минералов сообщают также Р. Г. Векилов, М. М. Ермолаев, Е. И. Крылов и И. П. Барсукова, А. М. Плякин и А. Б. Наливкин.

В 1959 г. автор занимался изучением магматизма и металлогении Северного Тимана. В геологическом строении этого района принимает участие разнообразная и сложная серия интрузивных пород (основного, кислого и щелочного ряда) доверхнесилурийского (рифейского) возраста. Выходы их не имеют сплошного площадного развития и образуют ряд разобщенных крупных и мелких тел, залегающих среди метаморфических сланцев докембрия. Форма тел неправильная штокообразная, жильная и жилородная либо в виде куполовидных выступов в породах кровли. Имеющиеся в нашем распоряжении данные позволяют рассматривать эти разрозненные выходы интрузивных пород как апикальные части (купола, жилы и алофизы) скрытого на глубине крупного интрузивного тела.

Проведенные нами детальные геолого-петрографические исследования показали, что в формировании пород кислого и щелочного ряда (граниты, щелочные и нефелиновые сиениты) большое участие принимали процессы послемагматического метасоматоза, приведшие к образованию пород метасоматического генезиса, ранее принимавшихся за магматические. Особенно широко были развиты процессы щелочного метасоматоза (микроклинизация, альбитизация), а также биотитизация и карбонатизация.

Изучение акцессорных минералов в метасоматически измененных гранитах и сиенитах показало, что основная масса их выделилась в процессе послемагматического метасоматоза и связана с различными стадиями этого процесса.

При изучении тяжелой фракции искусственных шлихов и просмотре шлифов пород нами были установлены следующие главные акцессорные минералы: циркон, флюорит, апатит, монацит, пироксор, торит, ортит, сфен, гранат, везувиян, редкоземельные карбонаты, ильменорутил, рутил, анатаз и сульфиды.

Циркон является широко распространенным акцессорным минералом и присутствует во всех метасоматически измененных разновидностях от гранитов до нефелиновых сиенитов, а также в конечных продуктах метасоматоза (альбититы и др.). По форме выделяются два вида цирконов: дипирамидальный и призматический. Установлено, что для гранитов и сиенитов (Большой, Малый и Крайний Камешки) характерен циркон призматического облика, в то время как для щелочных и нефелиновых сиенитов (Малый Камешек, Северный Румяничный) — дипирамидальный циркон.

Спектральный анализ различных по цвету и габитусу цирконов, а также цирконов из различных петрографических типов пород не дал каких-либо существенных различий по элементам-примесям. Почти все они содержат Be (тысячные и сотые доли процента), Nb (0,01—0,5%), Y (0,2—0,5%), La (0,01—0,05, иногда 0,2—0,3%). В ряде цирконов обнаружены R и Th. Характерная особенность состава цирконов — постоянное присут-

ствие и преобладание редких земель иттриевой группы. Некоторое обогащение лантаном наблюдается в бурых цирконах (малаконах) дипирамидальной формы из щелочных и нефелиновых сиенитов.

Флюорит — один из наиболее широко распространенных акцессорных минералов. Встречается во всех типах пород от гранитов до нефелиновых сиенитов, где он выполняет тонкие трещинки либо вместе с кварцем и карбонатом проникает по зонам катаклаза. Он присутствует также в типичных метасоматических образованиях (кварц-карбонатные прожилки, зоны и участки биотитизации, жилы альбититов и др.), развитых в указанных породах.

Спектрально были проанализированы флюориты различной интенсивности окраски (от бесцветного до темно-фиолетового) из различных участков и зон. Каких-либо существенных различий в их составе отмечено не было. Характерной их особенностью является постоянное присутствие в них редких земель иттриевой группы (0,05 до 0,2—3%). В качестве примеси отмечены Be (до 0,01—0,02%), Zr (до 0,02—0,03%), иногда Sr и Ba (0,03—0,2%). Таким образом, флюориты Северного Тимана можно отнести к иттрийсодержащим флюоритам. А. Б. Наливкин и А. М. Плякин отмечают здесь также иттроцериты.

Апатит, так же как и флюорит, относится к наиболее широко распространенным акцессорным минералам и характерен для тех же участков и зон, что и флюорит.

На основании спектрального анализа, всегда дающего TR (0,1—0,3%), апатит можно отнести к редкоземельным апатитам. В зоне биотитизации, содержащей, кроме того, акцессорные монацит, торит и галенит, отмечен апатит с Th и более высоким содержанием TR (до 0,5%). Постоянной примесью в анализированных апатитах является Sr (сотые и иногда десятые доли процента).

Акцессорный монацит приурочен к метасоматически измененным участкам в щелочных и нефелиновых сиенитах (зоны биотитизации, биотит-карбонатные, кварц-биотит-карбонатные прожилки и линзы).

Иногда совместно с акцессорным монацитом в шлихе присутствуют обломки клееподобного буро-красного минерала, содержащего P, TR и Th. Рентгеноструктурным анализом эти образования определены как смесь окислов типа (TR, Th) O_2 — продукт распада первичного минерала. Подобного рода образования были описаны Д. П. Сердюченко в гранитах Южного Тимана, где они развиваются по акцессорному монациту.

Акцессорный **пироклор** характерен для альбитизированных нефелиновых сиенитов, особенно часто в альбититах, эгирин-альбитовых и нефелин-альбитовых метасоматитах. В редких случаях отмечается в щелочных и нормальных гранитах, где он приурочен к скоплениям позднего мелко-чешуйчатого зеленого биотита.

Торит обнаружен в виде единичных зерен. Вместе с акцессорным монацитом отмечается в биотитизированных щелочных сиенитах Малого Камешка, а также в метасоматической карбонат-биотитовой породе Северного Румяничного. Спектральным анализом в торите из зон биотитизации обнаружены примеси P и TR.

Ортит встречается в породах Северного Тимана сравнительно редко. Единичные зерна его были отмечены в щелочных гранитах, в биотитизированных щелочных сиенитах Малого Камешка, в альбитизированных нефелиновых сиенитах и альбититах Северного Румяничного.

В связи с тем, что ортит был встречен только в шлифах, редкоземельная природа его остается невыясненной. Д. П. Сердюченко (для гранитов Южного Тимана) говорит об ортитах с цериевой группой редких земель.

Сфен — довольно распространенный минерал, отмечен преимущественно в зонах изменения лампрофиров и сланцев в контактах с щелочными породами (участки скарнирования, сиенитизации, биотитизации и карбо-

натизации). Сфен желтый встречается в метасоматически измененных (альбитизированных) щелочных и нефелиновых сиенитах, а также в зонах биотитизации и карбонатизации. В альбитизированных щелочных сиенитах сфен выполняет промежутки между лейстами альбита с образованием очень характерных скелетных кристаллов. Бурый сфен, как правило, появляется в лампрофирах и метаморфических сланцах на контакте их со щелочными сиенитами, в скарированных породах он находится в ассоциации с гранатом, скаполитом и диопсидом.

Из элементов-примесей в сфенах из участков биотитизации, судя по данным спектрального анализа, постоянно присутствует Nb, кроме того, отмечены Sn, V, Sr, Zr и La. На редкоземельную природу северотиманских акцессорных сфенов указывал А. Б. Наливкин (кейльгауит).

Гранат тесно ассоциирует со сфеном. Характерен для мелкозернистых меланократовых щелочных пород, образовавшихся за счет сиенитизации лампрофилов и сланцев. В одних случаях гранат образует скопления неправильных зерен, в других — проникает по тонким трещинкам в калиевом полево шпате, альбите, амфиболе и других минералах, являясь в том и другом случае более поздним минералом. Из элементов-примесей гранаты содержат Sc, V, Ti, Cr и Y.

Везувиан является редким акцессорным минералом. Отмечен в сиенитизированных лампрофирах и сланцах, а также вместе с мелкочешуйчатым зеленым биотитом приурочен к участкам катаклаза в щелочных и содалит-канкринитовых сиенитах. В качестве элементов-примесей в везувианах обнаружены Be (0,02—0,05%), Ti, Zr, и TR (0,05%).

Акцессорные редкоземельные карбонаты (паризит, иттропаризит, бастнезит) отмечены в милонитизированных сиенитах Малого Камешка, где они приурочены к метасоматическим кварц-карбонатным прожилкам вместе с флюоритом, рутилом и другими карбонатами (кальцитом, анкеритом) и к участкам биотитизации, следующим по зонам дробления и катаклаза.

Группа акцессорных титановых минералов представлена ильменитом, ильменорутилом, рутилом и анатазом. Эти минералы были отмечены в щелочных сиенитах Малого Камешка, где они приурочены к кварцевым, кварц-карбонатным и карбонатным прожилкам, реже обнаружены в зонах биотитизации и карбонатизации в породах Северного Румянничного. В образцах и шлифах четко отмечается замещение рутила и ильменорутила карбонатом (кальцит и анкерит).

Из элементов-примесей ильмениты, ильменорутилы и рутилы постоянно содержат Nb (десятые доли процента), иногда Sc, Sn, V, Cr и W.

Сульфиды представлены пиритом, халькопиритом, молибденитом, галенитом и сфалеритом. Пирит и халькопирит широко распространены и присутствуют во всех породах. Молибденит в виде мелких чешуек отмечен в полевошпатовых, кварц-полевошпатовых и кварцевых прожилках.

Галенит характерен для зон биотитизации и карбонатизации, где он ассоциирует с гранатом, сфеном, флюоритом и апатитом. Сфалерит является наиболее редким акцессорным минералом этой группы и отмечен нами только в одной пробе — в альбитизированном нефелиновом сиените Северного Румянничного. Из элементов-примесей пириты и халькопириты содержат As, Bi, Ag, Co, Ni, галениты — Te, Sb, Tl, Sn, Bi, Cd, Ag и Au, сфалериты — Ge и Cd.

Интересен состав акцессорных галенитов, характеризующийся присутствием Bi, Te и Tl. Микроскопически в отраженном свете было установлено, что эти элементы связаны с включениями в галените минералов Bi и Te. По определению Н. А. Читаевой, в галените постоянно отмечаются включения эмплектита, в котором, в свою очередь, по трещинкам развивается валлерит, реже халькопирит. Кроме указанных минералов, в галените отмечаются минералы из группы теллуридов — креннерит

(Au, Ag) Te_2 и ассоциирующий с ним тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$, которые также выполняют трещинки в галените.

Ниобий в породах Северного Тимана связан с собственно акцессорными ниобиевыми (пироклор и колумбит?) и ниобийсодержащими минералами (ильменит, ильменорутит, рутит); в качестве примеси Nb отмечен в гематите (Малый Камешек), сфенах и некоторых цирконах.

Цирконий связан либо с акцессорным цирконом, либо входит в решетку эгирина, в котором по данным химического анализа (аналитик О. Ф. Сазонова), содержится 0,31% ZrO_2 .

Редкие земли в породах Северного Тимана связаны с собственно редкоземельными акцессорными минералами (монацит, ортит, редкоземельные карбонаты), а также с акцессорными минералами, содержащими Th в качестве примеси (циркон, флюорит, сфен, апатит, гранат, торит, везувиан).

Бериллий отмечен в акцессорных цирконах (тысячные доли процента, в отдельных случаях 0,01—0,02%), в некоторых флюоритах (до 0,01—0,02%) и везувиане (0,02—0,05%).

Таким образом, в результате изучения искусственных шлифов, а также петрографического просмотра шлифов в породах Северного Тимана выявлен ряд характерных акцессорных минералов, таких, как циркон, флюорит, апатит, монацит, пироклор, торит, ортит, сфен, гранат, везувиан и редкоземельные карбонаты. Установлено, что главная масса их выделилась в процессе послемагматического преобразования пород и связана с различными стадиями этого процесса. Судя по приуроченности большинства акцессорных минералов к позднему мелкочешуйчатому зеленому биотиту, можно предположить, что именно в стадию биотитизации происходили существенный привнос и переотложение редкоземельных и радиоактивных элементов и их минерализация в виде различных акцессорных минералов. Предварительное изучение состава акцессорных минералов показало, что почти все из них являются редкоземельными и радиоактивными. Исходя из состава акцессориев, растворы, производившие метасоматоз, содержали, по-видимому, повышенные количества фосфора, титана, ниобия, фтора, редких земель и радиоактивных элементов.

Очень интересный и сходный с северотиманским комплексом состав акцессорных минералов приведен Д. П. Сердюченко для гранитов Южного Тимана (циркон, циртолит, малакон, монацит, ортит, торит, кейльгауит, апатит и др.). Важным обстоятельством является указание этого автора на эпимагматический характер большинства акцессорных минералов и на существенную роль процессов метасоматоза при их образовании.

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРАНИТОИДОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА И ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ

Акцессорные минералы были изучены в герцинических гранодиоритах и гранитах, широко распространенных в Центральном Казахстане (400 проб), и в каледонских гранитоидах, слагающих большую часть хребта Заилийский Алатау (80 проб).

Акцессорные минералы в изверженных горных породах по условиям образования можно подразделить на две основные группы.

Акцессорные минералы первой группы образуются в магматическую стадию кристаллизации совместно с главными породообразующими минералами. Число их, как и породообразующих минералов, ограничено. Это магнетит, апатит, циркон, ильменит, сфен и ортит.

Вторая группа более редких акцессорных минералов генетически не вполне однородна. Образование их связано с аутометасоматическими преобразованиями породы. В условиях привноса и увеличенной подвижности компонентов происходит частичный или полный распад уже выделившихся минералов, образуются новые генерации одноименных минералов более сложного состава путем перекристаллизации и появляются новые виды сложного химизма. К этой группе акцессорных мы относим встреченные нами торит, монацит, ксенотим, бурый редкоэлементный циркон II, блонстрандин, давидит, сфен II, пироксеноид, флюорит, касситерит, турмалин, шеелит, колумбит, рутил, анатаз, флюорит и некоторые другие. Разнообразие видового состава этой группы не исчерпывается уже известными в настоящее время минеральными видами и, очевидно, список их будет пополняться в процессе новых исследований.

Распределение акцессорных минералов в изверженных породах зависит прежде всего от их петрографического состава.

В более основных породах — гранодиоритах и диоритах — состав акцессорных минералов простой и практически ограничивается магматическими минералами первой группы. Характерно, что в процессе аутометасоматического преобразования более основных пород редкоэлементные минералы практически не образуются, что, по-видимому, обусловлено быстрой нейтрализацией кислых растворов ранней стадии метасоматоза, поэтому кислотная стадия выщелачивания развита крайне слабо. В измененных более основных породах (хлоритизированные, эпидотизированные, сосюритизированные) обычно появляются дополнительные генерации акцессорных магнетита, сфена, апатита; могут образовываться турмалин, очень редко шеелит, возможен ортит и лишь в ничтожных количествах были отмечены флюорит, торит и анатаз. Следовательно, основность породы является защитным барьером от развития редкоэлементных минералов.

Наибольшее видовое разнообразие акцессорных минералов принадлежит породам кислого и щелочного состава — гранитам, притом претерпевшим в той или иной степени аутометасоматоз и особенно аутометасоматоз стадии кислотного выщелачивания. Чем более стерильны от этих процессов граниты, тем проще состав акцессорных минералов в них. Специфика указанных процессов, в частности активность щелочей, кислотный потенциал, кислотность, активность углекислоты, определяет парагенезисы более редких акцессорных минералов. Из-за этого часто граниты, заведомо принадлежащие одному комплексу, одной фазе и расположенные в одной структурно-тектонической зоне, в отдельных массивах или даже в разных частях одного массива имеют различные парагенезисы акцессорных

минералов. Подобное явление может быть обусловлено различными причинами, например расположением гранитов в куполообразных выступах интрузии или под прогибом кровли (массивы Бектауата и Восточный Коунрад, размещенные в балхашском герцинском прогибе), наличием близости пологого контакта (массив Баянаул), наличием зон разломов (массив Шалтас), глубиной среза и т. п. Поэтому формальный подход к вопросу корреляции легко может привести к ошибкам.

Но каковы бы ни были различия в составе акцессорных минералов в гранитах соседних массивов или в пределах даже одного массива при большом количестве изученных проб выявляется следующая особенность: в различных сочетаниях, в различных количественных соотношениях встречается один и тот же набор акцессорных минералов, характеризующихся единообразными признаками. Например, в герцинских гранитах Центрального Казахстана систематически от знаков до заметных количеств встречаются вообще весьма редкие минералы блонстрандин и давидит. В Заилийском Алатау, где преобладают каледонские гранитоиды, эти минералы не встречены совсем. Нет указаний на них и в специальной литературе, освещающей прилегающие области (Киргизия, Горный Алтай).

В Центральном Казахстане акцессорные минералы изучались в двух не вполне разновозрастных герцинских комплексах гранодиоритов (предположительно C_1 и C_{2-3}) и широко распространенных интрузиях гранитов, принадлежащих также двум разновозрастным комплексам (средне- и верхнегерцинского возраста).

Видовой состав акцессорных минералов в гранодиоритах ограничен и тождествен в обеих возрастных группах. Одинаковы и морфологические свойства отдельных минералов в ассоциации. Небольшие отличия намечаются лишь в частоте встречаемости и количественных содержаниях отдельных минералов.

Два разновозрастных интрузивных комплекса герцинских гранитов также имеют тождественный состав акцессорных минералов и могут быть не очень уверенно подразделены лишь по частоте встречаемости и по количественным взаимоотношениям некоторых минералов. Видовой состав акцессорных минералов в гранитах отличается большим разнообразием и включает ряд редкоэлементных минералов. В более поздних гранитах значительно чаще встречаются ильменит, монацит, ксенотим, торит, бурый редкоэлементный циркон II, флюорит, блонстрандин, давидит, рутил и др. Ортит, некоторые сульфиды, гранат и корунд в более ранних гранитах распространены чаще. Содержания акцессорных минералов, как правило, в более молодых гранитах повышены, особенно это касается ильменита.

В дополнительных и главных фазах интрузий обоих комплексов гранитов состав акцессорных минералов и частота их встречаемости почти идентичны. Содержания же одноименных минералов в дополнительных интрузиях заметно ниже, главным образом ранних минералов (ильменит, сфен, апатит, ортит).

В Заилийском Алатау интрузивные породы принадлежат ряду последовательно образованных комплексов в каледонское и герцинское время. Состав акцессорных минералов в них ограничивается вполне определенными минеральными видами. Главными минералами для всех пород комплексов являются магнетит, ильменит, сфен, апатит, циркон, ортит, торит и пирит; второстепенными — бурый циркон II, флюорит, монацит, сульфиды металлов (Pb, Mo, Cu); весьма редко, лишь в единичных случаях встречающиеся турмалин, пироклор, фергусонит, гадолинит, касситерит, шеелит, анатаз и флюоцерит.

Сочетания указанных акцессорных минералов в ассоциациях, как и в гранитоидах Центрального Казахстана, повторяются в различных ком-

плексах в близких по составу типах пород, исключая лишь немногие весьма редко встречающиеся минералы. Некоторые колебания в ассоциациях главных минералов в пределах определенных групп пород, по-видимому, обусловлены меняющимся составом этих пород, что особенно характерно для сравнительно небольших по площади выходов интрузий (например, в пределах Кастекского хребта) с заметно проявленными чертами гибридизма, независимо от принадлежности их к тому или иному комплексу.

Интрузивные породы Заилийского Алатау по аксессуарным минералам не могут быть уверенно подразделены на возрастные группы, выделенные по геолого-петрографическим и геохронологическим данным.

Проведено сравнение по аксессуарным минералам интрузий Центрального Казахстана и Заилийского Алатау. Сравнивались биотитовые граниты среднегерцинского возраста (Центральный Казахстан) и близкие им по составу граниты, принадлежащие каледонскому (постордовикскому) комплексу, широко развитые в центральной части Заилийского Алатау, а также позднегерцинские лейкократовые и аляскитовые граниты Центрального Казахстана с одноименными гранитами более поздних фаз каледонского и герцинского комплексов, слагающих Заилийский Алатау.

При сравнении первых двух групп пород в составе, содержании и морфологических особенностях некоторых минералов выявляются следующие различия.

Среднегерцинские граниты характеризуются резко выраженным титанистым типом ассоциации аксессуарных минералов. С высоким содержанием сфена и особенно ильменита, очевидно, связано появление в процессе аутометасоматоза таких редкоземельных титанатов, как блонстрандин и давидит, а также анатаза и особенно рутила (нигрина), который обильно развивается в процессе кислотного выщелачивания. В каледонских гранитах содержание сфена и особенно ильменита значительно ниже, а указанные редкоземельные титанаты и окислы титана вообще отсутствуют.

Для среднегерцинских гранитов характерно сравнительно широкое развитие аксессуарных редкоземельных фосфатов — монацита и ксенотима, а также бурого редкоземельного циркона II. В каледонских гранитах монацит и бурый циркон развиты весьма слабо, а ксенотима нет совсем.

В каледонских гранитах встречен фергусонит, не отмеченный ни разу в среднегерцинских гранитах, несмотря на значительно большее число проб. Каледонские граниты по сравнению со среднегерцинскими характеризуются широким распространением аксессуарных ортита и торита; хотя содержание ортита невысокое, но обязательное присутствие его в гранитах может характеризовать их как ортитовые.

И, наконец, в каледонских гранитах по сравнению со среднегерцинскими совершенно не развиты минералы грейзенового комплекса — рутил, гематит, анатаз и некоторые другие, обычно образующиеся в процессе распада и замещения других минералов. Не развиты также и процессы гидратации, даже такие легко разрушающиеся минералы, как ортит, торит, шприт, остаются относительно свежими.

Итак, основным отличием по аксессуарным минералам среднегерцинских гранитов от каледонских является значительно более высокое содержание в первых минералов титана ранней стадии и наличие заметно выраженных процессов высокотемпературного аутометасоматоза, обусловившего образование ряда редкоземельных и вторичных минералов, отсутствующих в каледонских гранитах.

В сравниваемых двух группах пород отмечаются отличия и в морфологических особенностях некоторых аксессуарных минералов. Так, в каледонских гранитах по сравнению со среднегерцинскими ильменит характеризуется значительно более мелкими размерами кристаллов и

отсутствием отчетливо очерченных кристаллографических элементов, а ортит — крупный (до 5 мм) хорошо ограниченными кристаллами. Магматический циркон имеет сиреневую окраску, совершенно не свойственную цирконам в среднегерцинских гранитах, отлична окраска и у торитов.

При сравнении двух других групп пород (лейкократовые и аляскистовые граниты) также выявляются некоторые отличия. Граниты данного типа в Заилийском Алатау характеризуются очень низким весовым содержанием всех акцессорных минералов и особенно магнетита, сфена и ильменита. В процессе аутометасоматоза, часто отчетливо проявленного в гранитах этой группы, блонстрандин, давидит и ксенотим по-прежнему не образуются, не появляются такие акцессорные минералы, как пироксенолор и гадолинит, ни разу не отмеченные в гранитах Центрального Казахстана. Окислы титана представлены лишь незначительными количествами лейкоксена, анатаза и брукита, но рутила нет. Остальные акцессорные минералы — ортит, торит, монацит, бурый циркон II, флюорит, сульфиды и другие — дублируются.

Намечаются некоторые различия и в химическом составе минералов. Так, согласно полуколичественным спектральным анализам, акцессорные ильмениты и ортиты из гранитов Центрального Казахстана содержат в повышенных количествах скандий (0,01%), который почти полностью отсутствует в одноименных минералах из гранитов Заилийского Алатау.

В акцессорных ортитах из центральноказахстанских гранитов по сравнению с заилийскими повышено содержание тория, а в ильменитах — ниобия и тантала, но понижено содержание редких земель. В сфенах взаимоотношение элементов, указанных для ильменита, обратное.

Таким образом, в случае принадлежности гранитоидов к крупным интрузивным комплексам, связанным с регионально обособленными разновозрастными очагами магмы, даже при значительной петрографической близости сравниваемых главных пород в комплексах, акцессорные минералы позволяют проводить корреляцию.

В Центральном Казахстане, согласно укоренившемуся мнению, интрузиями, генерирующими редкометальное оруденение, являются наиболее поздние интрузии пермского возраста. Это положение доказывается также и геохимически.

Рудоносные интрузии содержат повышенные (против кларков) количества Be, Mo, Sn, W, Pb (В. С. Коптев-Дворников, Г. Н. Щерба).

Рассмотрим, как ведут себя акцессорные минералы указанных элементов в горных породах.

Касситерит, вольфрамит, шеелит в заметных количествах (от знаков до десятков знаков) были обнаружены только в нескольких пробах. Если отсутствие касситерита среди акцессорных легко объясняется почти полным отсутствием в Центральном Казахстане месторождений олова, то вольфрамитовые месторождения — специфическая особенность герцинских интрузий Центрального Казахстана, с которыми они связаны.

Молибденит как акцессорный минерал распространен довольно широко. Особенности распределения его в породах следующие: 1) частота встречаемости в двух возрастных герцинских группах гранитов примерно одинакова; 2) наличие молибденита характеризует определенные районы; в пределах Северного и Северо-Западного Прибалхашья частота встречаемости значительно больше, чем в интрузивах, расположенных на востоке. Это положение в равной мере относится к халькопириту и галениту; 3) строгая взаимосвязь между наличием молибденового оруденения, пространственно связанного с данным интрузивом, и встречаемостью акцессорного молибденита в том же интрузиве отсутствует.

Следовательно, отсутствие редкометальных минералов среди акцессорных в породах не является признаком отсутствия оруденения, связанного с этими породами.

В Центральном Казахстане граниты обоих комплексов характеризуются резко выраженным железо-титанистым типом ассоциации акцессорных минералов. В дополнение к классификации, выдвинутой А. В. Рабиновичем, можно констатировать, что интрузивные породы, с которыми связано вольфрамовое и молибденовое оруденение, могут также характеризоваться магнетит-сфеновым типом ассоциации акцессорных минералов, который обычно в апикальных частях интрузивов сменяется магнетит-ильменитовым.

Наличие редкоэлементных минералов в составе акцессорных, обычно ассоциирующихся в гранитах Центрального Казахстана с преобразованным в различной степени ильменитом, указывает на участки интрузивов, заметно затронутых процессами аутометасоматоза, и может рассматриваться как благоприятный поисковый признак возможного присутствия рудной минерализации, обычно обусловленной теми же процессами.

Грейзеновые процессы на акцессорных минералах отражаются раньше и заметнее, чем на главных минералах породы. Например, черный рутил (нигрин) в качестве спутника ильменита, образуясь за счет его распада, появляется при самой слабой степени грейзенизации и развивается на обширных площадях, являясь надежным признаком высокотемпературной переработки гранитов грейзенового типа.

Следовательно, акцессорные минералы могут быть использованы как поисковый критерий.



А. И. ЕЖОВ

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРАНИТОИДОВ ШАЛГИНСКОГО РАЙОНА (Центральный Казахстан)

Разновозрастные гранитоиды расположены в пределах Мунглинской антиклинали среди осадочно-эффузивных образований девона и представлены большими по площади (300 и 500 км²) массивами мощностью 4—5 км. В пределах каждого массива выделено по несколько интрузивных фаз гранитоидов.

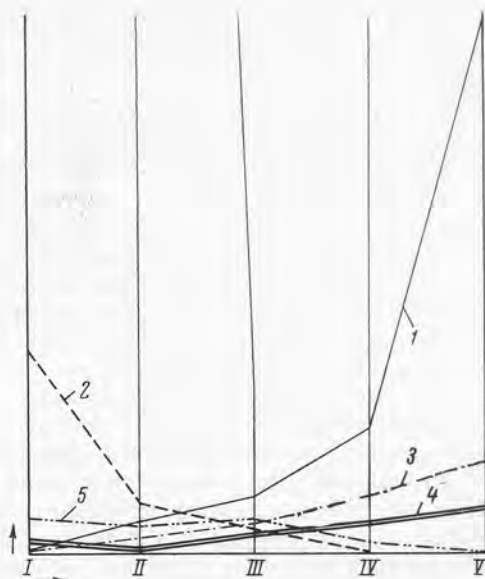
Отбиралось не менее трех проб свежих пород весом 10—15 кг из гранитоидов каждой фазы, а из гранитов, слагающих большую часть объема массива, отбирались контрольные пробы по 100—200 кг.

В тяжелых фракциях протолок установлено большое количество акцессорных минералов (рисунок). Однако каждый массив имеет характерные акцессорные минералы, не встреченные нами в другом массиве. Так, в доверхнедевонском массиве Мунглу в нормальных биотитовых гранитах отмечаются ортит, турмалин, роговая обманка и барит, которые, как указывает О. С. Полквой, характерны для массивов второго девонского интрузивного комплекса Бетпак-Дала и к которому мы относим этот массив. Из рудных акцессориев здесь же отмечены молибденит, халькопирит, висмутин, золото и шеелит. В аляскитовых гранитах пермского массива Куу характерны акцессорные вольфрамит, касситерит, топаз, флюорит, молибденит (повеллит), ксенотим, тантало-ниобаты, ильменорутил, пиротин, сфалерит и др.

Кроме этого, имеется существенное различие и в содержаниях одинаковых акцессорных минералов, встречающихся в породах этих массивов.

Изменение содержаний некоторых акцессорных минералов в различных фазах массива Куу (по оси абсцисс — фазы гранитов, по оси ординат — содержание акцессорных минералов)

1 — топаз; 2 — ильменит; 3 — повеллит; 4 — монацит; 5 — циркон



В гранитах Куу, например, всегда больше монацита, циркона, касситерита, флюорита, топаза, ильменита, лейкоксена и гематита. В гранитах Мунглу среди акцессорных преобладают эпидот, магнетит, сфен, анатаз и амфибол.

Такое резкое видовое отличие акцессорных минералов, а также разница в количественных соотношениях, в оптических и химических свойствах и количественных соотношениях одноименных минералов находят прямое отражение и в минералогии послемагматических образований: для массива Мунглу характерны рудопроявления молибдена с акцессорными пиритом, халькопиритом, висмутином, турмалином, баритом; в кварцевых жилах и грейзенах массива Куу акцессорными являются вольфрамит, касситерит, молибденит, топаз, флюорит и др.

Устанавливается, что рудные акцессории в гранитоидах района — магматические образования. На это указывает закономерное уменьшение количества рудных минералов от ранних фаз гранитоидов к аплитам третьей генерации, что вряд ли возможно при их наложенном характере. Такие минералы, как касситерит и вольфрамит, появляются только в аплитах третьей генерации, которые пересекают рудоносные кварцевые жилы.

Наличие одних и тех же акцессориев в гранитоидах и рудопроявлениях, расположенных в их пределах и в экзоконтактах, является одним из существенных критериев возможной рудоносности магматических комплексов.

На основании изучения акцессорных минералов гранитоидов Шалгинского района мы относим массив Мунглу к сфен-магнетитовому типу, для которого характерны молибденовые рудопроявления, а массив Куу — к апатит-монацитовому типу с характерным олово-вольфрамовым рудопроявлением.

Результаты изучения акцессорных минералов гранитоидов и после магматических пород района явились одним из дополнительных доказательств генетической связи молибденового месторождения Шалгия с доверхнедевонским массивом Мунглу. Дело в том, что это месторождение расположено между двумя гранитными массивами среди гипербазитов и долгое время связывалось с деятельностью пермского массива Куу.

На основании многочисленных протоколов шлихов и изучения минералов в рудах и породах нами была составлена сводная таблица сопоставления акцессорных минералов гранитных массивов с акцессорными минералами месторождения Шалгия, изученными М. А. Коноплянцевым, К. А. Мухлей, М. М. Повилайтис и Г. Н. Щербой. Для массива Мунглу и месторождения типичны общие акцессорные минералы, такие, как турмалин, висмутин, халькопирит и амфибол, не отмеченные в массиве Куу.

Акцессорные молибдениты массива Куу не содержат таких элементов, как Pb, Ag, а Be присутствует в них в количествах, превышающих содержание этого элемента в молибденитах месторождения Шалгия и массива Мунглу.

Акцессорные флюориты массива Куу содержат W, но в них отсутствуют такие элементы, как Pb, Mg, Sr, которые отмечаются в этих акцессорных минералах из месторождения Шалгия.

Полуколичественные спектральные анализы акцессорных вольфрамитов Куу показывают присутствие в них таких элементов, как Be, Pb, Sn, Ba, Nb, которые не обнаружены в акцессорных вольфрамитах Шалгии, где характерный элемент — ванадий.

Акцессорные турмалины массива Мунглу и месторождения Шалгия имеют одинаковый состав элементов-примесей. Здесь отмечены Mn, Ti и другие элементы. Турмалины в гранитоидах Куу нами не обнаружены.

Отмечается интересная особенность массива Куу. Здесь, кроме обычных для гранитоидов акцессорных минералов, встречены минералы высокотемпературных контактово-метаморфических и метасоматических пород. Это гранат, корунд, силиманит, андалузит, ставролит и шпинель. Петрохимически эта группа минералов характеризуется высоким содержанием глинозема, и они обнаружены в гранитах, не несущих следы гибридности пород, вмещающих массив на данном эрозионном срезе. Изучение контактового ореола около массива Куу показывает, что в интенсивно ороговикованных эффузивах девона встречены только гранат и реже андалузит. Очевидно, что другие метаморфические минералы в гранитах появились в результате глубинного загрязнения магмы породами нижнего структурного этажа. Все это наряду со структурами гранитов главной интрузивной фазы, подобных рапакиви, заставляет нас предполагать палингенное происхождение магмы массива Куу, которая в месте зарождения обогатилась высокоглиноземистым материалом. Необходимо подчеркнуть, что граниты массива Куу, так же как и подавляющее большинство пермских гранитоидов Центрального Казахстана, пересыщены глиноземом.

Приведенные данные показывают, что изучение акцессорных минералов в разновозрастных гранитоидах Шалгиинского района выявило их различную геохимическую специализацию, обусловившую различный состав акцессорных минералов. Сравнение этих минералов в гранитоидах и кварцевых жилах помогает решению вопроса о генетической связи редкометальных рудопроявлений с определенными интрузивными комплексами.

С. Д. ТУРОВСКИЙ, Г. Н. КОКАРЕВ

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ПАЛЕОЗОЙСКИХ ИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Северный Тянь-Шань является геоантиклинальной провинцией, сформировавшейся в нижнем палеозое, точнее в конце ордовика — начале силура. Длительность и разнородность геологического развития, проявление нескольких тектоно-магматических этапов обусловили сложность геологического строения описываемого района и превратили его в прекрасную природную лабораторию для изучения разнообразных геологических процессов.

В настоящее время установлено, что магматическая деятельность происходила не менее чем в семь-восемь этапов, каждому из которых отвечает закономерная ассоциация магматических пород. Наиболее достоверно установлены и изучены палеозойские комплексы: среднекембрийско-нижнеордовикский, силур-девонский, карбоновый и пермский (В. Г. Королев, И. В. Носырев, С. Д. Туровский). Более древние комплексы, породы которых обнажаются на территории Северного Тянь-Шаня в виде отдельных разобращенных фрагментов, изучены значительно хуже. То же самое относится и к мезо-кайнозойскому комплексу.

Характерными особенностями палеозойских интрузивных комплексов являются их гранитоидный состав и закономерное направленное изменение петрохимического состава пород от комплекса к комплексу.

В табл. 1 помещены все акцессорные минералы, обнаруженные в разнообразных изверженных породах рассматриваемых интрузивных комплексов. В нижней части табл. 1 указан сводный состав акцессориев отдельных комплексов, в верхней — акцессории распределены по интрузивным фазам. Содержание отдельных минеральных видов выражено двумя способами: цифрами ($n \cdot 10^{-3}\%$) и знаком +, который означает, что минерал присутствует в очень незначительном количестве, не поддающемся цифровой оценке (единичные зерна). Необходимо иметь в виду, что содержания минералов, отраженные в табл. 1, сильно занижены, что обусловлено значительными потерями акцессориев в процессе обработки проб. Это неизбежный недостаток применяемого метода. Однако можно предполагать, что при одинаковых условиях обработки указанные неминуемые потери акцессориев и их выход в тяжелые фракции будут пропорциональны их истинному содержанию в пробах. Поэтому цифровые данные, несмотря на их заниженный характер, в какой-то мере отражают истинное распределение минералов в изучаемых породах.

Анализ данных, помещенных в нижней части табл. 1, приводит к следующим выводам.

1. По видовому составу акцессорных минералов палеозойские интрузивные комплексы Северного Тянь-Шаня имеют несомненное сходство. Из 49 минералов, выявленных в изверженных породах всех возрастов, 23 вида (47%) встречаются во всех комплексах, 31 минеральный вид (63%) встречается в породах трех комплексов.

2. Наряду с указанным сходством имеются и существенные различия. Почти в каждом интрузивном комплексе имеются минералы, присутствующие только в породах данного комплекса. Так, в пермских породах таких акцессорных минералов шесть: ксенотим, карбонаты и фторокарбонаты редких земель, ураноторит, торинит, поликраз-эвксенит и самородное олово; в силур-девонских — четыре минерала: буланжерит, хромит, пшениль и аксинит; в среднекембрийско-нижнеордовикских — хагаталит.

3. Содержание отдельных акцессорных минералов из числа общих для пород всех возрастов неодинаково во всех комплексах. В одних оно выше, в других ниже. Нередко эта разница измеряется несколькими порядками. Можно видеть, что содержание таких минералов, как монацит, торит, ферриторит, циркон, циртолит, малакон, тантало-ниобаты, флюорит, магнетит и гематит, наиболее высокое в породах пермского комплекса; содержание ильменита, галенита, халькопирита, барита, клейофана наиболее высокое в карбоновом, а ортита, анатаза и некоторых других в силур-девонском комплексе.

4. Неодинакова и частота встречаемости отдельных акцессорных минералов в породах различного возраста (см. верхнюю часть табл. 1). Например, содержание сфена, рутила, шеелита, лейкоксена, турмалина и некоторых других минералов в пермских породах выше, чем в силур-девонских, зато частота их встречаемости выше в последних.

Таким образом, отличия между рассматриваемыми интрузивными

комплексами определяются различным содержанием отдельных видов аксессуарных компонентов, разной частотой их встречаемости и появлением в каждом комплексе группы аксессуариев, присущих только данному комплексу. Указанные отличия обуславливают специфику состава аксессуарных минералов каждого комплекса и позволяют выделить для них ассоциации типоморфных аксессуарных минералов (табл. 2). Наличие подобной индивидуализированной группы аксессуарных минералов является характерной особенностью каждого интрузивного комплекса.

Таблица 2. Аксессуарные минералы палеозойских интрузивных комплексов Северного Тянь-Шаня

Минерал	Интрузивный комплекс				Минерал	Интрузивный комплекс			
	P	C	S-D	Сm ₂ -O ₁		P	C	S-D	Сm ₂ -O ₁
Монацит	+	-	-	-	Турмалин	-	+	+	-
Ксенотим	+	-	-	-	Ильменит	-	+	+	-
Карбонаты и фтор- карбонаты редких земель	+	-	-	-	Магнетит	+	-	-	-
Ортит	-	-	+	-	Свинец самородный	+	-	-	-
Торит	+	-	+	-	Олово самородное	+	-	-	-
Ураноторит	+	-	-	-	Медь самородная	-	-	+	-
Ферриторит	+	-	-	-	Пирит	+	+	+	+
Торианит	+	-	-	-	Арсенопирит	+	-	+	-
Циркон	+	-	-	+	Галенит	+	+	+	-
Циртолит	+	-	-	-	Сфалерит	+	-	+	-
Малакон	+	-	-	-	Клейофан	-	-	+	-
Тантало-ниобаты	+	-	+	-	Халькопирит	+	+	+	-
Поликраз-эвксенит	+	-	-	-	Молибденит	+	-	+	-
Долоренцит	-	-	+	-	Булачжерит	-	-	+	-
Сфен	-	-	+	+	Пирротин	-	-	+	-
Рутил	-	-	+	+	Киноварь	-	-	+	-
Анараз	+	-	+	-	Блеклая руда	-	-	+	-
Апатит	+	-	-	-	Марказит	-	-	+	-
Шеелит	-	-	+	-	Гематит	+	-	+	-
Флюорит	+	-	-	-	Гранат	-	-	+	-
Хагаталит	-	-	-	+	Хромит	-	-	+	-
Лейкоксен	-	-	+	-	Шпинель	-	-	+	-
Касситерит	+	-	+	-	Аксинит	-	-	+	-
					Барит	-	+	+	-
					Карбонаты	-	-	+	-

В каждом интрузивном комплексе многие типоморфные аксессуарные минералы (однако далеко не все) встречаются в породах, если не всех, то большинства интрузивных фаз. В пермском комплексе в породах почти всех фаз встречаются торит, ураноторит, ферриторит, циркон, циртолит, тантало-ниобаты, анатаз, апатит, флюорит, касситерит, магнетит, самородный свинец, пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит, молибденит и гематит, т. е. 19 минералов из 26 (73%). В карбоновом комплексе к таким наиболее распространенным аксессуариям относятся все типоморфные минералы. В силур-девонском комплексе к ним можно отнести ортит, торит, сфен, рутил, анатаз, шеелит, лейкоксен, турмалин, ильменит, самородную медь, пирит, галенит, сфалерит, клейофан, халькопирит, молибденит, блеклую руду, гематит, гранат, барит и карбонаты, т. е. 21 минерал из 32 (68%). В среднекембрийско-нижнеордовикском комплексе

почти все типоморфные акцессории, за исключением хагаталита, распространены в породах всех фаз.

Акцессорные минералы, в том числе и типоморфные, в каждом интрузивном комплексе распределяются по интрузивным фазам закономерно. Наиболее высокие содержания акцессорных монацита, ксенотима, карбонатов и фторокарбонатов редких земель, торита, ураноторита, ферриторита, циртолита, малакона, тантало-ниобатов, рутила, анатаза, флюорита, хагаталита, касситерита, самородных элементов, пирита, арсенипирита, галенита, сфалерита, молибденита, буланжерита, блеклой руды, гематита, граната, хромита, пшинели, аксинита и карбонатов в каждом комплексе отмечаются в породах конечных интрузивных фаз — третьей или, что наблюдается реже, четвертой. В породах более ранних фаз их содержание значительно ниже и постепенно сокращается при переходе от пород второй фазы к породам первой. Основная концентрация акцессорных ортита, долоренцита и сфена наблюдается в породах второй фазы, а торинита и поликраз-эвксенита — в породах первой фазы. Остальные минералы распределяются менее закономерно. Их концентрация в отдельных комплексах происходит в породах то первой, то второй, то конечных фаз.

Таким образом, конечные интрузивные фазы характеризуются не только наибольшим разнообразием акцессорных минералов, но и наиболее высокими содержаниями многих из них.

Так же закономерно изменяется и валовое содержание акцессорных минералов. Намечается тенденция к уменьшению общего содержания акцессориев при переходе от пород ранних интрузивных фаз к породам поздних фаз. В малых интрузиях их валовое содержание несколько повышается по сравнению с породами третьей фазы. Высокое содержание акцессориев в породах ранних фаз обусловлено прежде всего избытком в них магнетита, апатита, иногда циркона, сфена и других минералов. Повышенные концентрации этих минералов обычно связываются с явлением контаминации гранитной магмы вмещающими породами. Учитывая широкую распространенность этих явлений в интрузиях ранних фаз, подобное объяснение нам представляется вполне правдоподобным.

Количество минеральных видов в породах основных фаз увеличивается от ранних к поздним. В малых интрузиях оно несколько уменьшается, но остается более высоким, чем в породах первой и второй фаз.

Таким образом, в ходе формирования интрузивного комплекса от ранних основных фаз к поздним уменьшается валовое содержание и усложняется видовой состав акцессорных компонентов, а в последовательных продуктах фазы малых интрузий наряду с уменьшением их общего количества наблюдается и сокращение числа минеральных видов.

Интересно отметить, что разница в количестве видов в породах ранних и поздних фаз заметно сокращается при переходе от более древних комплексов к молодым.

В каждом интрузивном комплексе ассоциации типоморфных акцессорных минералов соответствует повышение содержания входящих в их состав акцессорных химических элементов. Так, если для пермского комплекса типоморфными являются минералы тория, циркония и редких земель, то и содержание этих элементов в породах комплекса значительно выше, чем в породах других комплексов.

Таким образом, между распределением типоморфных акцессорных минералов и отвечающих им химических элементов по интрузивным комплексам и по их интрузивным фазам наблюдается полное соответствие. Следовательно, обогащение расплава акцессорными химическими элементами ведет к обогащению образующейся из него изверженной породы акцессорными минералами этих элементов.

В заключение можно отметить, что специфическими чертами пород каждого интрузивного комплекса являются присутствие в них типоморф-

ных для этого комплекса акцессорных минералов и повышенное содержание входящих в них акцессорных химических элементов, прослеживающихся по продуктам всех интрузивных фаз и образующих наиболее высокие концентрации в породах конечных фаз. Из этого следует, что акцессорные минералы, особенно в сочетании с акцессорными химическими элементами, могут служить критерием для возрастной корреляции интрузивных образований. Типоморфные акцессории являются теми компонентами, которые позволяют выделять комагматичные ряды изверженных пород, относить их к тому или иному интрузивному комплексу.

С другой стороны, типоморфные акцессории свидетельствуют о различии в геохимических деталях между протоматматическими источниками, давшими начало каждому из описанных интрузивных комплексов.

■
П. С. КОЗЛОВА

СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ В ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОДАХ ЮЖНОГО СКЛОНА ТАЛАССКОГО ХРЕБТА (Средняя Азия)

Исследования проводились в Северном Тянь-Шане на северном крыле Таласского антиклинория. Район сложен интенсивно дислоцированными осадочными и метаморфическими породами нижнего палеозоя, прорванными многочисленными интрузивами и дайками. Среди магматических пород имеются представители трех тектоно-магматических циклов: каледонского, варисского и альпийского. Каледонский магматизм проявлен наиболее интенсивно. Интрузивные породы этого возраста слагают крупный массив, имеющий многофазное строение (габбро, кварцевые диориты и биотитовые граниты) и сопровождающийся жильной серией (аплиты, гранит-порфиры и кварцевые порфиры, лампрофиры и диоритовые порфиры). Варисский магматизм проявлен менее интенсивно и представлен главным образом породами щелочного состава (кварцевые и бескварцевые эгирип-авгитовые сиениты). Сюда же нами условно отнесены розовые лейкократовые граниты и диабазовые порфириты. Это штоки и дайкообразные тела с крутыми контактами. Обычно они приурочены к относительно мелким разрывным нарушениям и ослабленным участкам куполообразной складки. Альпийский магматизм проявлен очень слабо. Он представлен дайками щелочных габброидов, которые являются самыми молодыми магматическими породами и завершают интрузивную деятельность в данном районе.

Акцессорные минералы изучались в искусственных шлихах, полученных путем протолок проб всех указанных интрузивных пород. Отбор проб проводился точечным методом. Общая валовая проба весом 10 кг составлялась из мелких образцов весом 50—100 г, собранных на площади около 100 м². Дайки опробовались по всей длине и мощности. Обработка проб проводилась под руководством Н. Н. Батыревой. Образцы дробились ручным способом в чугунной ступке. Измельченный материал просеивался через сита с отверстиями 1 и 0,25 мм. Полученные две фракции (крупная и мелкая) отмучивались отдельно и подвергались трехкратной промывке ковшами до получения серого шлиха. Дальнейшая обработка шла согласно общепринятой схеме (В. В. Ляхович, С. Д. Туровский).

Точный количественно-минералогический подсчет минералов по фракциям нами не проводился, и процентные содержания определялись визуаль-

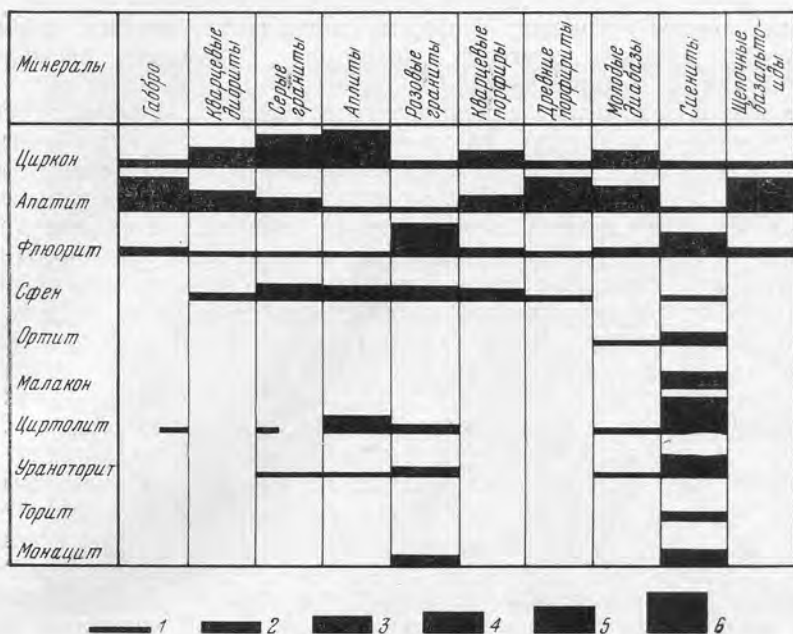


Рис. 1. Таблица распределения аксессуарных минералов в интрузивных породах района

1 — ед. зн.; 2 — частые зн.; % от веса тяжелой фракции: 3 — 1—5; 4 — 5—40; 5 — 40—50; 6 — > 50

но. Одинаковые способы дробления и промывки позволяют использовать полученные данные для грубоколичественной характеристики распространности этих минералов в отдельных типах пород. Относительное количественное распределение главнейших аксессуарных минералов по отдельным типам пород приводится на рис. 1, где ширина полос соответствует количеству отдельных аксессуарных минералов в породе.

В искусственных шлихах обнаружено около 40 аксессуарных минералов: циркон, циртолит, малакон, эвдиалит, апатит, флюорит, магнетит, пирит, сфен, ильменит, рутил, анатаз, ортит, торит, ураноторит, ферриторит, монацит, галенит, молибденит, халькопирит, арсенопирит, сфалерит, пирротин, марказит, шеелит, касситерит, буланжерит, свинец и медь самородные, гематит, турмалин, корунд, иттро-цериевый фосфат (?) и вторичные: лейкоксен, малахит, гидроокислы железа, церуссит, кальцит, барит, ярозит, анкерит, катаплеит и цирфесит.

Характерным аксессуарным минералом габброидных пород является апатит. В несколько меньшем количестве присутствуют магнетит и сфен. Резко подчиненное значение имеют циркон и пирит. В виде единичных знаков отмечаются флюорит, корунд, а иногда циртолит, ураноторит, галенит, сфалерит, халькопирит, пирротин и марказит.

В кварцевых диоритах среди аксессуарных минералов циркон несколько преобладает над апатитом, причем он характеризуется длиннопризматическим габитусом. В подчиненном количестве содержатся пирит, флюорит, сфен и магнетит. В виде единичных знаков отмечаются анатаз, галенит, молибденит, ортит, ильменит, шеелит, самородные свинец и медь, а также пирротин.

В биотитовых гранитах из аксессуарив резко преобладает розовый прозрачный циркон также длиннопризматического габитуса. В подчиненном количестве содержатся бесцветный апатит, сфен, пирит и ортит. В виде

единичных знаков встречены флюорит, молибденит, корунд, турмалин, халькопирит, изредка циртолит, ураноторит, ильменит, арсенопирит, самородные медь и свинец.

Жильные породы бедны аксессуарными минералами. Исключение составляют аплитовые отщепления, которые по составу аксессуарных минералов сходны с материнскими породами, но по сравнению с ними обнаруживают некоторое обогащение редкими аксессуориями. Так, тяжелая неэлектромагнитная фракция аплитов из каледонских гранитоидов состоит преимущественно (~60%) из циртолита, который в материнских породах присутствует в виде единичных знаков и отмечается даже не во всех пробах.

В дайках кварцевых профиров главным аксессуарным минералом является пирит. В виде единичных знаков отмечаются циркон, сфен, апатит, флюорит, анатаз и турмалин.

В спессартитах, доритовых и диабазовых порфиридах и щелочных габброидах магнетит и апатит резко преобладают над цирконом. В виде единичных знаков встречены сфен, флюорит, анатаз и молибденит.

Характерными аксессуарными минералами розовых лейкократовых гранитов являются циркон и флюорит. В значительном количестве присутствуют аксессуарные сфен, иногда ураноторит и монацит. В виде единичных знаков отмечены апатит, галенит, анатаз, пирит, циртолит, ортит, магнетит, лейкоксен, касситерит, гематит, сфалерит, халькопирит, буланжерит, марказит и анкерит. По содержанию редких аксессуарных минералов (циртолит, монацит, ураноторит) розовые граниты ближе к варисским породам щелочного состава. Не исключена возможность, что они являются производными единого магматического очага. Но вполне возможно также, что розовые граниты представляют собой завершающий этап каледонского тектоно-магматического цикла, характеризующийся небольшим накоплением редких элементов.

Для кварцевых щелочных сиенитов, слагающих штоки и дайкообразные тела, очень характерен аксессуарный циртолит. В меньшем количестве содержатся аксессуарные флюорит, ураноторит, ферриторит, торит, малакон, ильменит, ортит. В виде единичных знаков отмечены циркон, анатаз, пирит, апатит, монацит, молибденит, халькопирит, лейкоксен, малахит, рутил, касситерит, магнетит, самородный свинец, сфалерит, арсенопирит, пирротин, гематит, барит, кальцит и анкерит.

В бескварцевых щелочных сиенитах, характеризующихся значительным дефицитом кремнекислоты (Q от $-1,4$ до $-11,5$) и избытком извести и щелочей (c), цирконий вместо простых силикатов образует сложные цирконо-силикаты кальция и натрия из группы эвдиалита (рис. 2, 3). В значительном количестве в этих породах присутствуют аксессуарные флюорит, в меньшем — молибденит и торит.

Помимо инъекционных щелочных пород, небольшое развитие на данной площади получили метасоматические бескварцевые эгирин-авгитовые сиениты, образовавшиеся в результате магматического замещения доломитизированных известняков под воздействием магматического расплава и находящихся в равновесии с ним растворов (В. А. Жариков, Д. С. Коржинский). Эти породы почти не содержат аксессуарных минералов. В тяжелой фракции их отмечены лишь единичные зерна пирита, молибденита, торита и циртолита. В несколько большем количестве присутствует флюорит.

Таким образом, резкое различие в составе и содержании аксессуарных минералов в щелочных породах различного генезиса и состава показывает, что аксессуарные минералы в отдельных случаях могут оказать значительную помощь в установлении генезиса пород.

Приведем краткое описание главнейших аксессуарных минералов (кроме магнетита, ильменита, сульфидов и карбонатов и др.) в порядке их распространенности. Спектральные и рентгеноспектральные анализы минералов выполнены в соответствующих лабораториях ИГЕМ АН СССР.



Рис. 2. Скопления кристаллов зонального эпидалита в альбитизированном сивените. Шлиф 104-п, увеличение 70, с анализатором

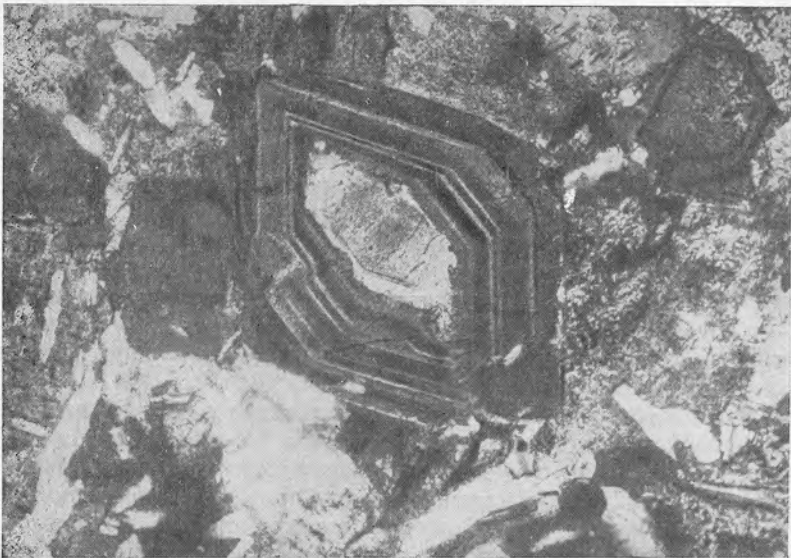


Рис. 3. Идиоморфный кристалл зонального эпидалита. Шлиф 491. Увеличение 70. С анализатором

Циркон встречается во всех пробах и характеризуется большим разнообразием форм. Циркон из каледонских и альпийских пород представлен очень мелкими удлиненнопризматическими кристаллами с бипирамидальным окончанием и квадратным поперечным сечением, реже он длиннопризматический и игольчатый. Встречаются кристаллы с дополнительными гранями призмы и бипирамиды, имеющие бочонковидную или яйцевидную форму.

В аплитах, сопровождающих каледонские граниты, в большом количестве появляется серовато-буроватый и красно-бурый циркон, мутный, непрозрачный, со стекляннм блеском и полураковистым изломом, имеющий те же кристаллографические формы.

Циркон из сиенитов характеризуется многообразием форм проявления. Он представлен главным образом бипирамидальными кристаллами, нередко со слабо развитыми гранями тетрагональной призмы. Реже отмечаются кристаллы призматического габитуса с бипирамидальным окончанием, агрегаты неправильной формы или радиально-лучистые сростания. Циркон из диабазовых порфиритов имеет вид сильно окатанных (оплавленных) кристаллов и зерен, часто с отсутствием следов первичного габитуса (почти округлые, яйцевидные зерна). В неизмененных диабазовых порфиритах кристаллы циркона и апатита имеют нормальный вид. Рентгеноспектральным анализом во всех цирконах установлены U (0,1—0,2%), Th, Y, Hf (0,5%). Спектральным анализом отмечено также присутствие P (иногда до 2—3%), Mn, Ti, Cu, La, а в цирконах из щелочных сиенитов еще и Be, Pb, Sn, Nb.

Таким образом, облик кристаллов циркона из щелочных сиенитов сильно отличается от облика кристаллов из пород каледонского и альпийского возраста. Причем при переходе от более ранних пород к более поздним отмечается упрощение кристаллических форм: из длиннопризматических они превращаются в короткопризматические и бипирамидальные. Увеличиваются размеры кристаллов. Усложняется и химический состав циркона; в нем появляются примеси таких элементов, как Sn, Nb, Be, Pb.

Апатит встречается во всех пробах, но наиболее характерен для более основных разновидностей пород. Обычно он представлен обломками кристаллов, реже хорошо сохранившимися кристаллами гексагонально-призматического габитуса с пирамидальными или закругленными вершинами. Длина кристаллов чаще в 2 раза больше ширины. Реже встречаются более длиннопризматические разновидности. Отдельные кристаллы из габбро имеют короткопризматическую, бочонковидную форму. В гидротермально измененных диабазовых порфиритах наряду с мелкими хорошо сохранившимися кристаллами встречаются крупные зерна округлой или яйцевидной формы (оплавленные), часто с отсутствием следов первичного габитуса.

Иногда в апатите отмечаются мелкие округлые газовой-жидкие включения или включения пироксена.

Спектральным анализом установлено присутствие в апатитах Y, La, Sr, Ba, Zr, Ti, Cu, Mn, иногда Pb. В апатитах из диабазовых порфиритов обнаружен Ce, а из кварцевых диоритов As. Рентгеноспектральным анализом в апатитах отмечены также Nd, Tc, Lu.

Флюорит в том или ином количестве встречается во всех породах. Значительные количества его наблюдаются в розовых гранитах и щелочных сиенитах, особенно в участках интенсивного постмагматического изменения последних (грейзенизация, альбитизация). Обычно флюорит представлен обломками неправильной формы, окраска которых изменяется от бесцветной до темно-фиолетовой, почти черной. Фиолетовые разновидности часто зонально окрашены. Светло-фиолетовые флюориты пятнисты. В электромагнитной фракции больше фиолетового флюорита, чем в неэлектромагнитной, что, по-видимому, свидетельствует о большей

электромагнитности его по сравнению со светло-окрашенными и бесцветными разностями. Светлые разности прозрачные, темные непрозрачные, просвечивают фиолетовым цветом. Показатель преломления минерала 1,439. Во флюорите часто много всевозможных включений и сростков с другими минералами. Иногда в темноокрашенном флюорите наблюдается мельчайшая вкрапленность ферриторита.

Характерными элементами-примесями флюоритов, по данным спектральных анализов, являются Be, Y, Zr, Cu, Mn, Ti. В флюоритах из щелочных пород отмечены также La, Th, Nb, Sn, Mo, Bi, Ag, Pb, Zn, As.

Циртолит характерен главным образом для щелочных сиенитов. Особенно его много в грейзенизированных сиенитах. В виде единичных знаков он отмечен в породах каледонского возраста, розовых гранитах и диабазовых порфиридах. Обычно циртолит представлен бипирамидальными кристаллами, нередко со слабо развитыми гранями тетрагональной призмы с квадратным поперечным сечением. Соотношение длины кристалла к поперечному сечению 1:1. Размеры 0,1—0,3, реже 0,5 мм. Под микроскопом циртолиты характеризуются значительно более низким, чем у цирконов, двупреломлением (до почти изотропных). Изотропность его, очевидно, связана с переходом в метамиктное состояние, что обусловлено высоким содержанием радиоактивных элементов. Рентгеноспектральным анализом в циртолите обнаружены следующие элементы (в %): Zr, б.к. Y 5—10, Hf 0,5—2, U 0,1—2, Th 2—3, Nb 0,5, Ga, Dy 0,1, Pb, Ho, Yb, Lu 0,05. Кроме того, спектральным анализом отмечены P, Mn, Ti, Cu, Be, Sn, иногда As и в одном образце Ga и Ge.

Малакон встречен лишь в сиенитах, подвергшихся сильному постмагматическим изменениям, особенно процессу грейзенизации.

Эвдиалит встречается лишь в дайках бескварцевых щелочных сиенитов. Содержание его резко увеличивается в альбитизированных разностях (см. рис. 2), в которых он наблюдается даже макроскопически в виде мелких (0,5—1 мм) более или менее изометричных зерен розового цвета. Часто кристаллы эвдиалита имеют зональное строение (см. рис. 3), обусловленное чередованием тонких зон с различным двупреломлением. Физические и оптические свойства этого минерала, а также результаты его рентгеноструктурного изучения детально описаны в нашей статье (П. С. Козлова). Иногда замещается катаплеитом и землистым цирфеситом ($N = 1,620$).

Рентгеноспектральным анализом в эвдиалите обнаружены следующие элементы (в %): Y 0,5—3, Hf 0,05, U 0,05—0,15, Th 0—0,1, La 0,1—0,2; Ce 0,3—0,5, Nd 0,05—0,2, Dy 0,6, Ho 0,1—0,2, Er, Yb 0,1, Lu 0,07—0,08.

Спектральным анализом дополнительно установлены Be, Pb, Sn, Cu, Ba, W, Mo и Ga.

Сфен характерен для пород каледонского возраста и в виде единичных знаков отмечен в розовых гранитах и щелочных сиенитах. Спектральным анализом в сфене установлены Be, Sc, P, Mn, Pb, Sn, Nb, V, Cu, Zr, Y, La, реже Ga, Mo. Иногда сфен замещается землистыми агрегатами буровато-желтого лейкоксена с матовым или жирным блеском.

Ураноторит характерен главным образом для щелочных сиенитов и розовых гранитов. В виде единичных знаков он отмечен в биотитовых гранитах и сопровождающих их аплитах. Обычно он встречается в виде неправильных осколков и единичных кристаллов удлиненнопризматического (тетрагонального) габитуса с бипирамидальным окончанием. Рентгеноспектральный анализ ураноторита показал присутствие в нем следующих элементов (в %): U 5; Y, Zr 0,5—1; Th 15—20; Pb 0,2. Спектральным анализом обнаружены еще Be, Mn, Cu, Zn, Ti, Mg, а в ураноторите из щелочных сиенитов также La, Ce, Nb, Sn, Bi, Mo, Cd, Ba, Sc и As.

Торит встречается только в щелочных сиенитах в виде единичных обломков неправильной формы. Образует включения в флюорите или полево-м шпате.

Ферриторит характерен только для щелочных пород, где встречается в виде единичных знаков. Особенно значительные количества ферриторита наблюдаются в сиенитах, подвергшихся процессам грейзенизации. Он образует мелкие включения в темном флюорите или самостоятельные более крупные выделения неправильной формы.

Микроскопические исследования показали, что акцессорные минералы кристаллизовались на всем протяжении процесса формирования пород. Часть из них (циркон, апатит и магнетит) образовалась до выделения породообразующих минералов. Они заключены в полевых шпатах и кварце в виде идиоморфных кристаллов. Большинство же акцессорных минералов приурочено к поздним выделениям темноцветных минералов (биотит, роговая обманка и пироксен) и образовались, по-видимому, в позднемагматическую стадию формирования пород. В кварцевых диоритах и гранитах акцессорные минералы ассоциируют с биотитом, который включает мелкие зерна акцессорий и нередко имеет как бы сетчатое строение. Позднее выделение акцессорных минералов особенно наглядно видно в щелочных породах, где акцессорные минералы и кварц заполняют промежутки между зернами микроклина и эгирин-авгита. Концентрация редких акцессорных минералов отмечается в участках интенсивного постмагматического изменения щелочных пород, где наблюдаются сгустки или скопления зерен циртолита, эвдиалита (см. рис. 2, 3), флюорита, касситерита, ферриторита и других минералов.

ВЫВОДЫ

1. В искусственных шлихах интрузивных пород района обнаружено более 40 акцессорных минералов. Наиболее интересны в генетическом отношении циркон, апатит, магнетит, циртолит, ураноторит, торит, ферриторит, эвдиалит, флюорит и др.

2. Количество акцессорных минералов в различных типах пород неодинаково. Породы массивов более обогащены акцессорными минералами, чем жильные, исключая аплитовые отщепления, в которых происходит накопление акцессорных минералов по сравнению с материнскими интрузивами.

3. Отдельные типы пород отличаются в основном не разнообразием акцессорных минералов, а их количественным соотношением (см. фиг. 1). Так, апатит и магнетит сконцентрированы главным образом в породах основного состава (габбро, лампрофиры, диоритовые и диабазовые порфири-ты и щелочные габброиды). В породах, отличающихся более кислым составом, содержание апатита и магнетита уменьшается до единичных знаков, а содержание циркона возрастает. Причем в них появляются единичные зерна редких минералов (ортит, ураноторит, циртолит и др.). Увеличение количества этих минералов отмечается в розовых гранитах, завершающих развитие каледонского тектономагматического цикла, и особенно в щелочных породах варисского возраста. Очень интересен обнаруженный нами комплекс сложных цирконосиликатов из группы эвдиалита, приуроченный только к дайкам бескварцевых щелочных сиенитов. Концентрация редких акцессорных минералов связана также с процессами постмагматического изменения щелочных пород (грейзенизация и альбитизация).

4. Для щелочных сиенитов устанавливается четкая зависимость состава и содержания акцессорных минералов от состава и генезиса пород, что позволяет использовать их в отдельных случаях в качестве дополнитель-

ного критерия при установлении генезиса пород. Породы метасоматического происхождения, образовавшиеся по известнякам, почти не содержат акцессорных минералов.

5. Акцессорные минералы щелочных пород варисского возраста характеризуются более сложным химическим составом, чем аналогичные минералы из пород каледонского и альпийского возраста. В них присутствуют такие редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы, как Zr, Nb, Hf, Sn, Mo, U, Th, Y, Ir и др.



И. Х. ХАМРАБАЕВ, К. УРУНБАЕВ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТОИДНЫХ ИНТРУЗИВОВ ЗАПАДНОГО УЗБЕКИСТАНА, ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЧАТКАЛО-КУРАМИНСКИХ ГОР И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В НИХ НЕКОТОРЫХ АКЦЕССОРИЕВ И МАЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В данной статье обобщены результаты детальных петролого-геохимических исследований, проведенных в Западном Узбекистане и в центральной части Чаткало-Кураминских гор. Некоторые обобщения по постмагматическим формациям этих районов были сделаны нами ранее.

Гранитоидные интрузивы Западного Узбекистана сформировались в верхнем карбоне в результате четырехфазного проявления интрузивной деятельности: 1) диориты и кварцевые диориты, 2) биотитовые порфировидные гранодиориты, 3) биотитовые мусковитизированные граниты и 4) аляскиты и лейкократовые граниты.

В центральной части Чаткало-Кураминских гор выделяются три этапа магматической деятельности: добатолитовый (до S_1 включительно), батолитовый (S_2 и S_3) и послепатолитовый, или малых порфировых интрузий и даек ($P_1 - P_2$ и T_1). Рассматриваемые гранитоиды относятся к поздним фазам батолитового этапа, а некоторые, возможно, даже к послепатолитовому.

Особенности формирования и детальное петрографическое описание гранитоидов опубликованы рядом исследователей (Х. М. Абдуллаев и др., И. Х. Хамрабаев).

Известно (Д. С. Коржинский, А. А. Маракушев), что железистость (обогащение железом и магнием), известковистость, щелочность и кислотность в основном определяют относительную насыщенность системы теми или иными компонентами и, следовательно, петрохимический тип магмы (кислый, основной, щелочной и др.).

Железистость обычно выражается отношением закисного железа к суммарному содержанию железа и магнии. Степень насыщенности расплава железом определяется содержанием кремнезема и щелочей, а также наличием в системе летучих компонентов. Так, в кислых и щелочных породах она характеризуется содержанием железа 4,5%, а в основных 15—20%. В этих условиях в составе первых образуются рибекит и эгирин, а во вторых — железистый биотит, магнетит и ильменит. Если в системе находятся тантало-ниобаты и титан, то они образуют колумбит, ильменорутит или сфен. Относительная насыщенность железом основных пород приводит к обильному образованию магнетита и ильменита (А. А. Маракушев). Сказанное хорошо подтверждается на примере диабазовых даек

(Мальгузаерские горы), где наблюдается относительно высокое содержание титана и изредка железа и соответственно выделение титаномагнетита и редко ильменита.

В породах ранних фаз (диориты, гранодиориты) титан совместно с железом и кальцием образует самостоятельные минералы ильменит и сфен. При этом сфен развит в интрузивах, размещенных среди известняков и насыщенных известью, — гранитоиды Актау (П. Азимов), Нуратау и Чаткало-Кураминских гор, а ильменит — преимущественно в Кошрабайских и Устукских интрузивах, прорывающих песчано-сланцевые толщи.

Известковистость выражается повышенным содержанием извести в составе пород, где величина $c > 4$ (по А. Н. Заварицкому).

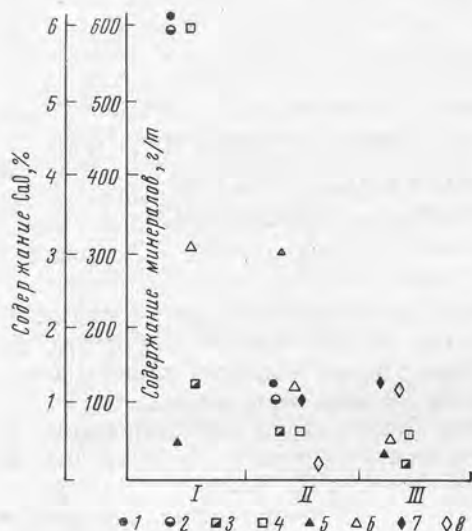


Рис. 1. График парагенезиса акцессорных минералов и их среднее количественное соотношение в зависимости от содержания извести в породах Актауского интрузива. Среднее количественное содержание минералов определено: для диоритов (I) из 15 проб, для биотитовых гранитов (II) из 50 проб, для лейкократовых гранитов (аляскитов) и пегматитов (III) из 15 проб

1 — магнетит; 2 — ильменит; 3 — ортит; 4 — сфен; 5 — циркон; 6 — апатит; 7 — монацит-ксенотим; 8 — тантало-ниобаты

Высокая известковистость является фактором, связывающим редкие земли и титан с известью и рассеивающим ниобий и тантал в составе сфена и биотита. Поэтому породы повышенной основности (диориты и гранодиориты), а также кислые (граниты), находящиеся вблизи контакта с карбонатными породами, неблагоприятны для образования тантало-ниобиевых аксессуариев и, возможно, монацита и ксенотима. Это хорошо подтверждается материалами по Чаткало-Кураминским горам и Актаускому массиву (рис. 1).

Щелочность (имеется в виду насыщенность магматической формации калием, натрием или их суммой, по А. И. Гинзбургу, С. А. Горжевскому и др.) обуславливает появление в сиенитовых и нефелино-сиенитовых пегматитах, в альбитизированных и рибекитовых гранитах пирохлора, микроклина и др. Кроме того, концентрация и количественные соотношения редкоземельных элементов в магматических породах в зависимости от содержания щелочей различны. Так, в нефелиновых сиенитах, содержащих большое количество калия и натрия, соотношение цериевой группы обычно следующее: $Ce > La > Nd > Pr$ (В. И. Герасимовский).

По содержанию щелочей интрузивы изучаемых районов особенно не отличаются от типичных гранитоидов других регионов.

Мы имели возможность заметить, что состав вмещающих пород, богатых известью, накладывает отпечаток на парагенетические особенности как главных породообразующих, так и акцессорных минералов. Исходя из этого, нам представляется возможным высказать некоторые соображе-

ния о парагенезисах минералов, хотя этот вопрос, особенно по аксессуарным минералам, очень сложен и находится еще в стадии изучения.

1. Для систем, богатых известью и одновременно титаном и кремнеземом (что является характерной чертой химизма гранитоидов, контаминированных карбонатным материалом), наиболее характерен парагенезис: ниобиевый и иттрийсодержащий сфен, апатит, магнетит (или ильменит) и ортит.

2. Для систем, недосыщенных известью, но при достаточной валовой концентрации железа, ниобия и редких элементов, будет наиболее вероятным парагенезис: ильменит, ильменорутит, фергусонит, эвксенит (?), дюнит, блонстрандин, монацит (или ксенотим). В условиях, близких к этим, но при пересыщении кремнеземом и наличии достаточных концентраций иттрия и скандия, возможен парагенезис: ниобиевый рутит, итриалит, таленит, тортейтит.

3. Для систем, недосыщенных известью и глиноземом, но с достаточным содержанием железа (+ MnO) будет вероятным парагенезис: самарскит (?), ильменорутит, иттротанталит, колумбит (танталит), моосит-тапиолит.

Авторами изучались аксессуарные минералы Актауского, Каратюбинского, Зирабулакского и Синтабского интрузивов Западного Узбекистана и Кошмансайского, Саргардонского, Чепташского, Чимганского массивов в Чаткало-Кураминских горах. Одновременно с этим в пределах указанных гранитоидов проводились работы по изучению распределения в них малых элементов. Такие комплексные исследования, по мнению авторов, должны привести к установлению геохимического фона массивов по отдельным элементам и их группам в целом. В конечном счете в совокупности с результатами других геолого-петрологических исследований это будет способствовать установлению петролого-геохимических критериев рудоносности магматических комплексов.

В интрузивах Чаткало-Кураминских гор установлены следующие акцессории: апатит, сфен, ортит, циркон (наэгит), ксенотим, монацит, рутит, гранат, шеелит, анатаз, флюорит, магнетит, ильменит, пирит и галенит, а в гранитоидах Западного Узбекистана, кроме того, берилл, графит, молибденит, турмалин, андалузит, силлиманит, ильменорутит (ниобиевый рутит), минералы из серии блонстрандина-приорита и колумбит (рис. 2, 3).

В интрузивах Чаткало-Кураминских гор концентрация апатита увеличивается с приближением к контакту (с известняками). Эта закономерность отмечалась и другими исследователями (А. Каххаров, К. В. Урунбаев).

Перечисленные акцессории изучались в шлифах и шлихах из протолок, отбор и обработка которых проводились по методу, описанному ранее (П. Азимов и др.). Характеристика минералов, обнаруженных в породах Западного Узбекистана, была дана нами ранее.

Рассмотрим акцессорные минералы.

Апатиты в неизмененных интрузивах по внешнему виду почти не различаются. Показатели преломления апатитов из гранитоидов Западного Узбекистана: N_g 1,638—1,646 и N_p 1,133—1,640, а апатитов Чаткало-Кураминских гор: N_g 1,632—1,637 и N_p 1,628—1,630. Это соответствует константам фторапатита.

Содержание апатита в породах Западного Узбекистана несколько ниже, чем в породах центральной части Чаткало-Кураминских гор и постепенно убывает от пород более основного состава к кислым. В апатитах обнаружены: Pb (0,001%), Ti (0,001%), Co (следы), Mn (1—2%), Mo (0,01%) и U (0,1%). При этом последние два элемента особенно характерны для апатитов пород Западного Узбекистана.

Сфен является наиболее распространенным минералом в интрузивах центральной части Чаткало-Кураминских гор и гранитоидов Кара-Тюбе

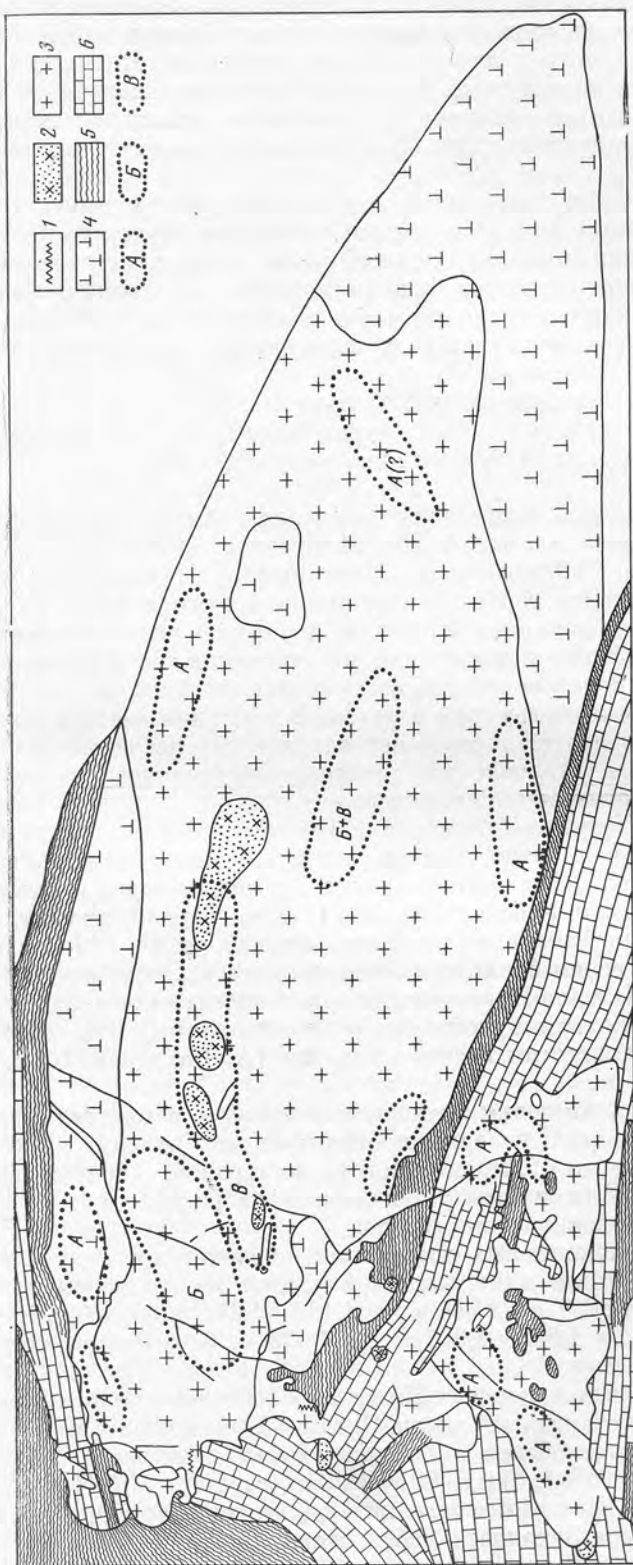


Рис. 2. Схема распространения акцессорных минералов в западной части Актауского интрузива (Южный Нуратау, Западный Узбекистан)
 1 — перматиты; 2 — лейкократовые граниты; 3 — биотитовые граниты; 4 — кварцевые диориты; 5 — сланцы; 6 — известняки. Площади максимальных концентраций: А — ортита, сфена, апатита; В — монацита и ксенотима; В+В — тантало-ниобатов

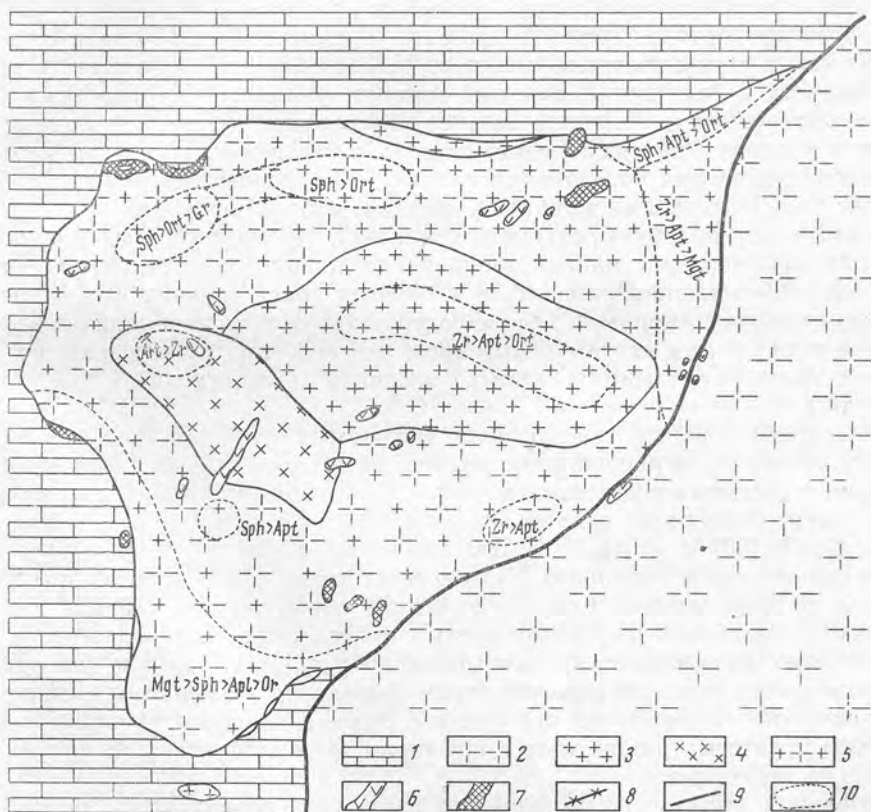
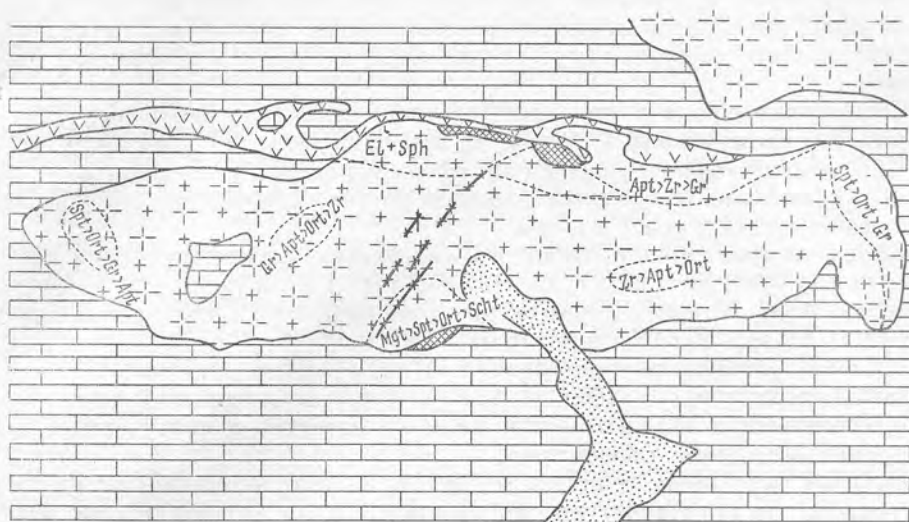


Рис. 3. Схема распределения акцессорных минералов в пределах Саргардонского (а) и Чепташского (б) массивов (геологические данные по В. И. Ободову, И. А. Айзенштату, Г. Б. Ежкову, В. В. Козыреву и др.)

1 — известняки S_1 (слабо мраморизованные); 2 — гранодиориты Чаткало-Ангренского батолита; 3 — среднезернистые биотит-амфиболовые граниты; 4 — микрограниты; 5 — гранит-порфиры; 6 — дайки кислых и основных пород; 7 — скарновородные тела; 8 — кварцевые жилы; 9 — разломы; 10 — зоны распространений акцессорных минералов

и Зирабулаке. В отдельных гранитоидах Западного Узбекистана (Актауский и др.) установлен также постмагматический сфен, образование которого чаще всего связано с мусковитизацией и реже хлоритизацией биотитов.

Содержание сфена в породах Каратюбинского массива выше, чем в диоритах и гранодиоритах Актау. В породах Чаткало-Кураминских гор его еще меньше. Общее содержание сфена в породах уменьшается от основных к кислым. В пределах каждого массива количество его убывает от краевых частей к центральным.

Сфены из гранитоидов Западного Узбекистана характеризуются наличием Zr (до 1%), Sn (0,1%), La (0,1%), Y (0,1%) и Ce (0,1%), а сфены из гранитоидов Чаткало-Кураминских гор, кроме двух последних, содержат Th (0,1%), V (0,01%) и Nb (0,01—0,1%).

Ортит — широко распространенный акцессорный минерал. Наиболее высокое содержание его зафиксировано в интрузивах западной части Чаткало-Кураминских гор, в том или ином количестве он присутствует и в интрузивах Западного Узбекистана.

Ортит в описанных гранитах является, видимо, позднемагматическим минералом, так как образует самостоятельные выделения вблизи более ранних кальциевых минералов (апатит, сфен). Кроме того, встречаются сростания ортита с плагиоклазом, сфеном и апатитом.

Парагенезис ортита, сфена и апатита в гранитоидах Чаткало-Кураминских гор, а в гранитоидах Западного Узбекистана еще и монацита, отчасти анатаза в окружении полевых шпатов, указывает на вероятность образования ортита и монацита за счет разложения апатита и полевых шпатов в условиях наличия редких земель в растворах. При этом кальций, необходимый для образования ортита, и фосфорный ангидрид, необходимый для образования монацита, видимо, извлекаются при растворении апатита, сфена (преобразуемого в анатаз). Кроме того, CaO привносится при ассимиляции магмой вмещающих пород (известняки). Ортит имеет тенденцию концентрироваться в породах более древних фаз варисских гранитоидных интрузий. Общее содержание ортита увеличивается от центра к апикальным частям интрузивов, что особенно ярко выражено в пределах более контаминированных массивов (Чимганский, Чепташский и др.).

Акцессорные ортиты гранитоидов изучаемых районов большей частью представлены цериевой разновидностью с очень малым содержанием иттрия и обычным содержанием тория. При этом они характеризуются содержанием следующих редких земель (в %): Ce до 1,1, La 1 и более, Nd 0,5, Gd₂O₃ 0,07 и Eu₂O₃ 0,07. Два последних элемента установлены в ортитах гранитоидов Западного Узбекистана, тогда как в ортитах интрузий Чаткало-Кураминских гор (Чимганский) обнаружен Sm (0,4).

Циркон — наиболее распространенный акцессорный минерал, присутствует во всех разновидностях изученных интрузивных пород и повсеместно представлен главным образом двумя формами: 1) мелкими бесцветно-прозрачными вытянутыми призмами с пирамидальными окончаниями и 2) более крупными розоватыми и красными дитетрагональными призмами, реже дипирамидами.

Наибольшее количество циркона наблюдается в гранитоидах Северного Нурата, особенно в Койташском интрузиве (Западный Узбекистан) и Кошмансайском, Чепташском массивах центральной части Чаткало-Кураминских гор. Его содержание возрастает от краевых к центральным и более глубинным частям интрузивов.

В цирконах гранитоидов Кара-Тюбе и Зирабулак обнаружены Hf (0,1%), Th (0,2%), U (0,2%), Y (0,5%), La (0,1%), Ce (0,3%), Nd (0,2%) и Cd (0,05%), а в цирконах Чаткало-Кураминских гор La (0,1%), Ce (0,3%), Be (0,001%) и W (0,01%).

В приконтактовой части Кошмансайского массива установлена своеобразная разновидность циркона — *назгит*, который в шлифах почти не отличается от типичных цирконов. Однако в шлифах встречаются идеальные формы — тетрагональной призмы. Удельный вес 4,57, твердость около 7.

Неполный рентгеноспектральный анализ показал присутствие в нем следующих примесей (рентгеноспектральная лаборатория Главгеологии Узбекской ССР, аналитик И. П. Тибукян): Hf (0,3%), Th (1,2%), Nd (0,6%), La (0,1%), Ce (0,3%).

Монацит и ксенотим установлены только в гранитоидах Западного Узбекистана. Что касается Чаткало-Кураминских гор, то там обнаружены лишь единичные зерна этого минерала в Саргардонском и Кошмансайском массивах. Химический состав монацитов из аляскистов Северного Нуратау (по С. Т. Бадалову): TR 65,9, P₂O₅ 28,82, Th 4,80, VO₂ 0,05%; Σ 99,57. Неполным рентгеноспектральным анализом в составе монацита из пегматитов участка Джайляу (Актауский интрузив) обнаружены (данные П. Азимова): Ce (10,0%), La (6,0%), Pr (0,4%), Nd (4,0%), Sm (1,0%) и Y (4,0%).

Ксенотим встречается совместно с монацитом. Спектральным анализом в ксенотиме, кроме иттрия и фосфора, обнаружены Si, Ca (>1%) и в пределах от десятых до сотых, нередко и до тысячных долей процента — Fe, Mg, Pb, Zn, Zr и др.

Рутил в гранитоидах встречается спорадически в Чепташском, Саргардонском массивах и в Северном Нуратау. В основном этот минерал послемагматический, связанный с замещением титансодержащего биотита. В пегматитах и лейкократовых гранитах Актауского массива установлена пюбиевая разновидность рутила. Она встречается в виде таблитчатых кристаллов и развивается главным образом по альбиту в тесной ассоциации с блострандином. Размер кристаллов до 1,5 см. В нем химическим анализом установлены: Nb₂O₃ (24,02%), Ta₂O₅ (3,0%), TiO₂ (57,6%), Σ TR₂O₃ + Y (1,44%).

Гранат — широко распространенный минерал. Наиболее развит в интрузивах Чаткало-Кураминских гор. В гранитоидах Западного Узбекистана в значительных количествах он отмечается иногда в мусковитизированных гранитах и пегматитах. В гранитоидах Чаткало-Кураминских гор по мере приближения к контакту с известняками отчетливо наблюдается увеличение содержания граната. Спектральными анализами в составе гранатов обнаружено небольшое количество Zr, Nb, V, As и Ti (X. М. Абдуллаев, И. Х. Хамрабаев).

Шеелит в породах Чаткало-Кураминских гор установлен в Саргардонском и Чепташском массивах. Спектральными анализами в составе шеелитов из гранит-порфиров Саргардона обнаружены Mo, Sn и Pb.

Апатит встречается в большей части гранитоидов Чаткало-Кураминских гор, но в небольших количествах. Он замещается иллитом и сфеном. Минерал в основном послемагматический и связан с серицитизацией и хлоритизацией гранитов.

Флюорит — наиболее распространенный минерал пород Чаткало-Кураминских гор. Минерал явно послемагматический. В значительном количестве и чаще развит в приконтактовой части интрузивов. Спектральными анализами в составе флюоритов обнаружены Sr, Zr, Y и Yb.

Магнетит чрезвычайно слабо распространен в интрузивах Западного Узбекистана. Значительно шире он развит в породах Чаткало-Кураминских гор. Чаще всего сосредоточен вблизи темноцветных минералов. Встречается в виде октаэдрических кристаллов и неправильных зерен, форма которых подчинена очертаниям других минералов. Распространено сростание магнетита с биотитом, сфеном и апатитом, причем последний встречается в виде включений в магнетите. В составе магнетита отмечаются Ti, V, Sn, реже Y и Sr.

ВЫВОДЫ

1. Одним из главных факторов парагенезиса аксессуарных минералов в гранитоидах являются вещественный состав и петрохимическая характеристика пород, которые определяются составом исходной магмы, характером процессов дифференциации, составом вмещающих пород и масштабом процессов их ассимиляции.

2. Для систем, богатых известью, одновременно титаном и кремнеземом, наиболее характерен парагенезис: сфен (ниобиевый и иттрийсодержащий), апатит, магнетит (или ильменит) и ортит. Породы, образующиеся из таких систем (диориты, гранодиориты, эндоконтактные фации гранитов), не содержат самостоятельных минералов ниобия, тантала и ряда редкоземельных; последние рассеиваются в сфенах, апатитах и темноцветных минералах. Для систем, не насыщенных известью, характерен парагенезис: ильменит, ильменорутит, фергусонит, эвксенит (?), этинит, блонстрандин, монацит (или ксенотим). Если эта система пересыщена кремнеземом и содержит достаточное количество иттрия и скандия, то возможен парагенезис: ниобиевый рутит, иттриалит, таленит и тортвейтит.

Парагенезис: самарскит (?), ильменорутит, иттротанталит, колумбит (танталит), мооссит-тапиолит — характерен для систем, не насыщенных известью и глиноземом, но с достаточным содержанием железа и (+MnO).

3. В гранитоидах центральной части Чаткало-Кураминских гор широко распространены апатит, циркон, сфен, ортит, а в интрузивах Западного Узбекистана, кроме отмеченных аксессуарных, монацит, ксенотим, ильменорутит и минералы из серии блонстрандин-приорита.

Флюорит и магнетит являются типичными аксессуариями пород первого региона. В тамдынских гранитоидах характерно развитие флюорита и галенита.

Наибольшее содержание аксессуарных апатита, сфена и ортита наблюдается в более ранних и основных породах, а также в приконтактных частях кислых интрузивов, тогда как максимальная концентрация аксессуарных циркона, монацита и отчасти ксенотима наблюдается в центральных и более эродированных частях интрузива.

4. Результаты исследования малых элементов (И. Х. Хамрабаев) в породах Актауского, Акчопского, Тамдынского массивов Западного Узбекистана и Саргардонского, Чепташского, Чимганского, Кошмансайского — центральной части Чаткало-Кураминских гор позволяют установить их кларковые содержания (таблица).

Таблица. Кларковые содержания элементов в гранитоидах (в вес. %)

Элемент	Массив						
	Актауский	Акчопский	Тамдынский	Саргардонский	Чепташский	Чимганский	Кошмансайский
Молибден . . .	$6 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	Не опр.	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	Не опр.
Вольфрам . . .	$14 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	То же	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	—
Ниобий . . .	$3 \cdot 10^{-4}$	Не опр.	»	$1,2 \cdot 10^{-4}$	—	Не опр.	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Тантал . . .	$3 \cdot 10^{-4}$	То же	»	$1,1 \cdot 10^{-4}$	—	То же	—
Германий . . .	$3 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	—	$2,8 \cdot 10^{-4}$	»	$4,5 \cdot 10^{-4}$
Галлий . . .	Не опр.	$4 \cdot 10^{-4}$	Не опр.	—	$2,8 \cdot 10^{-4}$	»	—
Свинец . . .	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Цинк . . .	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	Не опр.	—
Медь . . .	$2,7 \cdot 10^{-3}$	—	$7 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	—	—	—

Эти данные намного превышают кларковые содержания отмеченных элементов в кислых породах по А. П. Виноградову.

5. Из главных породообразующих минералов полевые шпаты являются основными носителями акцессорных Mo, W и частично La, Ce, а биотиты — Nb и Ta.



И. Л. КОМОВ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ В ГРАНИТОИДАХ ЧИРИМБИНСКОГО И ГУРАХТИНСКОГО МАССИВОВ В ЕНИСЕЙСКОМ КРЯЖЕ

Среди магматических пород центральной части Енисейского кряжа преобладают гранитоиды, меньшую роль играют основные породы. Граниты прорывают и метаморфизуют как осадочные докембрийские отложения, так и основные породы. Кислые породы, слагающие Чиримбинский и Гурахтинский массивы, представлены мелкозернистыми, среднезернистыми, порфиroidными гранитами, гнейсо-гранитами и диоритами. С гранитными интрузиями связаны золотосные кварцевые жилы и пегматиты. Возраст массивов синийский.

До сих пор по поводу возрастных взаимоотношений гнейсо-гранитов и гранитов Чиримбинского массива существуют многочисленные и противоречивые взгляды. Одни исследователи считают, что гнейсо-граниты древнее гранитов. Другие доказывают, что эти породы разновозрастны.

Для подтверждения единства возраста гнейсо-гранитов и гранитов нами был изучен состав акцессорных минералов в описываемых петрографических разностях. Вес отобранных проб составлял 40 кг. Результаты минералогического анализа искусственных шлифов приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, граниты и гнейсо-граниты характеризуются довольно постоянным и однотипным составом акцессорных минералов, причем одни и те же минералы в обеих породах имеют постоянные габитус, цвет и другие свойства. Это особенно относится к циркону, апатиту и турмалину. Единственное отличие гранитов от гнейсо-гранитов заключается в том, что в гранитах присутствуют анатаз и сфен, но отсутствует ильменит. Геохимические факторы также свидетельствуют об разновозрастности гранитов и гнейсо-гранитов.

Данные большого числа количественных спектральных анализов штучных проб описываемых разновидностей показывают, что как гнейсо-граниты, так и граниты характеризуются близкой частотой встречаемости определенных содержаний ряда химических элементов: молибдена, свинца, меди и цинка. Лучшими индикаторами геохимических связей является наличие в них однотипных редких акцессорных элементов: бария, бора, ниобия, иттрия, циркония, ванадия. Судя по всей совокупности указанных элементов, мы можем предположить геохимическое родство между этими породами и их разновозрастность.

Автором изучались также акцессорные минералы в Гурахтинском гранитном массиве, расположенном в центральной части Енисейского кряжа в верховьях рек Еруды и Гурахты. Массив занимает площадь около 120 км². Он сложен крупно- и мелкозернистыми гранитами, гнейсо-гранитами и диоритами. Мелкозернистые граниты выполняют трещины отдельности в крупнозернистых нередко порфиroidных гранитах, образуя жилы мощностью 30—40 см.

Таблица 1. Акцессорные минералы гранитов и гнейсо-гранитов

Гранит	Гнейсо-гранит
Магнитная фракция	
<p>Вес фракции 0,65 г</p> <p>1. Магнетит в виде единичных зерен неправильной формы</p>	<p>Вес фракции 0,72 г</p> <p>1. Магнетит в виде единичных угловатых, иногда лимонитизированных зерен</p>
Электромагнитная фракция	
<p>Вес фракции 3,05 г</p> <p>1. Монацит в виде кристаллов призматической, реже неправильной формы буровато-желтого цвета. Единичные зерна</p> <p>2. Турмалин зеленовато-бурый, встречается в виде кристаллов призматической формы. 8—10% фракции</p> <p>3. Гранат розовый, в виде обломков, реже в виде гравильных ромбододекаэдров. До 10% фракции</p> <p>4. Ильменита нет</p>	<p>Вес фракции 0,82 г</p> <p>1. Монацит в виде зерен неправильной формы, а также призматических кристаллов с плохо сохранившимися гранями желтоватого цвета. Единичные зерна</p> <p>2. Турмалин зеленый в виде кристаллов призматической формы, реже в виде мелких зерен. До 50% фракции</p> <p>3. Гранат бледно-розовый в виде кристаллов ромбододекаэдрической формы. 20% фракции</p> <p>4. Ильменит в виде серых неправильной формы единичных зерен</p>
Неэлектромагнитная фракция	
<p>Вес фракции 0,95 г</p> <p>1. Циркон в виде тонких призматических светло-бурых кристаллов размером 0,1—0,5 мм. 2% фракции</p> <p>2. Апатит в виде мелких белых зерен, иногда в виде идиоморфно-призматических кристаллов. 30% фракции</p> <p>3. Пирит в виде кубических кристаллов. Единичные зерна</p> <p>4. Абазаз, сфен</p>	<p>Вес фракции 0,800 г</p> <p>1. Циркон бурый и бесцветный в виде тонких призмочек, реже обломков длиной 0,3 мм. 2—3% фракции</p> <p>2. Апатит в виде белых неправильной формы зерен. 30% фракции.</p> <p>3. Тирит. Единичные зерна</p> <p>4. Золото. Одна мелкая чешуйка</p>

Для изучения состава акцессорных минералов и закономерностей их распределения в описываемых разностях были отобраны пробы наименее измененных пород весом 10 кг. Концентрация акцессорных минералов осуществлялась путем промывки породы, дробленной до 0,2 мм, с последующей магнитной сепарацией и разделением в тяжелых жидкостях. Кроме того, для изучения акцессорных минералов использовался элювий гранитов. Количественный состав минералов определялся визуальным подсчетом.

В гранитоидах Бурахтинского массива встречаются следующие акцессорные минералы: циркон, монацит, турмалин, гранат, ильменит, лейкоксен, сфен, барит, рутил, апатит, галенит, фергусонит (ед. знаки) и ксенотим (табл. 2).

Изучение акцессорных минералов в гранитоидах Гурахтинского массива позволило сделать следующие выводы.

1. Парагенетические ассоциации акцессорных минералов в рассматриваемых гранитах в общем сходны. Но в отдельных петрографических разновидностях наблюдаются только им присущие некоторые акцессорные минералы. Так, в крупнозернистых гранитах, сформировавшихся в первую фазу, присутствуют циркон, монацит, лейкоксен, гранат, ксенотим, фергусонит, магнетит, ильменит, рутил и турмалин.

Для мелкозернистых гранитов характерны циркон, монацит, гранат, магнетит, ильменит, барит (удельный вес 4,21), галенит, молибденит (удельный вес 3,5), сфен, рутил и турмалин.

2. Во всех гранитоидах постоянно распространены только девять акцессорных минералов: ильменит, магнетит, циркон, монацит, турмалин, гранат, лейкоксен, касситерит и шеелит. В гнейсо-гранитах содержится акцессорный бор.

Таблица 2. Среднее содержание акцессорных минералов в гранитоидах Гурехтинского массива (в г/т)

Минерал	Крупнозернистый гранит	Мелкозернистый гранит	Диорит	Гнейсогранит
Циркон	370,0	11,5	2,8	3,5
Ксенотим	Ед. з.	—	—	—
Фергюсоит	Ед. з.	—	—	—
Анализ	11,8	3,5	6,8	9,5
Брукит	3,5	—	—	—
Дистен	3,5	6,9	18,6	21,9
Монацит	3,1	12,5	—	6,5
Сфен	—	4,5	900,5	30,5
Апатит	—	—	1200,8	50,6
Турмалин	6,5	40,5	—	400,5
Лейкоксен	80,5	—	120,5	—
Барит	—	Ед. з.	—	—
Рутил	—	8,4	12,5	—
Гранат	3,5	12,6	30,6	806,6
Магнетит	5,6	18,5	28,6	30,0
Ильменит	3,7	5,8	30,6	20,6
Галенит	—	3,7	—	—
Пирит	—	5,8	—	21,8
Касситерит	3,5	4,1	12,8	40,5
Шселит	3,0	12,5	—	12,6
Молибденит	—	3,6	—	—
Хромит	—	—	12,6	—
Корунд	—	—	—	3,5
Золото	Ед. з.	—	—	—

3. Акцессорный циркон концентрируется во всех гранитоидах. Он образует две морфологические разновидности. Первая разновидность (хорошо образованные бочонковидные короткопризматические кристаллы) характерна для мелкозернистых гранитов и гнейсо-гранитов, вторая (длиннопризматические кристаллы до 0,8 мм) встречается исключительно в диоритах западной части массива. Максимальная концентрация его (до 400 г/т) характерна для крупнозернистых гранитов. В небольших количествах циркон присутствует в гнейсо-гранитах и диоритах. По данным спектральных анализов гранитоидов цирконий содержится во всех петрографических разновидностях, за исключением диоритов. Повышенные содержания циркония (0,02—0,06%) наблюдаются в крупнозернистых гранитах.

4. Образование кальцийсодержащих акцессорных минералов (сфен, гранат) зависит от степени насыщенности гранитоидов избыточным количеством извести, поступающей при ассимиляции вмещающих пород. Максимальные концентрации этих минералов характерны для гранитоидов краевых частей интрузива.

5. Сопоставляя состав акцессорных минералов из гранитов и гнейсо-гранитов, следует отметить, что ассоциации главных акцессорных минералов в них в общих чертах сходны. Обе разновидности пород характеризуются ильменит-циркон-монацитовым составом магматических акцессорных минералов. Ассоциация контаминационных минералов несколько отлична. Контаминационными минералами более интенсивно насыщены гнейсо-граниты. В них значительно больше граната (он составляет основ-

ную массу электромагнитной фракции) и сфена. В гнейсо-гранитах установлены дистен, корунд и апатит.

6. Необходимо отметить наличие повышенной концентрации касситерита во всех типах гранитов Гурахтинского массива. В мелкозернистых гранитах установлены молибденит и галенит, в крупнозернистых фиксируется золото.

7. В диоритах установлены апатит и хромит — минералы, не характерные для мелко- и крупнозернистых гранитов. Кроме того, в диоритах увеличивается крупность кристаллов циркона. Наряду с бурым касситеритом в них обнаружены черные разности.

8. Выявляются некоторые закономерности в распределении акцессорных минералов внутренних и внешних зон массива. Эндоконтактные разности пород по сравнению с породами центральной части массива содержат больше магнетита, ильменита, сфена и граната. Но в них значительно меньше монацита. Причем монацит в краевых зонах часто желтый, бледно-желтый. В крупнозернистых гранитах преобладают красные тона окраски монацитов.

9. Гурахтинский массив сформировался в два этапа интрузивной деятельности. В ходе эволюции магматизма в пределах данного комплекса происходило обеднение мелкозернистых гранитов акцессорными редкоземельными минералами (фергусонит, ксенотим) и обогащение такими минералами, как галенит и барит. Состав и свойства других акцессорных минералов обеих разновидностей гранитоидов однотипны. Близкий химический и количественно-минералогический состав гранитоидов обеих интрузивных фаз свидетельствует о том, что состав магматического очага сравнительно мало изменился со времени внедрения магмы крупнозернистых гранитов.

Изучение акцессорных минералов свидетельствует о генетическом родстве мелко- и среднезернистых гранитов, связанных с единым магматическим очагом, близком, но не одновременном процессе их образования.

Полученные результаты говорят о возможности применения метода сопоставления содержания акцессорных минералов в гранитоидах для их возрастной корреляции. Минералого-геохимический метод позволяет выявить не только родственные черты интрузивных пород, но и наметить фазовость развития.

■
А. Л. ПЛЕШАНОВА, А. П. ГЛАДКИХ

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРАНИТОИДОВ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Палеозойский и мезозойский магматизм Западного Забайкалья, петрография гранитоидов этого возраста освещались в литературе неоднократно (Ю. В. Комаров, Н. П. Михно). Однако до сих пор не производилось сколько-нибудь подробного описания акцессорных минералов этих пород. Нами изучались акцессорные минералы в различных гранитоидах палеозойского и мезозойского возраста юго-западных отрогов Хамар-Дабана и бассейна нижнего течения р. Джиды.

В методике опробования гранитоидов и обработки проб мы в основном следовали схеме, разработанной лабораторией акцессорных минералов ИМГРЭ (В. В. Ляхович). Пробы брались с площади 300—400 м² общим

весом 1 кг. При этом стремились охватить опробованием и центральные части массивов, и их приконтактовые зоны.

Дробление проводилось механическим путем до $-0,5$ мм, затем — отмучивание. Из-за отсутствия необходимого оборудования мы вынуждены были отступить от принятой схемы: сразу же в бромформе разделили пробы на легкую и тяжелую фракции, исключив промывку проб до серого шликера. В связи с этим нам пришлось изменить поправочный коэффициент на потери акцессорных минералов при обработке проб. Принимая потери акцессорных минералов при отмучивании за 40%, а при разделении на фракции в тяжелых жидкостях за 10%, мы получаем сумму потерь при обработке, равную 50%. Отсюда поправочный коэффициент при пересчете содержания акцессорных минералов, полученных при анализе проб, на содержание в породе нами был принят равным 2.

После выделения магнитной фракции пробы разделялись на два класса ($+0,25$ и $-0,25$ мм) и подвергались электромагнитной сепарации, в результате которой выделялось не более трех, а иногда даже одна электромагнитная фракция, так как состав электромагнитных фракций

Таблица 1. Среднее содержание акцессорных минералов в различных массивах палеозойских гранитоидов (в г/т)

Минерал	Хурлинский массив		Утатский массив		Оронгодойский массив
	центральная часть	эндоконтактовая часть	центральная часть	эндоконтактовая часть	
Апатит	43,6	1032,7	118,6	57,6	4187,7
Апатит измененный	—	1486,8	—	—	—
Монацит	49,4	10,2	—	0,1	—
Ксенотим	—	2,2	—	—	—
Циркон	220,0	259,9	25,2	95,9	1724,9
Танталит	1,0	—	—	—	—
Ортит	—	14,0	—	—	—
Эпидот	Ед. з.	160,1	16,9	139,6	—
Гранат	258,8	34,9	3,8	126,8	—
Флюорит	—	2,3	—	0,4	11,1
Турмалин	—	Ед. з.	—	84,7	—
Ставролит	—	4,6	—	—	—
Ильменит	69,9	565,4	0,1	0,3	3,7
Сфен	Ед. з.	443,9	16,1	36,1	8907,5
Лейкоксен	—	Ед. з.	3,3	0,2	—
Рутил	24,6	0,4	87,5	22,5	—
Апатаз	0,3	Ед. з.	Ед. з.	Ед. з.	Ед. з.
Магнетит	7,2	154,5	0,6	37,1	4918,4
Гематит	6,1	—	—	—	14,0
Мартит	—	—	—	—	361,3
Цирит	1,4	52,4	257,1	3,9	41,9
Цирротин	—	—	—	Ед. з.	—
Сфалерит	—	—	—	Ед. з.	—
Лимонит	140,8	156,0	978,2	97,9	1048,7
Галенит	—	Ед. з.	—	—	—
Молибденит	4,8	0,7	—	3,4	Ед. з.
Гюбнерит	—	Ед. з.	—	—	—
Барит	0,1	—	Ед. з.	—	—
Бастнезит	—	—	11,9	—	—
Среднее из проб	5	6	3	7	3

в изученных породах преимущественно ограничивается одним-двумя минералами.

Изучение аксессуарных минералов проводилось под бинокулярной лупой, в иммерсионных препаратах и прозрачных шлифах под микроскопом с применением в отдельных случаях микрохимических, спектральных и рентгенометрических анализов.

Для определения содержания аксессуарных минералов после полного просмотра каждой фракции в них велся подсчет по 500 зернам. В классе +0,25 мм содержание определялось с учетом удельных весов минералов, в классе —0,25 мм удельный вес не учитывался.

Из гранитоидов палеозойского возраста аксессуарные минералы изучались по трем массивам: Хурликскому, Утатскому и Оронгодойскому (табл. 1).

Для гранитоидов палеозойского (?) возраста удалось выявить некоторые особенности состава аксессуарных минералов в каждом из массивов, но эти данные здесь не приведены.

Обобщая данные по закономерностям распределения аксессуарных минералов отметим следующее.

1. Отличительная черта гранитоидов Хурликского массива — повышенные концентрации циркона, граната, ильменита. Эндоконтактовые зоны этих пород характеризуются наличием ксенотима, ортита и ставролита.

2. В Утатском массиве наблюдается повышенное содержание пирита и рутила. Для эндоконтактовых зон характерен турмалин.

3. Особенностью Оронгодойского массива являются высокие концентрации апатита, циркона и сфена.

Во всех массивах содержание апатита увеличивается от центра к периферии. Среди гранитоидов мезозойского возраста бассейна нижнего течения р. Джиды изучались три комплекса: кудунский (I₁), гегетуйский (I₂) и даборский субвулканический (I₃), прорывающие фаунистически охарактеризованные осадочно-вулканогенные образования нижнего триаса — верхней юры. Кудунский комплекс сложен биотитовыми, биотит-роговообманковыми и лейкократовыми сиенитами, граносиенитами.

Таблица 2. Среднее содержание аксессуарных минералов в отдельных комплексах мезозойских гранитоидов (в г/т)

Минерал	Кудунский комплекс		Гегетуйский комплекс		Даборский комплекс
	нормальные гранитоиды	гибридные породы	нормальные гранитоиды	контактовая зона	
Магнетит	7002,3	20930,3	4618,9	385,3	1171,9
Мартит	8803,7	0,5	12021,2	30517,0	32328,0
Лимонит	20,0	225,7	Ед. з.	910,9	24,7
Пирит	1,5	7,5	Ед. з.	—	0,1
Ильменит	Ед. з.	676,5	—	—	—
Сфен	1430,4	909,1	873,3	20,1	0,1
Рутил	Ед. з.	Ед. з.	Ед. з.	4,3	6,6
Анатаз	157,2	Ед. з.	9,8	147,3	—
Лейкоксен	544,0	3,3	1230,5	—	—
Гранат	—	—	—	Ед. з.	—
Эпидот	18,7	596,2	Ед. з.	3,2	3264,3
Флюорит	466,3	1,0	552,8	35,8	Ед. з.
Апатит	597,5	306,0	888,2	16,4	1952,6
Циркон	306,1	160,6	795,2	4868,6	41,3
Молибденит	—	—	—	—	Ед. з.
Галенит	—	—	—	—	Ед. з.
Среднее из проб	6	3	4	2	3

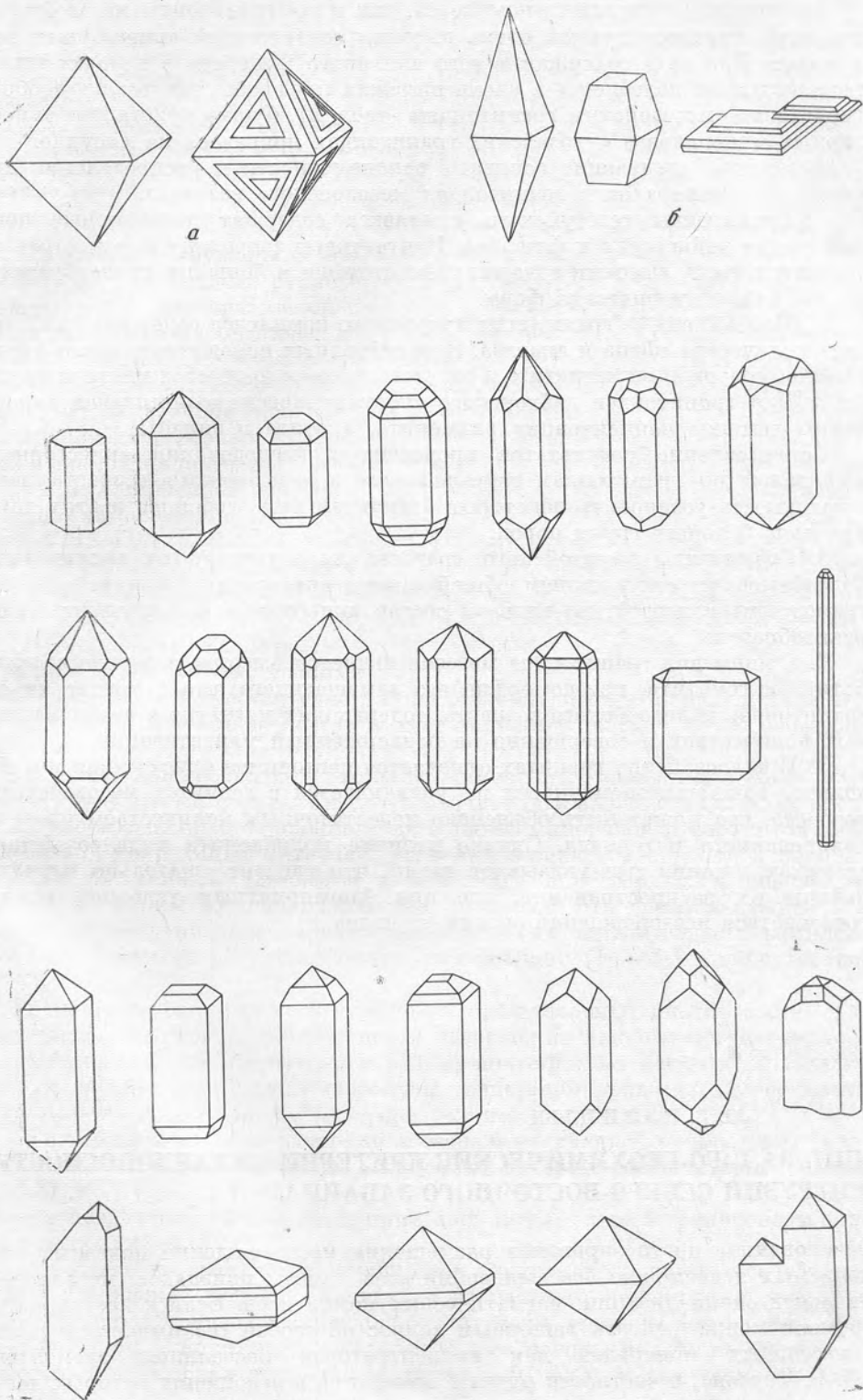


Рис. 1. Формы кристаллов аксессуарных минералов в мезозойских гранитоидах
a — магнетит; *б* — анатаз; *в* — апатит; *г* — циркон

Гранитоиды кудунского комплекса, как и все гранитоиды мезозойского возраста, характеризуются очень высоким содержанием акцессорных минералов. При этом содержание того или иного минерала в породах одной разновидности колеблется в очень широких пределах, что также вообще свойственно мезозойским гранитоидам (табл. 2). Форма кристаллов акцессорных минералов в мезозойских гранитоидах приведена на рисунке.

Выявлены следующие основные закономерности в распределении акцессорных минералов в гранитоидах мезозойского возраста.

1. Гранитоиды гегетуйского комплекса содержат повышенные концентрации лейкоксена и флюорита. Контактные зоны этих пород характеризуются очень высоким содержанием циркона и большим разнообразием его кристаллографических форм.

2. Неизменные гранитоиды кудунского комплекса содержат наибольшие количества сфена и анатаза. Для гибридных пород свойственно очень высокое содержание магнетита и отсутствие в нем процессов мартитизации.

3. Для гранитоидов дабхорского субвулканического комплекса характерны высокие концентрации ильменита, апатита и эпидота.

Сопоставление результатов проведенных исследований акцессорных минералов по гранитоидам палеозойского и мезозойского возраста дает возможность установить некоторые отличительные особенности этих двух довольно больших групп пород.

1. Гранитоиды мезозойского возраста характеризуются значительно более высоким содержанием общей суммы акцессорных минералов, чем гранитоиды палеозоя, но видовой состав акцессориев в последних более разнообразен.

2. Общим для гранитоидов мезозоя является высокое содержание магнетита и гематита, псевдоморфно его замещающего, что отличает их от гранитоидов палеозойского возраста, содержащих магнетит в незначительных количествах и совершенно не подверженный мартитизации.

3. В палеозойских гранитах отмечается постоянное присутствие молибденита. Такой закономерности не улавливается в гранитах мезозойского возраста, что может быть объяснено недостаточным количеством проанализированного материала. Однако наличие молибденита в палеозойских гранитах лишней раз указывает на то, что следует тщательно изучать районы их распространения, где при благоприятных условиях могли образоваться месторождения редких металлов.



Ю. В. КАЗИЦЫН

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ МЕТАЛЛОНОСНОСТИ ИНТРУЗИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Обоснованное прогнозирование размещения месторождений полезных ископаемых невозможно без выявления всей суммы признаков металлогенической специализации магматических комплексов. Если к настоящему времени можно считать решенным вопрос об особой геохимической роли акцессорных минералов как концентраторов рассеянных элементов (Л. В. Таусон), в частности рудных элементов, в отношении которых данная интрузия специализирована, то еще совершенно неясно, как ведут себя акцессорные минералы и элементы-примеси в ходе послемагматических преобразований пород. Происходит ли при этом мобилизация распределен-

Рис. 1. Распределение акцессорных минералов и элементов-примесей в гранитоидах Северо-Восточного Забайкалья

1 — граниты олекминского комплекса; 2, 3 — гранитоиды аманано-амуджиканского комплекса; 4 — граниты нерчуганского комплекса

ного в породообразующих и акцессорных минералах рудного вещества или, наоборот, в зонах околорудных метасоматических ореолов происходит его рассеивание, еще не установлено. Работы, затрагивающие проблему поведения акцессорных минералов и элементов-примесей в околорудных измененных породах, еще немногочисленны (В. К. Моинич, Г. Н. Гогель, Л. Б. Шлаин, А. И. Тугаринов, А. С. Павленко, И. В. Александров, И. Г. Ганесев, Н. П. Сечина, А. А. Беус, К. В. Урумбаев), но позволяют говорить о том, что акцессорные минералы весьма чувствительны к послемагматическим изменениям и что мобилизация рудного вещества в ходе метасоматических преобразований возможна.

С целью приблизиться к решению намеченных задач нами были изучены интрузивные породы Северо-Восточного Забайкалья. При этом предполагалось выяснить значение акцессорных минералов и элементов-примесей для корреляции интрузий, роль акцессорных минералов в концентрации рассеянных элементов и поведение акцессорных минералов и элементов в ходе послемагматических процессов. Эти проблемы изучались на примере гранитоидов трех разновозрастных магматических комплексов: олекминского (Р₂), аманано-амуджиканского (I₁ — I₃) и нерчуганского (I₃ — СГ₁).

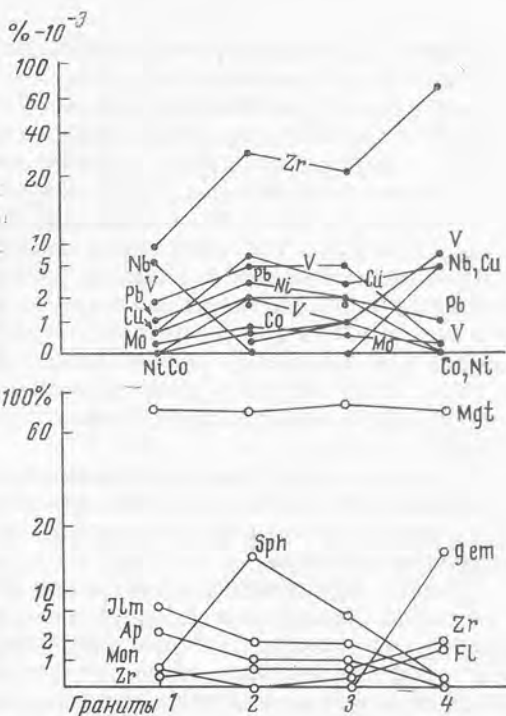
Гранитоиды олекминского комплекса представлены биотитовыми гранитами. Олекминские граниты почти совершенно лишены постмагматических появлений, за исключением редких жил простых пегматитов. Однако в ряде случаев они бывают затронуты гидротермальными изменениями, связанными с мезозойским рудообразующим процессом.

Типоморфными акцессорными минералами являются ильменит, апатит и монацит, относительные количества которых соответственно равны (63,31 и 6%).

Распределение акцессорных минералов и элементов в гранитоидах приведено на рис. 1.

Мезозойские гранитоиды аманано-амуджиканского комплекса объединяют следующие породы (в порядке возрастного положения): диориты, гранодиориты, граниты (амфиболо-биотитовые), граниты биотитовые, гранит-порфиры и аплиты; в состав амуджиканского подкомплекса входят диоритовые порфиры, а также некоторые эффузивные аналоги этих пород.

Типоморфными акцессорными минералами комплекса являются сфен, рутил и ортит. Особенно важен сфен и не только в отношении корреляции, но и как минерал-концентратор рассеянных элементов.



Акцессорные элементы в породах этого комплекса более разнообразны, содержатся в большем количестве, чем в палеозойских гранитах, что позволяет успешно использовать их не только в целях корреляции, но также и для обоснования выводов о металлогенической специализации.

Диориты, гранодиориты и аплиты амананского подкомплекса содержат акцессорные элементы Cu, Ni, V, Mo, Zr, Co, Pb, Ga, Y, Be и Sn. Точно такой же набор элементов свойствен и породам амуджиканского подкомплекса, не считая незначительных отклонений в количественном содержании различных элементов. Так, кобальт и ванадий содержатся в несколько больших количествах, что находится в соответствии с более основным средним составом пород этого подкомплекса. Формирование аманано-амуджиканского комплекса завершилось интенсивной послемагматической деятельностью, обусловившей возникновение штокверковых зон или кварцевых жил с молибденовой, золотой, свинцовой и цинковой минерализацией.

Вторым мезозойским комплексом гранитоидов является нерчуганский, объединяющий субщелочные интрузивные, экструзивные и эффузивные образования. Здесь наиболее распространены арфведсонитовые граниты и кварцевые порфиры.

Породы нерчуганского комплекса обладают характерной ассоциацией акцессорных минералов (циркон, гематит, флюорит). Кроме того, обычно встречаются флюорит, пирит, ильменит, галенит, сфалерит, молибденит, рутил, апатит, монацит, сфен, торит и турмалин. Элементы-примеси в породах комплекса достаточно малочисленны и носят подчеркнуто редкоземельный характер. Так, содержание циркония, иттрия, а иногда и ниобия в 5—10 раз превышает содержание этих элементов в других комплексах (Zr 70, Y 8, V 0,2, Mo 0,2, Nb 5, Cu 1, Ga 5, Be $0,5 \cdot 10^{-3}\%$). Характер распределения элементов-примесей по минералам подчиняется прежним закономерностям: большая часть их концентрируется в цветных и акцессорных минералах пород комплекса.

Магнетит является «сквозным» минералом всех гранитоидов района. Он концентрирует V, Cr, Ni, Zr, Ti, Cu и Zn, а также Co, Mo и Pb. Содержания этих элементов-примесей не остаются постоянными в породах разных комплексов, более богат примесями магнетит гранитоидов аманано-амуджиканского комплекса, а магнетит гранитов нерчуганского комплекса содержит меньше их количества.

Сфен относится к числу наиболее важных типоморфных минералов аманано-амуджиканского комплекса. В породах палеозойских (олекминских) и послеюрских (нерчуганских) гранитов он встречался в ничтожном количестве. Среди акцессорных минералов сфен выделяется богатством и разнообразием элементов-примесей, причем наиболее насыщен примесями сфен гранитоидов аманано-амуджиканского комплекса, где установлены: V, Cr, Mo, Zr, Nb, Cu, Pb, Ag, Bi, Sn, Ge, Ga, Y, La, Sr, Sc и P. Из числа этих элементов Cr, Ag, Bi, Ge, Ga и La не обнаружены в сфене олекминских и нерчуганских гранитов. Особый интерес представляют содержание и распределение в сфене молибдена и вольфрама — элементов, месторождения которых генетически связаны с аманано-амуджиканским комплексом. Содержание молибдена в сфенах изменяется от $33 \cdot 10^{-4}\%$ в олекминских гранитах, до $130—140 \times 10^{-4}\%$ в породах аманано-амуджиканского комплекса. Содержание вольфрама изменяется соответственно изменениям содержания молибдена. Отношения Mo : W в различных породах аманано-амуджиканского комплекса не сохраняются постоянными.

Апатит встречается в гранитоидах всех комплексов. Элементы-примеси в апатите достаточно скудны, особенно в апатите палеозойских и послеюрских гранитов, где при помощи спектрального анализа обнаруживается лишь примесь Y и Sc. В апатите аманано-амуджиканских гранитоидов, кроме того, установлен Mo, W и Cu.

Циркон является наиболее заманчивым в отношении корреляционных целей акцессорным минералом, так как, встречаясь во всех породах, широко варьирует по морфологическим и физическим свойствам. Наряду с четкими отличиями по физическим свойствам (цвет, индекс габитуса, показатель преломления, спектр люминесценции) циркон гранитоидов разных комплексов различается и по составу элементов-примесей, хотя количество их невелико. Так, в цирконе олекминских гранитоидов фиксируется лишь примесь Y и Sc, в цирконе аманано-амуджиканских, кроме того, Mo, W и Cu, а в цирконе из нерчуганских гранитов лишь Y. Уран содержится в цирконе всех пород, и его количество возрастает от древних пород к молодым.

Таким образом, подводя итог закономерностям распределения акцессорных элементов в породах, отметим следующее.

В гранитоидах района различными методами установлены следующие элементы: Mn, Ti, Zn, Ni, Co, V, Cr, Mo, W, Nb, Cu, Pb, Ag, Sn, Ge, Ga, Y, Sr, Li, Sc, Be, Zn и U. Они могут быть подразделены на несколько групп. Некоторые из них характерны только для одного определенного комплекса, например Ni, Co, Sn, Sc для аманано-амуджиканского, Nb для олекминского, Zr и Y для нерчуганского. Эти элементы мы называем «корреляционными». Другие элементы, присутствуя в породах какого-либо комплекса в повышенном количестве, одновременно являются существенными рудными элементами связанной с ним послемагматической минерализации. Их мы называем «металлогенными». К ним относятся Mo, W, Cu, Pb, Zn и другие (для аманано-амуджиканского комплекса).

Наконец, третья группа включает те элементы, которые свойственны обычно всем гранитоидам и в распределении которых не устанавливается закономерность. Их мы называем «петрогенными».

Для выявления металлоносности гранитоидов несомненный интерес представляет характер распределения в них «металлогенных» элементов. В качестве примера приведем данные о распределении молибдена и вольфрама — элементов, металлогения которых наиболее ясна в Северо-Восточном Забайкалье (таблица).

Таблица. Содержание молибдена и вольфрама (в г/т)

Минералы	Олекминские граниты		Амананские гранитоиды		Амуджиканские гранитоиды		Нерчуганские граниты	
	Mo	W	Mo	W	Mo	W	Mo	W
Плагиоклаз + кварц	4,0	12,7	5,2	26,7	5,1	38,4	5,0	13,7
Калиевый полевой шпат	3,0	9,5	4,4	20,4	5,0	23,2	3,4	11,2
Биотит и амфибол	6,0	25,0	13,0	41,8	19,8	74,1	12,5	Не опр.
Сфен	33	Не опр.	96,0	115,0	114,0	143,0	45,0	Не опр.
Порода	3,7	11,9	6,8	24,7	5,8	47,3	4,3	14,7

Из данных таблицы следует, что все гранитоиды района обладают повышенным содержанием молибдена и вольфрама, но особенно выделяются породы аманано-амуджиканского комплекса, с которыми генетически связано оруденение. Кроме того, обращает на себя внимание непостоянство соотношений Mo:W в различных породах и минералах и пониженное его значение для молибденоносных гранитоидов и слагающих их минералов.

Для изучения поведения акцессорных минералов и элементов-примесей в ходе окolorудных преобразований пород по главнейшим типам изменений были составлены разрезы и отобраны серии проб от неизмененных пород до максимально переработанных. Эти пробы были изучены как с точки

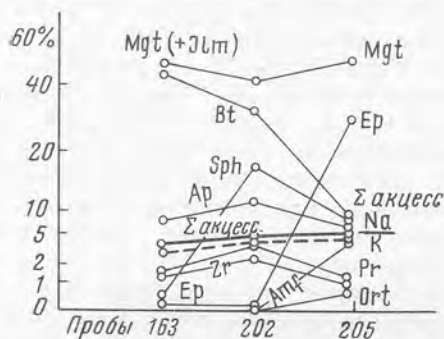
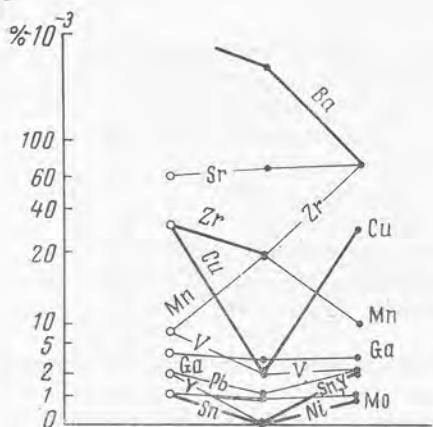


Рис. 2.

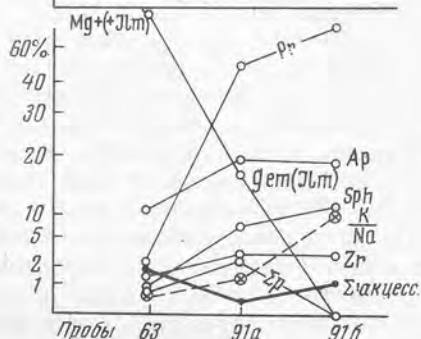
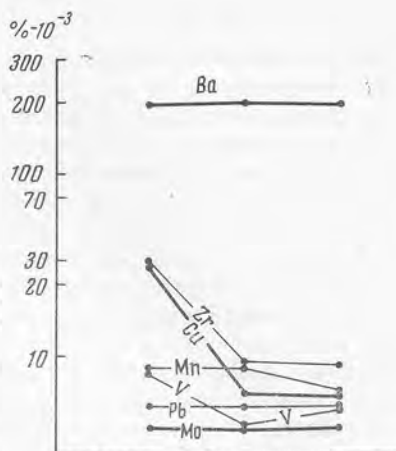


Рис. 3.

зрения перемещения вещества по зонам (полный силикатный и спектральный анализы), так и с точки зрения минеральных преобразований в тяжелой фракции пород (минералогический анализ протолок). Для получения наиболее объективных данных поведения акцессорных минералов навески проб по 30—50 г, измельченные до 0,25 мм, разделялись в бромформе, путем центрифугирования (без предварительного отмучивания). Полученная тяжелая фракция пород разделялась на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции, каждая из них взвешивалась на аналитических весах, рассеивалась по фракциям крупности и подвергалась количественному минералогическому анализу. Содержание минералов пересчитывалось в процентах ко всей тяжелой фракции. Полученные цифры легли в основу построения графиков (рис. 2—6), на которых в логарифмическом масштабе по шкале ординат даны содержание акцессорных минералов, выход тяжелой фракции, щелочность пород, а также распределение акцессорных элементов.

Наиболее широко распространенными околорудными изменениями, которым подвержены породы района, являются эпидотизация, калишпатизация и серицитизация (около кварц-молибденитовых жил), альбитизация и турмалинизация (около золотоносных жил с пиритом), хлоритизация и гидрослюзидация (около кварц-карбонатных с галенитом и сфалеритом жил). Эти изменения связаны с послемагматической деятельностью аманано-амуджиканского комплекса, специализированного на молибден и золото (Ю. В. Казыцын и др.). Кроме того, изучалось поведение акцессорных минералов и элементов-примесей при аргиллизацией, развивающейся около зон окремнения и жил низкотемпературного кварца с сурьмяно-ртутной и флюоритовой минерализацией.

При процессах эпидотизации (см. рис. 2) в первую стадию изменений

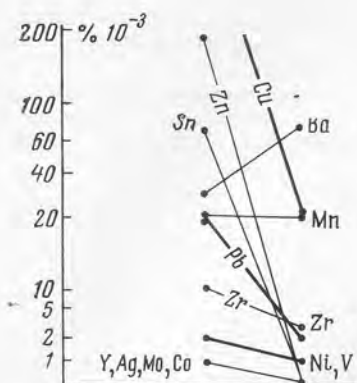


Рис. 2. Изменение состава тяжелой фракции и элементов-примесей при эпидотизации биотитовых гранитов

Пробы: 163 — неизменный гранит, 202 — слабо альбитизированный гранит, 205 — эпидотизированный гранит

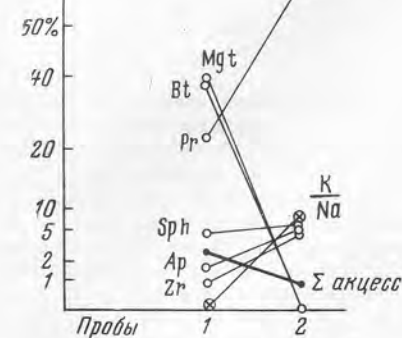


Рис. 3. Изменение состава тяжелой фракции и элементов-примесей при калищпатизации биотитовых гранитов

Пробы: 63 — неизменный гранит; 91a — слабо калищпатизированный гранит; 91б — ортоклазовый метасоматит

Рис. 4.

Рис. 4. Изменение состава тяжелой фракции и элементов-примесей при серицитизации амфибол-биотитового гранита

1 — неизменный гранит; 2 — серицитизированный гранит

заметно уменьшается содержание биотита и полностью исчезает ильменит, замещаясь сфеном. Содержание магнетита остается на одном уровне. Кроме того, увеличивается содержание апатита, циркона и пирита.

При более интенсивном развитии процесса уменьшается содержание биотита, а также сфена, апатита, циркона и пирита. В то же время наблюдается заметное возрастание содержания магнетита и особенно резкое — эпидота (до 26% от всей тяжелой фракции).

Распределение акцессорных элементов при эпидотизации определяется, по-видимому, характером поведения минералов тяжелой фракции: магнетита, биотита и эпидота. В переходных зонах наблюдается уменьшение содержания таких элементов, как Zr, Cu и Pb, а при переходах к зонам эпидотизации — резкое их увеличение. Содержание молибдена остается постоянным.

При процессах калищпатизации (см. рис. 3) выход тяжелой фракции уменьшается в 2 раза и более, состав ее практически обновляется полностью. Прежде всего исчезают биотит и магнетит, образуются пирит и сфен. Содержание апатита и циркона несколько увеличивается и появляется немного эпидота. В дальнейшем при сохранении прежнего уровня содержания апатита и циркона заметно возрастает содержание пирита и сфена за счет полного растворения ильменита. Поведение акцессорных элементов и здесь определяется в значительной степени поведением магнетита. Параллельно с уменьшением его количества уменьшается содержание таких элементов, как Cu, Zr и V. Содержание Pb не изменяется, а Ba — несколько увеличивается. Важно отметить, что если железо при калищпатизации переходит из окисной формы в сульфидную, то элементы-примеси, содержащиеся в магнетите, не следуют за железом, а рассеиваются или переносятся метасоматирующими растворами.

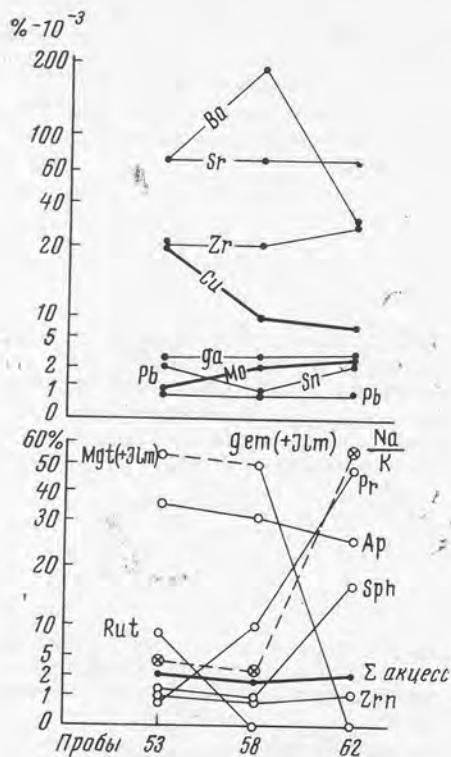


Рис. 5

Серицитизация — характерное гидротермальное изменение около кварц-молибденитовых жил, наиболее тесно она сопряжена с рудоотложением. Выход тяжелой фракции при серицитизации сокращается в 2—3 раза (см. рис. 4). Главнейшим минеральным преобразованием в тяжелых фракциях является полное исчезновение первоначально обильного (до 60%) магнетита и появление значительных количеств пирита (до 86%). Относительное содержание апатита и циркона в тяжелой фракции возрастает, а количество сфена увеличивается в промежуточных зонах, где фиксируются элементы ортоклазового замещения. Как в неизменных гранитах, так и серицитизированных, фиксируются единичные чешуйки молибденита. Геохимически серицитизация (см. рис. 4) характеризуется значительным уменьшением содержания большинства элементов (Cu, Zn, Sn, Pb, Zr, V, Ni и др.) и некоторым возрастанием содержания Ba.

Альбитизация (амуджиканский комплекс) чаще свойственна кварц-пиритовым золотоносным жилам (см. рис. 5). Минеральные преобразования при альбитизации происходят стадийно: в промежуточных зонах полностью исчезает магнетит, замещаясь гематитом и ильменитом. При переходах к зонам полной альбитизации гематит и ильменит исчезают, зато появляются пирит (50%) и сфен (17%). Содержание апатита постепенно сохраняется, оставаясь относительно высоким, а содержание циркона сохраняется на одном уровне или повторяет кривую распределения тяжелых фракций. Геохимически альбитизация характеризуется некоторым накоплением молибдена и олова с уменьшением содержания меди и свинца. Содержание меди и свинца определяется, вероятно, нахождением их преимущественно в изоморфной примеси в магнетитах, а молибдена — в сфенах.

Турмалинизация, будучи проявлением боро-натрового метасоматоза, обычно наблюдается в ассоциации с альбитизацией. При турмалини-

Рис. 5. Изменение состава тяжелой фракции и элементов-примесей при альбитизации

Пробы: 53 — неизменный амфилобиотитовый амананский гранит; 58 — зона слабой серицитизации; 62 — альбитовый метасоматит

Рис. 6. Изменение состава тяжелой фракции и элементов-примесей при турмалинизации биотитового гранита (а) и гибридного порфира (б)

1 — неизменный гранит; 2 — слабо турмалинизированный гранит; 3 — сильно турмалинизированный гранит; 4 — неизменный гибридный порфир; 5 — турмалинизированный гибридный порфир

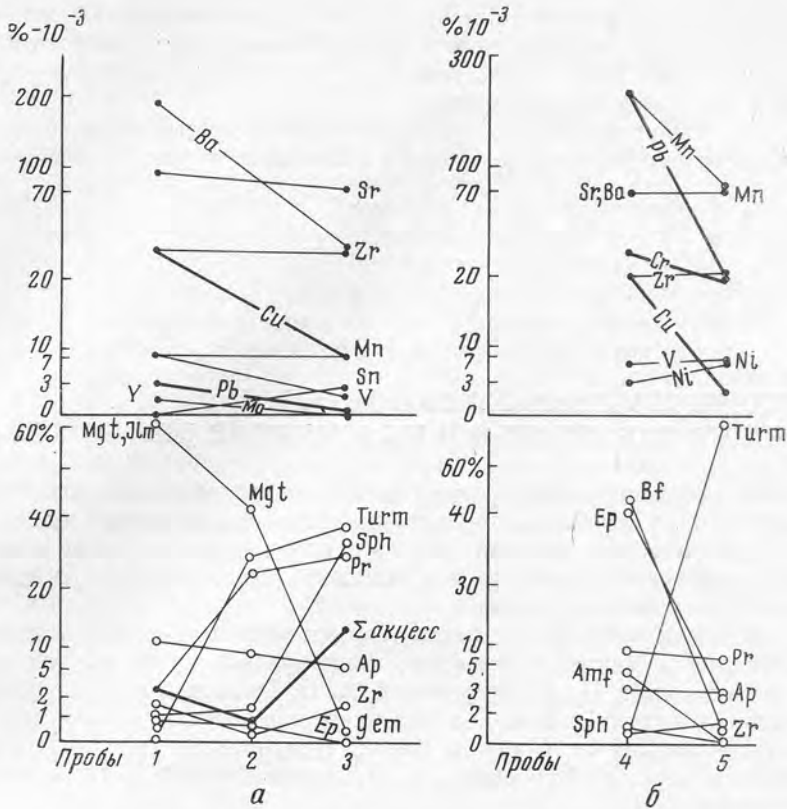


Рис. 6.

зации происходит полное исчезновение биотита и амфибола в результате замещения их сначала гидрослюдой, а затем турмалином (см. рис. 6). Роль пирита при турмалинизации гранитов возрастает, а при турмалинизации порфиров снижается. Содержание апатита и циркона сохраняется на одном уровне (в гибридных порфирах) или возрастает (в гранитах). Изменения содержания элементов-примесей сводятся при турмалинизации гибридных порфиров к значительному уменьшению количества Mn, Pb, Cu и Cr. Содержание Ni несколько возрастает. При турмалинизации гранитов уменьшается количество Cu, Pb, а также V и Mo, Sn сохраняется на одном уровне или возрастает.

Аргиллизация (Ю. В. Казизын, Г. В. Александров, В. В. Павлова, Е. Н. Панов) проявляется в связи с низкотемпературным сурьмяно-ртутным и флюоритовым оруденением. Выход тяжелых фракций при аргиллизации уменьшается (от 1,7 до 0,95%). Минеральные преобразования сводятся к замещению биотита гидрослюдой и магнетита гематитом. Содержание пирита в отличие от большинства других процессов возрастает незначительно в зонах максимальных изменений. Апатит и циркон не обнаруживают четких закономерностей в распределении, хотя некоторое увеличение их как будто фиксируется. Содержание большинства рудных элементов (Cu, Pb и др.) уменьшается вместе с уменьшением главных их концентратов — биотита и магнетита.

Таким образом, роль акцессорных минералов и элементов-примесей не исчерпывается их корреляционным значением, они позволяют приблизиться к выявлению одной из сторон металлогенической специализации.

Общий повышенный уровень содержаний металлогенных элементов в металлоносных интрузиях указывает на эндогенную природу рудного

вещества, а уменьшение отношений $Mo : W$ в гранитоидах и минералах пород, наиболее близких генетически к оруденению, свидетельствует о возможности избирательного накопления или отделения даже весьма близких по химическим свойствам элементов.

На фоне общей эндогенной природы рудного вещества некоторое значение имеет и переотложение его из вмещающих пород.

■

Н. С. ВАРТАНОВА, И. В. ЗАВЬЯЛОВА

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРАНИТОИДОВ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИИ

Возрастное расчленение интрузивов в Забайкалье является одной из наиболее актуальных проблем. Определение возраста интрузий при помощи прямых геологических данных здесь сильно затруднено в связи с недостаточной разработкой стратиграфии, плохой обнаженностью и широким развитием изверженных пород.

Как известно, по вопросу о возможности использования акцессорных минералов для возрастной корреляции интрузивов среди исследователей нет единого мнения. И. А. Островский, А. П. Никольский и А. Полдверарт пришли к выводу о том, что характер акцессорных минералов в гранитоидах не зависит от возраста пород. Противоположной точки зрения придерживаются С. Д. Туровский, И. Д. Царовский, Ю. В. Казини и ряд других авторов.

В качестве объектов исследования были выбраны 11 массивов, возраст и геолого-структурное положение которых достаточно четко определяются при помощи прямых геологических данных. Одна группа массивов имеет палеозойский, другая мезозойский возраст. Из палеозойских интрузий были изучены юго-западная часть Кутомарского массива, Эке-Булакский массив, Булзагайский шток и ряд штоков среди Заурулюнгуевского плутона, относимых к среднему палеозою. Изучен также сложный Цаган-Олуевский массив, в котором гнейсовидные плагиограниты относятся к палеозою, а лейкократовые граниты — к юре. Из интрузий мезозойского возраста акцессорные минералы изучены в Кондоевском и Соктуевском массивах, в южной части Антийского массива и в интрузиях Верхнего Приамурья. Рассматриваемые интрузивы находятся в различных структурно-фациальных зонах и по условиям образования, независимо от возраста, представляют две группы: синорогенные интрузии и интрузии, образование которых связано с разломами. К первой группе относятся массивы Ундинский (С), Кутомарский (С), Цаган-Олуевский ($Pz_3 - Mz_1$) и Кондоевский (I_2), ко второй группе относятся штоки, прорывающие Заурулюнгуевский массив (С), Булзагайский (С) и Пуринский (I_2), а также интрузии р. Амур (I_2) и р. Тымагер (I_3).

По глубине формирования все изученные массивы можно отнести к фации средних глубин, однако в ряде из них в той или иной степени проявляются черты гипабиссальности.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ПРОБ И ИЗУЧЕНИЯ АКЦЕССОРИЕВ

Акцессорные минералы изучались в искусственных протолочках и шлифах. Обработка проб велась обычным способом: отобранные в поле пробы свежей неизменной породы весом 10 кг измельчались на дробилке до

размера зерен 0,5 мм для крупнозернистых и 0,2 мм для мелкозернистых разновидностей, после чего порода отмывалась на концентрационном столе до серого шлиха, обрабатывалась магнитом и электромагнитом и разделялась в тяжелых жидкостях.

Учитывая большие ошибки, которые неизбежны при любом из существующих способов количественного подсчета акцессорных минералов, для суждения о содержании акцессориев нами применялся метод подсчета в шлифах, предложенный Т. В. Таусоном. Поскольку шлифы, изготавливаемые в нашей шлифовальной мастерской, уступали по площади шлифам, рекомендуемым Л. В. Таусоном, мы были вынуждены изучать значительное количество шлифов из одной разновидности пород. В случае крупнозернистой породы изготавливались специальные шлифы большого размера. Подсчет проводился при помощи сетчатого окуляра.

Одновременно количественные соотношения между минералами определялись путем подсчета 500—1000 зерен шлиха под бинокляром или в иммерсии. Окончательно содержание акцессорных минералов устанавливалось по данным, полученным в шлифах, с учетом соотношений, полученных при изучении протолочек. Не преследуя цели определения точных содержаний акцессориев, этот способ подсчета дал нам возможность сопоставить количественные соотношения их в различных массивах.

Степень детальности изучения указанных интрузивов была неодинаковой. В некоторых сложно построенных массивах (Цаган-Олуевский, Кондуевский, Соктуевский) акцессорные минералы рассматривались очень подробно для всех фаз и фаций, в остальных массивах изучалась только главная интрузивная фация.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отметим лишь главнейшие особенности акцессорной минерализации в изученных гранитоидах. За исключением циркона, в рассматриваемых гранитах акцессории не обнаруживают сколько-нибудь заметных морфологических или других физических особенностей, которые могли бы быть использованы в качестве корреляционных признаков.

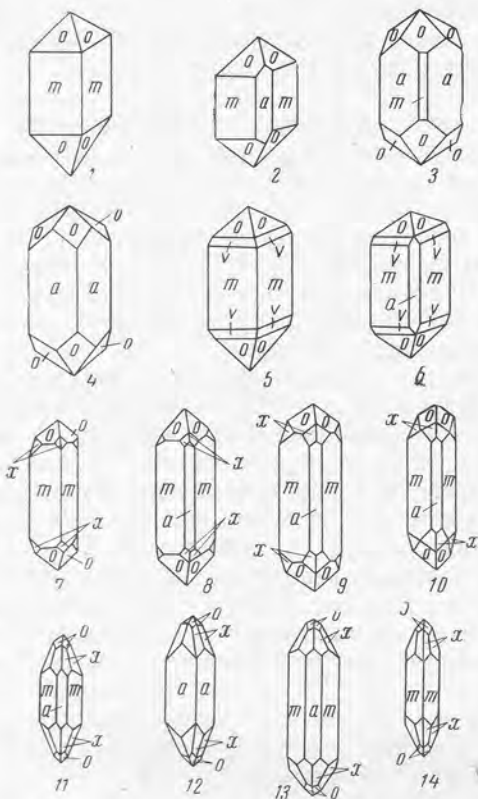
Кристаллы циркона характеризуются большим разнообразием форм и некоторых физических свойств (удлинение, цвет, включения, зональность), которые четко выявляются для цирконов каждой породы.

Изучение цирконов позволило свести все их морфологическое разнообразие в три основные группы: цирконы типа А, Б и В. Кристаллографические формы цирконов каждого типа приведены на рисунке.

Циркон типа А бурый до темно-бурого, непрозрачный, полупрозрачный, метамиктный. Характерно многократное зональное строение. Крупные кристаллы нередко трещиноваты. Габитус короткопризматический, очень редко длиннопризматический. Удлинение кристаллов (отношение ширины к длине), вычисленное методом Полдерваарта, равно 1 : 2. Преобладающими кристаллографическими формами являются призма (110) и бипирамида (111), реже встречается призма (100), иногда сильно развитая и преобладающая над гранями призмы (110). Изредка присутствуют кристаллы с узкими полосками грани (221).

Циркон типа Б отличается от предыдущего большей прозрачностью, более светлой окраской. Часто имеет меньший размер зерен и большее удлинение (от 1 : 2,5 до 1 : 3). Но главное отличие заключается в наличии слабо развитых граней дитетрагональной бипирамиды (311), совершенно отсутствовавших в цирконах предыдущего типа (см. рисунок).

Циркон типа В характеризуется обязательным присутствием хорошо развитых граней дитетрагональной бипирамиды (311) наряду с гранями обеих призм (110) и (100) и бипирамиды (111). Преобладают призма-



Кристаллографические формы цирконов в гранитоидах Восточного Забайкалья

1—6 — цирконы типа А; 7—10 — цирконы типа Б; 11—14 — цирконы типа В

тические, часто длиннопризматические кристаллы с удлинением 1:3. Цирконы, как правило, прозрачные светло-окрашенные.

Приуроченность различных типов циркона к тем или иным породам приведена в табл. 1—3.

В пределах одного массива, как показали проведенные исследования, минералогический состав, содержание и распределение акцессорных минералов меняются в различных фациях и фазах. Петрографически однородные породы одной фации характеризуются устойчивой от пробы к пробе ассоциацией акцессорных минералов. Количественные же соотношения между ними сильно колеблются.

Обобщая результаты изучения акцессорных минералов во всех массивах, можно отметить следующее.

Граниты палеозойского возраста.

1. Количественное содержание акцессорных минералов не остается постоянным, а зависит от петрографического состава пород. Биотитовые граниты Кондуревского, Эке-Булакского массивов и штоков Заурулюнгуевского массива содержат 0,2—0,3% акцессорных минералов. В гибридных гранодиоритах и диоритах оно резко возрастает за счет высокого содержания сфена (до 1,3%), а в лейкократовых гранитах Булгагайского штока уменьшается до 0,1%. Особняком стоит Цаган-Олуевский массив, характеризующийся общим высоким содержанием акцессорных минералов для всех разновидностей пород.

2. Ассоциация акцессорных минералов не остается постоянной и меняется от массива к массиву. Так, для гранитов Кутомарского массива характерна апатит-сфен-магнетитовая ассоциация при наличии небольшой примеси циркона, флюорита и единичных зерен ортита, граната и пирита. В гибридных гранодиоритах этого же массива ведущими минералами становятся апатит и сфен. В гранитах Эке-Булакского массива преобладает апатит в ассоциации со сфеном и магнетитом. Апатит-циркон-магнетитовая ассоциация с примесью флюорита, сфена, ортита, анатаза характерна для биотитовых гранитов карбоновых штоков в Заурулюнгуевском массиве. В гранитах Булгагайского штока ведущим акцессорным минералом является монацит и лишь в единичных зернах присутствуют циркон, флюорит, апатит, сфен, магнетит, анатаз, гематит и пирит. В Цаган-Олуевском массиве во всех разновидностях пород отчетливо выдерживается апатит-сфен-магнетитовая ассоциация совместно с небольшой примесью других минералов (см. табл. 3). Для гранитов, претерпевших метаморфизм, ведущим акцессорием становится гранат.

Таблица 1. Акцессорные минералы в породах сложного Соктуевского массива

Порода	Фация	Среднее содержание акцессорных в породе, об. %	Акцессорные минералы			Тип циркона
			преобладающие, или главные * (типы ассоциаций)	примеси	в знаках	
Биотитовые и лейкократовые граниты	Главная интрузивная	0,31	Циркон-монацит магнетит-флюоритовая	Цльменит	Апатит, сфен, ортит, анатаз, рутил, касситерит, сфалерит, пирит, халькопирит	А
Биотитовые гранит-порфиры	Эндоконтакта	0,21	Магнетит-циркон-флюоритовая	Пирит, монацит, апатит	Касситерит, ильменит, молибденит, галенит	А
Роговообманково-биотитовые гранит-порфиры		0,18	Апатит-циркон-флюорит-ильменитовая	Анатаз	Пирит	Б
Граносиенит-порфиры		0,39	Циркон-apatит-ильменитовая	Флюсорит	Сфен, ортит	Б
Гранодиорит-порфиры		0,21	Апатит-циркон-ильменит-сфеновая	—		В

* Под преобладающим, или главным, акцессорным минералом понимается содержание их до 0,01 об. %, акцессориями-примесями — 0,01—0,001 об. %, акцессориями в знаках — < 0,001 об. %.

3. В изученных массивах можно выделить три морфологических типа цирконов: А, Б и В. Для одних массивов характерны цирконы только одного типа, например, циркон типа А в гранатах Булгагайского штока и в гранитах из штоков Заурулюнгуевского массива, а циркон типа В в гнейсовидных гранитах Цаган-Олуевского массива. В других же массивах могут одновременно встречаться цирконы двух типов. При этом разнотипные

Таблица 2. Акцессорные минералы в породах многофазного Кондуевского массива (J_2)

Порода	Фаза	Среднее содержание акцессорных в породе, об. %	Акцессорные минералы			Тип циркона
			преобладающие, или главные (типы ассоциаций)	примеси	в знаках	
Роговообманково-биотитовые граниты	I	1,00	Апатит-ортит-сфен-магнетитовая	Циркон	Флюорит, пирит	А, В (редко)
Биотитовые порфировидные граниты	II	1,00	Ортит-apatит-сфен-магнетитовая	»	Наэгит, монацит, флюорит, пирит	А
Лейкократовые граниты	III	0,60	Сфен-apatит-ортит-магнетитовая	»	Наэгит, монацит, флюорит, гранат, ильменит, пирит, молибденит	А
Меланократовые граниты	III	1,10	Апатит-магнетит-сфеновая	Циркон, ортит, гематит	Наэгит, монацит	В
Ксенолиты диоритов и амфиболитов			Магнетит-apatит-сфеновая	Циркон	Ортит, ильменит, хромит	В

Таблица 3. Акцессорные минералы в гранитоидах Восточного Забайкалья

Массив и порода	Возраст	Характер интрузива	Акцессорные минералы			Тип циркона		
			№ типа	преобладающие (типы ассоциации)	примеси		в знаках	
Кутомарский Роговообманково-биотитовые граниты	C	Синорогенные	1	Апатит-сфен-магнетитовая	Циркон, флюорит	Ортит, гранат, пирит	А, Б	
Кутомарский Гибридные диориты и гранодиориты	C		2	Магнетит-апатит-сфеновая	Ортит	Циркон, флюорит	В	
Эке-Булакский Биотитовые граниты	C		3	Магнетит-сфен-апатитовая	—	Циркон, ортит, пирит	Б, В	
Штоки в Зауралонгуевском массиве. Биотитовые и лейкократовые граниты	C		Приуроченные к разломам	4	Апатит-циркон-магнетитовая	Флюорит, сфен, ортит, анатаз	Лейкоксен	А
Булзагайский. Биотитовые и лейкократовые граниты	C			5	Монацитовая	—	Циркон, флюорит, апатит, сфен, анатаз, магнетит, гематит, пирит	А, Б
Цаган-Олуевский. Гнейсовидные роговообманково-биотитовые плагиограниты	P_{z_3} — Mz_1	Синорогенные	1	Ортит-апатит-сфен-магнетитовая	—	Циркон, наэгит, ильменит, пирит, молибденит	А, В (редко)	
Цаган-Олуевский. Ксенолиты гнейсов среднего состава	J_2		2	Магнетит-апатит-сфеновая	Циркон, ортит	Турмалин	В	
Цаган-Олуевский. Лейкократовые граниты	J_2		1	Ортит-сфен-апатит-магнетитовая	Циркон	Наэгит, монацит, флюорит, анатаз, рутил, лейкоксен, турмалин, ильменит, пирит	А	
Цаган-Олуевский. Лейкократовые граниты юго-западного эндоконтакта	J_2		6	Монацит-флюорит-апатит-магнетитовая	Циркон, ортит, гранат, турмалин	Рутил, касситерит, пирит, молибденит	А	
Кондуевский. Роговообманково-биотитовые граниты I фазы	J_2		1	Апатит-ортит-сфен-магнетитовая	Циркон	Флюорит, пирит	А, В (редко)	
Кондуевский. Биотитовые порфиридные граниты II фазы	J_2		1	Ортит-апатит-сфен-магнетитовая	Циркон	Наэгит, монацит, флюорит, пирит	А	
Кондуевский. Лейкократовые граниты III фазы	J_2		1	Сфен-апатит-ортит-магнетитовая	Циркон	Наэгит, монацит, флюорит, гранат, ильменит, пирит, молибденит	В	
Кондуевский. Меланократовые граниты III фазы	J_2		2	Апатит-магнетит-сфеновая	Циркон, ортит, гематит	Наэгит, монацит	В	
Кондуевский. Ксенолиты диоритов, амфиболитов	J_2		2	Магнетит-апатит-сфеновая	Циркон	Ортит, ильменит, хромит	В	
Ангийский. Гранодиориты	J_2		2	Циркон-апатит-сфеновая	Вольфрамит	Анатаз	В	

Таблица 3 (окончание)

Массив и порода	Возраст	Характер интрузива	Акцессорные минералы				Тип циркона
			№ типа	преобладающие (типы ассоциации)	примеси	в знаках	
Интрузия г. Аргунь. Гранодиориты	J_2	Приуроченные к разломам	2	Апатит-магнетит-сфеновая	Лейкоксен	Циркон, пирит	В
Интрузия р. Амур. Биотитовые граниты	J_2		7	Флюорит-цирконовая	Анагаз, сфен, монацит, назит, ильменит, молибденит, гематит	Рутил, магнетит, пирит, корунд, гранат	А
Тымаггерский птоок. Биотитовые граниты	J_3	Соктуевский. Биотитовые и лейкократовые граниты	1	Апатит-ортит-сфен-магнетитовая	Циркон —	Флксорит, анагаз, рутил, пирит	А, Б, В
	J_3		8	Циркон-монацит-магнетит-флюоритовая		Апатит, сфен, ортит, анагаз, рутил, касситерит, сфалерит, ильменит, пирит, халькопирит	А, Б

цирконы присутствуют иногда одновременно в одной пробе (Эке-Булакский массив) или в различных пробах из одной разновидности гранита (Кутомарский массив).

Мезозойские интрузии.

1. В большинстве массивов гранитоидов мезозойского возраста наблюдается сходное количественное содержание акцессорных минералов, колеблющееся в пределах 0,1—0,3%. Исключение составляют Кондуевский массив и лейкократовые граниты Цаган-Олуевского массива.

2. Так же, как и для пород палеозойского возраста, в мезозойских гранитах типы ассоциаций индивидуальны для каждого массива. Кроме того, в сложно построенных массивах (Соктуевский, интрузия р. Амур) изменение ассоциаций акцессорных минералов наблюдается в пределах одного массива.

3. Морфологические особенности цирконов не остаются постоянными и в гранитах различных массивов мезозойского возраста. Здесь также выделяются морфологические типы А, Б и В, причем циркон типа В развит преимущественно в гранодиоритах и диоритах.

ВЫВОДЫ

1. Характер акцессорных минералов зависит от условий образования и петрографического состава массивов.

В синорогенных массивах граниты имеют однообразный апатит-сфен-магнетитовый тип ассоциации. В гранитных интрузиях, приуроченных к разломам, наблюдаются большее разнообразие типов ассоциаций и соответственно более разнообразный минералогический состав.

Независимо от условий образования интрузивов, гранитоиды более основного состава и диориты всегда имеют один и тот же тип акцессорной минерализации: резко повышенное содержание сфена при наличии апатита и магнетита и реже циркона и ортита.

2. Морфологический облик цирконов также обнаруживает большую зависимость от петрографического состава пород. В гранитоидах более основного состава, в диоритах и близких к ним по составу ксенолитах присут-

ствуется только циркон типа В, в кислых лейкократовых гранитах — исключительно циркон типа А. В обычных биотитовых гранитах могут встречаться различные типы цирконов А, Б и В.

Поскольку синорогенные интрузии и массивы, приуроченные к разломам, встречаются и в палеозое, и в мезозое, как и породы сходного петрографического состава, типы ассоциации акцессорных минералов и морфологические особенности цирконов также не обнаруживают определенной возрастной зависимости, а потому не могут быть использованы в целях возрастной корреляции.

4. При правильном научно-методическом изучении акцессорные минералы могут быть успешно использованы для решения петрогенетических вопросов, а также для выявления структурно-тектонических условий формирования массивов.

А. Р. ЗИЛОВ, Д. ЖАЛСАБОН

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ В ГРАНИТОИДАХ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ВИТИМ

На основе анализа акцессорных минералов нами сделана попытка корреляции разновозрастных гранитоидных пород среднего течения р. Витим по минералогическим особенностям.

Описываемые интрузивные породы образуют четыре разновозрастных комплекса. К первому, наиболее древнему комплексу относятся биотитовые гнейсо-граниты нижнепротерозойского возраста, слагающие небольшие, обычно вытянутые в северо-западном направлении тела.

Второй интрузивный комплекс представлен верхнепротерозойскими биотит-роговообманковыми диоритами и неравномерно зернистыми роговообманково-биотитовыми гранитами. Господствующим типом пород описываемого верхнепротерозойского интрузивного комплекса являются роговообманково-биотитовые граниты, занимающие значительную площадь в восточной части Витимского плоскогорья. С породами этого интрузивного комплекса генетически связаны жилы пегматитов.

К третьему, условно палеозойскому интрузивному комплексу отнесены последовательно внедрившиеся кварцевые диориты, крупно- и среднезернистые биотитовые граниты, мелкозернистые биотитовые и лейкократовые граниты.

Кварцевые диориты развиты нешироко и встречаются лишь в виде ксенолитов среди биотитовых гранитов. Крупно- и среднезернистые биотитовые граниты слагают большие массивы и распространены довольно широко. Мелкозернистые биотитовые и лейкократовые граниты в виде небольших штоков и дайкообразных тел прорывают описанные породы.

Породы палеозойского интрузивного комплекса подверглись значительному катаклизму метаморфизму (особенно вблизи зон тектонических нарушений). С гранитоидами этого интрузивного комплекса связаны дайки фельзитов, кварцевых порфиров, гранит-порфиров, спенит-порфиров, сиенито-диоритов и микродиоритов.

Наиболее молодыми изверженными образованиями в исследованном районе являются гранитоиды, по-видимому, мезозойского интрузивного комплекса, состоящего из порфировидных крупнозернистых гранитов с дымчатым кварцем, среднезернистых и мелкозернистых гранит-порфиров.

Для изучения акцессорных минералов гранитоидов было взято и обработано 60 минералогических проб. Чтобы материал был сравним и единообразен по характеру, отбирались пробы одного веса по 10 кг.

Проба бралась небольшими штуфами из свежих, лишенных каких-либо прожилков или включений гранитов с площади 300—500 м². Затем материал дробился механическим способом до 0,5 мм и промывался. Полученный серый шлик подвергался магнитной сепарации, делению в тяжелых жидкостях и электромагнитной сепарации. Изучение под биноклем сопровождалось подсчетом зерен в каждой фракции. Полученные объемные проценты переводились в весовые проценты, а затем пересчитывались к весу всего концентрата и определялось содержание в граммах на 1 т пород. Так как часть акцессорных минералов теряется при обработке пробы, то пришлось воспользоваться поправочным коэффициентом, высчитанным В. В. Ляховичем и др.

Определение акцессорных минералов проводилось при помощи оптических методов исследования, микрохимических реакций и полуколичественных спектральных анализов, выполненных в спектральной лаборатории Института земной коры СО АН СССР аналитиком Г. Г. Гладкой. Средние содержания акцессорных минералов в разновозрастных гранитоидах приведены в таблицах 1—3.

Таблица 1. Содержание (среднее по пяти пробам) акцессорных минералов в гранитоидах протерозойского возраста (в г/т)

Минерал	Нижнепротерозойский гнейсо-гранит	Верхнепротерозойский диорит	Верхнепротерозойский гранит
Апатит	28,7	25,4	20,2
Циркон	12,1	0,2	14,1
Ортит	28,9	12,8	7,6
Гранат	21,4	—	11,4
Ильменит	89,4	92,6	62,4
Лейкоксен	8,1	3,4	0,3
Сфен	412,6	689,3	528,2
Рутил	0,1	0,3	0,8
Магнетит	3928,2	4273,3	2986,5
Гематит	143,4	132,6	154,2
Пирит	364,1	276,2	174,1
Лимонит	24,2	71,4	12,6

В апатите из протерозойских и палеозойских гранитоидов отмечены такие микроэлементы, как Y, Sr, Zr и Ti. В апатите мезозойских гранитов, кроме того, присутствуют Mo и Be.

Флюорит из протерозойских и палеозойских гранитоидов содержит Sr, Y и Ti, а во флюорите из мезозойских гранитов отмечены микроэлементы Sr, Y, Ti, Pb, Be и Ag.

В рутиле из протерозойских и палеозойских гранитов отмечены V, Zr, Sc и Ti. В рутиле из мезозойских гранитов, кроме перечисленных микроэлементов, присутствуют Nb и Be. Рентгеноструктурный анализ ильменорутила, выполненный в спектральной лаборатории Института земной коры СО АН СССР аналитиком Е. К. Васильевым, показал структуру рутила, а спектральным полуколичественным анализом в нем установлено больше 1% Ti и Nb и около 0,1% Ta. Магнетит из протерозойских и палеозойских гранитов содержит микроэлементы Co, Ni, Cr, V, Ga, Zr и Ti. В магнетите из мезозойских гранитов встречаются все перечисленные микроэлементы

Таблица 2. Содержание (среднее по пяти пробам) аксессуарных минералов в гранитоидах палеозойского интрузивного комплекса (в ε/τ)

Минерал	Кварцевый диорит	Крупнозернистый биотитовый гранит	Мелкозернистый биотитовый гранит	Мелкозернистый лейкократовый гранит
Апатит	72,12	63,9	36,6	9,7
Монацит	—	—	0,3	1,1
Циркон	0,1	16,5	3,8	2,8
Цирколит	—	+	+	+
Ортит	+	+	+	—
Флюорит	+	2,5	3,4	66
Гранат	+	+	—	—
Ильменит	60,7	38,5	34,9	332,7
Сфен	360	548	127	+
Рутил	—	—	+	0,1
Магнетит	3870	3437	897	495
Гематит	—	—	136,2	291,6
Пирит	2907	275	238	294
Лимонит	+	6,1	8,9	15
Молибденит	—	—	+	0,2

Примечание. В таблицах 2 и 3 знак + означает, что минерал встречен в виде единичных знаков.

Таблица 3. Содержание (среднее по пяти пробам) аксессуарных минералов в гранитоидах мезозойского интрузивного комплекса (в ε/τ)

Минерал	Крупнозернистый гранит	Гранит-порфир	Мелкозернистый гранит-порфир	Грейзенизированный гранит	Грейзен
Апатит	26,7	45,7	14,2	40,4	48,6
Монацит	95,2	4,5	+	1,6	2,4
Циркон	3,6	0,5	0,2	0,4	0,2
Флюорит	115,1	17,5	0,3	196,8	239,5
Гранат	—	+	0,1	1,4	1,7
Лейкоксен	0,3	0,2	0,2	1,9	2,4
Сфен	+	38,4	+	0,2	0,3
Рутил	5,1	22,8	0,3	19,4	21,5
Ильменорутит	0,4	0,7	+	5,2	8,9
Магнетит	1794	753	491	261	259
Гематит	501,9	757	102,1	627	726
Мартит	48,2	—	—	44,3	50,8
Пирит	7,3	16,5	0,3	27,8	31,6
Лимонит	1,8	3,6	—	3,9	5,8
Молибденит	0,8	0,6	+	0,6	0,9
Гюбнерит	—	—	—	+	+
Сфалерит	—	—	—	+	+
Галенит	—	—	—	+	+
Вульфенит	—	—	—	+	+

и, кроме того, Pb, Sn и Mo. В пирите из протерозойских и палеозойских гранитов характерными микроэлементами являются Co, Ni, Ga, Zr и Ti. В пирите из мезозойских гранитов присутствуют Pb, Sn, Ag, Mo, Nb, Co, Ni, Ga, Zr и Ti.

Молибденит наблюдается в мезозойских гранитах. Из микроэлементов в нем отмечены Pb, Sn, Ni, Co, Sr, Cr, V, Nb, Be, Zr, Ga, Ti, Re, Ge, Y и La.

Резюмируя полученные основные закономерности распределения акцессорных минералов в изученных нами интрузивных породах, можно отметить следующее.

1. Гранитоиды протерозойского возраста содержат максимальное количество акцессорных ортита, граната, ильменита, лейкоксена, сфена и магнетита.

2. В гранитоидах палеозойского интрузивного комплекса, кроме того, присутствует акцессорный циртолит и несколько повышается содержание апатита.

3. Неизменные граниты мезозойского интрузивного комплекса по составу акцессорных минералов резко отличаются от более древних гранитов присутствием большого количества монацита, флюорита, рутила, ильменорутита, молибденита, гематита и мартита.

4. В грейзенизированных гранитах и грейзенах мезозойского интрузивного комплекса по сравнению с неизменными гранитами этого же комплекса наблюдается некоторое увеличение содержания акцессорных апатита, граната, флюорита и пирита, а содержание монацита, сфена, циркона и магнетита уменьшается. Кроме того, в грейзенизированных гранитах и грейзенах появляются акцессорные гюбнерит, сфалерит, галенит и вульфенит.

5. В акцессорных минералах мезозойских гранитов присутствуют Pb, Sn, Mo, Be, Nb и Ag, которые не встречаются в таких же минералах протерозойских и палеозойских гранитов.

6. Наличие акцессорного молибденита и вхождение Pb, Sn, Be, Nb и Ag в решетки ряда акцессорных минералов свидетельствуют о первичной потенциальной металлоносности гранитоидной магмы, из которой образовались мезозойские граниты.



И. С. ИПАТЬЕВА

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРАНИТОИДОВ ВЕРХНЕ-ИНДИГИРСКОГО РАЙОНА (Восточная Якутия)

Среди гранитных интрузий Верхне-Индигирского района исследователями выделяются крупные интрузии батолитического типа, приуроченные к зоне сочленения Иньяли-Дебинского синклинория с Колымским срединным массивом, а также небольшие по размерам штокообразные гранитные тела, дайки основного, среднего и кислого состава, приуроченные к центральной части Иньяли-Дебинского синклинория.

Формирование гранитных интрузий происходило в несколько этапов. В ранний этап формировались краевые и основные фации интрузий. К основной фации относятся средне- и крупнозернистые часто порфиоровидные биотитовые граниты, приуроченные к центральным частям крупных батолитических интрузий и слагающие некоторые штокообразные интрузии Иньяли-Дебинского синклинория.

К краевой фации относятся гранодиориты, образующие меланократовую оторочку вокруг крупных батолитов. В поздний этап из остаточного расплава единой гранитной магмы образовались лейкократовые аляскитового облика граниты, и, наконец, на завершающем этапе — аплиты и пегматиты.

Среди акцессорных минералов в гранитах Верхне-Индибирского района выделяется пять групп: 1) раннемагматические (циркон, ильменит, апатит, гранат, рутил, сфен); 2) позднемагматические (монацит, ксенотим, широхлор, циртолит, уранинит); 3) пневматолито-гидротермальные (флюорит, вольфрамит, турмалин, циннвальдит, урановые слюдки, топаз, анатаз, брукит, иногда рутил и апатит, а также сульфиды — пирит, арсениопирит, халькопирит, млибденит, антимонит, галенит, сфалерит, леллингит, пирротин); 4) вторичные минералы (эпидот, клиноцоизит, лейкоксен, лимонит, скородит); 5) продукты контаминации (анадалузит, силлиманит, гранат, корунд, шпинель).

В формации крупных батолитов отчетливо выделяются: 1) акцессорные минералы гранитов раннего этапа кристаллизации интрузий (крупно- и среднезернистые биотитовые граниты основной фации, гранодиоритов — краевой фации); 2) акцессорные минералы гранитов позднего этапа кристаллизации интрузий (лейкократовые аляскитовые граниты); 3) акцессорные минералы гранитов завершающего этапа кристаллизации интрузий (аплиты, пегматиты).

Состав и характер распределения акцессорных минералов в гранитах всех этапов кристаллизации интрузий приведены в табл. 1. Установлены следующие особенности распределения акцессорных минералов в различных породах гранитных интрузий.

1. Содержание раннемагматических акцессорных минералов (циркон, ильменит, апатит) понижается в сторону более поздних по времени образования пород.

2. Более поздние дифференциаты гранитной магмы обогащены акцессорными минералами, содержащими редкоземельные компоненты. Так, редкоземельные акцессорные минералы в лейкократовых гранитах составляют более разнообразную группу по сравнению с редкоземельными акцессорными минералами биотитовых гранитов и гранодиоритов. Сюда входят монацит, ксенотим, широхлор, уранинит, циртолит и урановые слюдки (ураноцирцит). В лейкократовых гранитах содержание циркона и ильменита уменьшается в более грейзенизированных разностях. Содержание апатита и рутила, наоборот, увеличивается в более измененных породах за счет появления метасоматического апатита и рутила. Гранат присутствует в незначительном количестве. Аномальные содержания граната наблюдаются в аляскитоидных гранитах, приуроченных к эндоконтакту гранитных массивов.

Акцессорные минералы, относимые к этому этапу аплитов и пегматоидных шлифов, аналогичны акцессорным минералам описанной группы гранитных пород.

3. Появление в гранодиоритах краевых фаций продуктов контаминации (анадалузит, силлиманит, гранат, корунд) указывает на гибридный характер этих пород.

4. Типоморфным минералом гибридных пород является акцессорный ортит, не встреченный в гранитах основной фации.

В дайках основного состава, габбро-диабазы и амфиболсодержащих диоритовых порфиридах, приуроченных к центральной части Иньяли-Дебинского синклинория (формация малых интрузий) в качестве главных акцессорных минералов в повышенном количестве (до 3 кг/т) отмечаются титаномагнетит и ильменит (табл. 2). Циркон и апатит присутствуют в знаках. Арсениопирит, пирит, галенит и самородное серебро встречаются как единичные примеси. Особенность комплекса акцессорных минералов

даек основного состава заключается в повышенном содержании титаномагнетита и ильменита. Титаномагнетит не характерен для кислых пород данного района.

Дайки среднего и кислого состава, принадлежащие также к формации малых интрузий, образуют наиболее разнообразную группу пород. К ним относятся диоритовые порфириты, кварцевые диоритовые порфириты, гранодиорит-порфиры, гранит-порфиры, граниты и кварцевые порфиры.

Комплекс акцессорных минералов даек среднего и кислого состава аналогичен комплексу акцессорных минералов гранитных интрузий данного района (табл. 2). Как видно из данных табл. 2, дайки среднего и кислого состава отличаются друг от друга содержанием отдельных акцессорных минералов. Так, ортит характерен только для даек среднего состава и обычно встречается в гранодиорит-порфирах. Монацит и ксенотим, наоборот, отмечены в дайках кислого состава. Содержание раннемагматических акцессорных минералов уменьшается в сторону кислых по составу даек, достигая минимума в кварцевых порфирах. Так, ильменит в некоторых дайках гранодиорит-порфиров присутствует в значительных количествах и почти отсутствует в кварцевых порфирах.

Аналогичная закономерность в распределении и составе акцессорных минералов была отмечена при изучении различных фациальных разновидностей гранитных пород от ранних дифференциатов гранитной магмы к более поздним.

Таким образом, наблюдается сходство акцессорных минералов и их количественных соотношений в дайках кислого и (среднего) состава и в породах гранитных интрузий. При этом средние дайки по комплексу акцессорных минералов сходны с гранитами и гранодиоритами ранних этапов, а кислые (кварцевые порфиры и гранит-порфиры) — с более поздними по времени образования разновидностями гранитных пород. Между ними есть переходные разности, которые по составу акцессорных минералов соответствуют и тем и другим разновидностям пород гранитных интрузий.

Отличительный комплекс акцессорных минералов даек основного состава позволяет выделить их в особую группу пород, вероятно, генетически не связанную с кислыми интрузиями района.

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ КАК КРИТЕРИИ СВЯЗИ ОРУДЕНЕНИЯ С ИНТРУЗИЯМИ

Для выяснения характера связи оруденения золота с интрузиями сопоставлены акцессорные минералы гранитов и кварцевых жил Чугулуцкого и Сияпского массивов.

В кварцевых золотоносных жилах Чугулуцкого массива отмечены в незначительном количестве акцессорные апатит, рутил и ортит. Причем в кварцевых жилах, залегающих в гранитах, присутствуют циркон и апатит, а в кварцевых жилах, расположенных в биотитовых роговиках, содержится ортит. Первая стадия минерализации характеризуется присутствием в кварцевых жилах леллингита, арсенопирита и скородита. Во вторую стадию появляются молибденит, иногда халькопирит и висмутовые минералы, находящиеся в парагенезисе с золотом.

Акцессорные минералы в гранитах Чугулуцкого массива представлены цирконом, апатитом, ильменитом, анатазом и сфеном. Из рудных минералов присутствуют в незначительных количествах арсенопирит, пирит, молибденит, леллингит, из вторичных — лимонит и лейкоксен.

Таким образом, арсенопирит, пирит, молибденит и леллингит присутствуют в гранитах Чугулуцкого массива в качестве второстепенных примесей и в то же время являются основными рудными минералами золотоносных кварцевых жил, пространственно связанных с данным массивом.

Аналогичное явление наблюдается при сопоставлении комплекса акцессорных минералов в гранитах Сияльского массива и кварцевых золоторудных жил, расположенных во вмещающих породах вблизи массива. В гранитах Сияльского массива в качестве акцессорных минералов присутствуют циркон, апатит, анатаз, рутил, сфен, ильменит и др. Из рудных минералов как примеси отмечены арсенопирит, пирит, халькопирит, молибденит, лимонит и самородное серебро. В золоторудных кварцевых жилах, расположенных в экзоконтакте Сияльского массива, акцессорные минералы представлены цирконом, апатитом, ильменитом, сфеном и анатазом. Содержание их незначительно. Из рудных минералов главными составляющими являются пирит, арсенопирит, золото и знаки халькопирита, из вторичных — лимонит и скородит.

Таким образом, присутствие в биотитовых гранитах в рассеянном виде и в незначительном количестве главных компонентов золоторудных кварцевых жил (висмутовые минералы, молибденит, скородит, иногда антимонит и халькопирит вместе с арсенопиритом и пиритом) позволяет высказать предположение о прямой генетической связи золотого оруденения с гранитными интрузиями Верхне-Индибирского района.

Необходимо также отметить, что состав и некоторые физические свойства акцессорных минералов кварцевых жил, расположенных в гранитах и осадочных породах, отличаются друг от друга. Так, для кварцевых жил, приуроченных к гранитам, в качестве акцессорных минералов отмечаются рутил и гранат, из сульфидов — сфалерит, молибденит и пирротин. В кварцевых жилах, расположенных в осадочных породах, вместо рутила обычно присутствует голубовато-синий анатаз в виде правильных остроугольных пирамидок. Из других акцессорных минералов монацит и антимонит встречаются только в кварцевых жилах осадочного чехла.

При изучении люминесценции минералов в ультрафиолетовых лучах замечено, что в кварцевых жилах, расположенных в осадочных породах, апатит обнаруживает голубое свечение, а в кварцевых жилах, приуроченных к гранитам, он не люминесцирует. Аналогичное свечение апатита было обнаружено в шлихах из золотоносных россыпей.

ВЫВОДЫ

Изучение акцессорных минералов, их качественного состава и количественного содержания в различных разновидностях гранитоидных пород Верхне-Индибирского района позволяет сделать следующие выводы.

1. Однотипный комплекс акцессорных минералов различных массивов (разновозрастных и расположенных в разной структурной обстановке) позволяет говорить о едином позднемезозойском магматическом комплексе Верхне-Индибирского золотоносного района.

2. Распределение акцессорных минералов в отдельных разновидностях пород гранитной формации дает возможность наметить определенную эволюцию состава магматического расплава в процессе становления интрузии от ранних дифференциатов гранитной магмы к более поздним.

3. Сходство акцессорных минералов кислых (и средних) даек и гранитов позволяет судить об общности их происхождения.

4. Сравнение комплекса акцессорных минералов в изверженных породах и золоторудных жилах, свидетельствует о тесной генетической связи золотого оруденения с интрузиями Верхне-Индибирского района.

5. Отдельные свойства акцессорных минералов кварцевых жил могут служить поисковым признаком для нахождения коренных месторождений золота.

ПОВЕДЕНИЕ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КВАРЦ-МУСКОВИТОВЫХ ГРЕЙЗЕНОВ

Имеется довольно много работ, в которых дается детальный анализ поведения породообразующих минералов под воздействием грейзенизирующих растворов. Значительно хуже освещен в литературе вопрос об изменениях акцессорных минералов в процессе грейзенизации. На примере грейзеновых образований Бугузунского вольфрамового месторождения в юго-восточной части Горного Алтая нами дается анализ поведения акцессорных минералов при формировании кварц-мусковитовых грейзенов.

Бугузунское месторождение, представленное серией маломощных обычно кулисообразно расположенных и быстро выклинивающихся кварцевых жил с вольфрамитом и небольшим количеством шеелита, пирита, халькопирита, висмутита, виттихенита, эмплектита и других минералов, локализуется в хлорит-кварцевых, хлорит-серицит-кварцевых, кварц-серицит-плаггиоклазовых, хлорит-биотитовых и двуслюдяных гнейсах, мигматитах и своеобразных метаморфогенных породах, по составу приближающихся к плаггиогранитам. Кварцевые жилы сопровождаются маломощными (обычно первые сантиметры) зонами грейзенизированных пород. Отмечаются также зонки грейзенизации вдоль мелких трещин в плаггиогранитах вне видимой связи с рудными образованиями. Для метасоматитов устанавливается проявление метасоматической зональности: кварцевый грейзен, кварц-мусковитовый грейзен, грейзенизированный плаггиогранит. В большинстве случаев развиты только две последние зоны.

При грейзенизации выносятся большинство компонентов, что особенно характерно для кварц-мусковитового грейзена. Наибольший вынос отмечен для Al_2O_3 , MgO и Na_2O . Что же касается FeO , то хотя содержание его в грейзене резко сокращается (от 3,80 до 0,93%), вынос железа не устанавливается: здесь двухвалентное железо интенсивно переходит в трехвалентное (содержание Fe_2O_3 увеличивается от 1,06 до 3,78%).

Вынос щелочей Na_2O и K_2O происходит уже в грейзенизированных плаггиогранитах, но здесь при заметном выносе натрия отмечается, хотя и незначительный, привнос калия. В то же время в грейзене устанавливается вынос и калия при еще более резком выносе натрия.

Содержание глинозема в грейзенизированных породах в основном сохраняется, но в кварц-мусковитовом грейзене оно резко падает (от 12,12% в плаггиогранитах до 4,71% в грейзене). С падением содержания глинозема в породах увеличивается содержание кремнезема. Значительный вынос MgO связан с разложением темноцветных минералов.

В грейзене наряду с привносом кремнезема устанавливается привнос серы, что в минералогическом отношении находит выражение в увеличении содержания пирита и молибденита и в появлении халькопирита.

Таким образом, кварц-мусковитовые грейзены формировались в процессе выщелачивания с привносом кремниевой кислоты, серы, а также бора и фосфора (концентрация в грейзенах акцессорных турмалина и апатита).

В процессе грейзенизации выносятся также подавляющее большинство элементов-примесей (стронций, хром, кобальт, цинк, галлий, никель, медь, свинец, скандий, цирконий и др.). В кварц-мусковитовых грейзенах по сравнению с неизменными плаггиогранитами устанавливается повышенное содержание серебра, висмута и молибдена.

Для выяснения распределения и поведения акцессорных минералов в процессе грейзенизации были изучены искусственные шлихи из неизменных плаггиогранитов, грейзенизированных плаггиогранитов и кварц-мусковитовых грейзенов. Пробы весом 8—10 кг отбирались по разрезу

вкрест простирания метасоматических зон и измельчались на щековой и валковой дробилках до 0,3 мм. Из проб методом квартования отбирался дубликат весом 0,5 кг, а оставшаяся часть рассеивалась на ситах диаметром 0,3; 0,2 и 0,1 мм. Пробы каждого класса взвешивались и промывались до получения серого шлиха. Шлих подвергался магнитной и электромагнитной сепарации, а затем разделению в тяжелых жидкостях. Полученные фракции взвешивались, в них определялся видовой состав минералов и изучались их морфологические особенности. Для спектрального анализа использовались мономинеральные фракции, полученные путем доводки бромформом в фарфоровых чашках отдельных фракций шлиха и последующего отбора зерен под бинокляром. Содержание акцессорных минералов в пробе (в граммах на 1 т) определялось из дубликата с учетом количества их как в отдельных фракциях, так и в шламе.

Таблица 1. Изменение содержания акцессорных минералов в процессе грейзенизации (в г/т)

Минерал	Плаггиогранит	Грейзенизи- рованный плаггиогранит	Кварц-мускови- товый грейзен
Апатит	79,6	52,0	1081,3
Пирит	8,9	2,3	820
Мартит	—	Ед. зн.	10 528
Молибденит	0,19	—	2
Корунд	—	—	Ед. зн.
Монацит	—	—	1 зн.
Халькопирит	—	—	Ед. зн.
Магнетит	58,2	7,69	—
Циркон	4,8	1,1	—
Ксенотим	3,8	—	—
Сфен	Ед. зн.	—	—
Анатаз	Ед. зн.	—	—
Рутил	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.
Шеелит	1,3	Ед. зн.	Ед. зн.
Вольфрамит	Ед. зн.	—	—
Арсенопирит	0,58	Ед. зн.	—

В целом поведение акцессорных минералов в процессе грейзенизации характеризуют данные табл. 1. В зависимости от степени грейзенизации плаггиогранитов количественное содержание акцессорных минералов закономерно изменяется. В кварц-мусковитовых грейзенах по сравнению с плаггиогранитами резко увеличивается содержание акцессорных турмалина, апатита, пирита и в значительном количестве появляется мартит. Повышается содержание молибденита, появляются единичные зерна корунда.

В грейзенизированных плаггиогранитах наряду с увеличением содержания акцессорного турмалина наблюдается незначительное понижение содержания апатита и пирита. Мартит встречается в виде единичных зерен, а молибденит и корунд не установлены. От неизмененных плаггиогранитов через грейзенизированные к кварц-мусковитовым грейzenам наблюдается снижение (до полного исчезновения) содержания акцессорных циркона, магнетита, ксенотима, сфена и анатаза.

Таким образом, устойчивость отдельных акцессорных минералов при грейзенизации плаггиогранитов различна. Наряду с этим каждой новой разновидности минералов, образующейся при формировании кварц-мус-

ковитовых грейзенов, присущи свои специфические морфологические особенности. Не останавливаясь детально на поведении всех аксессуарных минералов плагиогранитов в процессе грейзенизации, проследим изменение морфологических свойств наиболее распространенных из них: турмалина, апатита, циркона, магнетита и пирита.

Турмалин в плагиогранитах представлен тремя морфологическими типами: 1) крупные темно-бурые кристаллы, представляющие комбинацию призм (10 $\bar{1}$ 0), (11 $\bar{2}$ 0) и дипирамиды (02 $\bar{2}$ 1); 2) параллельные сростки и лучистые скопления призматических буровато-зеленых кристаллов, редко изолированные кристаллы с резкой штриховкой на гранях; 3) тонкозернистые агрегаты, игольчатые и лучистые скопления светло-голубовато-зеленого цвета. Количественно резко преобладает первая разновидность турмалина.

Таблица 2. Показатели преломления турмалинов

Порода	Цвет турмалина в шлифе	N_o	N_e	$N_o - N_e$
Неизменный плагиогранит	Темно-бурый	1,660	1,636	0,024
	Зеленовато-бурый	1,646	1,623	0,023
	Голубой	1,642	1,619	0,023
Грейзенизированный плагиогранит	Темно-бурый (шерл)	1,664	1,637	0,027
	Светло-бурый	1,659	1,635	0,024
Кварц-мусковитовый грейзен	Буровато-синий	1,659	1,635	0,024

Среди грейзенизированных плагиогранитов наиболее развит турмалин, представленный крупными изометричного облика черными зернами (шерл). В подчиненном количестве встречаются хорошо образованные призматические кристаллы, по морфологическим особенностям аналогичные турмалину первого типа неизменных плагиогранитов, но отличающиеся меньшими размерами.

В кварц-мусковитовых грейзенах сокращается многообразие морфологических типов аксессуарного турмалина и развивается совершенно иного типа (мелкостолбчатые призматические светло-бурые кристаллы, параллельные или лучистые скопления с веерообразным расположением кристаллов), с содержанием, в несколько десятков раз превышающим содержание его в неизменных породах.

Наряду с изменением морфологических особенностей турмалина несколько изменяются и его оптические свойства (табл. 2). Спектральные анализы турмалинов (рис. 1) показывают, что от неизменных плагиогранитов через грейзенизированные к кварц-мусковитовым грейzenам в турмалине несколько уменьшается содержание Ni, Co, Zr, в то же время увеличивается содержание Cu и появляются As и Ag.

Апатит в плагиогранитах представлен крупными призматическими молочно-белыми кристаллами с округлыми вершинами, обычно с включениями мелких чешуек биотита. Полупрозрачен до непрозрачного.

В грейзенизированных плагиогранитах апатит тот же, но испытывавший интенсивное растворение, что нашло отражение не только в сокращении размеров его зерен и возникновении шаровидных образований, но и в сокращении общего содержания его в породе.

Вместе с тем в кварц-мусковитовых грейзенах содержание апатита снова и очень резко увеличивается. Здесь развиты в основном кристаллы апатита короткопризматического облика без включений. В подчиненном количестве (148,7 г/т из общего количества апатита 1081,3 г/т) в кварц-

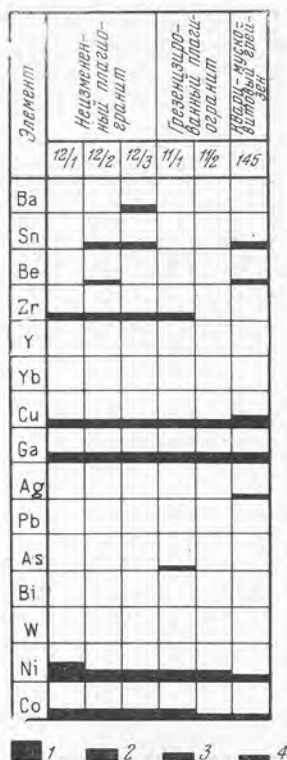


Рис. 1. Результаты спектральных анализов турмалинов

12/1 — темно-бурый; 12/2 — буровато-зеленый; 12/3 — светло-голубовато-зеленый; 11/1 — черный; 11/2 — светло-бурый; 145 — светло-бурый (синеватый).
Содержание (в %): 1 — 0,05—0,01; 2 — 0,01—0,005; 3 — 0,005—0,001; 4 — <0,001

мусковитовых грейзенах появляется новый тип апатита в виде бесцветных водяно-прозрачных изометричных (до шаровидных) зерен, без включений. Для него характерна яркая светло-желтая люминесценция.

Апатиты плагиогранитов, грейзенизированных плагиогранитов и грейзенов несколько отличаются по оптическим свойствам (табл. 3) и по элементам-примесям (рис. 2). В аксессуарных апатитах из кварц-мусковитовых грейзенов несколько уменьшается содержание меди, исчезает никель, в то же время увеличиваются содержание Y, Yb, As и Bi.

Таким образом, в процессе грейзенизации отмечается постепенное исчезновение апатита исходной породы с появлением в кварц-мусковитовом грейзене значительного количества новообразованного апатита, представленного двумя разновидностями.

Циркон в неизмененных плагиогранитах представлен мелкими обычно хорошо сохранившимися кристаллами, представляющими собой комбинацию призм (100) и (110) с дипирамидой (131) или двумя дипирамидами (111) и (131). Циркон желтовато-розового цвета, прозрачный до полупрозрачного. В главной своей массе циркон приурочен к биотиту.

В грейзенизированных разновидностях пород отмечается растворение этого циркона (сокращение размеров кристаллов с потерей кристаллографических форм). В незначительном количестве появляется новая разновидность циркона: хорошо образованные кристаллы — комбинация призмы (110) и бипирамиды (111) бурого цвета, с содержанием ряда редкоземельных элементов.

В кварц-мусковитовых грейзенах циркон уже практически не встречается.

Магнетит в плагиогранитах представлен крупными хорошо ограниченными кристаллами октаэдрического облика. В грейзенизированных

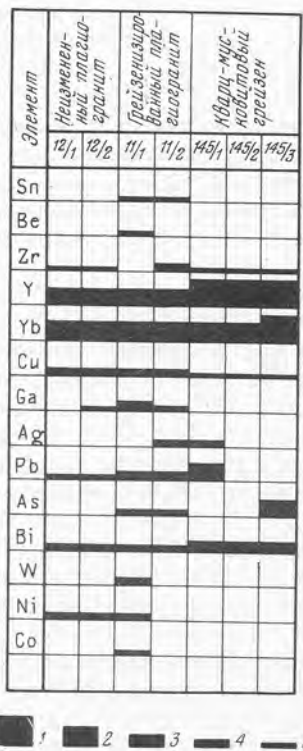


Рис. 2. Результаты спектральных анализов апатитов
12/1, 12/2, 11/1, 11/2, 145/1 и 145/2 — молочно-белый, 145/3 — водяно-прозрачный
Содержание (в %): 1 — 0,5—0,05; 2 — 0,05—0,01; 3 — 0,01—0,005; 4 — 0,005—0,001; 5 — <0,001

плагиигранитах содержание магнетита резко сокращается и его кристаллы несут на себе следы интенсивного растворения. Отдельные зерна магнетита с периферии слабо мартитизированы.

Роль мартитизации резко возрастает в кварц-мусковитовых грейзенах, где магнетит сохраняется только в центральных частях зерен. Встречаются и нацело мартитизированные зерна.

Таблица 3. Показатели преломления аксессуарных апатитов

Порода	Цвет	N_o	N_e	$N_o - N_e$
Неизменный плагиигранит	Молочно-белый	1,630	1,626	0,004
Грейзенизированный плагиигранит	»	1,630	1,626	0,004
	»	1,633	1,629	0,004
Кварц-мусковитовый грейзен	Бесцветный (водно-прозрачный)	1,633	1,629	0,004

В процессе формирования грейзенов образовалось значительное количество магнетита, этому предшествовало разложение магнетита исходной породы. Образовавшийся магнетит в свою очередь подвергался мартитизации. О том, что последний магнетит можно относить к новообразованиям, свидетельствуют постоянно обнаруживаемая в нем вкрапленность пирита, которая отсутствует в магнетите неизменных плагиигранитов, и значительно большее содержание его в грейзенах.

Данные спектрального анализа магнетита неизменных плагиигранитов и мартитизированного магнетита кварц-мусковитовых грейзенов (рис. 3) показывают довольно существенную разницу в их составе. Так, в мартите по сравнению с магнетитом снижается содержание Mg, Ni, Ti и V. Исчезают Cr и Zr. В то же время повышается содержание Cu, появляются Mo, W, Pb, Ag, Bi, Sn и Ge. Таким образом, мартит кварц-мусковитовых грейзенов характеризуется повышенным содержанием основных элементов рудных жил и может рассматриваться как минерал-индикатор профиля минерализации.

Пирит в рассматриваемых породах представлен двумя морфологическими разновидностями. В плагиигранитах преимущественно развиты крупные кристаллы кубического габитуса. В грейзенизированных плагиигранитах наблюдается этот же пирит, но со следами заметного растворения. Реже встречаются неправильные зерна пирита, заполняющие интерстиции между другими минералами породы. Общее содержание пирита в грейзенизированных породах сокращается. В кварц-



Рис. 3. Результаты спектральных анализов магнетитов (12 и 11) и мартитов 145а, 145б, 145е)

Содержание (в %): 1 — 0,5—0,05; 2 — 0,05—0,01; 3 — 0,01—0,005; 4 — 0,005—0,001; 5 — < 0,001

мусковитовых грейзенах «интерстиционный» пирит доминирует. Резко увеличивается здесь также и содержание пирита, по морфологическим особенностям аналогичного пириту первой разновидности из грейзенизированных плагиигранитов.

Таким образом, в процессе грейзенизации постепенно растворяются все акцессорные минералы исходной породы. Часть из них (турмалин, апатит и пирит) в значительном количестве (обычно резко превосходящем их содержание в неизменной породе) в качестве новообразованных снова появляется в кварц-мусковитовых грейзенах. Для новообразованных минералов характерны свои морфологические особенности, позволяющие отличать их от акцессорных минералов исходных пород.

Присутствие в новообразованных акцессорных минералах грейзенизированных пород элементов-примесей, являющихся ведущими в рудном процессе, свидетельствует о тесной генетической связи этих двух процессов и позволяет судить о профиле оруденения.

Учет количественного изменения акцессорных минералов в процессе формирования грейзенов и детальное изучение морфологических особенностей этих минералов для более уверенного выделения среди них новообразованных разновидностей наряду с установлением, где это возможно, состава (в том числе элементов-примесей) акцессорных минералов позволит полнее восстановить физико-химические особенности процесса грейзенизации.



Г. М. ГНАТИВ, О. И. МАТКОВСКИЙ

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АКЦЕССОРНОГО ЦИРКОНА ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД КРАЙНЕЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ УКРАИНСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЩИТА

Роль и значение циркона в изверженных горных породах довольно четко показаны в ряде работ как отечественных, так и зарубежных авторов (В. А. Вахрушев, В. В. Ляхович, И. А. Преображенский, С. Д. Туровский, И. М. Шафрановский, А. Полдерваарт, Уайт). В пределах Украинского кристаллического щита акцессорный циркон изучался Т. Н. Агафоновой, И. В. Завьяловой, Г. М. Гнатовым, М. Н. Ивантишиным, О. И. Матковским, И. Д. Царовским и др.

В данной статье приводятся сводные данные по морфологии акцессорного циркона из изверженных горных пород крайней северо-западной части Украинского кристаллического щита и показана его роль при решении вопросов генезиса и корреляции изверженных пород определенных комплексов.

Для выделения циркона и других акцессориев отбирались пробы весом 5—10 кг, которые составлялись из небольших кусков, по возможности, свежей без прожилков и посторонних включений породы. Пробы дробились в стальной ступке и часто просеивались через сита 0,5 и 0,3 мм, в зависимости от структуры породы и размеров акцессорных минералов. Большая часть пробы промывалась до серого шлиха, из которого после высушивания оттягивалась магнитная фракция. Остальная часть шлиха после просева через сита 0,1 и 0,2 мм разделялась в тяжелых жидкостях. Тяжелая фракция подвергалась электромагнитной сепарации на электромагните БИТ-2. Минералогическому исследованию подвергались магнитная, электромагнитная и тяжелая неэлектромагнитная фракции. Для диаг-

постижки минералов использовались микроскопический, микрохимический, спектральный, рентгенометрический, гониометрический и другие методы анализов. Рудные минералы изучались в полированных шлифах.

Для количественного определения акцессорных минералов в породах из каждой пробы отквартовывалась навеска 100 г, которая после отмучивания в стакане и слива частиц $<0,01$ мм высушивалась и разделялась в тяжелых жидкостях. Тяжелая фракция просеивалась через сита 0,1 и 0,2 мм и подвергалась магнитной и электромагнитной сепарациям. Количественное содержание отдельных фракций определялось взвешиванием, а отдельных минералов во фракциях — подсчетом зерен под бинокляром и микроскопом. Полученные объемные проценты каждого минерала переводились в весовые проценты фракции, после чего пересчитывались к весу всего концентрата и затем к содержанию на 1 т породы.

Изучались акцессорные минералы в породах архейского метаморфического комплекса и изверженных образований кировоградско-житомирского и осницкого комплексов (табл. 1).

Изученные породы характеризуются большим разнообразием акцессорных минералов, содержание которых сравнительно низкое и подвержено значительным колебаниям. Наиболее высокое содержание акцессориев отмечено у большинства пород осницкого комплекса. Наблюдается вполне определенная зависимость между содержанием акцессорных минералов и условиями образования вмещающих пород. Так, гибридные породы (кварцевые диориты и гранодиориты) содержат повышенное количество магнетита, сфена, апатита и других минералов по сравнению с нормальными гранитами.

Циркон является весьма распространенным акцессорным минералом исследованных пород. Наибольшее содержание его отмечено в осницких гранитоидах и самое низкое — в житомирских гранитах и пегматитах, в которых в отличие от осницких гранитов присутствует акцессорный монацит.

МОРФОЛОГИЯ КРИСТАЛЛОВ ЦИРКОНА

При изучении морфологии кристаллов циркона обращалось особое внимание на облик, габитус, комбинации простых форм и размеры кристаллов. При изучении облика кристаллов были проведены статистические подсчеты отношения длины (l) к ширине (h), характеризующие величину их удлинения. Всего измерялось по 100—300 кристаллов из каждой пробы. По данным этих подсчетов были построены кривые зависимости коэффициентов удлинения от частоты встречаемости, где по оси абсцисс откладывались отношения длины к ширине $l:h$, а по оси ординат — частота встречаемости (рис. 1). Простые формы на кристаллах циркона определялись по данным измерения на гониометре ГД-1 и частично по таблицам В. Гольдшмидта. Основные формы кристаллов циркона приведены на рис. 2.

Из табл. 2 и рис. 2 видно, что цирконы из разных генетических типов пород северо-западной части Украинского кристаллического щита различны по облику¹, габитусу, простым формам и их комбинациям.

Облик кристаллов циркона столбчатый и изометрический. Преобладают во всех породах кристаллы столбчатого облика, однако коэффициент столбчатости у них различен (см. табл. 2). Из рис. 1 видно, что наибольшее количество кристаллов с коэффициентом столбчатости 1,5—3. Максимум на кривых при $l:h=2:1$ характерен для кристаллов циркона из житомирских, аллито-пегматоидных, нормальных осницких гранитов и

¹ Термины «облик», «габитус», «коэффициент столбчатости» употребляются нами в понимании Н. К. Разумовского.

Таблица 1. Содержание акцессорных минералов в изверженных породах крайней северо-западной части Украинского кристаллического щита (в г/т)

Порода	Число проб	Магнетит	Гематит	Ильменит	Лимонит	Гранат	Турмалин	Сфен	Лейкоксен	Моноптит	Ксенотим	Эпидот	Апатит	Циркон	Рутит	Анастаз	Флюорит	Липрит	Халькопирит	Молибденит	Орпиг
Амфиболиты	3	40	Ед. з.	76	150	--	--	934	--	--	--	400	380	160	Ед. з.	--	--	30	Ед. з.	Ед. з.	--
Розовый порфиroidный гранит с. Мухарева	4	604	Ед. з.	16	600	344	Ед. з.	164	--	8	--	480	138	262	--	Ед. з.	62	195	--	Ед. з.	--
Розовый порфиroidный гранит сел. Балашовки, Якубовки	4	30	Ед. з.	48	290	10	--	182	--	Ед. з.	--	420	210	360	--	Ед. з.	Ед. з.	30	--	Ед. з.	--
Серый равномернозернистый житомирский гранит г. Корца, сел. Гвоздова, Гольчевки, Губкова	12	40	Ед. з.	25	Ед. з.	Ед. з.	49	22	325	--	Ед. з.	45	266	92	Ед. з.	Ед. з.	--	7	--	Ед. з.	--
Гибридные породы (кварцевые диориты) с. Гольчевки	2	10	Ед. з.	22	125	--	25	1678	--	--	--	680	410	69	5	--	--	26	--	--	--
Осницкий комплекс																					
Диориты	2	8600	Ед. з.	Ед. з.	--	--	--	6200	--	--	--	--	4500	200	--	--	--	2100	Ед. з.	Ед. з.	--
Кварцевые диориты с ксенотимами диоритов	2	7200	--	100	--	--	--	5600	--	--	--	--	1400	600	--	--	--	1200	Ед. з.	--	--
Гранодиориты	2	4600	--	300	--	--	--	3300	100	--	--	--	1200	700	--	Ед. з.	--	100	--	--	--
Нормальные осницкие граниты	3	4500	--	1000	--	--	--	600	300	--	--	--	500	1000	Ед. з.	Ед. з.	--	100	--	--	Ед. з.
Розово-серые осницкие граниты с. Браниславки	5	2140	24	72	124	40	--	744	--	Ед. з.	--	1476	121	213	2	--	16	3	Ед. з.	Ед. з.	--
Аплит-граниты	2	3000	--	2000	--	Ед. з.	--	200	--	--	--	--	100	300	--	Ед. з.	--	--	--	--	--

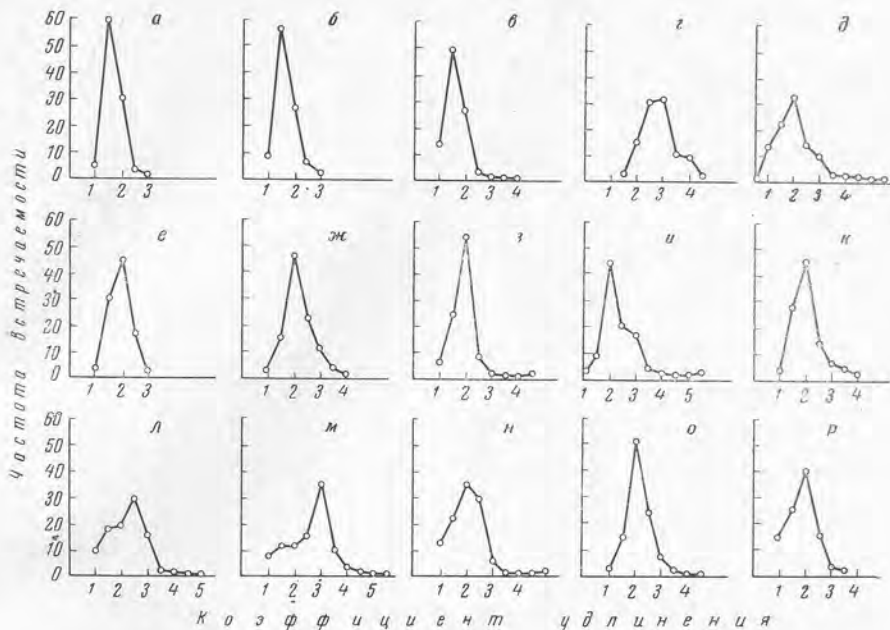


Рис. 1. Кривые зависимости коэффициента столбчатости от частоты встречаемости кристаллов циркона в разных породах крайней северо-западной части Украинского кристаллического щита

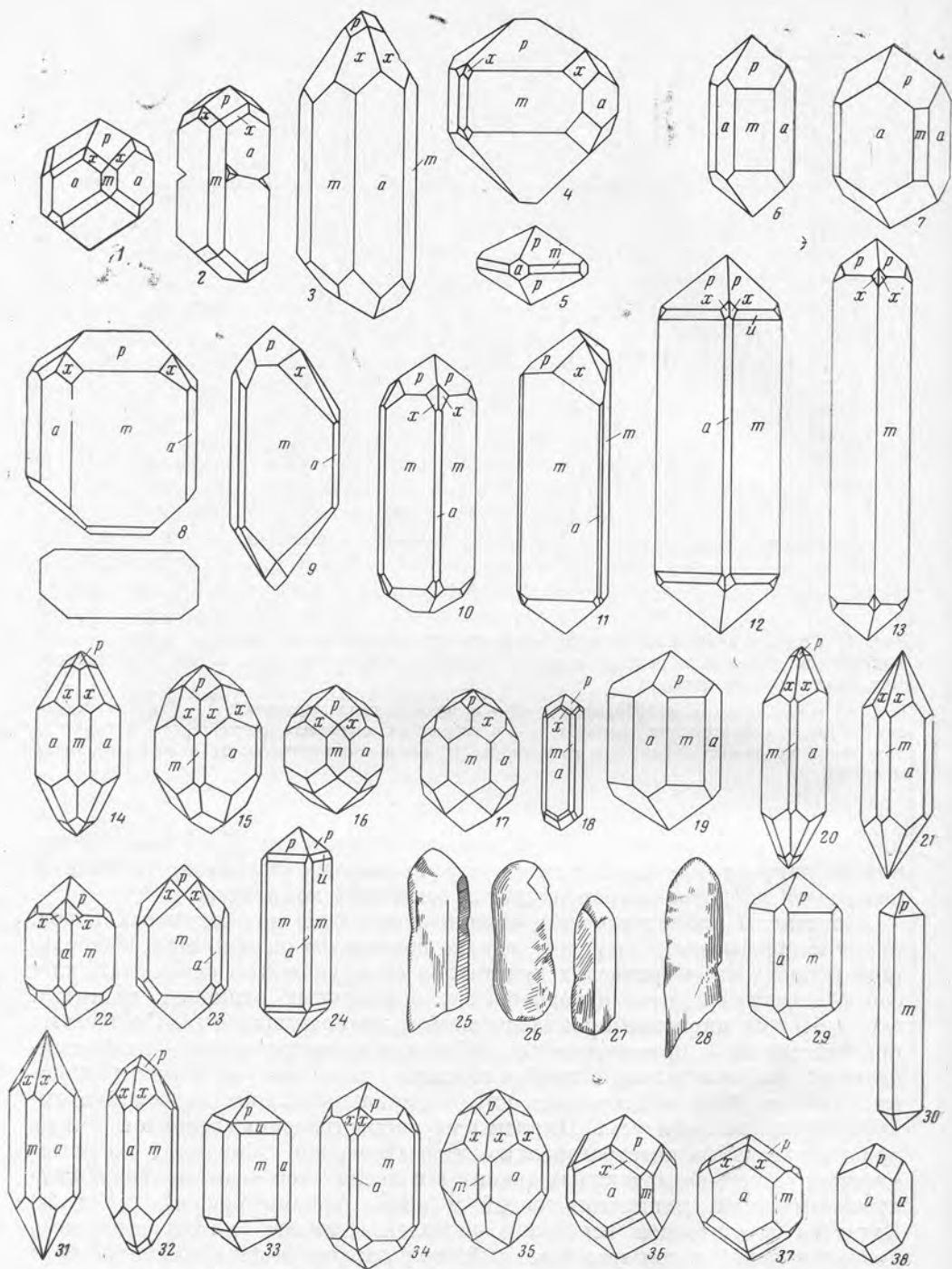
а, б — в гнейсах; в — в амфиболитах; г—д — в кировоградских гранитах; е—и — в житомирских и аплитопегматоидных гранитах; ж — в кварцевых диоритах и гранодиоритах; з — в кварцевых диоритах и гранодиоритах; и — в кварцевых диоритах и гранодиоритах; л — в порфири-тах; м — в кварцевых диоритах и гранодиоритах; н — в аплит-пегматитах; о, р — в осницких гранитах

клевовских аплит-гранитов. Коэффициент столбчатости 2,5—3 типичен для кировоградских крупнозернистых порфировидных гранитов, гибридных кварцевых диоритов и гранодиоритов осницкого комплекса.

Кристаллы изометрического облика отмечаются во всех типах пород, кроме кировоградских гранитов, однако количество их меняется. Наибольший процент изометрических кристаллов обнаружен в амфиболитах, клево-ских аплит-гранитах и порфири-тах, нормальных осницких гранитах.

Габ и тус цирконов призматический и дипирамидальный. Столбчатые кристаллы имеют призматический габитус, а изометрические — дипирами-дальный. На кристаллах с приблизительно одинаково развитыми призмами {110} и {100} наблюдаются дитетрагональные призматический и ди-пирамидальный габитусы. Цирконы из кировоградских гранитов имеют призматический и дитетрагонально-призматический габитусы, а из жито-мирских аплитопегматоидных гранитов и пегматитов — дитетрагональные призматический, дипирамидальный и редко призматический габитусы. Цирконы гранитоидов осницкого комплекса имеют дитетрагональные призматический и дипирамидальный, призматически-дипирамидальный и призматический габитусы.

Простые формы цирконов. Призмы {110}, {100} и дипирамида {111} наблюдались почти на всех кристаллах циркона, тетрагональная дипирамида {311} на некоторых кристаллах отсутствует и очень редко от-мечается дипирамида {331}, причем они развиты неодинаково на кристал-лах из разных пород. На цирконах из житомирских гранитов, аплитов и пегматитов призма {100} преобладает над {110} или одинаково развита, обуславливая дитетрагонально-призматический габитус; в кировоградских и иногда осницких гранитах, наоборот, сильно развита призма {110}, а



$p-(111)$ $u-(331)$ $a-(100)$ $m-(110)$ $x-(311)$

Рис. 2. Основные формы кристаллов циркона гранитоидов северо-западной части Украинского кристаллического щита

1—5 — в амфиболитах; 6—13 — в кировоградских гранитах; 14—21 — в житомирских гранитах; 22—24 — в гибридных кварцевых диоритах; 25—27 — в диоритах; 28—30 — в порфиритах; 31—32 — в кварцевых диоритах и гранодиоритах; 33—38 — в аплит-гранитах и осницких гранитах

Таблица 2. Облик, габитус, простые формы и характерные комбинации кристаллов циркона пород крайней северо-западной части Украинского кристаллического щита

Шорода	Облик	Размер кристаллов, мм	Коэффициент столбчатости кристаллов	Габитус	Простая форма						Характерная комбинация простых форм	
					{110}	{100}	{111}	{112}	{113}	{114}		
Житомирско-кировоградский комплекс												
Амфиболит с. Губкова	Столбчатый, изометрический	До 0,5—0,2	1,5	Дитетрагональные призматический, дипирамидальный	+	+	+	+	+	+	+	1) {111}, {100}, {111}, {311} 2) {111}, {110}, {100}
Розовый порфировидный гранит кировоградского типа сел. Мухарева, Балашовки, Якубовки	Столбчатый	1. До 0,1—0,3; 2. До 0,3, редко до 0,7	2,5—3,0	Дитетрагонально-призматический, призматический	+	+	+	+	+	+	+	1) {110}, {100}, {111} 2) {110}, {100}, {110}, {311} 3) {110}, {111}, {311}
Серый радиомернозернистый житомирский гранит г. Жорца, сел. Гольчевки, Губкова и др.	Столбчатый, изометрический		2,0	Дитетрагональные призматический, дипирамидальный	+	+	+	+	+	+	+	1) {100}, {110}, {311}, {111} 2) {100}, {110}, {311}
Серый среднезернистый житомирский гранит с. Мочулянки	Столбчатый		2,0	То же	+	+	+	+	+	+	+	1) {100}, {110}, {111}
Розово-серый аплито-пегматидный гранит	Столбчатый, изометрический	До 0,1—0,02	2,0	» »	+	+	+	+	+	+	+	1) {100}, {110}, {111}, {311} 2) {100}, {110}, {311}
Гибридизированные породы (кварцевые диориты) с. Гольчевки	Столбчатый	До 0,2—0,3	2,0	Дитетрагонально-призматический	+	+	+	+	+	+	+	1) {110}, {100}, {111}, {311}
Осницкий комплекс												
Диорит с. Виры	»	До 0,2		Искаженные кристаллы, призматический	+	+	+	+	+	+	+	1) {110}, {100}, {111}
Порфирит с. Клевово	Столбчатый, изометрический		1,5—2,0	Дитетрагонально-призматически-дипирамидальный	+	+	+	+	+	+	+	1) {110}, {100}, {111}, {311}
Гибридные кварцевые диориты и гранодиориты	То же	До 0,3	3,0	Дитетрагонально-призматический	+	+	+	+	+	+	+	1) {110}, {100}, {111}, {311}
Нормальные осницкие граниты Клевово-Рокитнянского массива	»		1,5—2,5	Дитетрагональные призматический и дипирамидальный	+	+	+	+	+	+	+	1) {110}, {100}, {111}, {311} 2) {100}, {110}, {311} 3) {100}, {111}
Розово-серый крупнозернистый осницкий гранит с. Бродиславки	Столбчатый	До 0,3, редко до 0,5	2,0	То же	+	+	+	+	+	+	+	1) {100}, {100}, {111}, {331} 2) {110}, {100}, {111}, {311}
Аплит-граниты	Изометрический, столбчатый	До 0,15	1,5—2,5	Призматический, призматически-дипирамидальный	+	+	+	+	+	+	+	1) {110}, {111}

слабо или даже иногда отсутствует {100}, что обуславливает призматический габитус. Кроме того, в кировоградских гранитах встречены кристаллы с одинаково развитыми призмами (метамиктные).

Дипирамида {111} иногда слабо выражена или отсутствует на цирконах житомирских гранитов, а также кварцевых диоритов и гранодиоритов осницкого комплекса. Тетрагональная дипирамида {331} встречается очень редко в виде отдельных граней на кристаллах кировоградских и осницких гранитоидов.

Дитетрагональная дипирамида {311} сильно развита на цирконах житомирских и осницких гранитов, пегматитов, гнейсов, амфиболитов, кварцевых диоритов и гранодиоритов и слабо выражена или отсутствует на их кристаллах из кировоградских и некоторых житомирских (с. Мочулянка) гранитов и порфиритов.

Наибольшее число комбинаций простых форм наблюдается на кристаллах циркона из кировоградских и осницких гранитов и наименьшее — на кристаллах из гибридных пород.

Морфологические особенности цирконов исследованных пород показывают, что основная масса их кристаллов имеет дитетрагонально-призматический габитус с хорошо развитыми призмами первого и второго рода, т. е. они отвечают морфогенетическому типу циркона (циркон А), установленному И. Д. Царовским для пород, сформированных в доплатформенных условиях образования гранитоидных массивов Украинского кристаллического щита. Это также подтверждается железистостью биотита и других минералов этих пород. Исключение составляют некоторые кристаллы циркона из кировоградских порфировидных гранитов, на которых призма {100} слабо развита, а иногда отсутствует, и тогда они до некоторой степени напоминают цирконы гранитоидов платформенного типа (циркон Б). Это, возможно, обусловлено тем, что кировоградские граниты здесь являются краевой фацией. Они в отличие от других пород подвижных зон, как отмечает И. Д. Царовский, обладают неравномерным содержанием гафния.

Цирконы кировоградских и житомирских гранитов несколько отличаются между собой по облику и габитусу: в первых кристаллы сильно вытянутые, имеют сильно развитую призму {110} и дипирамиду {111} и в основном слабо и неравномерно выраженные призму второго рода и дипирамиду {311}; в житомирских гранитах, наоборот, сильнее развиты формы {100}, {311} и слабее {110} и {111}.

Близкие между собой по облику и габитусу цирконы из житомирских и осницких гранитоидов отличаются только неодинаковым развитием призм: у вторых сильнее выражена призма первого рода, а у житомирских призма {100} преобладает над {110} или они одинаково развиты.

Неправильные, часто корродированные цирконы в основных породах (габбро) и их гранитизированных разностях (диориты, порфириты) осницкого комплекса, очевидно, реликтовые. Для основных изверженных пород характерны неправильные, разъеденные цирконы. А. Полдерваарт объясняет образование таких кристаллов в основных породах более поздней кристаллизацией циркона.

Возможно, что наличие таких же неправильных корродированных цирконов в амфиболитах житомирского комплекса свидетельствует об их образовании за счет основных изверженных пород, что согласуется с точкой зрения Л. Г. Ткачука на их генезис.

Окатанные зерна и кристаллы с паростами в аплит-гранитах осницкого комплекса указывают, что это осадочный тип циркона (М. Уайт), а сами породы — автохтонные образования за счет гранитизации древних песчаников. В свое время еще С. Матковский считал, что клесовские аплит-граниты являются гранитизированными песчаниками.

ЦИРКОН ИЗ ГРАНИТОИДОВ РАЗНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ (на примере Горного Алтая)

В связи с гетерогенностью магматических образований возникает необходимость установления характерных признаков для пород близкого состава, но разного генезиса (Ю. А. Кузнецов). При этом чрезвычайно благоприятно изучение особенностей вещественного состава пород.

В последнее время при решении вопроса генезиса пород большое внимание уделяется акцессорным минералам и особенно циркону. Полдерваарт, Вайтнейдж, Уатт показали, что те или иные морфологические и физические особенности циркона обусловлены физико-химическими условиями среды и часто наряду с другими данными (особенно геологическими) позволяют полнее восстановить условия образования породы. Так, Полдерваарт и Экельман указывают, что цирконы из автохтонных гранитов сопровождаются зонами роста, возникающими при превращении осадков в граниты. Подобные же явления отмечали Каракида, Верспик, Шютцел и Кутшке.

В настоящей статье представлены результаты изучения цирконов в гранитоидах разного генезиса, развитых на территории Горного Алтая. При этом использовалась схема развития магматизма этого района, разработанная В. А. Кузнецовым. Рассматриваются гранитоидные образования трех генетических групп. К первой группе относятся гранитоиды, образовавшиеся на месте путем магматического замещения по Д. С. Коржинскому; ко второй — гранитоиды, формирование которых связывается с интродуцированием магмы, возникшей в результате плавления алюмосиликатных толщ; к третьей — гранитоиды повышенной основности, для которых предполагается связь с магмой основного состава.

Для изучения циркона и других акцессорных минералов отбирались пробы 8—10 кг, которые измельчались на щековой и вальковой дробилках до 0,3 мм. Из проб методом квартования отбирались дубликаты весом по 0,5 кг, а оставшийся материал рассеивался на ситах диаметром 0,3; 0,2 и 0,1 мм. Пробы каждого класса взвешивались и промывались до получения серого шлиха. Шлих подвергался магнитной и электромагнитной сепарации, а затем разделению в тяжелых жидкостях. Полученные фракции взвешивались, в них определялся видовой состав минералов и изучались их морфологические особенности. Для спектрального анализа использовались мономинеральные фракции, полученные путем доводки бромформом в фарфоровых чашках и отборе зерен под бинокляром. При изучении циркона обращалось внимание на такие свойства, как степень развития тех или иных кристаллографических форм, удлинение, идиоморфизм, наличие следов растворения или коррозии, включений, наростов, цвет, прозрачность и элементы-примеси.

ЦИРКОН ГРАНИТОИДОВ ПЕРВОЙ ГРУППЫ

В пределах Горного Алтая к гранитоидам первой группы относятся докембрийский Тургундинский и каледонские Кубадринский и Бугузунский массивы. Циркон исследовался в 17 пробах. Наиболее детальное изучение проводилось в пределах Кубадринского массива.

Кубадринский массив расположен среди сильно метаморфизованных пород синия — нижнего кембрия и кембро-ордовика. Массив не имеет резких контактов с вмещающими породами, обнаруживает зависимость от их

Таблица. Характеристика аксессуарных цирконов из гранитов различных генетических типов

Характеристика циркона	Граниты первой группы		Граниты второй группы	Граниты третьей группы
	циркон 1 типа	циркон 2 типа		
Кристаллографические формы	Плохо выражены	(100), (110) и (111),	(110) и (111)	(110), (111) и (311)
Удлинение	1 : 1	3 : 1	3 : 1	От 5 : 1 до 10 : 1
Морфологические особенности	Округлый	Идиоморфный, асимметричный	Кристаллы с растворенными включениями и ребрами	Идиоморфный
Размер кристаллов по длинной оси, мм	До 0,1	0,1—0,3	До 0,3	До 0,5
Цвет	Бледно-розовый	Светло-бурый и бурый	Светло-розовый	Бледно-розовый, бледно-желтый
Прозрачность	Прозрачный	Непрозрачный	Прозрачный	Прозрачный
Включения	Отсутствует	Блотит в большом количестве	—	Очень редки
Элементы-примеси	—	—	Mo, Sn, Be, Ce, Y, Yb, La и Sc	Cr, Ni и As
Другие характерные особенности	Округлая форма	—	Растворенные и корродированные кристаллы, наросты	Четкие ребра, блестящие грани

структуры и представлен чередующимися полосами гнейсов, гранито-гнейсов и порфировидных гранитов. В краевых зонах встречаются диоритоподобные породы.

В массивах обнаружены следующие акцессорные минералы: циркон, апатит, ортит, монацит, торит, турмалин и флюорит. Циркон из пород Тургундинского и Бугузунского массива аналогичен циркону из пород Кубадринского массива.

Было установлено, что в гранитоидах данной группы развито два типа цирконов (таблица). Циркон первого типа ($N_g = 1,97$) бесцветный или светло-розовый округлой или обломочной формы размером около 0,1 мм. Приурочен к амфиболу и биотиту. Проведенные исследования дают возможность считать этот циркон реликтовым, заимствованным из вмещающих толщ.

Циркон второго типа светло-бурый, бурый, непрозрачный, трещиноватый с большим количеством включений биотита (особенно в крупных кристаллах). Размер кристаллов от 0,1 (в гранито-гнейсах) до 0,3 мм и больше (в порфировидных гранитах). N_g циркона равно 1,97. Из кристаллографических форм наиболее развиты призма (100) и дипирамида (111). Циркон этого типа новообразованный.

Циркон первого типа преобладает в гранито-гнейсах. В порфировидных гранитах он встречается в виде включений в новообразованном цирконе. Роль циркона второго типа (а также его размеры) увеличивается с интенсивностью магматического замещения.

ЦИРКОН ГРАНИТОИДОВ ВТОРОЙ ГРУППЫ

Ко второй группе относятся гранитоиды герцинского Калбинского комплекса. Было изучено 16 проб. В составе гранитоидов преобладают порфировидные и равномернозернистые биотитовые граниты. Петрохимической особенностью их является преобладание калия над натрием. Акцессорные минералы представлены цирконом, апатитом, торитом, монацитом, ксенотимом, ортитом, сфеном, арсенопиритом, ильменитом, турмалином и флюоритом. Для гранитоидов этой группы характерно широкое проявление процессов постмагматического замещения (альбитизация, мусковитизация, грейзенизация и калишпатизация).

В гранитах циркон представлен светло-розовыми призматическими (удлинение 3:1) кристаллами с растворенными вершинами и ребрами размером до 0,3 мм в длину. Из кристаллографических форм наиболее распространены призма (110) и дипирамида (111). Циркон приурочен к периферии зерен полевого шпата, а также встречается в биотите. Спектральным анализом в нем установлены Be, Mo, Sn, Sc, Ce, La, Y и Yb.

При альбитизации гранитоидов происходят растворение и коррозия цирконов. В связи с этим содержание его снижается. В грейзенизированных гранитах появляются темноокрашенные цирконы с развитием призм (110) и (100) и дипирамиды (111). Эти цирконы по сравнению с цирконами из биотитовых гранитов обогащены такими элементами, как La, Ce, W, Pb, Ag и Bi. В калишпатизированных гранитах циркон представлен крупными идиоморфными кристаллами. Преимущественно развиты дипирамида (111) и призма (110). Для цирконов из грейзенизированных и калишпатизированных пород характерно присутствие различных наростов.

ЦИРКОН ГРАНИТОИДОВ ТРЕТЬЕЙ ГРУППЫ

Петрохимической особенностью гранитоидов третьей группы является преобладание натрия над калием. Доминируют плагиограниты, гранодиориты, тоналиты и диориты. Среди акцессорных минералов обнаружены ортит, сфен, магнетит, циркон и апатит.

Характерные особенности цирконов рассматриваемых гранитоидов следующие: прозрачность, отсутствие или слабое развитие трещиноватости, четко выраженные кристаллографические формы без следов растворения. Габитус длиннопризматический с хорошо выраженными гранями призмы (110) и дипирамиды (111) и слабо развитой дипирамидой (311). Спектральным анализом в цирконе постоянно устанавливаются Sr, Ni и As.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что акцессорные цирконы из гранитов разных генетических типов обладают рядом специфических свойств (см. таблицу). В гранитах первой группы развито два типа цирконов — реликтовый (округлый или обломочный) и новообразованный, содержание которых зависит от степени проявления магматического замещения. Для цирконов второй группы гранитов характерны удлиненнопризматические кристаллы с растворенными вершинами и ребрами, обогащенные W, Sn, Be и Mo. Среди измененных гранитов встречаются цирконы с наростами. Цирконы из гранитов третьей группы представлены прозрачными кристаллами с хорошо выраженными кристаллографическими формами. Отмечается развитие дипирамиды (311) в отличие от цирконов первых двух групп гранитов. Детальный анализ циркона в комплексе с другими исследованиями может дать дополнительный материал для уточнения генезиса магматических образований.

■

Б. К. ЛЬВОВ, А. А. ЖАНГУРОВ

АКЦЕССОРНЫЙ МОНАЦИТ ИЗ ГРАНИТОВ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ

Акцессорный монацит довольно широко распространен в породах Урала. Присутствие его отмечалось здесь неоднократно и многими исследователями.

Однако систематических исследований, посвященных выяснению распространения в коренных породах монацита, как и других акцессорных минералов, на Урале до последнего времени не проводилось. Нами было проведено достаточно детальное опробование большинства гранитных массивов Кочкарского, Челябинского, Джабыкско-Карагайского и Суундукского районов. Менее детально опробовались вмещающие породы.

Всего было отобрано и обработано более 1000 десятикилограммовых проб пород.

Исследования акцессорного монацита из пород восточного склона Южного Урала выявили ряд особенностей, касающихся как количественного распределения этого минерала, так и его физических и химических свойств (таблицы 1—9). Приведены некоторые из этих особенностей и основанные на них заключения.

1. Среди изученных интрузивных и метаморфических пород Восточно-Уральского антиклинория монацитоносными являются лишь нормальные микроклиновые граниты джабыкско-санарского комплекса, связанные с ними лейкократовые граниты и жильные дериваты, а также некоторые разновидности слюдястых сланцев и гнейсов, находящихся в непосредст-

Таблица 1. Распределение акцессорного монацита в гранитах джабыкско-санарского комплекса

Район	Массив	Порода	Содержание монацита, 10 ⁻³ %
Кочкарский	Санарский (центральные зоны)	Биотитовые и двуслюдяные граниты	5—56 *
			21
	Санарский (краевые зоны)	Двуслюдяные и мусковитовые граниты	4—38
			12
	Санарский (среднее по массиву)	Граниты биотитовые, двуслюдяные, мусковитовые	4—56
			17
	Борисовский (среднее по массиву)	Крупнозернистые и порфириовидные граниты	0—39
			5
	Чесменский	Граниты лейкократовые, крупно- и среднезернистые	0—3
			<1
Демарипский	То же	5—17	
		11	
Варламовский (мелкие тела)	Среднезернистые и мелкозернистые граниты, биотитовые и лейкократовые	9—12	
		10	
Челябинский	Челябинский (восточная часть)	Порфириовидные биотитовые граниты	Ед. зн. —38
			9
	Челябинский (малые интрузивные тела)	Розовые граниты, лейкократовые и биотитовые	Ед. зн. —7
2			
Джабыкско-Суундукский	Джабык-Карагайский	Порфириовидные биотитовые граниты	1—37
			14
	То же	Лейкократовые граниты	Ед. зн. —48
			6
	» »	Аляскитовые граниты, крупно- и среднезернистые	Ед. зн. —10
			2
	Акмуллинский	Крупнозернистые лейкократовые граниты	0—ед. зн.
	Суундукский	Биотитовые порфириовидные граниты	0—33
			13
		»	Двуслюдяные граниты
13			
»	Мусковитовые граниты	1—25	
		5	

* В табл. 1—4, 6 и 9 в числителе — пределы колебаний, в знаменателе — среднее.

венной близости от этих гранитов. Существенного накопления акцессорного монацита в апикальных частях массивов, отмечаемого некоторыми авторами (Майк, С. Д. Туровский), в Кочкарском районе не наблюдается.

Отсутствие акцессорного монацита в гранитоидах других комплексов (пластовский, степинско-неплюевский), распространенных в тех же районах (Б. К. Львов), позволяет использовать данные о распределении этого минерала для расчленения и корреляции гранитов, в ряде случаев сходных по другим признакам.

Имеющиеся данные позволяют считать, что присутствие акцессорного монацита в гранитоидах определяется не только соотношением алюминия

Таблица 2. Содержание акцессорного монацита в жильных породах гранитов джабыкско-санарского комплекса

Район	Порода	Содержание монацита, 10^{-3} %
Кокчарский	Мелкозернистые и среднезернистые биотитовые граниты	0—75
		$\frac{10}{\text{Ед. зн. — 28}}$
	Лейкократовые граниты	$\frac{5}{0—50}$
Джабыкско-Суундукский	Аплиты и пегматиты	$\frac{2}{\text{Ед. зн. — 1}}$
	Мелкозернистые биотитовые граниты	0—18
	Лейкократовые и аляскитовые граниты	$\frac{\text{Ед. зн. — 27}}{\text{Ед. зн. — 7}}$
	Мусковитовые граниты	$\frac{1}{0—9}$
Челябинский	Аплиты и пегматиты	$\frac{1}{<1}$
	Лейкократовые граниты	$\frac{0—3}{<1}$
	Розовые лейкократовые граниты	$\frac{0—3}{<1}$

с суммой щелочей и кальция, как это отмечали А. И. Тугаринов, Э. Е. Вайнштейн, но в первую очередь зависит от концентрации в этих породах редкоземельных элементов. Для монацитоносных гранитов характерно относительное повышение содержания редких земель, а также тория (Б. К. Львов).

Среди монацитоносных гранитов наибольшие и постоянные количества его отмечаются в относительно глубоко эродированных массивах. Даже слабое проявление процессов контаминации приводит к уменьшению содержания акцессорного монацита, вплоть до полного его исчезновения.

Появление акцессорного монацита в гнейсах и слюдистых сланцах (см. табл. 3), по-видимому, в значительной степени обусловлено воздействием на них гранитов джабыкско-санарского комплекса. Не исключает-

Таблица 3. Содержание акцессорного монацита во вмещающих породах

Район	Порода	Содержание монацита, 10^{-3} %
Кочкарский	Гнейсы и слюдистые сланцы	$\frac{0—12}{1,5}$
	Гранито-гнейсы	$\frac{0—29}{3,5}$
Джабыкско-Суундукский	Гнейсы и слюдистые сланцы	$\frac{0—3}{<1}$
	Гранито-гнейсы	$\frac{0—18}{<1}$
Челябинский	Гнейсы и сланцы	$\frac{0—\text{ед. зн.}}{\text{Ед. зн.}}$

ся, однако, возможность появления его во вмещающих породах при процессах регионального метаморфизма и гранитизации.

2. По морфологическим признакам среди изученных акцессорных монацитов выделяются три главных типа кристаллов: 1) призматический, характерный для гранитов, слагающих массивы; 2) пинакоидальный таблитчатый, распространенный преимущественно в пегматитах и лейкократовых жильных гранитах; 3) пинакоидальный пластинчатый, свойственный метаморфическим породам. Разновидностью последнего типа являются так называемые игольчатые кристаллы монацита, ранее описанные А. Н. Игумновым.

Таблица 4. Результаты измерения удельного веса и показателей преломления акцессорного монацита

Район	Порода	Удельный вес	N_g	N_p
Кочкарский	Граниты, слагающие массивы	5,18—5,27	1,834—1,837	1,781—1,785
		5,21		
Челябинский Джабыкско-Суундукский	То же »	5,23	1,839	1,789
		—	1,840	1,789
Кочкарский	Жильные граниты	5,13—5,28	1,838	1,788
		5,19		
	Пегматиты	5,18	1,840	1,789
	Гранито-гнейсы	5,17—5,20	1,840—1,842	1,786—1,787
		5,19		
	Гнейсы и сланцы	5,12—5,14	1,837—1,840	1,784—1,787
		5,13		
Аллювий	5,28	1,837—1,842	1,785—1,788	

Показатели преломления монацита изменяются в небольших пределах и близки к приводимым в справочниках (А. Г. Бетехтин, Винчелл и др.): $N_g = 1,834 - 1,842$; $N_p = 1,781 - 1,788$; $N_g - N_p = 0,049 - 0,056$; $cN_g = 7 - 8^\circ$; $2V \approx +10^\circ$. Несколько более существенны колебания удельного веса — от 5,12 до 5,28 г/см³. При этом акцессорные монациты из вмещающих пород обладают пониженным удельным весом по сравнению с монацитами из гранитов (см. табл. 4).

Сравнение полученных нами данных с данными по другим районам показывает, что изученные акцессорные монациты в целом характеризуются средними, наиболее типичными для этого минерала, свойствами (Брейтгаупт, Черник, Борнеман-Старынкевич, Элсварт, Земель, Белов, Блисс, Карканавало, Шанкер, Грендж, Яффе).

3. Акцессорные монациты из разных групп пород обладают специфическими особенностями химизма. Наименьшие вариации состава отмечаются в гранитах, слагающих крупные массивы. В акцессорных монацитах из вмещающих пород при увеличении разброса значений в целом намечается повышение содержания U, Y и редкоземельных элементов иттриевой группы. Напротив, содержание цериевых редких земель и особенно Th в них отчетливо снижается. Отмечается также уменьшение содержания Be и Mn. Акцессорные монациты из пегматитов обогащены Y и иттриевыми редкими землями, Th и U. В акцессорном монаците из метасоматически переработанных розовых гранитов Челябинского массива содержание Y и иттриевых редких земель, наоборот, снижается, но несколько увеличивается содержание Zr, Nb, Sc и Be.

Таблица 5. Содержание редкоземельных элементов и иттрия в акцессорном монаците (в вес. %)

Место взятия проб	№ пробы	Порода	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣTRCe	ΣTRY	ΣTRCe	Y ₂ O ₃	
Суудукетский район	1256-С	Гранит	28,1	49,3	4,0	14,0	1,5	—	1,5	0,4	1,0	—	0,2	—	—	—	98,4	1,6	52,3	0,4	
Джабыкский »	2002-В		29,0	46,7	3,9	15,2	1,2	—	1,9	0,2	1,4	0,2	—	0,2	—	—	—	97,9	2,0	48,2	0,8
»	1008		28,3	48,6	3,6	14,2	1,0	0,2	2,4	0,2	1,4	—	—	—	—	—	—	98,3	1,6	49,8	0,5
»	519		30,9	46,8	3,2	14,9	1,0	0,2	1,8	0,2	1,0	—	—	—	—	—	—	98,8	1,2	50,4	0,6
»	514	Мелкозернистый лейкократовый гранит	29,2	45,5	3,9	15,3	1,7	—	2,9	0,2	1,2	—	—	—	—	—	—	98,5	1,4	48,3	0,8
Гочкаровский район	2-А	Среднемогранит	29,1	47,4	3,7	14,7	1,3	—	2,1	0,2	1,2	—	—	—	—	—	—	98,4	1,6	49,8	0,6
Челябинский »	54-В		25,1	43,6	4,3	16,2	3,8	—	1,6	0,8	3,0	0,8	0,8	—	—	—	—	94,6	5,4	37,1	1,8
Джабыкский »	256	Розовый гранит	34,6	47,1	3,1	11,8	1,1	—	0,9	0,4	0,7	—	—	—	—	—	—	98,6	1,3	54,1	0,2
Музинский массив	1-Л*	Гранито-гнейс	26,2	46,5	3,6	15,0	2,0	—	3,6	0,5	2,3	0,2	—	0,2	—	—	—	96,9	3,2	39,4	1,6
Гочкаровский »	2-Л*	Гранит	22,8	48,6	6,0	17,6	2,4	0,1	1,5	0,2	0,6	—	0,2	—	—	—	—	99,0	1,0	52,87	—
»	3-Л*	»	20,6	48,8	6,5	16,3	2,5	0,1	1,4	0,2	1,5	0,3	0,7	0,1	0,9	0,1	96,2	3,8	—	—	
»		Перматит	23,6	47,3	5,2	12,9	3,9	0,2	3,0	0,3	2,1	0,3	0,5	0,1	0,5	—	—	96,2	3,8	—	—

Примечания. 1. Содержание редких земель в монацитах определено рентгеноспектральным методом в лаборатории Геологического института Кольского филиала АН СССР.

2. Результаты анализов отнесенных звездочкой, заимствованы из работы В. В. Духовича. При подсчете суммы иттриевых редких земель к ним присоединен тербий, который Духович отнес в перисвую группу.

Поведение иттриевых редких земель и иттрия при метасоматических процессах аналогично описанному в литературе (Калита).

Полученные нами данные о составе редкоземельных элементов в акцессорных монацитах из гранитов Урала (см. рисунок) не подтверждают заключения В. В. Ляховича об аномальном обогащении их по сравнению с акцессорными монацитами других регионов иттриевыми редкими землями.

В качестве примесей в акцессорном монаците спектральным анализом, выполненным в лаборатории геологического факультета ЛГУ В. А. Галибиным, установлены следующие элементы (в %): Ca 1—3, Mg 0,01—0,1, Fe 0,03—0,6, Mn до 0,3, Si 1—5, Al 0,3—1, Pb 0,05—1, Be 0,01—0,003, Ti 0,01—0,5, Nb 0,03—0,4, Zr 0,1—1, Sc до 0,01.

Различия между акцессорными монацитами отдельных групп пород четко устанавливаются по содержанию в них радиоактивных элементов

Таблица 6. Содержание урана и тория в акцессорных монацитах

Район	Место взятия проб	Порода	Содержание Th, %	Содержание U, %	Th/U
Кочкарский	Санарский массив	Среднезернистые граниты	6,30—8,48 (6) *	0,20—0,46 (9)	17,8—38,1
			7,61	0,31	24,9
	Борисовский массив	Порфирировидные граниты	6,06 (1)	0,30—0,38 (5)	16,0
				0,33	
	Варламовский массив (мелкие тела)	Мелкозернистые граниты	6,07—6,40 (2)	0,21—0,51 (5)	17,3—20,0
		6,23	0,34	18,6	
Кочкарский	То же	Жильные граниты	5,21—8,91 (3)	0,14—0,76 (14)	14,8—29,0
			7,17	0,36	20,9
Кочкарский	То же	Пегматиты	12,60 (1)	0,55—1,65 (4)	23,0
				1,04	
Джабыкско-Суундукский	Джабыкско-Карагайский	Граниты	6,74	0,25	27
Кочкарский	Суундукский	»	5,25	0,16	33
Кочкарский	Восточнее Борисовского массива	Кварцитовые сланцы	1,28—2,08 (2)	0,07—0,44 (4)	2,9—8,3
			1,68	0,24	5,6
Кочкарский	Экзоконтактные зоны массивов	Гнейсы и биотитовые сланцы	2,31—6,05 (4)	0,25—0,59 (5)	4,8—10,8
			4,14	0,48	7,6
Кочкарский	Варламовский и Демаринский массивы	Гранито-гнейсы	1,67—4,76 (6)	0,19—1,42 (11)	2,1—13,0
			3,31	0,53	7,6
Кочкарский	То же	Послойные пегматиты в гранито-гнейсах	5,03 (1)		7,4
				0,68—0,95 (2)	
			7,68—8,23 (2)	0,81	
Кочкарский	Река Санарка и лог Приплодный	Аллювиальные отложения	7,95 (2)		25,0
				0,33 (1)	

* Число проб.

Таблица 7. Распределение акцессорного монацита среди породообразующих минералов гранитов

Порода	Плагио- клас	Микро- клин	Кварц	Биотит	Мусковит	А	Б
Граниты Санарского, Борисовского, Демаринского и Варламовского массивов	6+(6)	12+(11)	5+(9)	31+(18)	1+(1)	55	$\frac{31}{24}$
Мелкозернистые биотитовые граниты Демаринского, Варламовского и Поварнинского массивов	5+(3)	13+(13)	13+(15)	23+(13)	2	56	$\frac{23}{33}$
Лейкократовые жильные граниты, аляскиты и пегматиты	6+(9)	24+(18)	2+(14)	8+(12)	4+(3)	44	$\frac{8}{36}$ $\frac{2}{2}$
Порфиroidные граниты Челябинского массива	(27)	8+(12)	12+(25)	2+(10)	(4)	22	$\frac{20}{20}$

Примечания. 1. Цифры без скобок обозначают количество кристалликов монацита (в %), включенных в данный породообразующий минерал, цифры в скобках — количество кристалликов, находящихся на границе с данным минералом и по трещинкам в нем.

2. В графе А — суммарное количество включенных кристалликов монацита по отношению ко всем наблюдавшимся кристалликам его; в графе Б — отношение количества кристалликов, включенных в биотит, к количеству кристалликов, включенных в другие породообразующие минералы.

Th и U, определенному более точными методами (радиохимический и люминисцентный). При этом колебания содержания Th носят более закономерный характер, чем колебания содержания U (см. табл. 6). Для монацита, образующегося при нормально магматической кристаллизации, характерно умеренное содержание урана при сравнительно небольших колебаниях частных значений. Они вполне сопоставимы с цифрами, приводимыми в литературе для акцессорных монацитов из гранитов (Харлей, Фейрберн и др.).

Таблица 8. Концентрация акцессорного монацита в породообразующих минералах гранитов

Порода	Плагио- клас	Микро- клин	Кварц	Биотит	Мусковит
Граниты Санарского, Борисовского, Демаринского и Варламовского массивов	0,18	0,41	0,16	7,75	1,0
Мелкозернистые биотитовые граниты Демаринского, Варламовского и Поварнинского массивов	0,15	0,43	0,43	5,11	1,33
Лейкократовые жильные граниты, аляскиты и пегматиты	0,18	0,80	0,06	5,33	1,6
Порфиroidные граниты Челябинского массива	—	0,24	0,51	0,56	—

Примечание: Цифры в таблице характеризуют относительную концентрацию акцессорного монацита в породообразующих минералах. Значения их определялись делением количества кристалликов монацита, включенного в данный породообразующий минерал (см. табл. 7), на процентное содержание этого минерала в природе.

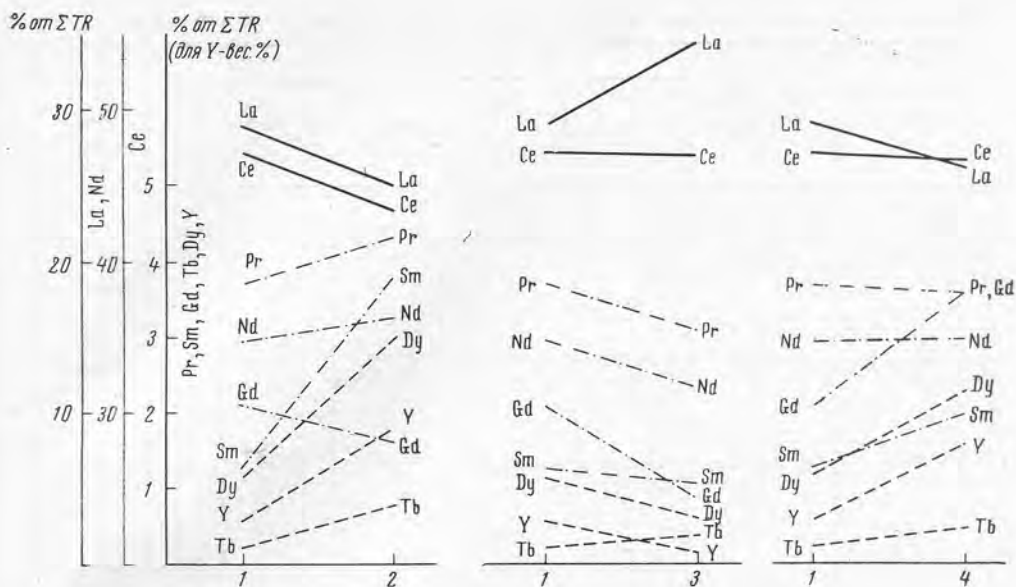


Рис. 1. Распределение редкоземельных элементов в акцессорных монацитах из различных пород

1 — нормальные граниты джабыкско-санарского комплекса, слагающие массивы; 2 — пегматиты; 3 — розовые лейкократовые граниты второй фазы; 4 — гранито-гнейсы

Большинство из отмеченных вариаций в составе акцессорного монацита согласуется с изменениями химизма пород и может быть объяснено условиями образования последних.

Анализ имеющихся в литературе сведений по радиоактивным элементам в монацитах показывает, что установленное нами пониженное содержание Th в монаците из сланцев и гнейсов не случайно. Как явствует из сопоставления данных, приводимых в работах Феннера, Эллсворта, Белова, Лабунцова, Блисса, Холмса, Като, Мурата, Андерсона, Плошко, Оверстрита и других, монациты пневмато-гидротермального и метаморфического генезиса в большинстве случаев заметно обеднены торием по сравнению с монацитом из интрузивных пород.

Структурные соотношения монацита с породообразующими и акцессорными минералами гранитов, а также характер распределения его по минералам в породе (см. табл. 7, 8) показывают, что по характеру распределения между породообразующими минералами, а следовательно, и по времени кристаллизации монацит претворяет большое сходство с апатитом. Наши заключения о месте и продолжительности кристаллизации монацита в гранитах довольно хорошо согласуются с данными и представлениями, изложенными С. Д. Туровским. Различия состоят в том, что, согласно С. Д. Туровскому, монацит является более поздним минералом, чем магнетит, циркон, апатит и сфен, а по нашим данным, кристаллизация большинства из этих минералов на значительном промежутке времени происходила параллельно с кристаллизацией монацита, причем некоторые из них (apatит, отчасти магнетит и особенно сфен) образуются позднее монацита. Также слишком поздним, по нашему мнению, выглядит монацит и в представлениях Б. М. Меликсетяна.

4. При изучении акцессорного монацита были получены дополнительные данные для решения вопроса о природе гранито-гнейсов, довольно широко распространенных в районах распространения гранитов джабыкско-санарского комплекса и до последнего времени считавшихся фациальной разновидностью последних. Большое сходство монацита из сланцев и

Таблица 9. Сводная таблица свойств и характера распределения акцессорного мона...

Порода	Содержание монацита, 10 ⁻³ %	Морфологические особенности				
		габитус	главные грани	грани с подчиненным развитием	слабо развитые грани	{удли-}ненность
Граниты, слагающие массивы	Ед. зн. — 56 10	Среднепризматический	(110), (101)	(100)	(111), (010)	1,5—2 (до 3)
Жильные граниты	0—75 4	Среднепризматический и пинакоидаальный, таблитчатый	(110), (101) или (100), (101)	(010), (111), (011)	(001)	<1—1,5
Пегматиты	Ед. зн. — 50 2	Пинакоидаальный, таблитчатый	(100), (101)	(110), (010), (111), (011)	—	<1
Гранито-гнейсы	0—29 2	Пинакоидаальный уплощенный, игольчатый, неправильные зерна	(100) или (010)	(101), (011)	(111), (110)	2—1, реже 4—10
Гнейсы и кристаллические сланцы	0—12 <1	То же	(100) или (010)	(101), (011)	(111), (110)	1—2, реже 4—10

гнейсов, с одной стороны, и из гранито-гнейсов — с другой, подтверждает сделанное ранее (Б. К. Львов) заключение о первично-метаморфической природе гранито-гнейсов, образовавшихся при метасоматической переработке исходных гнейсов и слюдястых сланцев.

5. Характер распределения акцессорного монацита в породах рассмотренных районов, а также морфологические и химические особенности этого минерала из элювиальных отложений позволяют уверенно считать основным источником его граниты джабыкско-санарского комплекса, непосредственно слагающие массивы. Другие монацитоносные породы (сланцы, гнейсы, гранито-гнейсы, пегматиты) имеют подчиненное значение.

В. В. ЛЯХОВИЧ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АКЦЕССОРНОГО ГРАНАТА ГРАНИТОИДОВ

Гранат как акцессорный минерал встречается во всех главных типах изверженных пород. При этом петрохимические особенности их сказываются и на его составе.

В основных породах состав граната, в частности его богатство хромом и магнием и бедность редкими элементами, хорошо отображает петрохимические особенности этих пород. Щелочные породы обычно содержат разности гранатов, богатые титаном: шерломит или меланит.

В кислых эффузивах присутствует существенно алмандиновый гра-

цита из пород Восточно-Уральского антиклинория

Цвет	Ng	Np	Удельный вес (средний)	Содержание радиоактивных элементов, %		
				Th	U	Th/U
Медово-желтый до оранжевого	1,834—1,840	1,781—1,789	5,20	6,06—8,48	0,20—0,51	16,0—38,1
				7,13	0,33	22,5
То же	1,838	1,788	5,19	5,21—8,91	0,14—0,76	14,8—29,0
				7,17	0,36	20,9
Оранжевый, красный реже зеленый	1,840	1,789	5,18	до 12,60	0,55—1,65	23,0
					1,04	
Лимонно-желтый	1,840—1,842	1,783—1,787	5,19	1,67—4,76	0,19—1,42	2,1—13,0
				3,31	0,53	7,6
То же	1,837—1,842	1,784—1,788	5,13	1,28—6,05	0,07—0,59	2,9—10,8
				3,32	0,37	6,9

нат с весьма низким содержанием спессартинового компонента. По сравнению с гранатами из гранитов для него также характерно несколько повышенное содержание TiO_2 .

Аксессуарный гранат широко распространен в гранитоидах. Частота его встречаемости в среднем 60—80%, причем в соответствии с особенностями генезиса гранитов он чаще и в наибольших количествах присутствует в древних гранитоидах, в лейкократовых, аляскитовых и двуслюдяных гранитах (табл. 1). Постоянно встречается гранат и в жильных дериватах гранитов, в аплитах и пегматитах. В ряде случаев содержание и величина его зерен являются столь характерными особенностями гранитов, что они

Таблица 1. Среднее содержание и частота встречаемости граната в докембрийских биотитовых гранитах, послекембрийских гранитоидах различного состава и связанных с ними жильных породах

Порода	Среднее содержание, г/т	Частота встречаемости, %
Граниты биотитовые (докембрийские)	9457	100
Пегматиты	1643	90
Аплиты	830	100
Аляскиты	414	75
Граниты двуслюдяные	351	77
Граниты лейкократовые	212	94
Граниты биотитовые (послекембрийские)	108	80
Кварцевые жилы	25	100
Граниты альбитизированные	12	25
Кварцевые диориты и граодиориты	8	69
Граниты гибридные	6	100

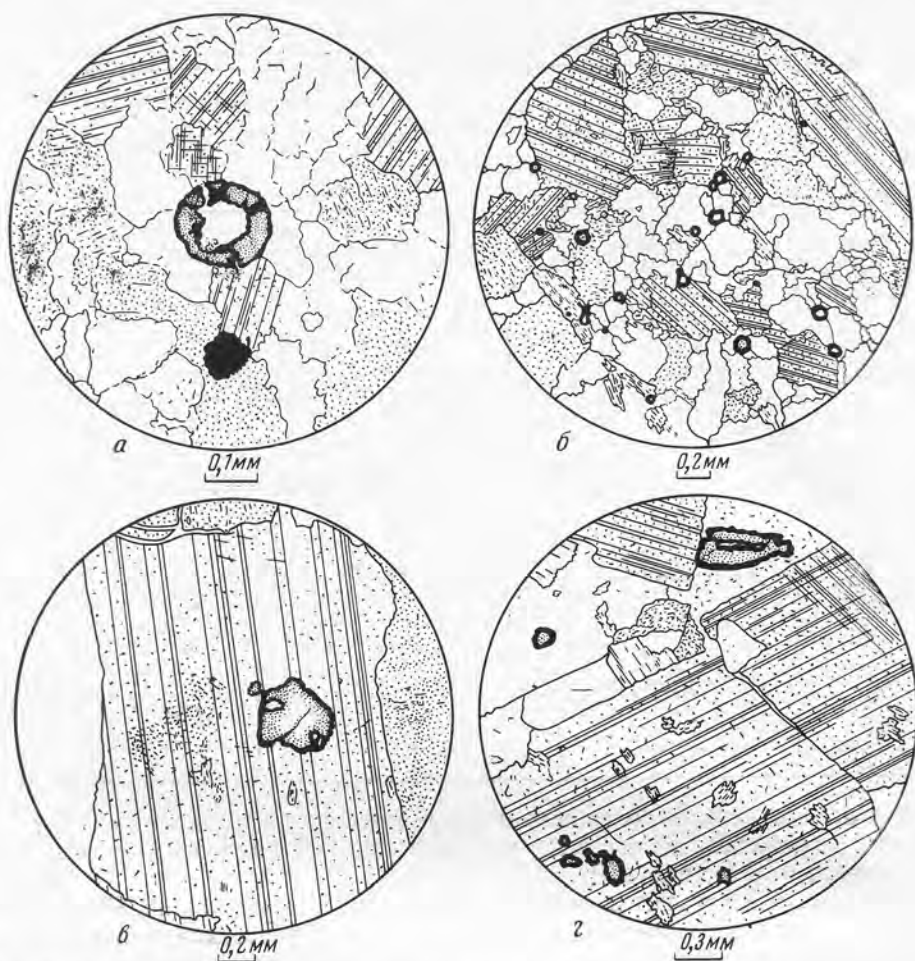


Рис. 1. Формы нахождения граната в гранитах

а — своеобразная кольцевая форма граната в мелкозернистой кварц-полевошпатовой основной массе мусковитового аплита. Кочкарский массив, Урал; *б* — многочисленные зерна идиоморфного граната, приуроченные главным образом к чешуйкам мусковита. Аплит. Талицкий массив, Горный Алтай; *в* — зерно граната в серицитизированном плагиоклазе. Гранит биотитовый. Талицкий массив, Горный Алтай; *г* — зерна граната, приуроченные к участкам мусковитизированного плагиоклаза. Гранит двуслюдяной. Талицкий массив, Горный Алтай

получили название гранатовых. Таковы гранатовые граниты Иолтахского, Сыачанского, Омчикандинского и других массивов Северо-Востока СССР, описанные И. Я. Некрасовым. Содержание граната в этих гранитах достигает 15%, т. е. 150 кг/т. Ф. К. Шипулин описал гранатосодержащие граниты Успенского массива в Приморье, Мангез — гранатовые граниты Пиринеев, Катала и Мурояма — силлиманит-гранатосодержащие граниты Японии и т. п.

Содержание граната в гранитоидах непостоянно и связано как с петрохимическими особенностями, так и со степенью измененности их поздними процессами. Анализируя цифры средних содержаний граната в отдельных разновидностях гранитоидов (см. табл. 1), можно заметить, что минимальные его содержания характерны для основных, в том числе и гибридных разновидностей гранитоидов, а максимальные — для лейкократовых гранитов и особенно для аляскистов. Процессы изменения гранитоидов, особенно такие, как позднемагматическая грейзенизация, также ведут к увеличению содержания граната. В двуслюдяных гранитах его содержится

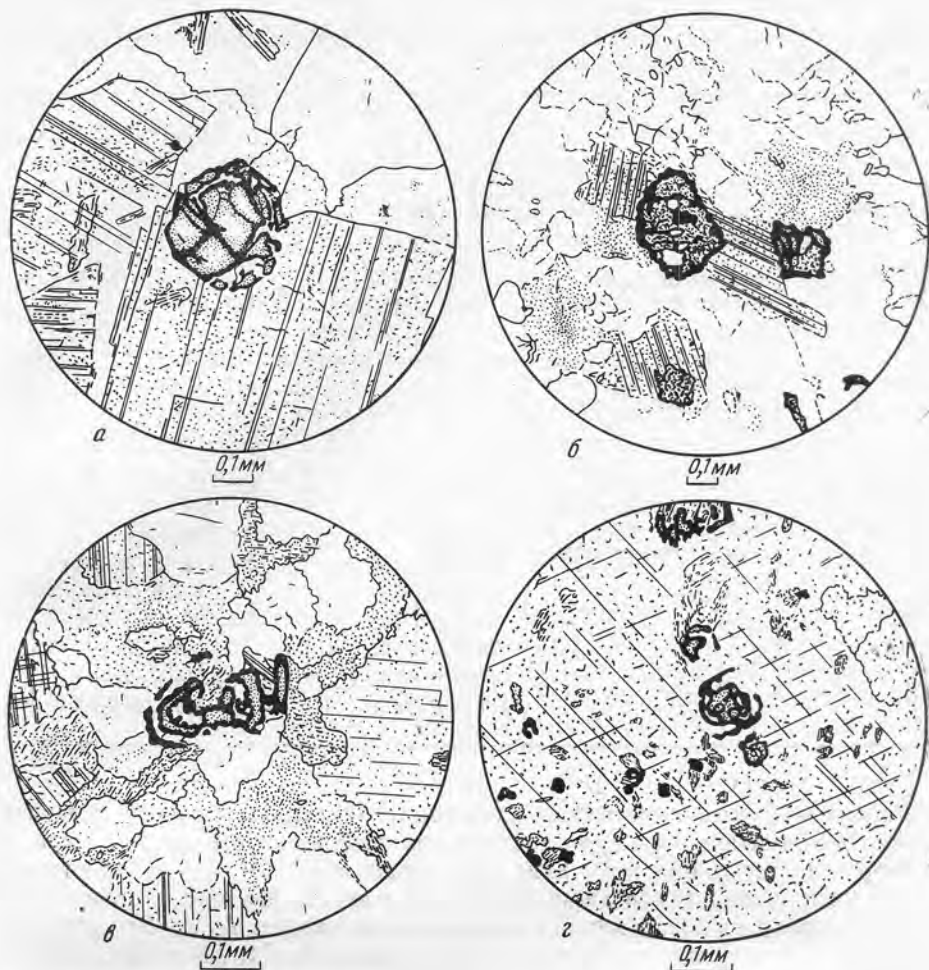


Рис. 2. Скелетные формы граната

а — в слабо серицитизованном плагиоклазе. Гранит двуслюдяной. Тадицкий массив, Горный Алтай; *б* — зерна граната, приуроченные к серицитизованному плагиоклазу. Аплит. Тигирекский массив, Горный Алтай; *в* — в кварц-полевошпатовой основной массе лейкократового гранита. Кочкарский массив, Урал; *г* — зерна граната в крупном зерне серицитизованного плагиоклаза. Гранит биотитовый. Кочкарский массив, Урал

в 3 раза больше, чем в биотитовых. В то же время альбитизированные граниты содержат резко пониженное количество граната.

Особенно высоко содержание граната в древних, докембрийских гранитах, где оно достигает 12,5 кг/т, что связано со специфическими условиями формирования этих гранитов, в частности, с гранитизацией богатых гранатом гнейсовых толщ.

Формы выделения граната в гранитах разнообразны. Это неправильные выделения, округлые зерна или хорошо образованные кристаллы, разнообразные по окраске и огранке.

Характерной особенностью акцессорного граната гранитоидов является его сростки с кварцем, мельчайшие зерна которого присутствуют и внутри хорошо оgranенных кристаллов граната. Их наличие может быть следствием либо скелетного роста кристаллов граната с сопутствующим захватом кварц-полевошпатовой основной массы гранита, либо одновременной кристаллизации граната и кварца. Более вероятно первое предположение. Разнообразные скелетные формы граната приведены на рис. 1 и 2.

Таблица 2. Частота встречаемости кристаллических форм граната в гранитоидах (в % к количеству подсчитанных зерен)

№ проб	Район	Порода	Содержание граната, %	Число подсчитанных кристаллов	Частота встречаемости (%)						
					(110)	(110) (211)	(110) (431)	(211)	(211) (110)	(110) (210) (211) (111)	(211) (210)
770	Украина	Гранит биотитовый	39740,0	140	64,3	—	—	35,7	—	—	—
420	Урал	Гранит пегматоидный	150	150	54,6	12,6	0,6	20,0	12,0	—	—
415	»	Гранит биотит-роговообманковый	1729,0	46	30,0	15,0	7,0	40,0	8,0	—	—
4305	Тува	Гранит лейкократовый	1906,0	110	33,0	10,0	2,0	47,0	8,0	—	—
416	Урал	Гранит лейкократовый	850,0	150	25,3	16,0	0,6	53,3	4,6	—	—
602	Восточное Забайкалье	Гранит двуслюдяной	2749,0	443	1,1	11,9	32,0	11,5	27,2	14,6	1,7
781	»	Гранит лейкократовый	853,0	55	2,0	14,5	23,5	20,0	31,0	5,4	3,6
489	То же	Гранит грейзенизированный	1245,0	150	23,0	20,0	2,0	49,1	4,0	0,6	2,0
486	Урал	Пегматит	1595,0	200	—	35,0	—	65,0	—	—	—
334	»	»	548,0	140	7,1	7,1	21,4	18,0	41,4	5,0	—
385	»	»	5961,0	150	3,3	8,0	18,6	39,5	27,3	3,3	—
515	»	»	4454,0	150	6,0	20,0	0,6	44,0	29,4	—	—
514	»	Аплит	11723,0	150	—	—	—	40,0	59,3	0-7	—

Говоря о форме кристаллов аксессуарного граната, следует отметить, что она в значительной мере определяется особенностями химизма среды, в которой происходила кристаллизация граната. С. Ш. Генделев отмечает, что если расплав обогащен Fe_2O_3 , то в огранении кристаллов граната будут преобладать плоскости тетрагонтриоктаэдра. А. А. Ярошевский, наоборот, считает, что гранаты в породах, богатых Са, Fe и Mg, преимущественно имеют форму ромбодоэкаэдра, а в породах, богатых Al, — форму тетрагонтриоктаэдра.

Проведенное нами статистическое изучение форм кристаллов граната (табл. 2) показало, что в биотит-роговообманковых и биотитовых гранитах преобладающей формой кристаллов действительно является ромбодоэкаэдр, иногда усложненный гранями тетрагонтриоктаэдра. Более кислые граниты, лейкократовые и двуслюдяные, характеризуются преобладанием граната в форме тетрагонтриоктаэдра. Последние особенно характерны для пегматитов и аплитов. В тех случаях, когда в пегматитах встречаются ромбодоэкаэдрические кристаллы граната, они даже считаются ксенокристаллами или их появление связывается с гибридным. Например, в Северной Карелии ромбодоэкаэдрические кристаллы граната в пегматитах считаются реликтами вмещающих гнейсов (А. А. Ярошевский).

Размеры кристаллов граната самые различные. Статистическое изучение размеров кристаллов граната в гранитоидах одинакового состава из разных районов показало, что преобладает размер 0,2—0,4 мм. В этом отношении кристаллы граната из докембрийских гранитов Украины выделяются необычно крупными размерами (до 1 см), что сближает их с аналогичными по размерам гранатами вмещающих гнейсов и существенно отличается от более мелких гранатов послекембрийских гранитов.

Кристаллы граната обычно содержат редкие кристаллики апатита или циркона, а чаще мельчайшие включения рудного минерала, обычно магнетита. По трещинкам с периферии кристаллы граната нередко замещаются мелкими чешуйками биотита.

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА АКЦЕССОРНЫХ ГРАНАТОВ

Докембрийские гранитоиды и особенно гранитоиды Украинского кристаллического щита содержат гранат в количестве 12,4 кг/т, что значительно превышает среднее содержание этого минерала в посткембрийских биотитовых гранитах (108 г/т). Темноокрашенные зерна граната из докембрийских гранитов обычно отличаются крупными размерами (до 5 мм и более). Здесь редко присутствуют хорошо ограненные кристаллы, преобладают неправильные выделения.

Характерная особенность граната из докембрийских гранитоидов — низкое содержание спессартинового и высокое — пиропового компонентов (табл. 3). При этом гранатам из наиболее древних архейских гранитов присуще более высокое содержание пиропового (среднее 15,2%) и более низкое — спессартинового (среднее 2,7%) компонентов по сравнению с гранатом протерозойских гранитов (соответственно 8,5 и 25%).

В этом отношении они напоминают гранаты метаморфических пород, у которых с увеличением возраста, а следовательно, и степени метаморфизма наблюдается увеличение содержания в гранате пироповой молекулы. Другой особенностью железисто-магнезиальных гранатов докембрийских гранитов является отсутствие или очень низкое содержание в них редких земель (см. табл. 3).

Гранаты посткембрийских биотитовых гранитов по составу отвечают альмандин-спессартину, причем содержание спессартина достигает значительной величины (20—25%). Эта особенность состава гранатов столь характерна, что Брэмэл, С. Бревел даже связывал появление такого богатого марганцем граната в гранитах Англии с контаминацией их марганецсодержащими осадками.

Особенности состава магматического граната приведены в табл. 4. Из этих данных следует, что в биотитовых гранитах, не несущих заметных следов ассимиляции или метасоматических процессов, гранат состоит преимущественно из альмандиновой (среднее 62%) и спессартиновой (среднее 28%) молекул. Содержание остальных компонентов весьма незначительно, например пиропового компонента содержится в среднем 4,2%.

Сильно повышенное содержание граната отличает лейкократовые и аляскинтовые граниты, характерной чертой которых является практически полное отсутствие железисто-магнезиальных породообразующих минералов и в первую очередь биотита. Содержание граната (а также и турмалина) в этих породах обычно в 2—4 раза превосходит его среднее содержание в биотитовых гранитах (см. табл. 1). По аналогии с последними его появление здесь также связывалось с процессами ассимиляции. Однако ряд наблюдений позволяет считать более вероятным магматический или, в случае вторичных аляскинтов, метасоматический генезис граната в этих породах.

С процессами метасоматического изменения часто связано появление в породах ряда новых минералов, в том числе и граната. Так, двуслюдяные и мусковитовые граниты характеризуются повышенным по сравнению с неизменным гранитом содержанием граната (см. табл. 1). Гранат значительно отличается и по составу, в первую очередь повышенным содержанием марганца, что приближает его к гранатам из пегматитов. Если в гранате биотитовых гранитов содержание MnO обычно колеблется в пределах 7—10%, то в двуслюдяных и мусковитовых гранитах оно повышается до 15—17% (см. табл. 4). Высокое содержание марганца (15,6%) характеризует гранат из мусковитовых гранитов Казахстана (Н. А. Кулик).

В отличие от граната магматического генезиса, метасоматический гранат двуслюдяных и мусковитовых гранитов содержит больше спессартинового (в среднем 36%) и меньше альмандинового (в среднем 55%) и пиропового (в среднем 4%) компонентов.

Таблица 3. Химический состав гранатов из докембрийских гранитоидов (в %)

Компоненты	Архей							Протерозой						
	Гранит, Жезелив	Гранит порфири-видный Киронград	Трахитоидный гранит Ново-Украинка	Чудновобердичевский гранит	Аплитоидный гранит	Кировоградский гранит	Чудновобердичевский гранит	Трахитоидный гранит	Житомирский гранит	Двухслыдней гранит, Алдан	Гранит, Восточный Саян			
SiO ₂	37,99	36,87	38,53	37,64	38,44	37,41	38,35	38,05	37,12	37,02	36,10	37,28	40,25	38,70
TiO ₂	Сл.	0,82	0,14	0,03	0,04	—	0,20	0,06	0,22	Сл.	0,22	0,53	0,26	0,30
Al ₂ O ₃	20,42	20,20	19,96	20,76	22,34	18,75	20,84	21,72	20,44	19,49	21,81	20,10	22,02	19,08
Fe ₂ O ₃	5,12	2,90	3,94	1,60	0,28	4,13	0,39	1,52	0,32	1,42	9,84	2,31	—	4,01
TR ₂ O ₃	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FeO	29,69	32,82	31,52	33,75	31,30	31,84	34,74	32,31	37,40	37,18	31,26	21,60	24,48	28,28
MnO	0,26	1,73	0,59	0,42	0,21	1,92	0,31	1,19	0,46	0,94	4,34	10,85	9,32	6,34
MgO	4,59	2,45	3,28	4,70	5,44	5,36	3,24	4,37	2,04	1,91	3,11	3,02	1,11	1,56
CaO	1,55	2,02	1,65	1,24	1,12	0,89	1,65	0,84	2,34	1,91	1,71	4,04	1,79	2,10
K ₂ O	0,51	0,39	0,43	0,20	—	—	—	—	Сл.	—	—	—	—	—
Na ₂ O	—	0,06	0,09	—	—	—	—	—	Сл.	—	—	—	—	—
P ₂ O ₅	—	—	—	0,10	0,13	—	—	0,05	—	—	0,11	—	—	—
H ₂ O ⁺	0,11	Не обн.	Не обн.	0,02	—	—	—	0,14	—	—	0,20	—	—	—
H ₂ O ⁻	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—	—	—	0,04	0,01	0,05	—	0,02	—	—	—
П. п. п.	—	—	—	0,11	0,67	—	—	—	—	—	0,83	—	0,10	—
Сумма	100,24	100,26	100,13	100,57	99,97	100,30	99,76	100,26	100,39	99,87	100,55	99,73	100,33	100,37
Гроссуляр	4,2	5,7	4,5	3,6	3,2	2,4	0,4	2,4	6,5	5,4	4,9	11,1	9,0	5,9
Спессартин	0,7	3,8	1,1	0,6	0,3	4,3	0,7	2,6	1,0	2,0	11,5	25,0	23,7	15,4
Пироп	18,5	10,1	14,3	19,2	22,5	21,3	13,7	18,0	8,3	7,7	12,1	12,3	6,3	6,6
Альмандин	76,4	80,2	79,7	76,4	74,0	71,7	80,7	77,0	84,1	84,6	71,5	51,0	61,0	71,4
Андрадит	0,2	0,2	0,4	0,2	—	0,3	0,1	2,4	0,1	0,3	—	0,6	—	0,7

Астор

Ляхович

Завьялова

Завьялова, Матковский

Крылов, Лавренко, Лазько

Таблица 4. Химический состав граната из посткембрийских гранитоидов (в %)

Компоненты	Гранит биотитовый					Гранит двуслюдяной				Гранит контаминированный		
	Горный Алтай		Урал		Восточное Забайкалье	Англия		Урал	Казахстан	Тува	Северный Кавказ	Англия
	Сл.	Не обн.	Сл.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
SiO ₂	38,14	37,60	38,40	38,30	37,76	37,23	37,35	36,88	37,07	35,82	41,45	36,45
TiO ₂	Сл.	0,60	Сл.	0,10	0,14	Не обн.	0,27	0,09	0,17	1,02	0,50	0,69
Al ₂ O ₃	20,74	19,20	20,93	20,98	20,76	20,66	20,36	29,68	20,88	21,52	18,43	21,01
Fe ₂ O ₃	Не обн.	5,33	1,63	Не обн.	Не обн.	1,33	4,88	6,92	0,53	3,32	1,95	2,10
FeO	29,05	12,80	26,18	24,50	29,75	29,67	23,13	14,23	23,79	20,01	1,72	32,89
MnO	7,68	24,05	10,72	10,49	9,90	7,30	10,99	17,20	15,06	15,68	1,12	3,45
MgO	1,61	0,04	0,91	0,60	0,90	2,0	1,47	1,32	0,44	0,90	1,03	0,95
CaO	2,43	0,10	1,55	4,50	0,70	1,31	0,96	2,05	1,07	1,10	32,59	2,43
TiH ₂ O ₃	0,11	0,04	Не обн.	0,08	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,28	Не опр.	Не обн.	0,04	Не опр.
Na ₂ O	0,13	0,20	» »	0,10	» »	» »	» »	0,03	0,26	0,07	0,08	» »
K ₂ O	0,24	Не обн.	» »	—	» »	» »	0,29	0,27	0,22	0,34	—	» »
H ₂ O ⁺	0,23	» »	0,13	0,30	» »	0,70	Не обн.	Не обн.	0,37	0,28	1,00	» »
H ₂ O ⁻	Не обн.	» »	Не обн.	Не обн.	» »	Не обн.	0,13	0,11	Не обн.	Не обн.	0,08	» »
Сумма	100,36	99,96	100,45	99,86	99,91	100,20	99,83	100,06	99,86	100,06	99,99	99,97
Гроссуляр	7,3	0,4	4,8	14,0	2,1	3,6	3,1	6,2	3,5	3,4	2,5	7,2
Спелсартин	18,0	61,1	26,3	25,2	23,2	17,3	26,4	40,7	36,4	40,9	3,9	8,1
Пироп	6,7	0,1	3,7	2,5	4,0	8,2	6,4	5,2	1,7	3,4	3,6	3,8
Альмандин	68,0	38,3	65,0	58,3	70,7	70,8	64,0	47,9	58,4	52,3	5,4	80,9
Андрадит	—	0,1	0,2	—	—	0,1	0,1	—	—	—	—	—
Автор		Ляхович		Ляхович	Бремел	Ляхович	Кулик	Ляхович	Бремел	Ляхович	Бремел	Бремел

Таблица 5. Состав и содержание редких земель в аксессуарном гранате гранитоидов

Район	Порода	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
Горный Алтай, Талццкий массив	Гранит биотитовый	3,3	9,0	3,0	4,5	4,0	0,3
	То же	2,0	6,0	0,1	0,5	3,5	0,8
Коровихинский массив	Пегматит	1,8	6,0	1,2	3,6	1,8	0,2
	Апатит	2,0	5,0	1,0	2,0	0,7	—
Урал, Мурзинский массив	Гранит биотитовый	1,5	4,4	1,6	5,5	6,4	0,9
Кочкарский массив	Гранит мусковитовый	—	—	—	—	2,6	—

Подобное обогащение марганцем поздних метасоматических гранатов, возможно, связано со щелочным характером растворов, изменяющих гранит, и увеличением в них роли слабых оснований, в том числе и MnO (Д. С. Коржинский).

Помимо высокого содержания марганца и своеобразной скелетной формы кристаллов, свидетельствующей об их метасоматическом развитии за счет полевых шпатов гранита (см. рис. 1, 2), для метасоматического граната характерны анизотропность или зональное строение его кристаллов.

Широко распространено мнение об ассимиляционной природе аксессуарного граната гранитоидов. Однако данные табл. 4 показывают, что ассимиляция вмещающих пород, как правило, не приводит к обогащению гибридных гранитов гранатом. В тех же случаях, когда это происходит, наблюдаются определенные отличия в составе граната гибридных пород. Они заключаются в более высоком содержании TiO_2 : 0,5—0,69 вместо обычных 0,1—0,2%. Значительно увеличивается в гранате из контаминированных гранитов и содержание CaO , которое в отдельных случаях может достигать 32,5% по сравнению с 0,7—4,5% в гранате из неконтаминированных гранитов. В то же время содержание марганца в них понижено и количество спессартинового компонента составляет в среднем 5% (см. табл. 4).

Таким образом, особенности гибридных или контаминированных гранитоидов, обычно выражающиеся в увеличении содержания в них различных Ti- и Ca-содержащих минералов (сфен, апатит, ортит, эпидот), находят отражение и в изменении состава граната, также обогащающегося этими элементами.

Низкое содержание граната в контаминированных гранитоидах показывает, насколько ошибочно широко распространенное мнение об ассимиляционной природе этого минерала.

В контаминированных гранитах возможно присутствие ксенокристаллов граната. В этих случаях они должны обладать признаками, характерными для этого минерала из осадков: поверхность их зерен должна быть шиповатой от обилия выростов или ступенчатой от наличия регенерационных граней. По аналогии с цирконом возможно наличие и окатанных зерен. Все это может служить указанием на ксеногенную природу граната.

Помимо главных элементов, аксессуарные гранаты гранитоидов содержат переменное количество различных элементов-примесей, присутствие и содержание которых в значительной мере определяется физико-химическими особенностями среды минералообразования. К числу таких эле-

(в %)

Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Ib	Lu	ΣGe	ΣY	ΣTR_2O_3
6,6	1,3	18,2	4,1	14,4	2,7	24,9	3,6	32,0	67,9	0,20
4,2	1,2	2,0	5,0	27,0	4,5	22,0	3,5	18,3	81,7	0,11
3,0	0,4	10,0	2,4	20,0	4,0	40,0	6,0	18,0	82,4	0,34
2,5	0,4	7,5	2,1	23,0	4,0	43,0	6,8	13,6	86,4	0,42
17,1	2,7	18,2	3,3	16,4	2,6	16,4	3,1	40,1	60,0	0,60
30,8	2,6	30,8	2,6	12,8	—	17,9	—	36,0	64,0	0,10

ментов относятся Ga, TR, особенно иттриевой группы, Sc, Zr, Sn и реже встречающиеся Zr, Sr, Ge, Be и Nb.

Определение содержания индивидуальных элементов редких земель показало (табл. 5), что в аксессуарных гранатах встречается весь комплекс редких земель. При этом богатые марганцем гранаты аплитов и пегматитов обладают селективным иттриевым составом редких земель с иттербиевым максимумом, а в более железистых гранатах гранитов состав редких земель уже комплексный с характерным эрбиевым максимумом.

Суммарное содержание редких земель в гранатах из гранитов колеблется от 0,1 до 0,6% при постоянном преобладании иттриевой группы редких земель. Установлено весьма незначительное (0,04—0,08%) содержание редких земель в гранатах из двуслюдяных гранитов. Такое же низкое содержание TR_2O_3 характерно и для гранатов из гранитовых массивов, в которых присутствует значительное количество аксессуарного монацита.

Гранаты из пегматитов отличаются значительным содержанием Ga, Sc (до 0,05% вместо обычных 0,005% в гранате из гранитов), Y (до 3,02%). В гранатах из двуслюдяных гранитов в повышенных количествах присутствуют Zr, Sn и Be. В гранатах из гибридных гранитов несколько увеличиваются содержания V, Cr, Ni и Ti. Содержание Ti повышается до 0,6% вместо обычных 0,1%.

Во всех случаях состав граната достаточно точно отражает геохимические особенности включающего их гранита, в том числе и его возможную металлоносность. Так, гранаты гранитоидов, с которыми связаны оловянные, молибденовые или вольфрамовые рудопроявления, характеризуются присутствием Sn, Mo или W.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение особенностей формы, окраски и особенно химического состава гранатов убеждает в том, что их появление в граните может быть связано с различными причинами.

Состав граната может указывать не только на время его образования, но и на условия формирования включающей его породы.

В генетически связанной серии пород кислые эффузивы — граниты — аплиты — пегматиты состав аксессуарного граната закономерно изменяется от существенно альмандинового в эффузивах, альмандин-спессартиновому в гранитах и существенно спессартиновому в аплитах и пегматитах. Таким образом, более поздние по времени выделения гранаты характеризуются все более возрастающей ролью марганца в их составе.

Метасоматические гранаты, например из грейзенов, отличаются значительно большим содержанием спессартиновой молекулы, чем гранаты магматического происхождения. Даже в кислых эффузивах, где в составе граната большую роль играет альмандиновая составляющая, поздний гранат, встречающийся в литофизах, также характеризуется более высоким содержанием марганца (Гросс). Таким образом, высокое содержание марганца в аксессуарном гранате может служить указанием на его позднемагматическое и вероятней всего на метасоматическое происхождение. Гранаты ассимиляционного генезиса характеризуются более высокими содержаниями магния, кальция и железа.

При метасоматическом изменении осадочной породы в породу гранитного облика или при массовой ассимиляции гранитной магмой осадочного материала вмещающих пород в составе образующего гранита наблюдаются различные реликтовые минералы: окатанный циркон, ставролит, силлиманит, оливин, хромит и некоторые другие.

Если действительно при формировании докембрийских гранитов большую роль играли не магматические процессы, а трансформация гнейсов или кристаллических сланцев в породы гранитного облика, то последние должны содержать и гранат, характерный минерал исходных метаморфических пород, реликтовая природа которого может быть установлена по особенностям его состава.

Между составами гранатов гнейсов и докембрийских гранитов действительно существует много общего. Это прежде всего высокие содержания в их составе пиропового (15,2%) и низкие спессартинового (2,5%) компонентов. Это отличает их от гранатов из послекембрийских гранитов, для которых характерны обратные соотношения сравниваемых компонентов: высокие содержания спессартинового (в среднем 28%) и крайне низкие пиропового (в среднем 4,2%).

Перечисленные особенности состава гранатов наряду с геолого-петрографическими данными можно использовать для решения вопроса о генезисе гранитов. Так, чудново-бердичевские граниты Украины характеризуются не только необычно высоким содержанием граната (до 47,3 кг/т), но и низким содержанием в нем MnO (0,26%) и высоким MgO (5,44%), что существенно отличает его от граната из гранитов магматического генезиса и сближает с гранатом вмещающих плагигнейсов. Учитывая также, что в этом граните из общей массы встречающегося в нем аксессуарного циркона 80—90% приходится на долю окатанных его зерен, можно предположить, что эти граниты образовались в результате метасоматического преобразования гнейсовой толщи, реликтами которой в граните являются зерна магнезиального граната и окатанного циркона.

Ю. И. Половинкина, отмечая богатство чудново-бердичевских гранитов гранатом, силлиманитом и корднеритом, считает, что они возникли в результате гранитизации широксен-плагноклазовых гнейсов. Ю. А. Кузнецов отмечает, что для метасоматических гранитизированных пород характерно сохранение тех же гранатов и гиперстенов, которые характерны для вмещающих пород. А. А. Полканов также считает, что метасоматические гранитоиды часто наследуют минеральный состав материнских пород. В частности, в них нередко присутствуют минералы гнейсов: гранат, кианит, рутил, циркон, сфен и др.

Гранито-гнейсы Губенского массива на Урале образовались (Г. М. Виноградовская) в результате гранитизации кристаллических сланцев кувашской свиты. Однако высокое содержание в гранате из этих гнейсов MnO (14,55%), что соответствует содержанию 33% спессартинового компонента, свидетельствует скорее о нормально магматическом образовании этих гранитов, которые позже подвергались рассланцеванию. На это же указывает и редкая встречаемость здесь окатанных зерен циркона, содержание которых составляет только 0,2% от общей массы его кристаллов.

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

Г. А. ИЛЬИНСКИЙ

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД АЛАЙСКОГО ХРЕБТА

Щелочные интрузии, пространственно приуроченные к северным склонам и приосевой части Алайского хребта, имеют сложное многофазное строение (Н. Ф. Шинкарев, Г. А. Ильинский, Л. Перчук, Б. И. Омеляненко, Р. Гаврилин). По геологическим и геохронологическим данным возраст их определяется как нижнепермский (200—220 млн. лет). Последовательная смена пород позволяет все изученные интрузии объединить в две серии: сиенитовую — нефелино-сиенитовую и нефелино-сиенитовую — гранитную. В первой первоначально сформировались монзониты и сиениты, а лишь позже нефелиновые сиениты (Зардалек, Урусай, Чекинды и т. п.). Во второй серии интрузий первые фазы представлены нефелиновыми и щелочными сиенитами, а более поздние — сиенитами, кварцсодержащими сиенитами и лейкократовыми гранитами (Матча, Кульп, Ходжаачкан, Джулису, Сурметаш и т. п.). Интрузии сиенитовой — нефелино-сиенитовой серии залегают главным образом среди карбонатных осадков на северных склонах Алайского хребта. Приуроченные же к приводораздельной части хребта интрузии нефелино-сиенитовой — гранитной серии располагаются в зоне преобладания глинистых толщ.

В комплексном изучении щелочных интрузий приняли участие Г. А. Ильинский, Л. Л. Перчук, Н. Ф. Шинкарев, И. Я. Центр и др. Отбор проб производился по отдельным разновидностям пород, не претерпевших сильного постмагматического изменения. Всего было исследовано более 150 проб с начальным весом 2—5 и 15—50 кг. Пробы среднего веса (2—5 кг) служили только для изучения пространственного распределения минералов, а более крупные пробы давали возможность отобрать и детально изучить отдельные минералы.

Обработка проб проводилась в следующем порядке: механическое дробление до фракции — 1 мм (при регулярном ситовании), двукратная промывка, отделение ферромагнитных минералов, фракционирование в тяжелых жидкостях и выделение из тяжелых фракций электромагнитных (парамагнитных) минералов. Так как пробы обрабатывались по единой схеме и в одинаковых условиях, можно предположить, что все систематические потери минералов в общем были одинаковы. Подсчет соотношений минералов в тяжелых фракциях протолок осуществлялся в объемно-весовых процентах. Выход тяжелой фракции, определяемый по каждой пробе, для большинства щелочных пород, колебался от 3 до 10 г/кг.

В тяжелых фракциях протолочек из щелочных пород Алайского хребта обнаружены акцессорные галенит, пирротин, молибденит, пирит, арсенипирит, гематит, рутил, анатаз, брукит, лейкоксен, плеонаст, магнетит, лимонит, оливин (хризолит), гортонолит, циркон, малакон, торит, гранат андрадит-гроссулярного состава, сфен, везувиан, клиноцоизит, эпидот, ортит, диопсид-геденбергит, эгирин-авгит, актинолит, роговая обманка, гастингсит, биотит, хлориты, турмалин, ильменит, пироксенол, лодочникит, монацит, апатит, барит, англезит, сидерит, паризит и флюорит. В протолочках из зон сильного гидротермального изменения и в эндоконтактных породах минералов содержится еще больше.

Типичными акцессориями, встречающимися во всех щелочных интрузиях, являются пирит, магнетит, циркон, сфен, эпидот, апатит и флюорит. Широко распространены также пироксены, амфиболы, гранаты (гроссуляр-андрадитового ряда) и биотит, в одних породах являющиеся акцессорными минералами, а в других играющие роль даже породообразующих, особенно в меланократовых породах первой группы интрузий.

Сходство качественного состава тяжелых фракций пород всех щелочных интрузий Алайского хребта свидетельствует об их тесной генетической связи. В то же время породы первой (северной) группы интрузий отличаются высоким содержанием граната и амфиболов. Вторая же группа интрузий характеризуется высокими содержаниями магнетита, сфена

Таблица 1. Средний количественный состав акцессорных тяжелых фракций протолочек из магматических пород щелочных интрузий Алайского хребта (в об.вес. %)

Минерал	Первая группа интрузий			Вторая группа интрузий		
	габбро и монцониты (14) *	сиениты (27)	нефелиновые сиениты (33)	нефелиновые сиениты (35)	сиениты (28)	граниты (3)
Галенит	Р. зн. **	Р. зн.	Р. зн.	—	—	—
Пирит	Р. зн.	0,2	8,5	3,4	0,4	—
Брукит	—	—	—	Р. зн.	Р. зн.	0,3
Магнетит	0,7	7,1	9,4	38,6	4,4	—
Оливин	—	—	0,1	0,2	—	—
Циркон	Р. зн.	0,1	2,0	3,5	0,5	Р. зн.
Гранаты	17,0	32,3	63,0	0,4	Р. зн.	—
Сфен	Р. зн.	0,6	0,1	3,0	18,1	6,4
Эпидот	1,1	0,6	Р. зн.	0,3	1,3	0,3
Пироксены	10,6	9,1	0,3	16,1	15,3	—
Амфиболы	70,3	43,2	12,0	9,8	34,6	0,5
Биотит	Р. зн.	6,5	3,4	22,5	21,8	—
Турмалин	—	—	0,3	—	0,1	79,4
Ильменит	—	—	—	0,2	0,4	11,8
Апатит	Р. зн.	0,1	0,3	0,7	0,9	1,0
Флюорит	Р. зн.	0,1	0,2	1,3	0,3	Р. зн.
Прочие ***	0,3	0,1	0,1	Р. зн.	1,9	Р. зн.
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Выход тяжелых фракций, г/кг	87,0	34,0	8,1	3,7	6,2	0,1

* Среднее по 14 протолочкам.

** Р. зн. — редкие и единичные знаки.

*** Прочие: барит, лейкоксен, гематит, везувиан, монацит, рутил, пироксенол, лимонит и др.

и биотита. Только здесь появляются также акцессорные брукит, ильменит, монацит, паризит и другие минералы.

Приведенные в табл. 1 средние содержания акцессорных минералов тяжелых фракций (в объемно-весовых процентах) позволяют подметить некоторые закономерности в их распределении. В первой группе интрузий содержание циркона возрастает от более ранних к более поздним породам, во второй группе интрузий максимальное содержание его характерно для наиболее ранних пород, но в обоих случаях этими породами являются нефелиновые сиениты.

Сфен, наоборот, концентрируется не в нефелиновых, а в щелочных или слабощелочных сиенитах, более богатых пироксенами и амфиболами. Это характерно даже для фациальных разновидностей пород одной и той же интрузивной фазы (табл. 2.).

Таблица 2. Количественный состав акцессорных тяжелых фракций протолок из фациальных разновидностей пород первой интрузивной фазы Кульпского массива (в об.-вес.%)

Минерал	Нефелиновые сиениты (12) *	Щелочные сиениты (13)	Минерал	Нефелиновые сиениты (12) *	Щелочные сиениты (13)
Пирит	1,1	0,2	Эпидот	0,6	0,9
Магнетит	17,4	1,5	Биотит	49,0	20,4
Лимонит	4,5	Р. зн.	Пирохлор	Р. зн.	—
Циркон	5,4	0,1	Апатит	1,2	0,2
Сфен	1,5	9,6	Флюорит	2,4	Р. зн.
Гранат	0,8	2,0			
Гастингсит	16,0	65,1	Сумма	100,0	100,0
Эгириин-авгит	0,1	—	Выход тяжелой фракции, г/кг	2,5	8,9

* Среднее по 12 протолоккам.

Важно также отметить, что турмалин концентрируется в породах последних фаз формирования интрузий.

В шлифах из щелочных пород ряда интрузий Алайского хребта часто встречаются псевдоморфозы вторичных минералов по породообразующим, особенно темноцветным. По эгириин-авгиту и другим пироксенам образуются альбит, магнетит и циркон; за счет амфиболов возникают биотит, сфен и флюорит; ранний биотит часто замещается хлоритами и магнетитом; около корродированных и измененных кристаллов сфена появляется акцессорный пирохлор. Изучение изоморфных примесей в перечисленных минералах показало, что в пироксенах почти постоянно присутствует цирконий (до 0,5%), содержание двуокиси титана в амфиболах достигает 2,5%, в сфене титан частично замещается ниобием и т. п. Содержание вторичных минералов в породе возрастает в зависимости от степени ее изменения, а элементов-примесей в первичных минералах вполне достаточно для образования поздних акцессориев. Появление вторичных акцессорных минералов в щелочных породах Алая — характерная их особенность.

Андрадит, по-видимому, характерен преимущественно для пород, носящих следы гибридности, что свойственно интрузиям, расположенным среди карбонатных пород. С особенностями химизма щелочных интрузий Алая связано и появление оливина (хризолита) в Зардалекском массиве, а также гортонолита на Сурметаше.

Весьма своеобразен и очень характерен для щелочных интрузий Алая антагонизм между цирконом и сфеном. Содержание циркона возрастает в породах, где мало силикатов, способных маскировать цирконий в своих кристаллических решетках, но много вторичных биотита и магнетита (табл. 3). Сфен же, наоборот, в максимальных количествах присутствует среди мало измененных нефелиновых сиенитов, очень часто ассоциируя с пироксенами и амфиболами. По всей вероятности, этот минерал в нефелиновых сиенитах является первичным, на что указывают форма его

Таблица 3. Содержание акцессорных циркона и сфена в фациальных разновидностях нефелиновых сиенитов щелочных интрузий бассейна р. Ходжакачан

Разновидность нефелиновых сиенитов по преобладающему минералу тяжелых фракций	Циркон		Сфен	
	об.-вес. %	z-γ	об.-вес. %	z-γ
Амфиболовые	Р. зн.	1	2,0	185
Биотит-амфиболовые . . .	Р. зн.	2	4,7	160
Биотитовые	6,0	65	0,4	5
Биотит-магнетитовые . . .	11,5	85	0,6	5
Магнетитовые	5,1	190	1,6	55
Магнетит-пироксеновые . .	1,0	30	0,7	20
Пироксеновые	0,2	20	10,9	1100

выделений, обогащенность изоморфными примесями, процессы замещения вторичными минералами при одновременном изменении пироксенов и амфиболов, а также появление сфена поздних генераций в автотомасоматически измененных породах.

Важно также, что содержание пироксена, редкого здесь акцессорного минерала, обратно пропорционально содержанию сфена (раннего, содержащего ниобий) и прямо пропорционально содержанию циркона.

В заключение необходимо отметить, что количественно-минералогический анализ тяжелых фракций протолок позволяет по изменению соотношений между акцессорными минералами и парагенетическим ассоциациям намечать перспективные с точки зрения концентрации редких и рассеянных металлов разновидности щелочных пород, особенно при одновременном изучении состава минералов и условий их образования. Важными факторами распространенности ряда акцессорных минералов являются степень и характер изменения порообразующих минералов щелочных пород.



Р. В. ПУТАЛОВА

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД ПРИЧИНГИЗЬЯ

Щелочные породы в Причингизье слагают ряд небольших массивов, расположенных на границе Чингиз-Тарбагатайского каледонского мегаантиклинория и Восточно-Балхашского герцинского мегасинклинория, и

Г. Ф. Ляпичевым и М. Б. Мычником относятся к среднегерцинскому интрузивному комплексу. Подробно изучены акцессорные минералы двух массивов: Батпакского, сложенного кварцевыми сиенитами, и Арсаланского, сложенного щелочными гранитами.

Методика обработки проб. Акцессорные минералы изучены в 100 пробах, собранных по ряду пересечений названных массивов. Для выявления состава тяжелой фракции протолок бралась пробы весом 5—10 кг (минералогические пробы), для извлечения минералов на определение абсолютного возраста пород и другие анализы — до 100 кг (возрастные пробы). Минералогические пробы дробились в чугунной ступке с частым просевом через сито 1 мм. Промывка велась с многократной доводкой (до 5—6 раз). Дальнейшей обработке подвергался весь шлик без квартования. Содержание акцессорных минералов в граммах на 1 т породы подсчитывалось визуально с параллельным весовым контролем содержания отдельных минералов. Возрастные пробы дробились на дробилке с просевом через сито 1,5—2 мм. Доводка их до серого шлика осуществлялась в лотках.

Таблица 1. Акцессорные минералы щелочных пород Арсаланского и Батпакского массивов

Акцессорные минералы	Щелочные граниты Арсалана	Кварцевые сиениты Батпака
Главные	Бурый циркон (циртолит, малакон?, флюорит, анатаз, ильменит, лимонит по пириту, магнетит (мартитизированный))	Магнетит (мартитизированный), ильменит, сфен, бурый циркон (циртолит, малакон), ортит
Второстепенные	Циркон, гематит, ортит, торит, монацит, апатит, пирит, галенит, молибденит, халькопирит, малахит, церуссит	Апатит, циркон, гематит, рутил, монацит, торит, флюорит, лимонит по пириту
Постмагматические изменения	Мартитизация магнетита, превращение ильменита в анатаз. Растворение циркона I, коррозия циркона II (бурого)	Мартитизация магнетита Растворение циркона I

Кроме минералогического анализа протолок, проводились спектральный, химический, рентгеноспектральный, рентгеноструктурный, термический и гониометрический анализы акцессорных минералов; исследовались закономерности распределения элементов-примесей как в отдельных акцессорных так и в тяжелой фракции протолок и в породе в целом. Минералого-геохимический анализ протолок сопровождался обязательными петрографическими и петрохимическими исследованиями пород.

Состав акцессорных минералов в изученных щелочных породах приведен в таблицах 1 и 2.

Характерной особенностью акцессорных минералов щелочных гранитов Арсалана является весьма незначительное содержание (от знаков до 34 г/т) магматического циркона и повышенное постмагматического бурого циркона (циртолит, малакон?), причем для последнего характерна парагенетическая ассоциация с флюоритом.

Для Батпакских кварцевых сиенитов характерны следующие особенности акцессорных минералов:

1) присутствие одновременно двух титановых минералов — сфена и ильменита с преобладанием последнего;

2) незначительное развитие минералов фосфора. Содержание апатита, хотя он здесь и отмечен в большем по сравнению с породами Арсалан-

Таблица 2. Пределы содержаний аксессуарных минералов в щелочных гранитоидах Причингизья (в г/т)

Минерал	Щелочные граниты Арсалана	Кварцевые сиениты Батпака	Минерал	Щелочные граниты Арсалана	Кварцевые сиениты Батпака
Циркон	Зн.— 34	Зн.—333	Мартит	Зн.— 134	
Апатит	Зн.— 4	Зн.—264	Флюорит	Зн.— 34	0—зн.
Магнетит	Зн.—2056	11333—24 333	Анализ	Зн.— 16	0—34
Ильменит	Зн.— 123	Зн.—5066	Молибденит	0—зн.	—
Сфен	0 — 99	320 — 2132	Пирит	0—зн.	—
Гематит	0 — 112	0 — зн.	Галенит	0—зн.	—
Монацит	0 — 2	0 — 21	Халькопирит	0—зн.	—
Рутил	—	0—47	Церуссит	0—зн.	—
Ортит	0—зн.	0—146	Малахит	0—зн.	—
Торит	0—зн.	0—зн.	Лимонит по пириту	0—1210	0—зн.
Бурый циркон (циртолит, малакон?)	0—400	0—107			

ского массива количестве, не превышает 264 г/т, монацит же (2 г/т) отмечен только в одной пробе, взятой вблизи зоны дробления;

3) большая роль ортита по сравнению с щелочными гранитами Арсалана; содержание этого минерала в кварцевых сиенитах Батпака достигает 146 г/т;

4) значительное содержание магнетита (1333—2433 г/т);

5) незначительное развитие анатаза, флюорита, лимонита по пириту, характерных для щелочных пород Арсаланского массива. Анализ (3,4 г/т) отмечен только в одной пробе, взятой также вблизи зоны дробления.

Из аксессуарных минералов щелочных пород Причингизья наиболее детально изучались бурый циркон (табл. 3), сфен, ортит и магнетит (табл. 4).

Циркон (малакон, циртолит?) кварцевых сиенитов Батпаковского массива в морфологическом отношении несколько отличается от циркона Арсаланских гранитов (см. табл. 3). В первом случае это коричневые, желто-кофейные (реже светло-розовые до бесцветных) бипирамидальные (см. рисунок, а) или только светлоокрашенные призматические (см. рисунок, б) кристаллы, во втором — бурые, шоколадного цвета короткопризматические полупрозрачные кристаллы, в которых обязательно присутствует призматический пояс (см. рисунок, в) и для которых характерны тесные закономерные сростания по призме двух или нескольких кристаллов, напоминающие двойники. Бурые цирконы Батпака и Арсалана зональны. Для первых весьма характерны тесные сростания с апатитом и рибекитом, для вторых — с рибекитом.

Более подробно Арсаланский циркон описан ранее, а сравнительные данные приведены в табл. 3.

Для сфена приведем лишь параметры элементарной ячейки: $a = 6,57 \text{ \AA}$, $b = 870 \text{ \AA}$, $c = 7,57 \text{ \AA}$, $\beta = 60^\circ$.

Обращают на себя внимание особенности распределения в некоторых аксессуарных минералах (сфен, бурый циркон) элементов-примесей, в первую очередь редких земель. Так, по данным химического анализа, в цирконах из щелочных гранитов Арсаланского массива сумма редких земель (вместе с торием и ураном) составляет 3,72%, что соответственно уменьшает содержание в цирконе главных его окислов ZrO_2 до 63,8% и SiO_2 до 28,9% (в отличие от теоретического состава: ZrO_2 67,1%, SiO_2 32,9%).

Таблица 3. Сравнительная характеристика позднемезмагнитического акцессорного циркона щелочных гранитоидов Причингизья

Показатели	Арсалапский массив		Ватпакский массив	
	Бурый циркон (циртолит, малакон)	Короткопризматический	Бурый циркон (циртолит, малакон?)	Светлоокрашенный циркон
Габитус кристаллов	Короткопризматический		Бипирамидальный	
Размер кристаллов	До 2 мм		До 1 мм	
Параметры элементарной ячейки	* $a = 9,20 \text{ \AA}$ $c = 5,98 \text{ \AA}$ $c : a = 0,65 \text{ \AA}$		$a = 9,52 \text{ \AA}$ $c = 5,95 \text{ \AA}$ $c : a = 0,625 \text{ \AA}$	
Цвет	Бурый, коричневый, желто-кофейный, медово-желтый		Коричневый, желто-кофейный	
Твердость			Пониженная	
Магнитность			Слабомагнитный	
Удельный вес	4,17		4,30	
Химический состав, %	SiO ₂ 28,9 CaO 1,2 ZrO ₂ 63,8 Fe ₂ O ₃ 2,26 ΣTR ₂ O ₃ 3,72 P ₂ O ₅ 0,55 O ₂ 0,5		Не опред.	
Соотношение редких земель	TR _Y : Y > Yb > Er > Tu > Dy > > Lu > Ho TR _Y > TR _{Ce} TR _{Ce} : Ce > La > Nd > Gd > Eu		TR _Y : Y > Yb и Dy > Er > Lu > > Ho > Tu TR _Y > TR _{Ce} TR _{Ce} : Ce > La > Gd > Eu	
Прочие элементы-примеси	Hf, Th, U, Nb, Sc, Sn, P, Ti, Fe, Bi, Pb			
Содержание радия, e/2 тория, Me/2	1110.10 ⁻¹³ .27		711.5.10 ⁻¹² 1,7	
Степень метамитности	Метамитный		Слабометамитный	
Характерные срращения * После прокаливания.	С рибекитом, реже флюоритом		С апатитом, рибекитом	
			89.10 ⁻¹² 0,46	
			Неметамитный	
			С магнетитом, апатитом	

Таблица 4. Сравнительная характеристика мартитизированного магнетита щелочных гранитоидов Причингизья

Показатели	Магнетит		Примечание
	из щелочных гранитов Арсаланского массива	из кварцевых сиенитов Батпакского массива	
Форма кристаллов	Октаэдры		
Размер кристаллов, мм	0,1—0,8	0,2—1,0	
Цвет	Буровато-черный		
Черта	Буровато-вишневая		
Твердость	<5		
Магнитная восприимчивость	Понижена		
Удельный вес	4,87—4,91	4,48	
Параметры элементарной ячейки	$a=5,023 \text{ \AA}$, $c=14,09 \text{ \AA}$, $\frac{c}{2a}=1,347$	$a=5,06 \text{ \AA}$, $c=13 : 83 \text{ \AA}$, $\frac{c}{2a}=1,367$	Параметры элементарной ячейки эталонного гематита $a=5,029 \text{ \AA}$, $c=13,73 \text{ \AA}$, $\frac{c}{2a}=1,3652$
Содержание, %			
FeO	1,9	2,8	магнетита $a=8,396 \text{ \AA}$ Теоретический состав **
Fe ₂ O ₃	89,6	93,3	
Элементы-примеси	Ga, Ge, Nb, Sn, Zr, Pb, Zn, Cu, Ti, V, P Cr, Mn, Co, Ni		31 69

* По А. К. Болдыреву и В. И. Михееву.

** По А. Г. Бетехтину.

Довольно высокие содержания редких земель в арсаланских и батпакских цирконах обнаружены и спектральным анализом (причем, из редких земель преобладает иттриевая группа). В цирконах Арсалана и Батпака обнаружено соответственно 3 и 1% Y, более 1 и 0,5% Yb, 0,3% Dy и Er, 0,1 и 0,01% Th, более 0,03% Lu, 0,003 и 0,01 No. Из редких земель цериевой группы отмечены соответственно 0,1 и 0,3% Ce, 0,1 La, 0,01% Eu, 0,03% Gd; Nd обнаружен только в арсаланских цирконах (0,03%).

В арсаланских цирконах, кроме указанных элементов, рентгеноспектрально обнаружено 1,5% Th и 1% U. Из прочих элементов-примесей цирконы из обоих массивов содержат Hf, Sc, Sn, P, Ti, Fe, Bi, Pb. Ниобий (0,1%) отмечен только в бурых цирконах (циртолит, малакон?) из Арсаланского массива.

В сфене Батпакского массива отмечены редкие земли как цериевой, так и иттриевой групп. Из цериевых земель больше всего Ce и La (0,3%), Nd (0,1%), Sm, Eu и Gd меньше (0,03%). Тербий не обнаружен, празеодим не определялся. Из иттриевых земель в минерале отмечено 0,1% Er и Dy, 0,03% Yb, 0,01% Lu, 0,005% No и Th, а Y 0,3%.

Изучение аксессуариев показывает, что арсаланские щелочные граниты и батпакские кварцевые сиениты претерпели высокотемпературные метасоматические преобразования, более интенсивно проявленные на Арсалане (мартитизация магнетита, частичное его растворение, замещение ильменита анатазом, растворение циркона I и образование циркона II — циртолита, малакона? обогащенного редкими землями, частичное растворение циркона II).

Взаимоотношения аксессуарных минералов, наблюдаемые в протолюках щелочных гранитов и кварцевых сиенитов Причингизья, позволяют наметить следующую последовательность их выделения. В начальную, магматическую, стадию кристаллизации выделялись мелкие прозрачные кристаллики циркона первой генерации, ильменит, апатит, затем (вместе с

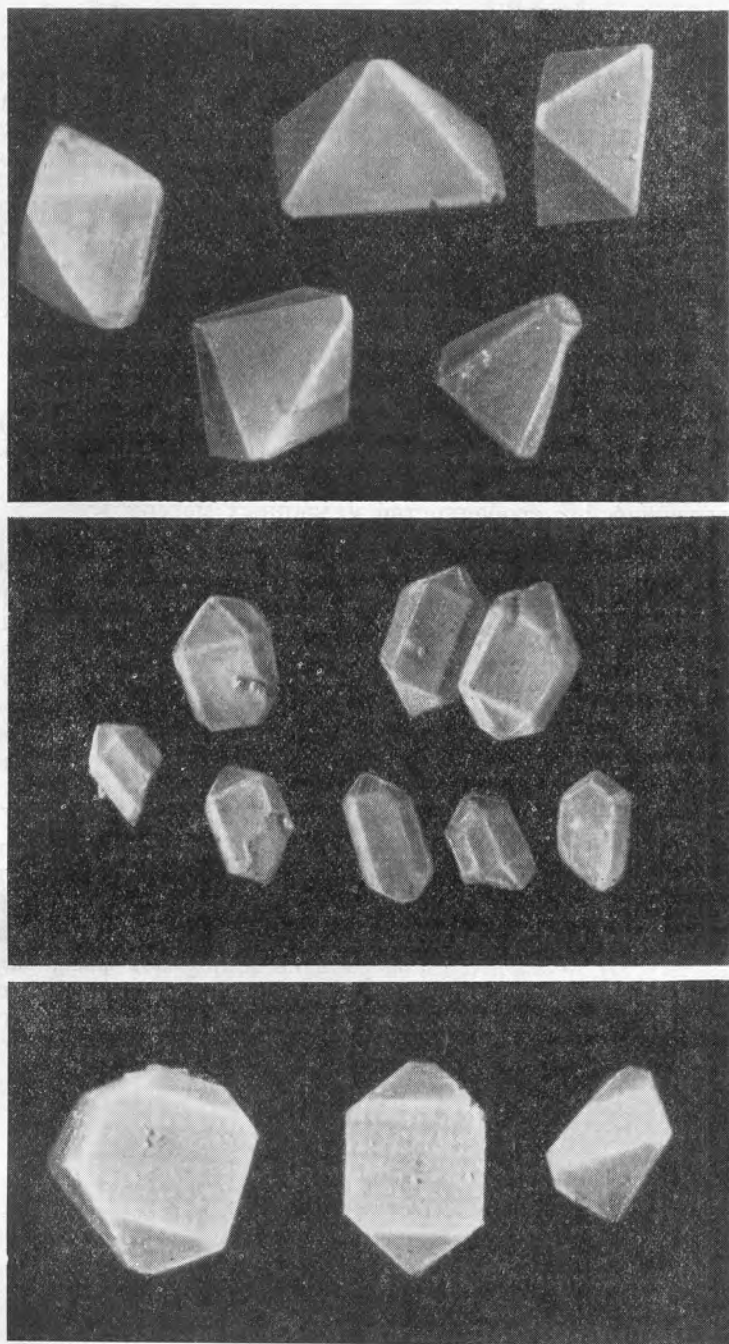


Рис. 1. Кристаллы позднемагматического циркона
а, б — из кварцевых сиенитов Батпака (ув. 25); в — из щелочных гра-
нитов Арсалана (увеличение 10)

темноцветными) октаэдрические кристаллы магнетита I и сфен. В поздние стадии кристаллизации выделялись торит, ортит и магнетит II (ксеноморфный). С заключительными этапами кристаллизации связано появление циркона II (циртолит, малакон?), флюорита и анатаза. Молибденит, галенит, халькопирит (?) и развивающиеся по ним в экзогенных условиях малахит и церуссит, по-видимому, следует отнести к наложенным гидротермальным продуктам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный фактический материал по изучению акцессорных минералов позволяет наметить некоторые характерные черты щелочных гранитоидов Причингизья:

1. В изученных массивах, породы которых принадлежат к одной петрографической формации, наряду со сходством установлены и некоторые различия в ассоциациях акцессорных минералов, их химизме и степени постмагматических изменений. Причина этого кроется в различии петрографических особенностей указанных массивов.

2. Для кварцевых сиенитов Батпака характерны:

а) присутствие в них одновременно двух титановых минералов — ильменита и сфена. Причем для сфена весьма характерны разнообразие призматической формы кристаллов и двойники их срастания по (100); б) бипирамидальный облик бурого циркона (циртолит, малакон?) и тесные срастания его с апатитом; в) большее по сравнению с породами Арсалана развитие магнетита и ортита.

3. Для щелочных гранитов Арсалана характерно: а) незначительное различие в них магматического циркона и повышенное позднемагматического бурого циркона (циртолит, малакон?). Типоморфными признаками последнего являются короткопризматический габитус кристаллов и закономерные их срастания, напоминающие двойники; б) незначительное развитие магнетита.

4. Общим для щелочных гранитоидов Причингизья являются:

а) присутствие в них позднемагматического бурого циркона (циртолит, малакон?); б) незначительное развитие минералов фосфора.

5. Изучение элементов-примесей в акцессорных минералах щелочных гранитоидов Причингизья позволило выявить их геохимическую специализацию на редкоземельные элементы, в первую очередь на редкие земли иттриевой группы.

■

Л. С. ПОГИБЛОВА

ПОВЕДЕНИЕ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ СЛОЖНОЙ ИНТРУЗИИ КЗЫЛ-ОМПУЛ (Северный Тянь-Шань)

По данным Р. Д. Гаврилина, интрузивный массив Кызыл-Омпул имеет варисский возраст и сложен породами трех фаз (в возрастной последовательности): сиенитами, граносиенитами и лейкократовыми гранитами.

Для изучения акцессорных минералов нами было взято пять проб сиенитов, две пробы граносиенитов и две пробы лейкократовых гранитов,

Таблица 1. Количественный подсчет акцессорных минералов в породах интрузии Кзыл-Омпул (в вес. %)

№ проб	Циркон	Апатит	Торианит	Бадделейт	Сфен	Ортит	Флюорит	Торит
Сиениты								
5107	0,072	0,11	0,006	—	—	—	—	—
5103	0,026	0,1	—	0,002	—	—	—	—
2392	0,05	0,06	0,001	Дес. з	—	—	—	—
2379	0,02	0,06	Ед. з.	0,002	—	—	—	—
1095	0,08	0,24	0,001	0,001	—	—	—	—
Граносиениты								
5080	0,03	0,17	—	—	0,26	0,001	—	0,01
III/55	0,006	0,06	—	—	0,33	—	—	Не подсчит.
Граниты								
5079	0,02	0,008	—	—	0,013	0,034	0,17	0,033
2416	0,04	0,026	—	—	0,1	0,017	—	Не подсчит.

Примечания: 1. Содержание ильменита в сиенитах не подсчитано, но приблизительно можно сказать, что оно составляет тысячные доли процента.
2. Данные по сиенитам несколько занижены, так как даже при очень тщательном и аккуратном дроблении какое-то количество акцессорных минералов было передроблено в пыль и потеряно при отмучивании.

практически неизменных, средним весом 12 кг. Обработка проб велась по схеме, аналогичной схеме К. К. Никитина.

Результаты количественных подсчетов распределения акцессорных минералов приведены в табл. 1, из которой видно, что в неизменных породах интрузии Кзыл-Омпул обнаружено 14 акцессорных минералов: циркон, апатит, сфен, ортит, торианит, торит, ураноторит, бадделейт, ильменит, анатаз, молибденит, пирит, самородный свинец и флюорит. Из них циркон и апатит являются проходящими минералами. Кроме того, для каждой фазы характерны свои собственные акцессорные минералы. Так, для сиенитов характерны торианит, бадделейт и ильменит. Для граносиенитов характерны сфен, ортит, и ураноторит, а для самых молодых пород гранитов — сфен, ортит, торит и флюорит. Из минералов, наблюдаемых в породах в очень незначительных количествах и для характеристики породы не имеющих большого значения, присутствуют молибденит, пирит, самородный свинец и анатаз. Цирконы сиенитов, граносиенитов и гранитов отличаются по внешним признакам. При переходе от сиенитов к гранитам уменьшается размер кристаллов циркона, меняются цвет (коричневый в сиенитах медово-желтый в гранитах), прозрачность (в сиенитах цирконы прозрачны, в гранитах полупрозрачны или совсем непрозрачны). Элементы-примеси цирконов всех фаз приведены в табл. 2.

Апатит прозрачный. При переходе от сиенитов к гранитам меняется габитус кристаллов апатита от короткопризматического в сиенитах до удлиненных призм и игольчатых кристаллов в гранитах, меняется показатель преломления: в сиенитах апатит имеет $n_0 = 1,644$, а в гранитах $n_0 = 1,634$, что позволяет отнести последний к более фтористым разновидностям. Акцессорные элементы апатитов приведены в табл. 3. Постоянство состава акцессорных элементов в цирконах и апатитах может указывать на то, что все эти породы образовались из одного магматического расплава.

В нефелинсодержащих сиенитах впервые обнаружен бадделейт. Он является для них характерным акцессорным минералом. Бадделейт выделяется в виде таблитчатых кристаллов или призм с неравномерно развитыми краями пирамиды, венчающей призму. Грани пирамиды часто

Таблица 2. Элементы-примеси в цирконах проб сиенитов, граносиенитов и гранитов (полуколичественный спектральный анализ)

Элементы-примеси	Сиениты						Граносиениты			Граниты	
	2379	2392	5103	5107	Ш/55	5080			2416	5079	
	4095	2379	2392	5103	5107	Ш/55	5080			2416	5079
Fe	0,1-0,3	0,03	0,1-0,3	0,3-1	1,0	0,1-0,3	0,3-1,0			1,0	1,0
Mg	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3			0,1-0,3	0,1-0,3
W	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	1,0	0,03-0,1			Нет	Нет
Ti	0,003-0,01	0,003-0,01	0,01-0,03	0,01-0,03	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3			0,3-1,0	0,3-1,0
Ca	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			1,0	1,0
Cr	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03			0,01-0,03	0,01-0,03
Zn	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			1,0	1,0
Be	0,001	0,001	0,001	Сл.	0,001-0,003	0,001	Сл.			0,01-0,03	0,01-0,03
Pb	0,01-0,03	0,003-0,01	0,003-0,01	0,01-0,03	0,01-0,03	0,03-0,1	0,01-0,03			0,01-0,03	0,01-0,03
Sn	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет			0,001-0,003	Нет
V	Нет	Нет	Нет	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03			0,001-0,003	0,01-0,03
Mo	0,001	0,003	0,003	Нет	Нет	0,001-0,003	0,001			0,001-0,003	Нет

Таблица 3. Элементы-примеси в пробах анатитов массива Кзыл-Омуд (полуколичественный спектральный анализ)

Элемент-примесь	Сиениты					Граносиениты			Граниты		
	4095	2379	2392	5103	5107	Ш/55	5080			2416	
	4095	2379	2392	5103	5107	Ш/55	5080			2416	
Fe	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03			0,01-0,03	0,01-0,03
Mn	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,03	0,03	0,03	0,01-0,03			0,03-0,01	0,03-0,01
Pb	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03			0,003-0,01	0,003-0,01
Ti	0,01-0,03	0,003	0,003-0,001	0,003	0,003-0,01	0,003-0,01	0,01-0,03			0,01-0,03	0,01-0,03
Na	1,0	0,3-1,0	1,0	0,3-1,0	1,0	1,0	0,3-1,0			0,3-1,0	0,3-1,0
Zr	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03			0,01-0,03	0,01-0,03
Sr	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03			0,03	0,03
Y	Очень мало	Мало	Мало	Мало	Очень мало	Очень мало	Мало			Мало	Мало

скошены. На гранях призмы нередко видна штриховка. Цвет минерала коричневый. Минерал прозрачен в тонких пластинках и просвечивает по краям в более толстых призмах. Блеск алмазный, грани кристаллов хорошо отражают свет. Удельный вес 5,4 (определяется методом барометрических трубок Корюкиной). Минерал обладает сильным плеохроизмом: по *Np* бурый, по *Ng* коричневый, по *Nm* светло-желтый. Показатель преломления определяется в высокопреломляющих сплавах; *Ng* 2,22; *Np* 2,13. Рентгеноструктурный анализ показал ясную структуру бадделеита. В ильмените рентгеноструктурным анализом определен (аналитик М. М. Кахана) Nb (3%) и Ta (0,5%). Торит содержит Th (30%) и U (0,7%), ураноторит (аналитик Л. Л. Леонова) — Th (40%) и U (7,8%).

Рассмотрение акцессорных минералов пород интрузии Кзыл-Омпул показало, что породы отличаются по содержанию акцессорных минералов. Особенно ярко это видно на примере циркона и апатита. Содержание циркона уменьшается к концу процесса дифференциации в 2 раза, апатита в 5—10 раз. В несколько раз увеличивается содержание ортита в гранитах по сравнению с содержанием его в граносиенитах (см. табл. 4).

Таким образом, акцессорные минералы в интрузии Кзыл-Омпул являются чуткими индикаторами изменения химического состава пород, в частности содержания SiO_2 .

В. И. Ф Е Л Ъ Д М А Н

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ЩЕЛОЧНЫХ ГРАНИТОИДОВ ТАЙДУТСКОГО МАССИВА (Центральное Забайкалье)

Тайдутский массив щелочных гранитоидов расположен в пределах хребта Цаган-Хуртей. Это пологозалегающая интрузия площадью около 1500 км², внедрившаяся вдоль границы среднепалеозойских гранитоидов Даурского комплекса и верхнепермских, нижнетриасовых эффузивов Джиды-Хилокской серии. Время внедрения массива на основании геологических данных и определения абсолютного возраста аргоновым методом датируется как верхнетриасовое (194—195 млн. лет).

Породы массива по условиям формирования и залегания можно подразделить на интрузивную и жильную фазы. В интрузивной фазе выделяются главная интрузивная фация (средне- и крупнозернистые эгириновые и эгириин-амфиболовые граниты, граносиениты и сиениты) и фация андоконтакта (сиенито-диориты, мелкозернистые и резкопорфировидные граниты, а также сиениты того же состава, что и породы главной интрузивной фации). Жильная фаза, представленная мелкозернистыми щелочными гранитами, гранит-порфирами и изредка пегматитами, развита незначительно. В формировании современного облика щелочных гранитоидов весьма важную роль сыграли процессы автометасоматоза (В. И. Фельдман, Н. Т. Воскресенская), среди продуктов которых, используя реальные парагенезисы, нами выделены:

А) неизмененные магматические породы — роговообманково-диопсидовые сиенито-диориты;

Б) диопсид-гастингситовые сиениты и граносиениты с андезином, образовавшиеся в ходе щелочного автометасоматоза при замещении большей части андезина калиевым полевым шпатом и обыкновенной роговой обманки гастингситом;

В) эгирин-диопсид-гастингситовые мониты и граносиениты, в которых андезин полностью замещен калиевым полевым шпатом, а он в свою очередь частично альбитизирован; диопсид замещается эгирином; подчиненное значение имеет метасоматическое образование кварца;

Г) эгирин-арфведсонитовые граниты, сформированные продолжавшимися процессами щелочного и кремнивого автометасоматоза, вызвавшими интенсивную эгиринизацию пироксена, арфведсонитизацию гастингсита, резкое увеличение содержания кварца;

Д) щелочные граниты, в которых цветные минералы замещены агрегатом кварца и рудного минерала с примесью хлорита.

Таким образом, изменения, происходившие в процессе кристаллизации в гранитоидах Тайдутского массива, представляют собой сочетание щелочного (натриевый и калиевый) и кремнивого автометасоматоза при реакции уже закристаллизовавшихся частей магмы с остаточным расплавом, состав которого все время менялся в сторону обогащения щелочными, редкими и летучими компонентами.

Акцессорные минералы щелочных гранитоидов Тайдутского массива изучались в прозрачных шлифах обычных размеров и протолочках. Было взято 20 протолочек, в том числе из пород главной интрузивной фации 13, из проб фации эндоконтакта 5 и из жильных пород 2.

Протолочки весом 9—20 кг отбирались точечным методом с площади около 100 м² по методике ИМГРЭ (В. В. Ляхович). Затем они подвергались дроблению до размера зерна 0,5 мм с частым просеиванием во избежание переизмельчения и промывались на сибирском лотке с трехкратной промывкой хвостов до светло-серого шлиха весом 2—2,5 кг. Шлих подвергался магнитной и электромагнитной сепарации на роликовом электромагнитном сепараторе. Затем электромагнитная и неэлектромагнитная фракции разделялись на легкую и тяжелую в бромформе, после чего гравитационным методом в тяжелых жидкостях выделялись мономинеральные фракции, которые просматривались под бинокулярной лупой, в иммерсионных жидкостях и взвешивались¹. Подобная методика обработки протолочек позволяет свести к минимуму потери и ошибки при дроблении, промывке, и подсчете минералов (В. В. Ляхович и Д. А. Родионов). Следует учитывать, что потери при дроблении и промывке составляют обычно не менее 60%.

Изучение взаимоотношений минералов под микроскопом позволило прийти к выводу, что акцессории в гранитоидах Тайдутского массива образуются:

1) как побочный продукт при замещении одного породообразующего минерала другим: рудный минерал I выделяется при замещении пироксена амфиболом;

2) при реакции ранее образовавшихся минералов (акцессорных и породообразующих) с остаточным расплавом: сфен II формируется при разложении рудного минерала и биотита, апатит — рудного минерала III, циртолит — цветных минералов и т. п.;

3) при кристаллизации минералов, богатых редкими, рассеянными и летучими элементами (ортит, монацит, ксенотим, апатит и др.) из остаточного расплава.

В первых двух случаях позднее формирование акцессорных минералов доказывается сравнительно легко. В последнем случае, когда идиоморфные выделения акцессориев наблюдаются в различных по составу главных породообразующих минералах, создается иллюзия ранней кристаллизации первых (Ларсен, А. Полдверваарт).

¹ Обработка и минералогический анализ проб проводились в Центральной лаборатории Читинского геологического управления минералогами Л. С. Богачевой, Т. И. Кузнецовой, И. В. Мещеряковой, О. М. Пеньковой, С. П. Помазкиной и в лаборатории МГРИ М. К. Жидковой, которым автор выражает глубокую признательность.

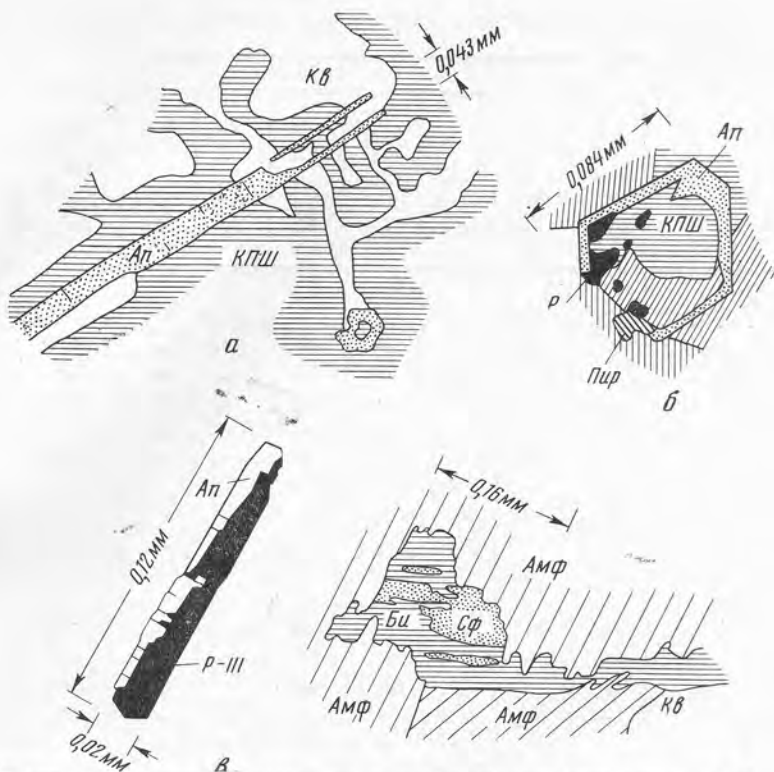


Рис. 1. Взаимоотношения аксессуарных и породообразующих минералов

а — футляровидный кристалл игольчатого апатита (Ап), продольный разрез пересекает границы кварца (Кв) и калиевого полевого шпата (Кпш) в графической структуре; *б* — футляровидный кристалл апатита (Ап) (поперечный разрез) пересекает границы зерен калиевого полевого шпата (Кпш). В породе содержится также диопсид (Пир) и магнетит (Р); *в* — замещение апатита (Ап) магнетитом (Р-III); *г* — образование сфена II (Сф) по биотиту (Би), замещающему щелочной амфибол (Амф)

В этой связи весьма важно присутствие в щелочных гранитоидах Тайдутского массива футляровидных выделений апатита. Это идиоморфные игольчатые или короткостолбчатые кристаллы, содержащие внутри агрегат породообразующих минералов (рис. 1). В шлифах отмечены включения в апатите андезина, калиевого полевого шпата, пироксена, кварца и рудного минерала. Подобные образования представляют своеобразные скелетные формы роста кристаллов, условия возникновения которых расшифровываются различно. Д. П. Григорьев, Д. С. Коржинский, В. Д. Никитин рассматривают их как метакристаллы. Однако экспериментальные данные (Вилли, Кокс, Биггер) свидетельствуют о возникновении таких скелетных кристаллов при быстром остывании («закаливании») расплава. В породах Тайдутского массива футляровидные выделения апатита пересекают границы зерен породообразующих минералов (см. рис. 1), что, по-видимому, однозначно говорит о метасоматическом способе их образования.

Изучение аксессуарных минералов пород Тайдутского массива в прозрачных шлифах позволило выделить всего девять их разновидностей (магнетит, ильменит, сфен, апатит, обычный и радиоактивный циркон, ортит, монацит и флюорит). Можно наметить (весьма приблизительно) следующую схему последовательности формирования аксессуарных минералов.

Наиболее ранним среди аксессуарив является рудный минерал I

Таблица 1. Содержание акцессорных минералов в щелочных гранитоидах Тайдутско

Минерал	Главная интрузивная фация									
	сциент (№ 46, В, 9) *	гранит (№ 55, Д, 14, 9)	гранит (№ 53, Г, 15, 15)	сциент (№ 67, В, 20)	граносциент (№ 70, В, 18, 3)	гранит (№ 83, Г, 19, 2)	гранит (№ 110, Г, 13, 2)	сциент (№ 115, В, 18)	гранит (№ 139, Г, 17)	гранит (№ 150, Г, 13)
Магнетит	4222	6,5	3,3	2270	Зн.	Зн.	Зн.	778	Ед. зн.	11
Гематит	—	2405	—	—	—	—	—	—	—	—
Мартит	—	—	—	—	546	—	—	236	—	—
Ильменит	17	—	Зн.	—	541	53	Зн.	356	522	Ед. зн.
Лейкоксен	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сфен	1111	Зн.	Ед. зн.	767	27	—	179	167	235	Н. зн.
Ортит	5	—	—	Зн.	Ед. зн.	—	—	—	—	—
Монацит	—	Зн.	Зн.	—	—	1,5	25	—	40	57
Ксенотим	—	Ед. зн.	—	—	—	—	—	—	—	Зн.
Циркон	226	4	Зн.	99	71	Зн.	—	19	Зн.	3
Радиоактивный циркон	Зн.	Зн.	536	124	290	—	39	—	—	—
Апатит	17	Зн.	Ед. зн.	Зн.	Зн.	—	Зн.	250	2,4	Зн.
Флюорит	5,6	—	5,2	10,5	1,1	—	—	—	Ед. зн.	Зн.
Анаказ	—	Зн.	1,3	—	—	1,0	—	Ед. зн.	—	72
Брукит	—	Зн.	Зн.	—	—	—	—	—	—	—
Рутил	—	—	Ед. зн.	—	—	—	—	—	—	—
Молибденит	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	—	—	Ед. зн.
Пирит	—	Зн.	Зн.	Зн.	Зн.	Зн.	Зн.	Зн.	Зн.	Н. зн.
Лимонит	Зн.	—	2	—	—	—	—	—	—	114
Арсенопирит	—	Ед. зн.	—	—	—	—	—	—	Ед. зн.	Ед. зн.
Галенит	Ед. зн.	Зн.	Зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Зн.	Ед. зн.	Зн.	—
Сфалерит	—	—	—	—	—	—	—	—	Ед. зн.	—
Клейофан	—	Н. зн.	—	—	—	—	Ед. зн.	—	—	—
Корунд	Ед. зн.	Ед. зн.	—	Ед. зн.	—	1,0	Ед. зн.	—	Ед. зн.	Н. зн.
Торит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Турмалин	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Шеелит	—	—	—	—	—	—	Ед. зн.	—	—	—
Церуссит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Псиломелан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* В скобках указаны: № пробы, ступень автометасоматоза, вес пробы в килограммах.

** Незначительные знаки.

(тонкие пластичные выделения вдоль спайности амфибола), появляющийся при замещении эгирин-диоксида гастингситом и замещающийся лейкоксеном, из чего можно сделать вывод, что это, по-видимому, ильменит. Несколько позже гастингсита образуется титанит I (крупные бурые зерна, иногда идиоморфные ромбовидные кристаллы). Позднее титанита I кристаллизуется рудный минерал II (идиоморфные прямоугольные, нередко скипетровидные кристаллы), по которому развиваются гидроксилы железа (но не лейкоксен) и который, вероятно, является магнетитом. На рудный минерал II нарастают игольчатые выделения арфведсонита и биотит.

Для наиболее часто встречающихся акцессорных минералов (рудный III, циркон и апатит) отмечается приуроченность к биотиту. При этом наблюдаются включения апатита в биотите, цирконе и ортите. Руд-

сyenит (№ 155, Б, 10)	граносyenит (№ 181, Д, 12, 2)	гранит (№ 185, Г, 10, 35)	Фашия эндоконтакта					Жильные породы	
			гранит (№ 37, Д, 17, 9)	гранит (№ 51, Г, 16, 9)	гранит (№ 102, Г, 17, 6)	гранит (№ 158, Б, 9, 3)	граносyenит (№ 320, Б, 17, 35)	гранит-порфир (№ 368, 18, 75)	гранит-порфир (№ 683, 16, 79)
810	7217	Зн.	5,5	Зн.	Н. зн.**	7503	4200	605	27
—	—	—	—	—	—	—	67	2440	212
—	402	—	1810	—	—	—	—	—	—
1860	1206	—	—	—	—	2,2	—	—	—
—	—	48	—	—	—	—	—	—	—
2440	5588	Зн.	—	Зн.	Ед. зн.	1762	11	—	—
—	—	—	—	—	—	Зн.	—	—	—
—	—	Зн.	—	Ед. зн.	9	—	67,1	—	—
—	—	—	—	Ед. зн.	—	—	—	—	—
142	184	—	105	Зн.	207	171	10	43	Зн.
—	Зн.	174	Зн.	Ед. зн.	Зн.	—	5,1	—	—
50	106	4	—	—	Н. зн.	2,2	Зн.	Зн.	—
Ед. зн.	—	—	15	—	Н. зн.	33	3,6	Зн.	—
—	—	—	65	—	1,1	—	Зн.	Зн.	Зн.
—	—	—	—	—	—	—	—	—	Зн.
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	Ед. зн.	Ед. зн.	—	—	Ед. зн.	Зн.	—	—	—
Зн.	Ед. зн.	—	Зн.	Н. зн.	4,5	Зн.	Зн.	Зн.	—
—	—	—	—	—	—	Ед. зн.	—	—	Зн.
—	—	Ед. зн.	—	—	—	—	—	—	—
Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	—	Н. зн.	Зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.
—	—	—	—	—	2,82	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ед. зн.	Н. зн.	Ед. зн.	—	Ед. зн.	—	Зн.	—	—	—
—	—	—	—	—	Н. зн.	—	—	—	—
—	—	—	—	—	Ед. зн.	—	—	—	—
Ед. зн.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	Ед. зн.	Ед. зн.
—	Ед. зн.	—	—	—	—	—	—	—	—

ный минерал III (магнетит) корродирует апатит (см. рис. 1). Титанит II (бесцветные веретеновидные выделения) бесформенными скоплениями окружает рудный минерал, содержит включения циркона и апатита и выделяется вдоль спайности в биотите (см. рис. 1). В этих же агрегатах акцессориев в ряде случаев наблюдаются выделения монацита, приуроченные к трещинам в сфене II.

И, наконец, наиболее поздним образованием, в котором участвуют акцессорные минералы, является агрегат, замещающий щелочные цветные минералы. Основу этого агрегата составляет мелкозернистый кварц, между его зернами расположены выделения рудного минерала IV, лейкогена и флюорита. Последний отмечен и вне этого агрегата в ассоциации с арфведсонитом.

Таблица 2. Содержание некоторых аксессуарных минералов в породах различных фаций Тайдутского массива (в г/т)

Фация	Число проб	Магнетит	Гематит + мартит	Ильменит	Сфен	Циркон (в том числе радиоактивный)	Апатит	Флюорит	Анатиз	Общее содержание аксессуарных
Главная интрузивная	13	1180	276	350	810	147 (89)	33	1,8	5,8	2830
Эндоконтакта	5	2342	906	0,4	355	100 (1)	0,4	11	13	3334

Таким образом, исследования в шлифах позволяют установить длительность и многоэтапность формирования аксессуарных минералов.

Распределение 29 исследованных аксессуарных минералов и их разновидностей в породах приведено в табл. 1. Главная масса этих минералов представлена магнетитом (с гематитом), ильменитом, сфеном, отчасти монацитом, цирконом и апатитом, которые распределены в породах неравномерно. При среднем содержании аксессуарных в породах массива 2960 г/т породы главной интрузивной фации (рис. 2, 3, табл. 2) обеднены ими (2830 г/т аксессуарных) по сравнению с породами фации эндоконтакта (3334 г/т).

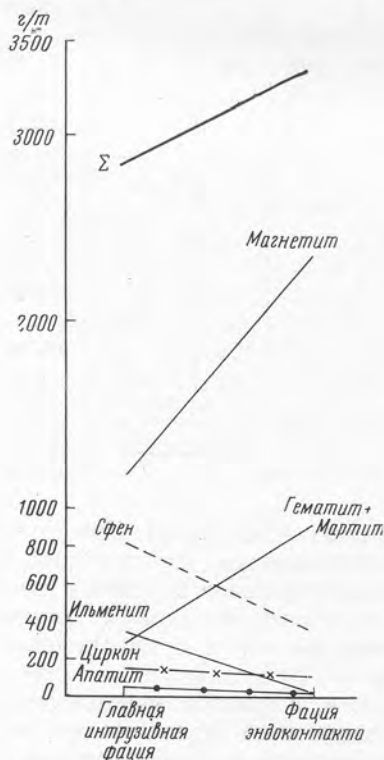


Рис. 2. Содержание некоторых аксессуарных минералов в породах главной интрузивной фации и фации эндоконтакта Тайдутского массива

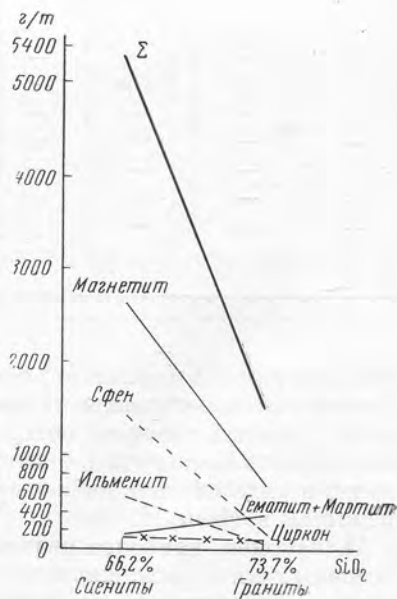


Рис. 3. Содержание некоторых аксессуарных минералов в гранитах и сyenитах Тайдутского массива

Таблица 3. Содержание некоторых акцессорных минералов в гранитах и сиенитах Тайдунского массива (в г/т)

Порода	Число проб	Магнетит	Гематит + мартит	Ильменит	Сфен	Циркон (в том числе радиоактивный)	Флюорит	Общее содержание акцессориев
Сиенит	7	2630	179	570	1444	167 (60)	3	5310
Гранит	11	685	384	57	198	113 (68)	5	1478
В целом для массива	18	1442	304	256	683	134 (65)	4	2960

При этом в породах эндоконтакта по сравнению с породами главной интрузивной фации увеличивается содержание магнетита, гематита и мартита, флюорита и анатаза. В то же время очень резко уменьшается содержание ильменита, апатита, радиоактивного циркона и менее резко сфена и циркона. Таким образом, можно отметить: 1) антагонизм в поведении минералов железа (накопление в эндоконтакте) и титана (накопление в главной интрузивной фации); 2) большее содержание минералов с редкими и летучими компонентами (циркон, радиоактивный циркон, апатит, отчасти монацит) в породах главной интрузивной фации.

Еще более резкая неравномерность наблюдается в распределении акцессориев в гранитоидах различной основности (рис. 4, 5, табл. 3). Однако при общей бедности гранитов этими минералами по сравнению с сиенитами (1478 и 5310 г/т соответственно) наблюдается обогащение гранитов гематитом и мартитом, радиоактивным цирконом и флюоритом, что позволяет говорить о более высоком содержании в гранитоидах летучих компонентов. Кроме того, условия окисления магнетита и перехода его в мартит и гематит в гранитах были более благоприятны, чем в сиенитах. Как показано на рис. 4, окисление магнетита обнаруживает прямую связь с содержанием кварца в породе.

При рассмотрении содержания акцессорных минералов в породах различных ступеней автометасоматоза прежде всего обнаруживаются резкие колебания суммарного содержания этих минералов. Как видно из табл. 4 и рис. 6, эти колебания носят направленный характер: содержание акцессорных минералов уменьшается в ходе автометасоматоза (от ступени Б к ступени Г), резко возрастая на заключительном этапе преобразования (ступень Д). Такой характер изменений определяется поведением распространенных акцессориев (магнетит, ильменит, сфен). Остальные минералы ведут себя иначе. Гематит и мартит играют очень незначительную роль

Таблица 4. Изменение содержания некоторых акцессорных минералов в процессе автометасоматоза (в г/т)

Ступень автометасоматоза	Число проб	Магнетит	Гематит + мартит	Ильменит	Сфен	Циркон (в том числе радиоактивный)	Общее содержание акцессориев
Б	3	4171	22	621	1071	109 (1,7)	6581
В	4	1817	165	228	518	207 (104)	3050
Г	8	1,7	—	78	52	120 (94)	294
Д	3	2410	1538	402	1863	98 (—)	5750

на первых этапах преобразования породы (Б, В, Г, ?), но зато широко развиты при замещении цветных минералов кварцево-рудным агрегатом. Циркон образуется на всех ступенях автометасоматоза, но наибольшее его содержание соответствует ступени В. Затем с усилением кремниевго автометасоматоза циркон начинает разрушаться и выноситься. Особенно отчетливо этот процесс наблюдается для радиоактивного циркона, содержание которого (см. табл. 4) резко вырастает в ступени В, а затем также резко падает (см. рис. 5).

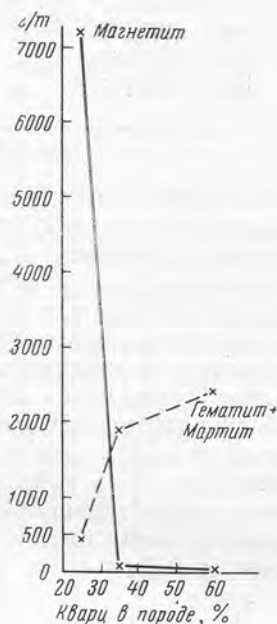


Рис. 4. Зависимость содержания гематита и магнетита от содержания кварца в породах ступени Г



Рис. 5. Зависимость содержания обычного и радиоактивного циркона от содержания кварца в породах ступеней В и Г

Кроме циркона, со ступенью В, вероятно, связано образование ортита и апатита (главной их массы). Для остальных аксессуарных минералов максимальные содержания приурочены к породам ступени Г (монацит, ксенотим, торит, турмалин, флюорит, анатаз, арсеноширит, сфалерит) или В и Г (молибденит, пирит, галенит). Нахождение одного минерала в породах нескольких ступеней автометасоматоза может быть истолковано либо как признак длительности образования этого минерала, либо как признак неравномерного наложения более поздних процессов. В большинстве случаев, по-видимому, имеет место последний вариант.

Таким образом, к ступени Г приурочено наиболее интенсивное образование аксессуариев, концентрирующих редкие, рассеянные и летучие компоненты. Позднее (ступень Д) образуется очень немного минералов, тесно ассоциирующихся с разложенными цветными минералами.

Следовательно, при процессах интенсивного натриевого щелочного и кремниевго метасоматоза (ступень Г) происходит разрушение ранее выделившихся аксессуарных минералов (магнетит, ильменит, сфен, циркон) и образование аксессуариев, богатых редкими, рассеянными и летучими компонентами (радиоактивный циркон, монацит, ксенотим, торит, турмалин, флюорит и др.). Это хорошо соответствует выводам, полученным при изучении других регионов (Г. Н. Гогель, В. В. Ляхович, В. И. Нонешникова, А. Д. Червинская, К. И. Розанов). Нарастание процесса кремние-

Рис. 6. Содержание некоторых акцессорных минералов в породах Тайдутского массива на различных ступенях автометасоматоза

вого метасоматоза (ступень Д) приводит к разрушению и выносу почти всех акцессориев (за редким исключением).

Таким образом, в щелочных гранитоидах Тайдутского массива можно выделить несколько одновременных групп акцессориев.

1. Магнетит (ранние генерации), ильменит, сфен, отчасти, возможно, циркон образовались в магматическую стадию (А) и на ранней ступени автометасоматоза (Б).

2. Ортит, апатит и циркон (главная масса) кристаллизовались позднее в ходе щелочного автометасоматоза (ступень В).

3. Большая часть минералов сформировалась при интенсивном проявлении щелочного и кремниевое автометасоматоза (ступень Г).

4. Главная масса гематита и мартита, часть магнетита, сфена, флюорита, сульфидов связана с кремниевым автометасоматозом ступени Д.

Сопоставляя типоморфные особенности акцессорных минералов Тайдутского массива с литературными данными, можно предположительно установить следующие температуры их образования: кристаллизация главной массы магнетита (ступени А, Б) — не выше 400° (Баддингтон, Фэй, Вейсадис, Мармо), переход магнетита в гематит (ступень В) — около $370-360^{\circ}$ (Шмидт, Вермас), образование флюорита (ступень Д) — ниже 250°C (А. А. Якжин), образование радиально-лучистых агрегатов цирколита (ступень Д) — около 150° (Фрондел, Колетти).

ВЫВОДЫ

1. Комплекс акцессорных минералов щелочных гранитоидов Тайдутского массива представляет собой сочетание нескольких одновременных парагенезисов (В. К. Монич, Г. Н. Гогель).

2. Образование акцессорных минералов происходило на всех ступенях автометасоматоза.

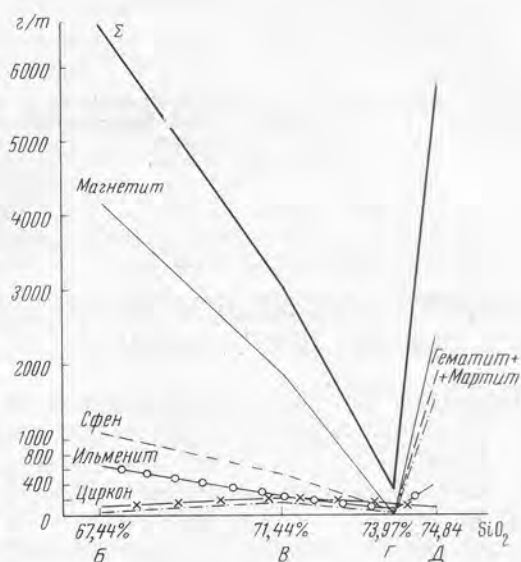
3. Общее содержание акцессорных минералов уменьшается в ходе щелочного автометасоматоза из-за разрушения таких минералов, как магнетит, ильменит, сфен, отчасти циркон.

4. Главная масса акцессорных минералов, содержащих редкие и рассеянные компоненты, формировалась в условиях интенсивного щелочного и кремниевое автометасоматоза.

5. В заключительные моменты формирования щелочных гранитоидов при выносе большинства акцессориев в условиях кремниевое метасоматоза резко возрастало содержание гематита, магнетита, сфена.

6. В связи с различным проявлением процессов автометасоматоза содержание акцессориев в породах главной интрузивной фации (2830 г/т) и фации эндоконтакта (3334 г/т), а также в гранитах (1478 г/т) и сенитах (5310 г/т) неодинаково.

7. При проведении поисков на редкие и рассеянные элементы в щелочных гранитоидах типа тайдутских необходима предварительная петрографическая характеристика пород с выделением участков развития щелочных гранитов ступени Г.



АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОД

С. Ф. СОВОЛЕВ

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОД УРАЛА

Проведено минералого-геохимическое изучение акцессорных минералов палеозойских пород трех важнейших магматических формаций Урала:

- 1) гарцбургитовой (массивы Рай-Из, Войкаро-Сынинский);
- 2) дунит-пироксенит-габбро-диоритовой (массивы Масло, Собский, Качканарский, Тагило-Баранчинский, Ревдинский);
- 3) габбро-диабазовой (Копанский массив).

Все перечисленные серии представлены широким комагматическим рядом пород, причем дунит-пироксенит-габбро-диоритовая формация отличается наибольшей дифференцированностью и многообразием входящих в ее состав членов (табл. 1).

Акцессорные минералы изучались в искусственных шлихах, выделенных из проб весом 10 кг.

Всего в исследованных породах было выявлено более 40 минералов. Наиболее распространенными являются магнетит (титаномагнетит), апатит, циркон и пирит. Из данных табл. 2 следует, что минимальное количество акцессорных минералов содержится в наименее дифференцированных

Таблица 1. Породы формаций, подвергавшихся изучению

Группа пород	Гарцбургитовая	Дунит-пироксенит-габбро-диоритовая	Габбро-диабазовая
Магматические	Гарцбургиты Саксониты Верлиты Лерцолиты	Дуниты Пироксениты Габбро Диориты Тоналиты	Габбро-диабазы Гранофиры
Измененные	Амфиболитизированные гарцбургиты Сагвандиты	Амфиболитизированные габбро Окварцованные габбро Рудные пироксениты Рудные габбро	Рудные габбро
Автометасоматические позднемагматические и жильные	Пироксениты Жильные эвкриты Пегматиты Анортозиты	Горнblendиты Пироксенит-пегматиты Габбро-пегматиты Плаггиоклазиты Карбонат-аксинитовые жилы Кварц-полевошпатовые жилы	Габбро-пегматиты Плаггиоклазиты Кальцитовые жилы

породах гарцбургитовой формации. Породы габбро-диабазовой формации в этом отношении занимают промежуточное положение. Максимальное число акцессорных минералов отмечено в породах наиболее дифференцированной дунит-габбро-диоритовой формации. Нетрудно заметить, что разнообразие акцессориев находится в прямой зависимости от степени дифференцированности пород. Этот вывод подтверждается также количественными содержаниями акцессорных минералов в породах (табл. 3).

Частота встречаемости минералов и их содержания позволяют выделить типичные ассоциации (см. табл. 2). Для различных типов и групп пород формаций представляется возможным выделить следующие парагенетические ассоциации акцессорных минералов: 1) гарцбургитовая формация — хромит-магнетит-пирротин-пиритовая; 2) дунит-габбро-диоритовая формация: а) основные члены — магнетит (титаномагнетит)-апатит-циркон-пиритовая, б) измененные породы — магнетит-ильменит-сфен-апатит-циркон-пирит-халькопиритовая, в) кислые члены — магнетит-апатит-циркон-пирит-халькопиритовая; 3) габбро-диабазовая формация — титаномагнетит-сфен-апатит-циркон-пирротин-пирит-халькопиритовая.

Кроме главных акцессорных минералов, в породах каждой формации присутствуют специфические ассоциации менее распространенных минералов (см. табл. 2).

По времени и условиям формирования выделяются шесть групп акцессорных минералов: 1) магматические (хромит, платина, магнетит, титаномагнетит, шпинель, плеонаст, иногда апатит, пирротин, пирит и др.); 2) позднематематические (большинство минералов); 3) автоматоматические, пневматолитовые (поздний магнетит, маггемит, сфен, флюорит, турмалин и др.); 4) вторичные и гипергенные, развивающиеся по ранее образовавшимся минералам (гематит, лимонит, лейкоксен, сфен II, малахит и др.); 5) наложенные, обычно связанные с биотитизацией, окварцеванием, калишпатизацией (циртолит, монацит, молибденит, золото, борнит и ряд других); 6) ксеногенные (реликтовые, контаминационные) — хромит (в кислых членах), корунд и шпинель.

Данные ассоциации не остаются постоянными и изменяются в зависимости от типа пород и типа формаций.

В целом для всех пород ультраосновных и основных формаций характерно ограниченное число акцессорных минералов и значительно меньшее их содержание по сравнению с другими хорошо изученными породами, например гранитоидами или щелочными породами.

Анализ ассоциаций акцессорных минералов показал, что видовой состав и их количество в соответствующих ассоциациях из пород формаций обладают, с одной стороны, рядом сходных черт, с другой — имеют существенные различия.

Ассоциации акцессорных минералов ультраосновных членов гарцбургитовой и дунит-габбро-диоритовой формаций весьма близки между собой и характеризуются крайне бедным составом и низкими содержаниями акцессориев (хромит, магнетит, в ничтожных количествах циркон, гранат, сульфиды). Такое положение сохраняется также для поздних дериватов гарцбургитовой формации, что резко отличает их от пород других комплексов. Жильные дериваты гарцбургитовой формации обеднены акцессорными минералами. Здесь присутствуют магнетит, хромит, изредка пирротин и пирит. В сотых и тысячных долях граммов на 1 г отмечены рутил, гранат, иногда циркон. Габбро-пегматиты, эвкритовые габбро, анортзитовые жилы содержат несколько более разнообразные ассоциации, но и в этом случае число минералов не поднимается выше шести-семи при весьма низких содержаниях.

В породах основного, среднего и кислого состава дунит-пироксенит-габбровой и габбро-диабазовой формаций ассоциации акцессорных минералов для близких по химизму разновидностей почти идентичны.

Таблица 2. Частота встречаемости аксессуарных минералов в породах формаций (веро

Геохимическая специализация	Минерал	Гарцбургитовая формация (20 проб)	Дунит-габбро-диоритовая формация			Габбро-диабазовая формация (10 проб)
			ультраосновные и основные члены (40 проб)	измененные породы (20 проб)	кислые члены (20 проб)	
Cu	Медь	0,07	—	—	—	—
Au	Золото	—	—	0,05	—	—
Pt, Yr, Os	Платиноиды	—	Есть	0,11	—	—
Cr	Хромит	1,00	0,36	1,00	0,2	0,2
Fe	Магнетит	1,00	1,00	—	1,00	—
	Маггемит	Есть	Есть	1,00	—	—
Fe, Ti	Титаномагнетит	—	1,00	0,72	—	1,00
	Ильменит	0,07	0,36	0,95	0,57	0,8
	Ульвошпинель	—	Есть	0,11	—	Есть
Ti, Ca, TR	Сфен	0,07	0,50	0,33	0,36	0,8
	Перовскит	—	—	0,95	0,36	0,2
Ti	Рутил	0,14	—	—	0,36	0,2
	Анагас	0,07	—	—	—	—
P, TR	Апатит	0,07	0,71	0,05	0,79	0,8
	Монацит	—	—	—	Есть	Есть
	Ксенотим	—	—	—	—	—
Si, TR	Ортит	—	—	—	0,07	Есть
	Эпидот	—	—	Есть	Есть	Есть
Si, Zn	Циркон	0,43	0,42	0,95	0,86	1,0
	Циртолит	—	—	0,11	0,10	—
Si, TR, Zr	Альмандин-спессартин	0,50	0,14	0,11	0,43	0,2
	Гроссуля	—	—	—	—	0,1
Si, Ti, TR	Меланит	—	—	0,28	—	—

Примечания: 1. Сумма проб принята за единицу. 2. Величина $p=0,6-1,0$ характеризует величинами p относятся к редко встречающимся.

Несмотря на существенные различия в структурно-фациальном и формационном отношениях, а также в глубинах формирования и химизме, для пород габбровой и габбро-диабазовой формаций характерны определенные общие черты в распределении минералов.

1. Наиболее ранние, ультраосновные и основные члены этих серий пород характеризуются ограниченным числом минералов (платина, хромит, магнетит, иногда сфен и апатит). Содержания этих минералов, за исключением хромита и магнетита, весьма низкие, что сближает эти породы с породами гарцбургитовой формации.

2. В основных по составу породах (габбро, габбро-диориты, амфиболитовые и кварцевые габбро) состав ассоциаций расширяется до 10—15 минералов (магнетит, ильменит, сфен, рутил, перовскит, циркон, апатит, сульфиды железа и меди). Магнетит, апатит, циркон и пирит отмечены во всех разновидностях пород и являются постоянно присутствующими минералами. Наибольшее число аксессуарных минералов содержится в кварцевых и амфиболовых габбро (см. табл. 3).

3. В диоритах, тоналитах, гранодиоритах заметно возрастают число и содержание минералов, характерных для гранитоидов. Появляются ортит,

ятности p в долях единицы)

Геохимическая специализация	Минерал	Гардбургитовая формация (20 проб)	Дунит-габбро-диоритовая формация			Габбро-диабазовая формация (10 проб)
			ультраосновные и основные члены (40 проб)	измененные породы (20 проб)	кислые члены (20 проб)	
F, TR, B	Флюорит	—	—	—	0,28	—
	Турмалин	0,07	—	0,17	0,14	—
Al	Корунд	0,14	0,14	0,17	0,21	—
	Шпинель (голубая)	—	—	—	0,14	0,2
Cr, Al	Плеонаст	0,07	0,10	0,05	—	0,1
Сульфиды	Пирротин	0,43	0,07	0,05	0,07	0,6
Fe, Co, Ni	Триолит	—	0,07	—	—	Есть
	Пирит	0,57	0,71	0,89	1,00	1,00
Cu	Халькопирит	0,36	0,36	0,83	0,71	0,8
	Борнит	—	—	0,50	0,14	0,4
Pb	Галенит	0,29	0,14	0,05	0,07	—
Zn	Сфалерит	—	—	—	—	0,2
Sb	Антимонит	—	—	0,05	—	—
Mo	Молибденит	—	—	0,05	0,07	—
Вторичные	Гематит	0,14	0,07	0,33	—	—
	Лимонит	—	0,50	0,45	0,71	0,4
Fe, Ti	Сфен II	—	—	0,05	0,10	—
	Лейкоксен	—	0,07	0,33	0,36	—
Cu	Халькозин	—	—	0,11	0,28	—
	Малахит	—	0,07	0,05	0,07	—
	Азурит	—	—	0,05	0,07	0,1
	Теннит	—	—	—	0,07	—
Pb	Церуссит	—	—	0,05	—	—

плавные, а $p = 0,2-0,6$ второстепенные акцессорные минералы. Минералы с меньшими

монацит, молибденит. Одновременно меняется состав элементов-примесей в постоянно присутствующих минералах.

4. Крайними членами пород габбро-диорит-тоналитовой серии часто являются субщелочные разновидности гранитоидов, вплоть до различных монзонитов и сиенитов. Эти породы широко известны как на Урале (например, Собский, Тагило-Баранчинский массивы), так и в других районах СССР (Томотский массив Северо-Востока СССР, меловые интрузии ДВК, в Кузнецком Алатау, в США комплекс пород батолита Южной Калифорнии).

В случае воздействия субщелочных поздних членов на основные и средние по составу породы в них появляется ряд редкометалльных акцессориев (например, в диоритах и тоналитах Собского массива отмечены молибденит, циртолит и монацит).

Наиболее обогащены акцессориями эпигенетические слабо дифференцированные габбро-пегматиты. Дифференцированные пегматиты относительно беднее минеральными видами, причем это относится как к меланократовым породам внешних зон, так и к лейкократовым полевошпатовым породам ядра. Наличие в пегматитах Полярного Урала таких минералов,

Таблица 3. Среднее содержание аксессуарных минералов в породах гипербазитовых и базитовых формаций Урала (в г/т)

Минерал	Гарцбургитовая формация				Дунит-пироксенит-габбро-диоритовая формация	
	периодиты	сагвандиты	пироксениты	жильные	Магматические	
					дуниты	пироксениты (не рудные)
Медь	0,01	—	—	—	—	—
Золото	—	—	—	—	—	—
Платиноиды	?	—	—	—	5—10 (?)	5—8
Хромит	250,0	200,0	4,1	0,2	151612,2	1,3
Магнетит	4650,0	0,23	1050,0	<9,0	2396,2	3597,0 *
Маггемит	Есть	—	—	—	Есть	Есть
Титаномагнетит	—	—	—	—	—	—
Ильменит	—	—	—	8,0	—	—
Ульвошинель	—	—	—	—	Есть	Есть
Сфен	—	—	—	0,9	—	9,3
Перовскит	—	—	—	—	—	—
Рутил	<0,05	—	—	—	—	—
Анатаз	—	—	—	0,05	—	—
Апатит	—	—	0,02	—	—	12,1
Монацит	—	—	—	—	—	—
Ксенотим	—	—	—	—	—	—
Ортит	—	—	—	—	—	—
Эпидот	—	—	—	56,4	—	—
Циркон	<0,01	—	0,3	0,04	<0,01	<0,01
Циртолит	—	—	—	—	—	—
Гранаты	—	—	—	—	—	—
Альмандин	0,04	<0,01	—	0,20	—	—
Спессартин	—	—	—	—	—	—
Гроссуляр	—	—	—	—	—	—
Меланит	—	—	—	—	—	—
Флюорит	—	—	—	—	—	—
Турмалин	—	—	—	43,3	—	—
Корунд	<0,01	—	—	—	—	—
Шпинель	<0,01	—	—	—	—	—
Плеонаст	?	—	—	—	—	100,0
Пирротин	0,19	—	<0,01	—	—	—
Триолит	—	—	—	—	—	—
Пирит	—	0,01	0,06	—	—	—
Халькопирит	0,16	—	0,03	—	—	—
Борнит	—	—	—	—	—	—
Галенит	<0,01	—	—	0,6	—	—
Сфалерит	—	—	—	—	—	—
Антимонит	—	—	—	—	—	—
Молибденит	—	—	—	—	—	—
Гематит	930,0	—	—	—	—	—
Лимонит	—	—	—	—	—	—
Лейкоксен	—	—	—	—	—	—
Халькозин	—	—	—	—	—	—
Малахит	—	—	—	—	—	—
Азурит	—	—	—	—	—	—
Церуссит	—	—	—	—	—	—

* В рудных пироксенитах до 20%.

Таблица 3 (продолжение)

Минерал	Дунит-пироксенит-габбро-диоритовая формация					
	Магматические			Измененные		
	габбро- нориты	габбро	диориты, тоналиты	пегматитовые пироксениты, гарнблендиты	амфиболо- вые габбро	окварцо- ванные габбро
Медь	—	—	—	—	—	—
Золото	—	—	—	—	—	—
Платиноиды	—	—	—	—	—	—
Хромит	9,1	—	—	30,4	—	—
Магнетит	6847,4	11 850,0	9455,0	98 076,0	8555,5	7745,0
Маггемит	—	—	—	—	—	—
Титаномагнетит	—	—	—	—	—	—
Ильменит	16,2	7656,5	0,4	525,0	7,9	<6,6
Ульвошпинель	?	—	—	—	—	—
Сфен	<0,1	0,06	0,96	12,4	0,93	0,08
Перовскит	—	—	0,2	—	0,73	<0,7
Рутил	—	—	—	30,1	0,1	<0,1
Анаказ	—	—	—	—	—	—
Апатит	22,2	122,5	1920,0	2,4	387,8	693,0
Монацит	—	—	—	—	—	<0,01
Ксенотим	—	—	—	—	—	—
Ортит	—	—	—	—	<0,01	0,01
Эпидот	—	100,0	230,0	0,6	4600,0	510,0
Циркон	0,02	0,1	27,4	0,05	50,4	15,3
Циртолит	—	—	—	—	341,5	1,4
Гранаты:						
Альмандин	—	—	—	—	0,6	0,07
Спессартин	—	—	—	—	—	—
Гроссуляр	—	—	—	—	—	—
Меланит	—	—	—	—	<0,01	—
Флюорит	—	—	—	—	304,1	<6,8
Турмалин	—	—	—	—	—	<0,01
Корунд	—	0,1	0,8	—	0,3	—
Шпинель	—	—	—	—	3,5	1,7
Цлеонаст	2,3	1,2	—	1,7	—	—
Пирротин	1,6	—	—	—	—	20,1
Триолит	0,6	—	—	—	—	—
Цирит	12,5	259,6	3,9	2,9	4,9	3,9
Халькопирит	40,8	77,4	1,3	1,3	1,5	2,6
Борнит	—	—	—	4,5	—	—
Галенит	0,1	<0,1	<0,3	—	0,04	—
Сфалерит	—	—	—	—	—	—
Антимонит	—	—	—	—	—	—
Молибденит	—	—	<0,01	—	<0,04	0,1
Гематит	—	—	<5,0	—	<0,9	—
Лимонит	0,4	—	6,1	—	0,8	0,1
Лейкоксен	—	—	—	—	1,73	—
Хальковин	—	—	—	—	—	—
Малахит	<0,1	—	—	—	—	—
Азурит	<0,01	—	<0,1	—	0,7	—
Церуссия	—	—	<0,01	—	—	—

Таблица 3 (продолжение)

Минерал	Дунит-пироксенит-габбро-диоритовая фирмация				Жильные граниты (для сравнения)	
	жильные				аплиты	кварц-по- левоща- птовые жилы
	габбро- пегматиты	меланократо- вые плагио- клазиты	лейкократо- вые плагио- клазиты	карбонат- акцилино- вые жилы		
Медь	—	—	—	—	—	—
Золото	0,1	—	—	—	—	—
Платиноиды	—	—	—	—	—	—
Хромит	163,0	0,3	—	—	—	—
Магнетит	81 400,0	1461,8	50,0	1,5	235,5	138,0
Маггемит	—	—	—	—	—	—
Титаномагнетит	—	—	—	—	—	—
Ильменит	812,9	18,6	0,01	—	0,0—13,0	0,0— 1166,0
Ульвошпинель	Есть	—	—	—	—	—
Сфен	197,5	200,6	—	1,3	0,26	0,8
Перовскит	0,5	—	<0,01	—	—	0,2
Рутил	1,5	5,6	—	—	0,5	0,01
Анатаз	12,1	—	—	—	—	—
Апатит	2679,7	182,2	—	—	6,3	0,7
Монацит	—	—	—	—	0,6	1,01
Ксенотим	—	—	—	—	—	0,02
Ортит	0,1	10,1	—	—	1,5	0,0—121,6
Эпидот	839,8	21 450,0	6301,0	—	570,0	440,0
Циркон	86,4	4,0	<0,01	—	1,7	2,2
Циртолит	—	—	—	—	—	—
Гранаты:						
Альмадин	—	0,01	—	—	4,4	3,1
Спессартин	—	—	—	—	—	—
Гроссуляр	—	3,15	—	—	—	—
Меланит	—	—	—	—	—	—
Флюорит	—	0,1	—	—	1,1	6,3
Турмалин	0,4	—	<0,01	—	—	0,87
Корунд	0,1	—	—	—	<0,01	<0,05
Шпинель	—	—	—	—	15,5	—
Плеонаст	0,1—40,1	—	—	—	—	—
Пирротин	4841,0	0,6	—	—	—	—
Триолит	—	—	—	—	—	—
Пирит	154,4	59,1	101,3	1,5	0,19	1,3
Халькопирит	104,3	—	5,3	—	6,1	0,17
Борнит	131,7	18,9	—	—	—	—
Галенит	—	10,3	—	—	—	—
Сфалерит	1,5	—	—	—	—	—
Антимонит	—	—	—	—	—	—
Молибденит	0,1	—	—	—	—	—
Гематит	26,1	20,1	—	0,1	1,2	—
Лимонит	0,1	—	301,4	0,1	2,6	19,9
Лейкоксен	2,1	—	—	—	0,5	—
Халькозин	—	—	—	—	—	—
Малахит	—	—	—	—	—	—
Азурит	—	6,2	—	—	—	—
Церуссит	—	—	—	—	—	—

Таблица 3 (окончание)

Минерал	Габбро-диабазовая формация			
	габбро	габбро-пегматиты	гранофиры	кальцитовые жилы
Медь	—	—	—	—
Золото	—	—	—	—
Платиноиды	—	—	—	—
Хромит	10,1	152,1	—	—
Магнетит	—	—	6,9	329,5
Маггемит	—	—	—	—
Титаномagnetит	99 316,8	90 122,3	—	—
Ильменит	3544,3	1440,6	0,5	—
Ульвошинель	Есть	—	—	—
Сфен	2,2	431,2	0,2	—
Перовскит	—	—	—	25,4
Рутил	—	1,61	—	—
Анатаз	—	—	—	—
Апатит	806,4	2670,1	80,5	—
Монацит	—	Есть	—	—
Ксенотим	—	—	—	—
Ортит	—	1,5	—	—
Эпидот	93,3	340,3	1640,0	—
Циркон	2,23	102,2	271,0	0,63
Цирколит	—	—	—	—
Гранаты:				
Альмандин	<0,01	—	—	—
Спессартин	—	—	—	—
Гроссуляр	—	—	—	75,7
Меланит	0,01	—	—	—
Флюорит	—	—	—	—
Турмалин	—	—	—	—
Корунд	—	—	—	—
Шпинель	—	0,02	—	—
Плеонаст	—	—	—	—
Пирротин	—	4340,2	—	34,27
Триолит	—	—	—	—
Пирит	1564,3	31,4	21,5	71,14
Халькопирит	34,3	115,6	0,7	—
Борнит	—	—	—	—
Галенит	—	—	—	—
Сфалерит	—	1,5	—	—
Антимонит	—	—	—	0,1
Молибденит	—	—	—	—
Гематит	—	—	—	—
Лимонит	—	—	3,3	4,9
Лейкоксен	—	—	—	—
Халькозин	—	—	—	—
Малахит	—	—	—	—
Азурит	0,35	—	—	—
Церуссит	—	—	—	—

как золото и молибденит, по-видимому, свидетельствует о некотором воздействии и проникновении поздних растворов в зоны формирования пегматитов.

В пегматитах габбро-диабазовой формации (Копанский массив) содержатся акцессорные монацит и ортит.

Лейкократовые полевошпатовые жильные породы содержат незначительное число акцессорных минералов при низких содержаниях (магнетит в резко пониженном количестве, ильменит, апатит, циркон, турмалин, сульфиды железа и меди). Аналогичное соотношение наблюдается в анортозитах гарцбургитовой формации.

В дунит-пироксенит-габбро-диоритовой формации число видов и содержание минералов резко сокращаются в лейкократовых плагиоклазитах и особенно в карбонат-аксинитовых жилах (см. табл. 3). Примерно такая же бедная ассоциация минералов была констатирована в гранофирах и кальцитовых жилах Копанской интрузии, но здесь кальцитовые породы содержат более разнообразную ассоциацию, чем карбонат-аксинитовые жилы Ревдинского массива (Первоуральск).

Сравнение ассоциаций акцессорных минералов жильных плагиоклазитов и плагиоаплитов платиноносной формации с ассоциациями, установленными в аплитах и кварц-полевошпатовых жилах, принадлежащих гранитоидным породам, показывает, что жильные породы гранитоидов резко отличаются от первых богатством видов минералов (см. табл. 3). Это дает нам возможность произвести расчленение лейкократовых жильных серий (подтверждено на примере Собского массива, Полярный Урал).

Для пород ряда пироксенит — габбро-диорит удалось установить постоянное увеличение числа минералов и их содержания в породах, затронутых процессами автометасоматоза, амфиболизации и окварцевания. При этом содержание минералов часто возрастает в 2—3 раза. Примером могут служить измененные габбро Евстюнинского, Волковского месторождений, окварцованные габбро-диориты и диориты Собского массива горнблендиты Ревдинского и ряда других массивов Среднего Урала (см. табл. 3).

Геохимическое изучение содержаний ряда элементов-примесей (например, титана, циркония, редких земель) показывает, что среднее содержание их в неизмененных и измененных породах остается в пределах одного и того же порядка. Однако содержание того или иного акцессорного минерала в измененных породах во много раз выше, чем в неизмененных разностях.

Интенсивное проявление поздних и постмагматических, автометасоматических и метасоматических процессов приводит к перераспределению редких элементов, рассеянных в решетках породообразующих силикатных минералов (рис. 1). При этом образуются либо самостоятельные минеральные виды, рассматриваемые нами (по Д. С. Коржинскому) как обособленные компоненты-минералы (например, ильменит, сфен, перовскит, циркон и др.), либо по тем или иным причинам редкие элементы входят в качестве изоморфных примесей в состав акцессориев (например, редкие земли в апатитах, сфенах, гранатах). Однако концентрация редких элементов в акцессорных минералах всегда значительно выше, чем в неизмененных породообразующих минералах.

Состав элементов-примесей, содержащихся в распространенных акцессорных минералах (магнетит, сфен, апатит, пирит и др.), закономерно изменяется в процессе дифференциации основной магмы. Так, в акцессорных минералах из ультраосновных и основных по составу пород формаций отмечаются повышенные содержания таких элементов, как хром, никель, кобальт, титан, стронций. Незначительны содержания редких земель (в апатитах, сфенах), отсутствуют тантал, ниобий, редкие щелочи. Для магнетитов характерно соотношение $Cr > Ni > Co$. В более кислых породах и поздних минералах соотношения элементов меняются. Возрастает

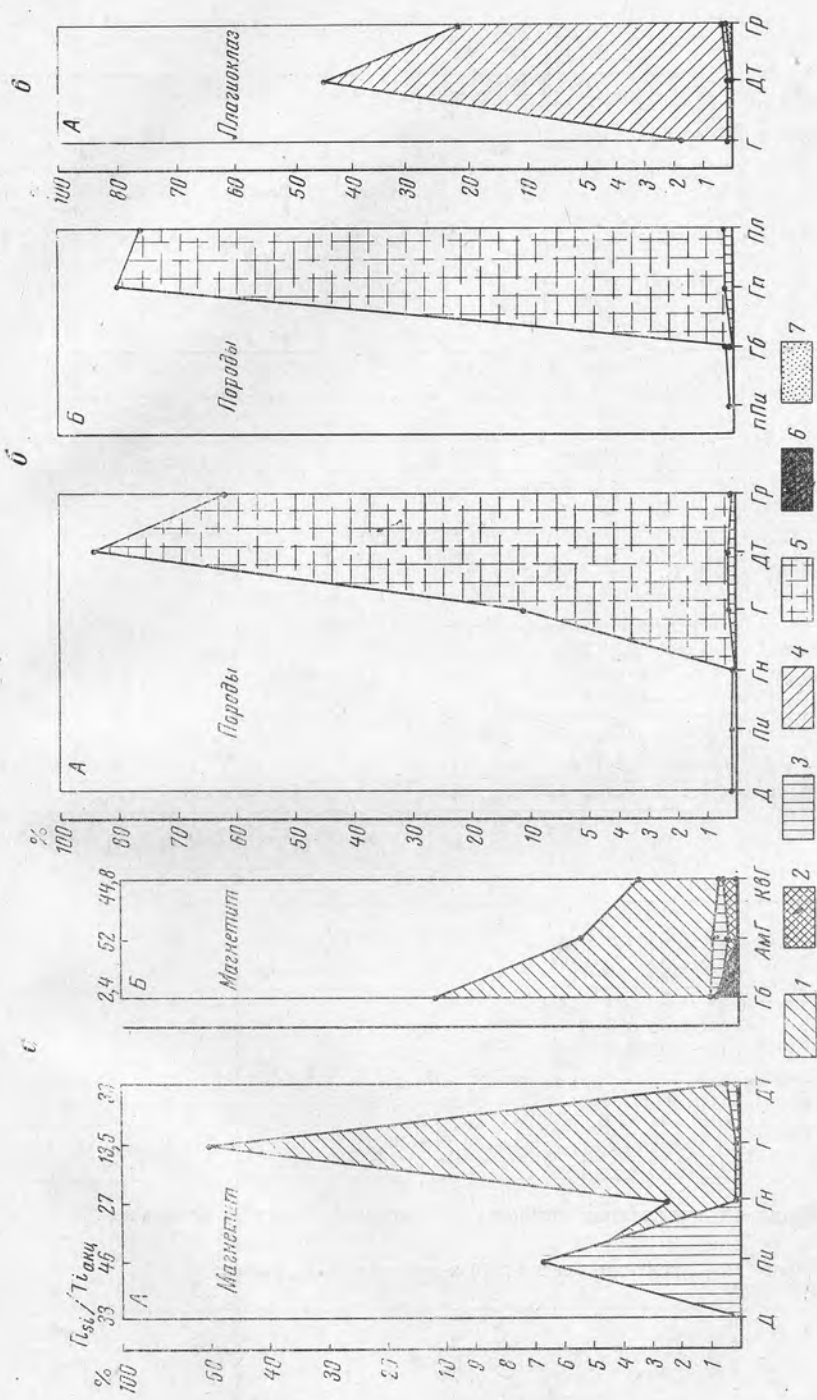


Рис. 1. Распределение титана (а), циркония (б) и редких земель (в) в породообразующих и акцессорных минералах магматических (А), метасоматических и жильных (Б) породах платиноносной формации

Породы: Д — дуниты; верилит; Пн — пироксениты; Гн — габбро-нориты; Г — габбро; ДТ — диорит-тоналиты; Гр — гранодиориты; ППн — пегматонидные пироксениты; Гб — горнблендиты; АМГ — амфибонизированные габбро; КеГ — окварцованные габбро; Гп — габбро-пегматиты; Пп — плагиоклазиты.

Акцессорные минералы: 1 — ильменит; 2 — перовскит; 3 — сфен; 4 — апатит; 5 — циркон; 6 — рутил; 7 — гранат.

Тi₂О₃ — отношение титана, входящего в силикаты, к титану, связанному в акцессорные минералы

Порода	I	II		III
Перидотиты, дуниты				
Пироксениты				
Эвкритовые габбро, габбро-нориты, габбро		 Нориты	 Габбро	 Пирит
Измененные габбро, габбро-диориты			 Цитомит	
Диориты				
Плагiogраниты, гранофиры				
Гарнблендиты				
Габбро- пегматиты				
Анортозиты, плагноклазиты				
Гидротермальные кварцевые и кар- бонатные жилы				
Гранодиориты				
Аплиты				
Кварц-полевошпа- товые жилы				

Рис. 2. Изменение морфологии кристаллов циркона в ультраосновных и основных породах Урала

I — гарцбургитовая формация; II — дунит-пироксенит-габбро-диоритовая формация;
III — габбро-диабазовая формация

Порода	I	II				III
		1 тип	2 тип	3 тип	4 тип	
Пироксениты						
Габбро-нориты						
Габбро						
Измененные габбро						
Диориты						
Тоналиты, плаггиограниты						
Гранодиориты						
Граниты						
Горнблендиты						
Габбро-пегматиты						
Магнетитовые руды						
Плагиоклазиты						
Альбититы						
Аплиты и кварц- полевошпатовые жилы						

Рис. 3. Изменение морфологии кристаллов апатита в ультраосновных и основных породах Урала

I — гарцбургитовая формация; II — дунит-пироксенит-габбро-диоритовая формация; III — габбро-диабазовая формация

содержание редких земель в акцессорных апатитах и сфенах, появляются примеси олова, серебра, сурьмы, в магнетитах уменьшается содержание титана и изменяется соотношение хрома, никеля и кобальта ($Ni > Cr > Co$), возрастает роль цериевых редких земель, вплоть до образования самостоятельных соединений (акцессорные ортит и монацит).

Одновременно с изменением состава элементов-примесей меняется и кристаллографический облик акцессорных минералов. Показательны в этом отношении минералы с хорошо образованными кристаллами, такие как циркон, апатит и сфен. Наиболее удобны для изучения кристаллы циркона (рис. 2).

Для ранних и наиболее основных пород характерны простые комбинации форм (100), (111), редко узкая грань (110) и относительно небольшое удлинение ($a : c = 1 : 1,5$). Отмечено присутствие цирконов короткопризматического габитуса ($a : c = 1 : 1$) с узким почти исчезающим поясом призм (100) и (110) и бишираמידой (111).

В более кислых породах и породах, измененных поздними процессами, форма кристаллов меняется. Появляются игольчатые формы, часто кристаллы имеют округлую форму, благодаря равномерному развитию всех граней (два типа призм, три типа дипирамид).

В измененных породах и поздних фазах преобладают искаженные формы с крайне неравномерным развитием граней. Обычно эти кристаллы крупнее, полны включений, плохо прозрачны, с изрытой ямками поверхностью граней. Весьма важен факт преемственности кристаллографических форм во всех породах комагматического ряда. Подобная закономерность отмечалась для гранитоидов и их жильных серий В. В. Ляховичем. Сквозное прохождение ряда форм отчетливо видно на рис. 2. Аналогичные соотношения в отношении проходящих форм установлены для апатита (рис. 3) и сфена.

Таким образом, ассоциации акцессорных минералов ультраосновных и основных пород представлены весьма разнообразным составом минералов. Распространенное в литературе мнение о бедности минерального состава основных пород объясняется недостаточностью применявшихся ранее методов их изучения. Широкое изучение акцессорных минералов изверженных пород, систематизация и накопление новых данных позволят в дальнейшем более широко подходить к сопоставлению ассоциаций минералов, различных пород и формаций, применять корреляционный анализ и более полно разрешить задачи геохимии и минералогии изверженных горных пород.



Б. П. ЗОЛОТАРЕВ

МОРФОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС НЕКОТОРЫХ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД МАССИВОВ АФРИКАНДА, ВУОРИЯРВИ И САЛЛАНЛАТВИ

Массивы ультраосновных и щелочных пород, с которыми связаны различные карбонатитовые проявления, характеризуются приуроченностью к кристаллическим щитам и платформам, реже к областям заверщенной складчатости. Эти массивы в общем виде характеризуются следующим составом: ультраосновные породы (дуниты, пироксениты), среди которых встречаются разновидности с повышенной щелочностью; щелочные не-

фельно-пироксеновые породы (якупирангит, мельтейгит, ийолит, уртит); иногда щелочные и нефелиновые сиениты и карбонатиты.

Характерной особенностью этих массивов в большинстве случаев является преобладание ультраосновных пород над щелочными, при этом щелочные породы по времени образования более поздние, чем ультраосновные.

Геолого-петрографическое строение, минералогия и генезис комплекса массивов ультраосновного и щелочного состава с различной степенью детальности описаны в работах П. Н. Чирвинского, М. С. Афанасьева, А. А. Кухаренко, Н. А. Вологовского, Л. С. Бородина и др.

МОРФОЛОГИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ

В данной статье акцессорными минералами названы все второстепенные, прежде всего редкометалльные минералы, которые возникли в результате магматической кристаллизации или метасоматоза и не связаны с низкотемпературным (гипергенным) разложением пород.

В породах, слагающих массивы Африканда, Вуориярви и Салланлатви обнаружены следующие акцессорные минералы: сульфиды — пирит, марказит, халькопирит, борнит и пирротин; простые и сложные окислы — титаномагнетит, перовскит, ильменит, рутил, брукит, анатаз, лейкоксен, шорхлор, цирконолит, бадделейт, гематит, лимонит и корунд; силикаты — сфен, шорломит (меланит), спессартин, циркон, астрофиллит, рамзаит, неитунит и эпидот; карбонаты — малахит; фториды — флюорит; фосфаты — апатит.

В изученных массивах выделены следующие ассоциации акцессорных минералов: для оливинитов титаномагнетит-перовскитовая, для пироксенитов титаномагнетит-перовскит-апатитовая и для нефелин-пироксеновых пород шорломит-сфен-апатитовая.

Ниже приводится детальное описание морфологии сфена, циркона и апатита.

Сфен содержится в оливинитах Африканды, пироксенитах Африканды и Вуориярви и в нефелин-пироксеновых породах Африканды, Вуориярви и Салланлатви. В оливинитах сфен образует два типа кристаллов: 1 тип — n (111), m (110) и p (100); 2 тип — n (111) и y (001). В пироксенитах выделяются шесть типов кристаллов: 1 тип — m (110), n (111) и y (001); 2 тип — m (110), p (100) и n (111); 3 тип — p (100) и n (111); 4 тип — n (111), m (110), p (100), y (001) и k (102); 5 тип — n (111) и y (001); 6 тип — n (111), m (110), y (001) и p (100). Наиболее распространены кристаллы первого, третьего, четвертого и шестого типов.

Сфен из нефелин-пироксеновых пород по форме кристаллов делится на девять типов: 1 тип — m (110) и n (111); 2 тип — m (110), s (021) и l (112); 3 тип — m (110), n (111), и s (021); 4 тип — n (111), m (110) и y (001); 5 тип — n (111), m (110) и p (100); 6 тип — n (111) и p (100); 7 тип — n (111), m (110), p (100), y (001) и k (102); 8 тип — n (111) и y (001); 9 тип — n (111), m (110), y (001) и p (100). Наиболее распространены кристаллы первого, четвертого, шестого, седьмого и девятого типов. На гранях m (110) сфена из пироксенитов и нефелин-пироксеновых пород иногда наблюдается штриховка. Некоторые кристаллы сфена содержат мелкие включения (реликты) пироксена.

Циркон содержится в оливинитах Вуориярви, в пироксенитах Африканды и Вуориярви и в нефелин-пироксеновых породах Африканды, Вуориярви и Салланлатви. В оливинитах встречаются цирконы трех типов: 1 тип — m (110) и s (111); 2 тип — a (100) и s (111); 3 тип — a (100), m (110) и l (311). Удлинение 1:2, 1:3. Циркон из пироксенитов подразделяется на шесть типов: 1 тип — m (110) и s (111); 2 тип —

a (100) и s (111); 3 тип — a (100), m (110) и s (111); 4 тип является короткопризматической, почти бипирамидальной разновидностью первого типа; 5 тип — a (100), m (110) и λ (311); 6 тип — m (110), λ (311) и s (111). Преобладают цирконы первого, второго, третьего, пятого и шестого типов. Циркон из нефелин-пироксеновых пород по форме кристаллов делится на 12 типов: 1 тип — m (110) и s (111); 2 тип — a (100) и s (111); 3 тип — a (100), m (110) и s (111); 4 тип — m (110) и s (111); 5 тип — a (100) и s (111); 6 тип — s (111); 7 тип — m (110), ρ (224) и s (111); 8 тип — a (100), m (110), λ (311) и s (111); 9 тип — ρ (224) и s (111); 10 тип — a (100), m (110) и s (111); 11 тип — a (100), m (110) и λ (311); 12 тип — m (110), λ (311) и s (111).

Все названные разновидности кристаллов распространены примерно одинаково.

Апатит содержится во всех породах палеозойского комплекса. Апатит из оливинитов по форме кристаллов подразделяется на три типа: 1 тип — a (10 $\bar{1}$ 0) и x (10 $\bar{1}$ 1); 2 тип — e (11 $\bar{2}$ 0) и x (10 $\bar{1}$ 1); 3 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), x (10 $\bar{1}$ 1) и c (0001).

Среди апатита в пироксенитах наблюдаются апатиты восьми типов: 1 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), x (10 $\bar{1}$ 1) и c (0001); 2 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), s (1 $\bar{1}$ 21) и c (0001); 3 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), b (1120), x (10 $\bar{1}$ 1) и c (0001); 4 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), b (11 $\bar{2}$ 0), x (10 $\bar{1}$ 1), s (1 $\bar{1}$ 21) и c (0001); 5 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), b (11 $\bar{2}$ 0), x (10 $\bar{1}$ 1), s (1 $\bar{1}$ 21), r (10 $\bar{1}$ 2) и c (0001); 6 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), b (11 $\bar{2}$ 0) и x (10 $\bar{1}$ 1); 7 тип — a (10 $\bar{1}$ 0) и x (10 $\bar{1}$ 1); 8 тип — b (11 $\bar{2}$ 0) и x (10 $\bar{1}$ 1). В подавляющем большинстве случаев преобладают кристаллы второго, третьего, четвертого, пятого и шестого типов. В тех участках пироксенитов, где содержание апатита невелико, преобладают кристаллы первого, седьмого и восьмого типов. В некоторых кристаллах апатита наблюдаются точечные черные включения (по-видимому, тонкодисперсный титаномagnetит) и реликты пироксена.

В нефелин-пироксеновых породах встречаются кристаллы апатита девяти типов: 1 тип — a (10 $\bar{1}$ 0) и c (0001); 2 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), x (10 $\bar{1}$ 1) и c (0001); 3 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), s (1 $\bar{1}$ 21) и c (0001); 4 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), x (10 $\bar{1}$ 1), s (1 $\bar{1}$ 21) и c (0001); 5 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), b (11 $\bar{2}$ 0), x (10 $\bar{1}$ 1), s (1 $\bar{1}$ 21) и c (0001); 6 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), b (11 $\bar{2}$ 0), x (10 $\bar{1}$ 1), s (1 $\bar{1}$ 21), r (10 $\bar{1}$ 2) и c (0001); 7 тип — a (10 $\bar{1}$ 0), b (11 $\bar{2}$ 0) и x (10 $\bar{1}$ 1); 8 тип — a (10 $\bar{1}$ 0) и x (10 $\bar{1}$ 1); 9 тип — b (11 $\bar{2}$ 0) и x (10 $\bar{1}$ 1). Преобладают кристаллы первого, третьего, четвертого, пятого, шестого и седьмого типов. Иногда апатит образует сростки с шорломитом. Некоторые кристаллы содержат реликтовые включения пироксена.

Сравнивая морфологию одноименных минералов в различных типах пород комплекса в последовательности оливиниты — пироксениты — нефелин-пироксеновые породы (последовательность определена степенью метасоматической переработки пород), следует отметить на примере сфена, циркона и апатита, что в этом ряду пород количество простейших форм, составляющих названные минералы, увеличивается от оливинитов к нефелин-пироксеновым породам, т. е. форма кристаллов усложняется в зависимости от степени проявления метасоматических процессов в породе (см. рисунок). Для каждого минерала характерны морфологические типы кристаллов, встречающиеся во всех разновидностях пород («проходящие» морфологические типы). «Проходящие» морфологические типы кристаллов сфена, апатита и циркона характерны для ультраосновных пород габбро-перидотитовой формации, в то время как «типоморфные» типы из пироксенитов и нефелин-пироксеновых пород чаще всего встречаются в породах различных щелочных формаций. По-видимому, можно предположить, что «проходящие» типы кристаллов в оливинитах и пироксенитах являются первично магматическими, а в нефелин-пироксеновых породах реликтовыми в то время как все остальные


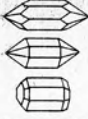
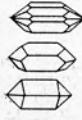
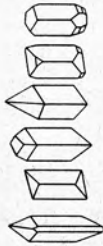
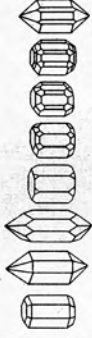
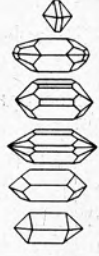
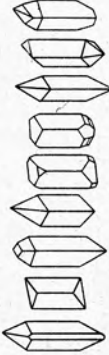
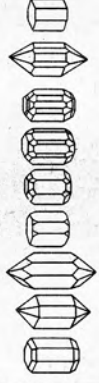
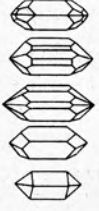
	1	2	3
I			
II			
III			

Рис. Типы кристаллов сфена, апатита и циркона в породах Карело-Кольской провинции
 I — оливиниты; II — пироксениты; III — нефелин-пироксеновые породы; 1 — сфен; 2 — апатит; 3 — циркон

типы кристаллов в пироксенитах и в нефелин-пироксеновых породах наложенными и генетически связанными с теми метасоматическими процессами, которые проявлены в этих породах. Необходимо особо подчеркнуть, что кристаллы наложенной генерации в количественном отношении в десятки и сотни раз преобладают над кристаллами первично-магматической генерации.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ

Все акцессории по частоте встречаемости (P) подразделены на четыре категории (табл. 1): 1) характерные ($P = 0,71-1,00$) — титаномagnetит, сфен, шорломит, перовскит и апатит; 2) распространенные ($P = 0,41-0,70$) — пирит, халькопирит и циркон; 3) локально распространенные ($P = 0,11-0,40$) — пирротин, лимонит, рутил, лейкоксен, бадделлит и ильменит; 4) экзотические ($P = 0,01-0,10$) — марказит, борнит, гематит, брукит, анатаз, корунд, спессартин, астрофиллит, рамзаит, нептунит, эпидот, пирохлор, цирконолит, малахит и флюорит.

Таблица 1. Частота встречаемости акцессорных минералов в породах комплекса и в комплексе в целом (в долях единицы)

Минерал	Оливиниты	Пироксениты	Нефелин-пироксеновые породы	Жильные нефелин-пироксеновые породы	Карбонаты и оливин-магнетит-карбонатные породы	Комплекс
Пирит	0,33	0,10	0,92	0,67	0,83	0,49
Марказит	—	—	—	—	0,33	0,04
Халькопирит	0,67	0,40	0,69	0,33	0,50	0,51
Борнит	—	0,25	—	—	0,33	0,08
Пирротин	—	—	0,45	0,33	1,00	0,29
Титано-магнетит	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Гематит	—	—	0,08	0,33	0,17	0,07
Лимонит	—	0,10	0,38	0,33	0,17	0,20
Рутил	0,67	0,35	—	—	0,17	0,22
Брукит	—	0,10	—	—	—	0,04
Анатаз	—	0,10	0,08	—	—	0,07
Лейкоксен	—	0,60	0,15	—	0,17	0,33
Бадделлит	—	—	0,15	0,33	0,50	0,13
Корунд	—	0,05	—	—	—	0,02
Сфен	0,67	0,85	1,00	1,00	0,67	0,87
Шорломит	—	0,65	1,00	1,00	0,50	0,71
Спессартин	—	0,10	0,08	—	—	0,07
Циркон	0,33	0,02	0,61	0,67	0,50	0,41
Астрофиллит	—	—	0,08	—	—	0,02
Рамзаит	—	—	0,08	0,67	0,17	0,09
Нептунит	—	—	0,08	—	—	0,02
Эпидот	—	—	0,08	—	—	0,02
Ильменит	0,67	—	—	0,33	0,33	0,11
Перовскит	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Пирохлор	—	—	—	—	5,00	0,07
Цирконолит	—	0,10	—	—	—	0,04
Малахит	—	0,10	—	—	—	0,04
Флюорит	0,67	0,10	—	—	—	0,04
Апатит	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 2. Пределы содержаний аксессуарных минералов (в г/т)

Минерал	Оливиниты	Широксениты	Нефелин-пироксеновые породы
Сульфиды			
Пирит	0,00— 12,33	0,00— Ед. зн.	0,00— 702,39
Халькопирит	0,00— Ед. зн.	0,00— 3392,41	0,00— 66,37
Борнит	—	0,00— 0,60	—
Пирротин	—	—	0,00— 1586,02
Простые и сложные окислы			
Титаномагнетит	108 765,54—228 626,62	6066,26—252 040,20	262,18—61 918,24
Гематит	—	—	0,00— 2 334,12
Лимонит	—	0,00— 26,24	0,00— 4 123,46
Рутил	0,00— 1 779,43	0,00— 134,56	—
Брукит	—	0,00— Ед. зн.	—
Анатаз	—	0,00— 57,60	0,00— Ед. зн.
Лейкоксен	—	0,00— 3 241,16	0,00— 599,33
Бадделеит	—	—	0,00— 0,90
Корунд	—	0,00— Ед. зн.	—
Ильменит	0,00— 5 486,29	0,00— Ед. зн.	0,00— Ед. зн.
Силикаты			
Рамзаит	—	—	0,00— 8,15
Нешунит	—	—	0,00— Ед. зн.
Эпидот	—	—	0,00— 1387,54
Сфен	0,00— 32,61	0,00— 55 289,68	Ед. зн. —8072,51
Шорломит (меланит)	—	0,00— 5142,12	70,04—186 137,46
Спессартин	—	0,00— 7,73	0,00— Ед. зн.
Циркон	0,00— 1,16	0,00— 30,80	0,00— 3,52
Астрофиллит	—	—	0,00— Ед. зн.
Карбонаты			
Малахит	—	0,00 — Ед. зн.	—
Фториды			
Флюорит	0,00 — Ед. зн.	0,00— Ед. зн.	—
Фосфаты			
Апатит	156,32—3063,64	6,30— 64 954,98	12,20—23 933,30

Как показали проведенные исследования, аксессуарные минералы распределены в ультраосновных-щелочных породах очень неравномерно (табл. 2). Столь неравномерное распределение содержаний минералов обусловливает для получения оптимальной информации о распределении применение методов математической статистики.

Опыт проверки гипотез о соответствии статистического распределения содержаний аксессуарных минералов логарифмически-нормальному закону в ультраосновных-щелочных породах показывает, что распределение содержания большинства минералов не противоречит этому закону (титаномагнетит, перовскит, сфен, шорломит, апатит и др.).

Известно, что при логарифмически-нормальном распределении допустимы две независимые генерации только в случае значительного количественного преобладания одной генерации над другой (Д. А. Родионов).

Действительно, при сравнении средних содержаний магнетита, циркона, апатита, пирита, пирротина и сфена в гипербазитах Полярного Урала со средним содержанием этих же минералов в гипербазитах ультраосновного-щелочного комплекса Кольского полуострова видно, что содержание названных минералов в породах комплекса во много раз больше, чем в гипербазитах Урала. Если допустить, что в пироксенитах комплекса до их метасоматического преобразования содержание перечисленных минералов было примерно такое же, как и в гипербазитах Урала, то их количественное и видовое увеличение следует связывать с метасоматическими процессами в гипербазитах комплекса.

Таким образом, пирит, пирротин, магнетит, циркон и апатит в породах комплекса представлены двумя независимыми генерациями (каждый), но с существенным преобладанием генераций, связанных с метасоматическими процессами. Изучение структурных взаимоотношений некоторых из перечисленных минералов в прозрачных шлифах подтверждает их предполагаемый генезис и последовательность образования.

■

И. А. ЕФИМОВ, Л. Г. КОСИНЦЕВА

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ В ЭКЛОГИТАХ И ПИРОПОВЫХ СЕРПЕНТИНИТАХ КОКЧЕТАВСКОГО АНТИКЛИНОРИИ И КИРГИЗСКОГО ХРЕБТА

Эклогиты и пироповые серпентиниты — довольно редкие породы, встречающиеся в составе древних сланцево-гнейсовых метаморфических комплексов совместно с ультраосновными породами или без них, а также в кимберлитовых трубках.

В Казахстане эклогиты известны в двух районах: на севере — в Кокчетавском антиклинории (М. А. Абдулкабирова, И. Ф. Трусова, И. А. Ефимов) и на юге — в Киргизском хребте (И. Е. Медведева). Пироповые серпентиниты обнаружены пока только в Кокчетавском антиклинории. Оба района входят в пределы единой рифейско-нижнепалеозойской геосинклинальной дуги. Породы эклогитовой формации (эклогиты, гнейсы и сланцы) в них слагают основание разреза (И. А. Ефимов).

В Кокчетавском антиклинории эклогиты и образованные по ним гранат-амфиболовые породы и амфиболиты, а также друзиты и чарнокиты не составляют каких-либо стратифицированных горизонтов, а залегают в массе гнейсов (изредка сланцев) как включения (ксенолиты) неправильно изометричной или эллипсоидальной формы с размером в поперечнике от нескольких сантиметров до 0,5 км. Почти всегда наблюдается групповое расположение тел эклогитов. Возраст гнейсов, вмещающих эклогиты, определен рубидий-стронциевым и свинцовым методами в 1000—1300 млн. лет (И. А. Ефимов и др.). Возраст эклогитов определен свинцово-изохронным методом в 2—3,5 млрд. лет.

Преыдушими исследователями эклогиты рассматривались как продукты метаморфизма пород типа габбро (М. А. Абдулкабирова) или мергелей (И. Е. Медведева, И. Ф. Трусова). Авторы рассматривают эклогиты как тектонические отторженцы от подкорового слоя (мантии) Земли, вынесенные к поверхности вместе с гнейсами при поднятии докембрийской антиклинальной зоны (И. А. Ефимов).

В Кокчетавском антиклинории широко распространены как неизменные почти двуминеральные разности эклогитов, состоящие из омфаци-

та и граната пироп-альмандинового ряда, так и ретроградно измененные разности, в которых наряду с гранатом и пироксеном в различных количествах присутствуют амфиболы, цоизит, эпидот и кварц.

Характерными акцессорными минералами неизменных эклогитов являются рутил и апатит; реже встречаются циркон, магнетит и галенит. В эклогитах, затронутых процессами ретроградного метаморфизма, по рутилу развиваются ильменит и сфен.

В Киргизском хребте неизменные эклогиты встречаются исключительно редко. Здесь наряду с первичными гранатом и пироксеном чаще всего присутствуют такие вторичные минералы, как клиноцоизит, цоизит, амфиболы и слюда. Характерные акцессорные минералы эклогитов Киргизского хребта: апатит, рутил и замещающий его сфен. Первичные акцессорные минералы эклогитов и пироповых серпентинитов, а также их распространение приведены в таблице.

Таблица. Акцессорные минералы в эклогитах и пироповых серпентинитах

Минерал	Эклогиты		Пироповые серпентиниты
	Кокчетавский антиклинорий	Киргизский хребет	Кокчетавский антиклинорий
Рутил	Широко распространен	Широко распространен	Ед. зн. Широко распространен
Фторопатит	Редкий	Редкий	То же
Магнетит	Ед. зн.	Ед. зн.	
Галенит	То же	—	—
Титанферстерит	—	—	Широко распространен
Плеонаст	—	—	То же
Циркон	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.
Со-минералы	—	—	Редкий

Содержание рутила в эклогитах Кокчетавского антиклинория 0,5—3,5, изредка 5%. В породе рутил располагается в виде изолированных зерен размером 0,08—0,15 мм и их скоплений. Приурочен он к контактам зерен пироксена и граната, а также наблюдается в виде включений в гранат, пироксен и роговую обманку. Большинство зерен рутила имеет слабую призматическую огранку. Встречаются единичные хорошо образованные кристаллы призматического облика, а также комбинации тетрагональных призм с пирамидой и дипирамидой. Нередки коленчатые двойники. В отдельных телах эклогитов широко распространены зерна рутила округлой формы (И. А. Ефимов и др.).

Наши наблюдения над взаимоотношениями рутила с другими минералами эклогитов (гранат, пироксен) показывают, что он кристаллизовался вероятнее всего одновременно с гранатом. Об этом свидетельствуют обилие включений зерен рутила в гранате, а также включения граната в рутиле.

В образцах с поверхности и близповерхностной зоны рутил имеет ярко-красный, красно-коричневый, темно-красный и черный цвет. Зерна черного рутила обычно обладают повышенной магнитностью.

На глубинах свыше 60 м весь рутил имеет черный цвет и только в шлифах он слабо просвечивает в темно-серых тонах. Вероятно, черная окраска является первичной для рутила эклогитов, в то время как коричневый и красный цвета связаны с поверхностными процессами. Такая же закономерность в окраске рутила отмечена Б. В. Чесноковым для эклогитов титанового Шубинского месторождения на Урале.

Содержание рутила в эклогитах Киргизского хребта 2—5%. Распределение его очень неравномерное, к тому же значительная часть его сфенизирована в процессе ретроградного метаморфизма. Размер зерен рутила 0,05—0,10 мм. Располагаются они в основной массе породы в виде изолированных кристаллов или их скоплений, а также в виде включений в зернах граната. В то время как рутил в основной массе имеет округлую форму и коричневую окраску, внутри зерен граната наблюдаются как коричневые зерна рутила, так и зерна с синей окраской, имеющие удлиненно-призматическую или игольчатую форму.

Химическими анализами в рутиле из эклогитов Кокчетавского массива установлены следующие элементы (в %): TiO_2 98,75—99,13, Fe_2O_3 0,64—0,97, V_2O_5 0,12—0,23, Cr_2O_3 0,01—0,02, Nb_2O_5 0,02—0,18, ZrO_2 0,24—0,30, PbO 0,03—0,05. Спектральными анализами дополнительно установлены следующие элементы (в %): Co 0,003, Cu 0,006—0,06, Sn 0,003, Mn 0,003, Sc 0,003 (на Кокчетавском участке), Ta 0,2 (только на участке Кумды-Куль).

В рутиле из эклогитов Киргизского хребта химическим анализом определены (в %): TiO_2 94,42—96,63, Fe_2O_3 2,07—3,43, V_2O_5 0,16—0,33, Cr_2O_3 0,13, Nb_2O_5 0,18, ZrO_2 0,34. Спектральным анализом дополнительно установлены (в %): Sn 0,003—0,01, Mn 0,003—0,01, Cu 0,001, PbO 0,03.

Ильменит в эклогитах Кокчетавского массива встречается только как вторичный минерал по рутилу. Содержание его очень неравномерное: от единичных знаков до 2%. В эклогитах Киргизского хребта ильменит очень редок. Форма зерен ксеноморфная. Чаще всего он развивается по трещинам спайности и по периферии зерен рутила, иногда нацело замещая его в сильно измененных разностях эклогитов. Процесс ильменитизации рутила является более ранним по сравнению со сфенизацией, так как иногда по ильмениту развивается сфен.

Апатит присутствует постоянно в эклогитах Кокчетавского массива и Киргизского хребта в количестве 0,3—0,4%. Это мелкие почти изометричные зерна, размер их скоплений 0,05—0,15 мм. Реже встречаются крупные (0,15 мм) хорошо образованные кристаллы апатита в виде комбинаций гексагональной призмы с дипирамидой. Наиболее часто встречаются грани призмы {1010}. Внутри зерен апатита наблюдаются включения идиоморфных зерен рутила и циркона. Показатели преломления апатита $N_o = 1,633$; $N_e = 1,630$ (Киргизский хребет) и $N_o = 1,636$; $N_e = 1,632$ (Кокчетавский массив), что соответствует почти чистым разностям фторапатита.

Циркон встречается в эклогитах Кокчетавского массива в виде единичных зерен, включенных в кварц и реже в апатит. Форма включений — комбинации тетрагональных призм с тетрагональными дипирамидами. Развита грани {100}, {110} и {111}. Размер зерен 0,05—0,10 мм.

В эклогитах присутствуют единичные зерна галенита и магнетита.

В качестве акцессорных минералов в пироповых серпентинитах и титанфорстерит-пироповых породах встречаются титанфорстерит, шиннель, апатит, циркон, сфен, рутил, ильменит, магнетит и Со-минерал.

Титанфорстерит присутствует в пироповых серпентинитах в количестве 3—5%. В титанфорстерит-пироповых породах содержание его достигает 30%. Размер зерен титанфорстерита от 0,1 до 1 мм, форма чечевицеобразная, цвет бурый. Он обладает ясной параллельной спайностью по (010) и наличием двойников. Показатели преломления: $N_g = 1,702$, $N_p = 1,664$, $N_g - N_p = 0,038$; $2V = 86^\circ$. Содержание TiO_2 в минерале 6,4%. Спектральным анализом в нем установлены дополнительно следующие элементы (в %): Mg много, Si много, Fe 3—5, Ca — 1, Al около 1, Na — 0, n , Mn 0, n , Ba 0,00 n , Be следы, Ni 0,00 n , V 0,00 n , Y 0,00 n , Yb следы, Zr 0,00 n , Sc следы, Co — 0,00 n .

Содержание шиннели (плеонаста) в пироповых серпентинитах 1—4%, причем оно увеличивается вблизи контакта с эклогитами. Располагается

шпинель в массе серпентина в виде агрегатов зерен, которые по трещинкам и с периферии интенсивно замещены магнетитом. В шлифах шпинель имеет темно-зеленую окраску. Показатель преломления $N = 1,758$, что соответствует магнезиальной шпинели с небольшим содержанием железа. Иногда шпинель наблюдается в виде включений в гранате.

Апатит встречен в пироповых серпентинитах в виде изолированных слегка вытянутых кристаллов или агрегатов зерен размером $0,1-0,2$ мм. В породе он распределен очень неравномерно. В отдельных шлифах отсутствует, но иногда содержание его повышается до 3%. Показатели преломления: $N_o = 1,636$; $N_e = 1,632$; $N_o - N_e = 0,004$, что указывает на принадлежность минерала к фторапатиту.

Циркон, сфен, рутил, Со-минерал встречены в виде единичных зерен.

Ильменит присутствует в пироповых серпентинитах и титан-оливин-пироповых породах в количестве $0,5-2\%$. Наблюдается он в виде каплевидных или червеобразных включений в титан-оливине. Размер включений $0,05-0,15$ мм. Изредка встречаются более крупные ксеноморфные зерна ильменита, выполняющие интерстиции между зернами граната.

Содержание магнетита в пироповых серпентинитах до 3%.

В заключение следует отметить, что список акцессорных минералов в эфлогитах как Казахстана, так и других регионов мира специфичен и довольно постоянен. Этим эфлогиты значительно отличаются от других типов изверженных пород, что может указывать на специфичность и общность условий их формирования при высокой температуре и большом давлении.

■
Е. Д. НАДЕЖДИНА

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АКЦЕССОРНОЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ТРАПХ РАЙОНОВ РЕК ПОДКАМЕННОЙ ТУНГУСКИ И БОЛЬШОЙ БОТУОБИИ (Сибирская платформа)

Изучение акцессорных минералов, их морфологии, распространенности в отдельных типах пород, принадлежащих траптовой формации, анализ химического состава акцессориев и поведения в них редких, акцессорных элементов позволили расширить наши представления о характере постмагматических изменений траптов.

Лейкократовые породы, часто встречающиеся в составе траптовых интрузий на Сибирской платформе, характеризуются специфическими особенностями акцессорной минерализации, обусловленной генезисом этих пород. Многими исследователями лейкократовые породы гранитоидного или субщелочного облика рассматриваются как крайние магматические дифференциаты (Соболев, Масайтис и др.), однако в ряде случаев происхождение этих пород можно объяснить преобразованием нормальных, ортомагматических, траптов при поздних постмагматических процессах.

Нами детально изучены акцессорные минералы траптов из двух районов Сибирской платформы: 1) юго-западная окраина — район нижнего течения р. Подкаменной Тунгуски и 2) юго-восточная окраина — район среднего и нижнего течения р. Большой Ботуобии (геологический материал по траппам р. Большой Ботуобии любезно предоставлен В. В. Юдиной).

Геологическое положение этих районов имеет много общих черт. Оба они располагаются в областях сочленения разновозрастных платформенных структур. Первый в области сочленения Тунгусской синеклизы и древнего поднятия Енисейского кряжа, второй в районе сочленения нижнепалеозойского Ангаро-Ленского прогиба и той же верхнепалеозойской Тунгусской синеклизы. Для обоих районов весьма характерны тектонические нарушения дизъюнктивного характера, преимущественное простирание этих нарушений северо-западное и север-северо-западное.

Широко распространены в этих двух районах нормальные или ортомагматические трапзы, являющиеся прямыми продуктами кристаллизации трапшовой магмы. К ним относятся трапзы недифференцированных и дифференцированных интрузий, представленные оливиновыми, троктолитовыми долеритами, габбро-долеритами, ферро-габбро-долеритами, пегматоидными долеритами и пр.

К зонам интенсивных тектонических нарушений как в бассейне р. Подкаменной Тунгуски, так и на р. Большой Ботуобии приурочены трапшковые интрузии, содержащие своеобразные лейкократовые породы с крайне неоднородным составом и изменчивой структурой.

В районе р. Подкаменной Тунгуски лейкократовые породы образуют различных размеров обособленные участки неправильной формы, приуроченные главным образом к верхним и краевым частям дифференцированных трапшových интрузий. Эти лейкократовые породы обладают крайне неравномерной такситовой текстурой, резкими и быстрыми колебаниями в структуре и составе.

Для лейкократовых пород характерны процессы альбитизации плагиоклаза, эгиринизации пироксена, обычно с последующей его амфиболизацией и биотитизацией, широко проявляются процессы замещения гранофилом ранее существовавших минералов (основного плагиоклаза и моноклинного пироксена); обычны признаки бластического роста у кристаллов пироксена и амфибола с образованием ситовидных структур. Количественные соотношения минералов в этих породах сильно колеблются, меняется не только их содержание, но также величина зерен и их форма. Иногда обособляются лейкократовые участки, в строении которых главную роль играют гранофир (микропегматитовые срастания К — Na-полевого шпата и кварца) и крупные обособления кварца с ничтожной примесью темноцветных минералов. Расположенные рядом меланократовые участки сложены в основном амфиболом, реже клинопироксеном (обычно в срастании с амфиболом) с незначительным количеством лейкократовых минералов.

Колебания в минеральном составе лейкократовых пород находят отражение в их химизме, характеризующемся большой неустойчивостью. Резко изменчиво поведение кремнезема, магнезии, глинозема и щелочей, особенно натрия, не наблюдается определенной закономерности изменения в величине коэффициента железистости.

По химизму и петрографическому составу лейкократовые породы приближаются к породам среднего и кислого состава, среди них могут быть выделены монцитоны, диорит-пегматиты и гранофиры. Наблюдающиеся структурные соотношения, особенности минерального и химического состава, геологическое положение описанных лейкократовых разновидностей трапшов свидетельствуют о большой роли метасоматических процессов при их образовании.

А. П. Лебедев, изучавший трапзы района р. Подкаменной Тунгуски, приводит в своих работах убедительные доказательства преимущественно метасоматического способа образования лейкократовых пород в результате глубокой переработки постмагматическими высокотемпературными гидротермальными растворами ортомагматических трапшов, причем автор не исключает возможности и частичной ассимиляции вмещающих толщ — явления гибридизма (привнос кремния).

В бассейне р. Большой Ботубии (восточная окраина Сибирской платформы) лейкократовые породы представлены своеобразными субщелочными тешенитоподобными породами, обогащенными цеолитами и анальцимом (цеолитизированные пироксен-плаггиоклазовые породы). Здесь лейкократовые породы также не образуют самостоятельных интрузивов, а в виде линзообразных и неправильной формы тел располагаются вдоль зон тектонических нарушений; выходы их тянутся с перерывами на многие сотни метров и не занимают в разрезах траптовых силлов определенного места. В минеральном составе лейкократовых пород принимают участие как реликтовые минералы траппов — оливин, основной плаггиоклаз, моноклинный пироксен, так и новообразованные — альбит, анальцим, цеолиты, диопсид-авгит, сфен, амфиболы, биотит и др. Содержание новообразований в породе различно, и распределены они неравномерно.

Лейкократовые участки беспорядочно чередуются с меланократовыми. В строении лейкократовых участков главная роль принадлежит новообразованным лучистым кристаллам цеолитов, анальциму, альбиту, развивающимся главным образом по плаггиоклазу и замещающим мезостази, с редкими крупными пидобластами диопсид-авгита и сфена. В меланократовых участках основное место занимают крупные кристаллы темно-зеленого диопсид-авгита, нередко сфена и бурого граната, замещающих первичный бесцветный моноклинный пироксен, сцементированные цеолитами. Для этих лейкократовых пород, состоящих из чередующихся в различной степени измененных участков, обычны типично метасоматические кристаллобластовые и коррозионные структуры.

Специфической особенностью химизма лейкократовых пород р. Большой Ботубии при общей крайней изменчивости является резко повышенное содержание щелочей и главным образом натрия (до 5,9% Na_2O), причем их наибольшие значения отмечаются в грубозернистых участках, сложенных цеолитами, анальцимом, диопсид-авгитом, сфеном и апатитом. Подробно вопросы генезиса субщелочных лейкократовых пород освещены в работах В. В. Юдиной.

Детальное изучение акцессорной минерализации во всех разновидностях траппов, проведенное нами, дало возможность выявить особенности миграции редких элементов на магматическом и постмагматическом (метасоматическом) этапах формирования пород, а также подтвердило ведущую роль метасоматических процессов в образовании лейкократовых разновидностей траппов. Методика опробования траппов и обработки протоколов основных пород подробно изложена в нашей работе, опубликованной ранее.

Сопоставление видового и количественного состава тяжелых фракций протоколов и состава некоторых акцессорных минералов из обычных траппов магматического ряда и из лейкократовых пород приводит к следующим выводам. Нормальные, ортомагматические, траппы и лейкократовые породы обладают сходным видовым составом акцессорных минералов.

В нормальных магматических траппах р. Подкаменной Тунгуски определены 20 акцессорных минералов (apatит, титаномагнетит, пирит, циркон, ильменит, сфен, гранат, галенит, халькопирит, ширротин, сфалерит, молибденит, флюорит, эпидот, анатаз, рутил, гематит, лейкоксен, корунд, муассонит), в лейкократовых породах — 16 минералов, (здесь отсутствуют флюорит, рутил, корунд, галенит, сфалерит, молибденит, однако появляются новые минералы — ортит и малакон).

Таким образом, в траппах Подкаменной Тунгуски наблюдается сокращение видового состава акцессорных минералов в лейкократовых породах по сравнению с ортомагматическими траппами.

Траппы района р. Большой Ботубии характеризуются более однородным видовым составом акцессориев. Здесь определены 18 акцессорных минералов: апатит, сфен, циркон, муассонит, рутил, флюорит, корунд,

касситерит, шпинель (илеонаст), пирит, галенит, молибденит, халькопирит, булажерит, пирротин, магнетит, ильменит и гематит.

В лейкократовых породах по сравнению с нормальными, ортомагматическими, трапшами наряду с сокращением видового состава (как это наблюдается в лейкократовых породах р. Подкаменной Тунгуски) резко повышается валовое количество акцессорных минералов, в основном за счет обогащения пород апатитом и сфеном, а в ряде случаев появляются собственно редкоземельные акцессорные минералы — ортит и малакон.

Содержание акцессорных минералов в ортомагматических трапшах измеряется единицами, редко десятками граммов на 1 т породы; в лейкократовых породах оно составляет 1,5—2 кг/т.

Форма, размеры, парагенетические ассоциации характерных одноименных акцессорных минералов в нормальных магматических трапшах и в лейкократовых породах несколько различны и имеют специфические особенности.

Акцессорные минералы, особенно в лейкократовых породах, обладают ярко выраженными чертами метасоматического роста (искаженные, искривленные формы, ступенчатые грани, скелетные и футлярообразные кристаллы и пр.).

Размеры одноименных акцессорных минералов (например, апатита, сфена, циркона и др.) в лейкократовых породах значительно (в 3—5, а иногда в десятки раз) укрупняются по сравнению с нормальными неизмененными трапшами.

Основная масса акцессорных минералов, особенно в лейкократовых разновидностях трапшов, приурочена к наиболее измененным, преобразованным участкам породы. Так, в трапшах р. Большой Ботуобии наблюдаются лейкократовые участки с гнездами и скоплениями крупных кристаллов новообразованных апатита, сфена, цеолитов и пироксена (рис. 1). Образование собственно редкоземельного акцессорного минерала ортита (рис. 2) в лейкократовых породах Подкаменной Тунгуски также приурочено к участкам, обогащенным новообразованиями — кварцем, микропегматитом, а зоны интенсивной амфиболитизации пироксена сопровождаются обильным выделением акцессорного циркона (малакона).

Несколько иной характер изменения пироксена в субщелочных породах р. Большой Ботуобии приводит к появлению сфена. Здесь в отдельных участках идет интенсивный процесс замещения пироксена сфеном с образованием полных псевдоморфоз сфена по пироксену (рис. 3). Амфиболитизация пироксена в этих породах проявлена незначительно.

Проведенные анализы показывают, что основная масса редких, главным образом редкоземельных элементов трапшов концентрируется в таких акцессорных минералах, как апатит, циркон, сфен и ортит (табл. 1, 2). С этими минералами связаны также и радиоактивные элементы. В шлифах трапшов вокруг цирконов, реже апатитов и сфенов, заключенных в хлоритах, биотитах, амфиболах, цеолитах, наблюдаются темные плеохроирующие ореолы. Небольшое количество акцессорных элементов постоянно обнаруживается спектральными анализами и в пироксенах (см. табл. 1).

В нормальных трапшах, образующихся в результате магматической кристаллизации и не измененных поздними наложенными процессами, основная масса акцессорных (редкоземельных) элементов находится в состоянии рассеяния и, вероятно, входит в форме изоморфной примеси в кристаллическую решетку главного породообразующего темноцветного минерала — пироксена (см. табл. 1, анализ 598/60). Для пород такого типа характерно низкое содержание акцессорных минералов.

Эти факты, по-видимому, свидетельствуют о бедности трапшового расплава редкими элементами. Следует отметить, что в крайних магматических дифференциатах, кристаллизующихся из остаточных порций магмы,

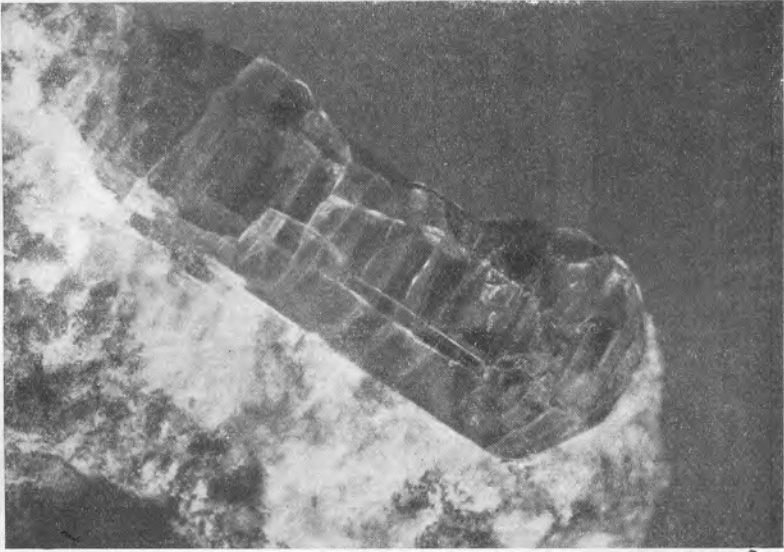


Рис. 1. Крупный метакристалл апатита в цеолитовом гнезде. Субщелочная лейкократовая порода. Р. Большая Ботуобия, обр. 270/60. Увеличение 7. Вид сверху

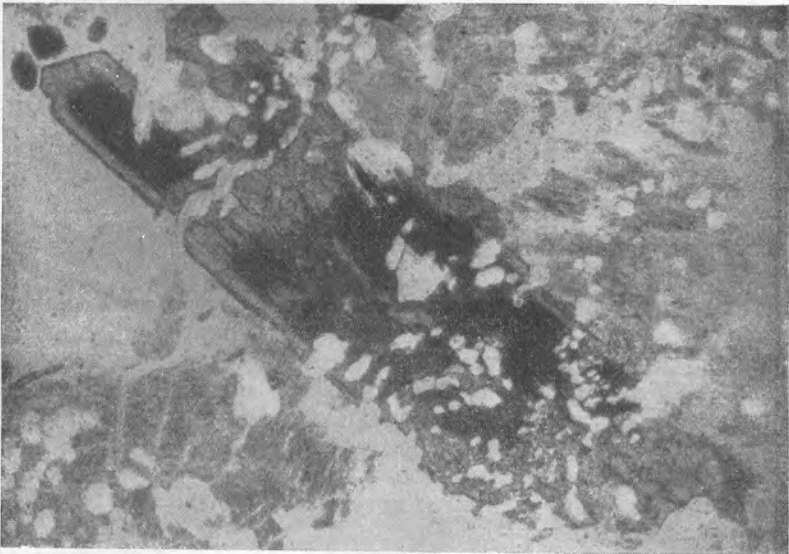


Рис. 2. Зональный сдвойникованный метакристалл ортита с эпидотовой каймой. Гранофир. Р. Подкаменная Тунгуска, шлиф 154/56. Увеличение 30. Без анализатора



Рис. 3. Метакристалл сфена, развивающегося по пироксену. Видны реликты пироксена. Субщелочная лейкократовая порода. Р. Большая Ботубия, шлиф 184/60. Увеличение 90. Без анализатора

Sf — сфен, *Px* — пироксен

обогащенных летучими (в основном Р), наблюдается некоторое накопление редкоземельных элементов, о чем свидетельствует повышенное содержание в этих породах акцессорного апатита с редкими землями (см. табл. 2, анализ 598/60), т. е. в процессе кристаллизационной дифференциации трапсового расплава намечается тенденция к накоплению редких элементов на последних этапах.

Лейкократовые (кислые и субщелочные) породы, возникшие в результате постмагматических, главным образом метасоматических, преобразований трапшов, значительно обогащены редкими (редкоземельными) элементами. В этих породах происходит концентрация редких элементов, выражающаяся в резком увеличении валового количества акцессорных минералов (апатит и сфен), изоморфно содержащих TR, Y, Zr (до 0,9%), и появлении собственно редкоземельных минералов.

Таким образом, постмагматические, пневматолито-гидротермальные растворы (натриевые, кальций-натриевые, натриево-калиевые), действием которых были обусловлены метасоматические преобразования в трапшах, содержали повышенное количество редких, в основном редкоземельных элементов.

Некоторая часть редких элементов заимствуется постмагматическими растворами из породообразующих минералов трапшов при их разложении. Наглядным подтверждением этому служит постоянное появление циркона в амфиболитизированных, биотитизированных и хлоритизированных участках пироксена. В результате разрушения кристаллической решетки пироксена цирконий и иттрий высвобождаются и входят в состав новообразованного самостоятельного минерала — циркона (или малакона). При сфенизации пироксена цирконий и иттрий так же переходят в состав новообразованного минерала — сфена.

Несомненно, что постмагматические растворы, обогащенные TR, Y, Zr и Hf генетически связаны с заключительными этапами кристаллизации основной, трапшовой магмы. Об этом свидетельствует тождество редких элементов в одноименных акцессорных минералах как ортомагмати-

ческих траппов, так и траппов, глубоко преобразованных в результате метасоматических процессов.

Для всех анализированных акцессорных минералов характерно преобладание цериевой группы редкоземельных элементов с четными максимумами над элементами иттриевой группы (см. табл. 1 и 2). Накопление редких элементов Rb, Y, Zr, Hf, U и Th на поздних стадиях развития магматического и пневматолито-гидротермального процессов — проявление одной из общих геохимических закономерностей концентрации редких элементов, которая уже неоднократно отмечалась многими исследователями для производных кислых и щелочных магм (А. И. Гинзбург, С. А. Горшечская, Е. А. Ерофеева, В. А. Сидоренко).

Региональные особенности состава трапповой магмы и связанных с ней постмагматических растворов приводят в отдельных районах к образова-

Таблица 1. Редкие элементы в акцессорных минералах траппов по данным рентгено-спектральных и спектральных анализов (в %)

Элемент	Апатит (р. Подкаменная Тунгуска)						
	долерит (8/56) *	габбро-долерит (10/56)	диорит-пегматит				гранофир (33/56)
			(11/56)	(15а/56)	(15б/56)	(30/56)	
La	0,05	0,05	0,05	0,05	—	—	—
Ce	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1
Pr	—	—	—	—	—	—	—
Nd	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05
Sm	—	—	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—	—	—
Y	0,05	—	0,5	1,0	0,1	1,0	0,1
Yb	0,04—0,36	0,04—0,06	0,04—0,06	0,04—0,6	0,04—0,06	0,04—0,06	0,04—0,06
Zr	0,004—0,005	0,001—0,003	0,001—0,003	0,004—0,006	—	—	—
Hf	—	—	—	—	—	—	—
U	—	—	—	—	—	—	—
Th	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 1 (продолжение)

Элемент	Циркон (р. Подкаменная Тунгуска)					Ортит (р. Подкаменная Тунгуска)	
	диорит-пегматит				гранофир (34/56)	диорит-пегматит (32/56)	гранофир (34/56)
	(30/56)	(31/56)	(15/56)	(32/56)			
La	—	—	—	—	—	2,0	5,0
Ce	—	—	—	—	—	5,0	15,0
Pr	—	—	—	—	—	0,2	2,0
Nd	—	—	—	—	—	3,0	5,0
Sm	—	—	—	—	—	0,05	0,2
Gd	—	—	—	—	—	0,1	0,1
Y	0,5	1,0	3,0	2,0	2,0	0,5	не опр.
Yb	—	—	—	—	—	—	—
Zr	оч. мн.	оч. мн.	оч. мн.	оч. мн.	оч. мн.	—	—
Hf	0,05	0,1	0,5	0,5	0,5	—	—
U	0,05	0,05	0,2	0,1	—	—	—
Th	—	—	0,1	0,1	0,05	—	—

Таблица 1 (окончание)

Элемент	Сфен (р. Подкаменная Тунгуска)		Пирексен (р. Большая Ботуобия)			
	диорит-пегматит	(598/60)	субщелочная порода		пирексен-цеолитовая порода (618/60)	субщелочная порода (665/60)
			феррогаббро	(98/60)		
La	—	—	—	—	—	—
Ce	—	—	—	—	—	—
Pr	—	—	—	—	—	—
Nd	—	—	—	—	—	—
Sm	—	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—	—
Y	0,1	0,01—0,03	0,01	0,007—0,009	0,01	0,01—0,03
Yb	?	—	—	—	—	—
Zr	0,1	0,004—0,006	0,07—0,09	0,01—0,03	0,1	0,01—0,03
Hf	—	—	—	—	—	—
U	—	—	—	—	—	—
Th	—	—	—	—	—	—

* В скобках указан номер анализа.

Аналитики А. С. Дудыкина, Л. А. Воронова и Г. А. Муравицкая (ИГЕМ АН СССР).

Таблица 2. Состав редкоземельных элементов в аксессуарных минералах трапсов (в %)

Элемент	Сфен (р. Большая Ботуобия)			Апатит					
	субщелочная порода			р. Большая Ботуобия			р. Подкаменная Тунгуска		
	(98/60)	(258/60)	(244/60)	феррогаббро	субщелочная порода		диорит-пегматит		гранофир
					(270/60)	(665/60)	(11/56)	(15/56)	
			(598/60)	(270/60)	(665/60)	(11/56)	(15/56)	(33/56)	
La	9,9	10,5	17	12,5	20,2	22,3	10,77	13,26	11,04
Ce	34,4	35,8	29	28,0	43,9	40,2	21,47	23,1	21,86
Pr	4,82	3,0	8	7,7	7,7	3,9	3,97	4,14	3,67
Nd	15,10	18,8	16	18,0	16,8	12,9	16,51	16,57	18,37
Sm	4,95	3,0	4	5,3	2,6	2,0	5,45	5,96	5,7
Gd	6,65	4,1	4	6,6	2,7	2,9	5,01	4,8	4,6
Tb	18,9	24,7	22	2,8	Сл.	4,9	1,16	0,82	0,93
Y				7,7	4,3	4,4	26,42	23,1	27,9
Dy	5,35			7,6	1,6	5,5	4,51	4,14	0,93
Ho	Следы	Следы	Следы	0,6	Следы	1,2	0,98	0,81	0,73
Er	»	»	»	Следы	»	Следы	2,32	2,0	2,37
Tu	»	»	»	»	»	»	Следы	Следы	Нет
Yb	»	»	»	1,6	»	»	Следы	Следы	Нет
Lu	—	—	—	1,0	»	»	1,16	0,98	1,86
Сумма	100,07	99,9	100	99,4	99,8	99,5	99,7	100,0	99,9
Сумма TR в минерале	0,2	0,53	0,6	0,59	0,66	0,15	0,9	0,8	0,3

Расшифровка суммы TR-элементов в апатитах и сфенах из трапсов р. Большой Ботуобии проведена методом хроматографического распределения на бумаге в лаборатории ИГЕМ АН СССР Г. М. Варшал и Л. С. Шустовой. Расшифровка суммы TR-элементов в апатитах из трапсов р. Подкаменной Тунгуски проведена рентгеноспектральным количественным анализом в лаборатории ГЕОХИ АН СССР Н. И. Туранской.

нию типоморфных комплексов акцессорных минералов, содержащих редкоземельные элементы: ортит—малакон—апатит для трапзов р. Подкаменной Тунгуски, апатит — сфен для трапзов р. Большой Ботуобии.

Проявление редкоземельной акцессорной минерализации в трапхах тесно связано с процессами постмагматических и главным образом метасоматических преобразований их и может служить дополнительным критерием для установления генезиса лейкократовых пород.

ДИСКУССИЯ ПО РАЗДЕЛУ «АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД ОТДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ СССР»

Н. И. Амшинский (СНИИГГиМС) подчеркнул, что проблема изучения акцессорных минералов — часть общей проблемы минералого-геохимических исследований. В этой широкой проблеме можно наметить следующие главные направления:

- 1) акцессорные элементы и минералы как индикаторы петрогенезиса;
- 2) акцессорные элементы и минералы как средство корреляции интрузий;
- 3) акцессорные элементы и минералы как средство решения ряда важных специальных вопросов: фациальность, глубина эрозийного среза, геохимическая специализация, оценка перспектив рудоносности, морфологии интрузий;
- 4) акцессорные элементы и минералы как средство геохимической интерпретации данных абсолютновозрастных определений.

Ясно, что успешное решение намеченных задач возможно лишь при комплексном подходе и, безусловно, без отрыва от петрологических исследований. Каждое из направлений будет требовать соответствующей методики.

Минералого-геохимическими исследованиями занимаются немногочисленные коллективы в ряде организаций и городов. Обычно это энтузиасты, выполняющие эту работу приватно и, следовательно, в тяжелых организационных условиях. В Сибири имеется два таких коллектива — СНИИГГиМС и СО АН СССР, работающих уже более пяти лет.

Необходимо создать специальные лаборатории по акцессорным минералам и элементам в ряде городов, в частности в менее изученной в данном отношении Сибири — две лаборатории (в системе Министерства геологии СССР в СНИИГГиМСе и СО АН СССР), причем на столь же высокой лабораторной базе, как, скажем, в ИМГРЭ. Это даст благоприятную почву для соревнования на равных позициях.

И. Х. Хамрабаев (Институт геологических наук АН Узбекской ССР) отметил, что узбекская группа проводила методическое изучение акцессориев по схемам обработки пород, описанным П. Т. Азимовым и Л. Д. Смородиновой (Узбекский геологический журнал), И. Х. Хамрабаевым и рядом других исследователей. Для акцессорных гранитоидов средней зернистости в среднем коэффициент потери составляет 60%, а для ортитов он повышается почти до 90%, т. е. он более высок для минералов, которые легко истираются.

И. Х. Хамрабаев в своих работах предлагал называть акцессориями минералы ранне-позднемагматической стадии кристаллизации, образованные или избыточными количествами главных породообразующих компонентов (магнетит, ильменит, корунд) или редкими компонентами, достигающими некоторой концентрации в процессе кристаллизации. Эти мине-

ралы кристаллизуются или в магматическую, или в позднемагматическую стадию, но не в послемагматическую. При постмагматических процессах они становятся рудообразующими и при этом грань между акцессорными и рудными исчезает. Желательна классификация гранитоидов по акцессорным минералам.

В. И. Павлишин (Львовский государственный университет) обратил внимание на необходимость изучения кристалло-морфологических особенностей акцессорных минералов, что, к сожалению, делается еще далеко не всеми исследователями. Существенной причиной, по его мнению, является наличие небольшого количества приборов-гониометров. Кроме того, получаемые кристаллы не всегда пригодны для замеров на гонометре.

Особенно важно изучение морфологических особенностей для двухкомпонентных веществ, наиболее чувствительных к условиям среды образования. При исследовании акцессорных минералов можно использовать термометрический метод.

При изучении кристалломорфологических особенностей акцессорных минералов необходимо учитывать: 1) структуру кристалла, которая определяется кристаллохимическими свойствами слагающих ее единиц (атомы, ионы), и форму кристаллов, определяемую законом Брове; 2) внешние условия кристаллизации. В этом направлении большие исследования проведены И. И. Шафрановским и В. И. Михеевым.

Большую лепту в исследования кристалломорфологии минералов внесли исследования И. Д. Царовского (Киев), О. И. Матковского, Г. М. Гнатова (Львов) для кристаллических пород Украины и М. И. Куровцева (Львов) для некоторых гранитоидов Урала.

Некоторые докладчики не совсем правильно применяли термины «облик, габитус кристаллов», которым сейчас минералогами и кристаллографами придается весьма конкретное значение.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ВОПРОСОВ

В. В. ЛЯХОВИЧ

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ КАК ПОИСКОВЫЙ ПРИЗНАК

В настоящее время, когда редкие элементы начинают играть все большую роль во многих отраслях промышленности и техники, большое значение приобретают геохимические методы поисков месторождений редких элементов: определение первичных и вторичных ореолов рассеяния, составление металлометрических карт, применение биохимических, гидрохимических и других методов для обнаружения повышенных концентраций редких элементов. Наряду с этим особый интерес вызывает возможность применения нового, минералогического метода, основанного на расчленении гранитоидов по минеральному составу и выделении среди них разновидностей с повышенными концентрациями минералов редких и рудных элементов. Выделение подобных разновидностей позволит более целесообразно вести поиски месторождений редких элементов, связанных с гранитоидами.

Детальное изучение минерального состава гранитоидов выявило присутствие в них таких редких минералов, как уранинит, торит, ураноторит, давидит, браннерит, эвксенит, фергусонит, широколор, колумбит, ксенотим, монацит, циртолит, берилл, сподумен и ряд других. Однако содержание этих минералов в гранитоидах долгое время оставалось невыясненным. Проведенное нами изучение содержаний этих минералов позволило установить, что в зависимости главным образом от петрохимических особенностей гранитоидов они могут присутствовать в них в большем или меньшем количестве. Это важно в том отношении, что пегматиты или гидротермальные жилы, связанные с гранитами, обогащенными тем или иным минералом редких элементов, часто содержат их в еще большем количестве.

Чтобы выделить среди гранитоидов разновидности, характеризующиеся повышенными содержаниями минералов редких элементов, необходимо иметь достаточно точные сведения о наиболее обычных средних содержаниях этих минералов в гранитах. Для этого была разработана специальная методика, предусматривающая правильный отбор проб в поле, их дробление, извлечение из них концентрата акцессорных минералов и последующее определение видового состава и содержания этих минералов в породе в граммах на 1 т (В. В. Ляхович, Д. А. Родионов). Анализ большого количества проб, отобранных и обработанных по единой методике, позволил получить цифры, которые легли в основу при выводе средних содержаний акцессорных минералов в гранитоидах СССР (табл. 1, 2).

Таблица 1. Среднее содержание некоторых акцессорных минералов в биотитовых

Минерал	Дальний Восток (13 проб) *	Восточное Забайкалье (7 проб)	Восточный Саян (8 проб)	Тува (13 проб)	Горный Алтай (9 проб)
Пироклор	0,005	0,57	—	0,10	—
Колумбит	—	—	—	4,50	—
Фергюсонит	0,27	—	—	0,62	—
Эвксенит	—	0,35	0,13	—	10,00
Тантало-ниобаты	0,02	—	0,05	0,39	2,81
Ильменорутил	—	—	0,27	0,01	37,60
Монацит	34,23	99,40	118,92	2,12	16,16
Ксенотим	2,64	1,53	2,34	0,45	7,54
Циркон	100,83	184,84	197,63	153,09	175,40
Ортит	157,43	169,03	30,69	65,21	52,78
Уранинит	—	1,81	0,04	0,002	—
Торит	0,98	0,44	0,04	0,70	—
Сподумен	—	—	0,01	7,13	—
Галенит	0,52	0,08	0,001	0,46	0,61
Сфалерит	0,85	1,48	0,18	0,004	0,16
Халькопирит	0,81	0,42	0,51	0,20	0,01
Молибденит	0,09	0,57	0,23	0,29	0,01
Арсенопирит	0,09	0,51	0,02	—	—
Пирит	375,30	6,80	9,82	1,49	9,74
Магнетит	2560,74	422,50	2276,55	2944,04	5614,23
Ильменит	155,07	639,90	462,02	248,26	2553,96
Сфен	138,71	1395,59	440,56	530,45	352,34
Рутил	0,09	2,15	28,66	1,12	8,12
Вольфрамит	—	0,001	—	—	—
Шеелит	1,47	—	0,001	1,12	—
Касситерит	0,11	0,03	0,001	0,10	—
Флюорит	31,42	1,67	0,18	105,67	42,32
Апатит	18,33	1964,16	135,26	154,90	673,61
Гранат	0,30	6,80	155,27	66,70	2,08
Турмалин	1,45	128,34	8,86	18,83	71,41

* Число проб, на основании которых выведено среднее содержание.

Цифры, приводимые в табл. 1, характеризуют средние содержания акцессорных минералов в биотитовых гранитах. Слагающие их минералы в той или иной степени изменены, однако в рамках обычных для гранитов позднемагматических автометасоматических превращений. Изученные пробы принадлежат гранитам, образование которых считается нормально магматическим, но возраст их различен. В большинстве своем это интрузии герцинского возраста (Тува, Алтай, Урал) и гораздо реже протерозойские или мезозойские (Дальний Восток, Восточный Саян, Северный Кавказ). Существенным недостатком приводимых в табл. 1 цифр является то, что не все районы представлены достаточным количеством проб в соответствии с площадным развитием в их пределах гранитов. Наиболее достоверные в этом отношении цифры получены только для гранитов Урала.

Граниты Дальнего Востока характеризуются повышенными содержаниями акцессорных галенита, сфалерита, шеелита, ортита и пониженными апатита, молибденита, уранинита, сподумена, циркона и турмали-

гранитах из различных районов Советского Союза (в г/т)

Урал (25 проб)	Казахстан (11 проб)	Северный Кавказ (20 проб)	Таджикистан (1 проба)	Среднее содержание в биотитовых гранитах (107 проб)
—	0,0002	—	—	0,05
—	—	—	—	0,55
0,04	—	—	—	0,12
—	—	—	—	0,87
0,72	0,96	—	46,50	0,99
3,10	0,01	—	—	3,21
63,76	29,82	23,66	4,62	43,60
3,20	0,46	0,59	1,23	2,05
53,69	133,53	179,67	148,33	133,71
42,82	82,15	80,44	140,67	70,75
1,15	—	2,07	0,03	0,78
0,52	8,93	0,15	1,06	1,31
—	0,02	—	—	0,90
0,02	0,05	0,22	0,12	0,23
0,09	0,03	0,54	0,02	0,35
0,08	1,62	4,26	0,54	1,18
0,18	0,16	0,78	—	0,30
0,00 ₁	0,05	2,72	0,02	0,56
18,05	8,35	30,38	1,21	58,53
3010,32	7530,92	176,00	0,70	2849,30
424,34	306,46	37,28	—	481,40
822,69	1779,46	122,71	0,29	642,62
14,85	2,01	0,29	—	6,84
0,41	—	0,04	—	0,11
0,02	0,71	0,17	0,02	0,44
—	0,02	0,67	—	0,15
27,44	232,00	15,18	158,26	54,92
446,51	168,58	213,58	14,38	371,48
326,71	8,17	57,73	—	108,34
0,84	0,38	0,02	—	17,77

на. Для гранитов Восточного Забайкалья характерны повышенные содержания ряда иных акцессорных минералов: молибденита, сфалерита, монацита, циркона, ортита, апатита и турмалина. Акцессорные минералы ниобия и тантала в наибольших количествах отмечаются в гранитах Тувы и Горного Алтая, минералы редких земель — в гранитах Восточного Забайкалья, Восточного Саяна и Урала, минералы лития — в гранитах Тувы, минералы тория — в гранитах Казахстана, минералы урана — в гранитах Восточного Забайкалья, Урала и Северного Кавказа. Наиболее часто повышенные содержания акцессорных минералов редких элементов отмечаются в гранитах Восточного Забайкалья. Наиболее бедны минералами Pb, Zn, W и Sn граниты Восточных Саян.

Аналогичным образом было вычислено среднее содержание по 170 пробам акцессорных минералов и в других разновидностях гранитоидов (гранодиориты, лейкократовые граниты и аляскиты) (табл. 2).

Однако, как указывал еще Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, беря за основу химический или минеральный состав породы, мы не можем удовлетво-

Таблица 2. Статистические оценки содержаний некоторых акцессорных минералов

Минерал	Кварцевые диориты-гранодиориты (26 проб)				Граниты биотитовые (107 проб)			
	$\bar{X}, \text{г/т}$	$P, \%$	$V, \%$	$(\bar{X}+S), \frac{\text{г}}{\text{т}}$	$\bar{X}, \text{г/т}$	$P, \%$	$V, \%$	$(\bar{X}+S), \frac{\text{г}}{\text{т}}$
Пироклор	0,02	8	394	0,09	0,05	7	518	0,3
Колумбит	—	—	—	—	0,55	1	1035	6,20
Фергюсонит	0,32	8	487	1,90	0,12	7	544	0,75
Эвксенит	—	—	—	—	0,87	10	633	6,40
Тантало-янобаты	0,16	15	487	0,93	0,99	21	512	6,10
Ильменорутил	0,18	15	393	0,91	3,21	13	745	27,12
Монацит	4,25	42	303	17,15	43,60	72	251	154,32
Ксенотим	0,03	19	337	0,13	2,05	58	297	8,14
Циркон	241,14	100	99	479,10	133,71	100	97	263,68
Ортит	46,60	54	170	125,90	70,75	78	174	193,61
Уранинит	—	—	—	—	0,78	25	413	3,97
Торит	5,24	35	335	22,78	1,31	42	401	6,57
Сподумен	—	—	—	—	0,90	7	949	9,12
Галенит	3,80	46	486	22,30	0,23	51	334	1,0
Сфалерит	5,72	8	510	34,90	0,35	25	358	1,60
Халькопирит	0,12	23	348	0,54	1,18	46	465	6,66
Молибденит	0,62	42	193	1,82	0,30	54	236	1,01
Арсенопирит	0,03	4	510	0,18	0,56	26	462	3,15
Пирит	83,0	96	170	224,40	58,53	90	712	475,35
Магнетит	5498,10	96	175	15100,0	2849,30	92	160	7421,20
Ильменит	376,0	92	199	1123,10	481,40	96	202	1451,70
Сфен	3131,40	100	113	6682,60	624,62	92	236	2156,72
Рутил	4,84	60	347	21,6	6,84	77	572	45,97
Вольфрамит	0,001	4	491	0,004	0,11	9	787	0,92
Шеелит	0,20	27	279	0,76	0,44	20	409	2,23
Касситерит	0,04	12	397	0,20	0,15	21	438	0,81
Флюорит	4,48	73	211	13,50	54,92	81	352	248,01
Апатит	1123,64	100	100	2255,30	371,48	100	181	1042,11
Гранат	8,41	69	216	26,55	108,34	80	645	807,29
Турмалин	5,85	35	237	19,70	17,77	54	411	90,77

ваться установлением наиболее типичных средних значений. Важно установить еще и те границы, в пределах которых могут колебаться те или иные характерные признаки, в данном случае содержания акцессорных минералов. Для определения этих границ наиболее приемлемы методы вариационной статистики, в которой рассеяние случайной величины относительно среднего принято характеризовать дисперсией (S^2). Положительное значение корня квадратного из дисперсии называется средним квадратичным, или стандартным, отклонением (ошибкой, S). Относительная квадратичная ошибка, выраженная в процентах от среднего значения, называется коэффициентом вариации (V). Эти статистические оценки были вычислены и также приведены в табл. 2.

Так, среди биотитовых гранитов представляется возможным выделить цирконовый, ортитовый, монацитовый, ксенотимовый, уранинитовый, торитовый и другие типы гранитоидов в тех случаях, когда содержание этих минералов превысит определенные значения, в данном случае 264, 194, 154, 8, 4 и 6 г/т соответственно (см. табл. 2).

Из данных, помещенных в табл. 2, следует и ряд других выводов.

Граниты лейкократовые (13 проб)				Аляскиты, (20 проб)			
$\bar{X}, \text{г/т}$	$P, \%$	$V, \%$	$(\bar{X}+S), \text{г/т}$	$\bar{X}, \text{г/т}$	$P, \%$	$V, \%$	$(\bar{X}+S), \text{г/т}$
0,2	19	375	0,5	0,01	10	307	0,03
0,12	6	406	0,61	7,91	15	434	42,25
—	—	—	—	2,82	20	350	12,70
1,57	13	313	6,50	0,02	5	447	0,09
0,04	6	399	0,21	1,06	15	266	3,88
44,6	6	400	223,12	29,92	15	444	162,70
23,24	69	150	58,30	15,16	70	253	53,50
1,86	44	270	6,90	0,92	35	380	4,42
40,86	100	142	98,94	157,97	100	121	349,35
25,46	88	179	71,12	16,37	70	188	47,18
2,68	31	393	13,23	0,03	10	408	0,17
1,90	31	287	7,40	4,60	35	339	20,15
—	—	—	—	85,0	15	437	456,30
0,56	44	187	1,60	0,05	30	267	0,17
1,70	38	288	6,63	0,01	5	447	0,03
2,23	75	207	6,85	37,62	40	380	180,60
43,70	75	195	128,90	0,07	45	249	0,24
0,28	31	339	1,23	—	—	—	—
369,04	100	330	1582,0	56,32	95	315	233,70
954,0	94	160	2482,20	2161,0	100	123	4818,10
4111,10	94	147	274,30	178,0	85	266	651,20
160,34	94	187	460,81	68,16	85	350	307,0
1,18	88	230	3,90	27,26	65	266	74,17
—	—	—	—	—	—	—	—
8,90	44	285	34,30	0,15	15	430	0,80
0,005	13	269	0,01	0,46	45	282	1,76
21,48	94	180	60,24	114,03	90	198	339,85
343,42	100	293	1352,18	542,25	100	433	2891,50
212,34	94	321	895,0	414,20	75	247	1433,40
				211,60	40	434	1130,50

Чтобы установить присутствие в породе таких минералов, как пироксен, фергусонит, сфалерит, вольфрамит и другие, характеризующихся малым значением P , т. е. встречающихся редко, крайне спорадически, надо брать больше проб, чем при обычных исследованиях¹.

Для минералов, характеризующихся большим значением коэффициента вариации V , чтобы получить правильные значения их среднего содержания в породе (\bar{X}), также надо брать больше проб, чем при изучении минералов, характеризующихся более равномерным распределением в породе.

Из табл. 2 следует также, что отдельные петрографические разновидности гранитоидов концентрируют различные акцессорные минералы. Так, в гранодиоритах отмечаются максимальные содержания минералов циркония, тория, свинца, цинка, железа и титана, в биотитовых грани-

¹ Для минералов, часто встречающихся и характеризующихся однородным распределением их содержаний в породе, анализ пяти-шести проб позволяет установить близкое к истинному среднее содержание.

тах — минералов редких земель, в лейкократовых гранитах — урана, молибдена и вольфрама, в аляскитах — ниобия, лития и олова.

Однако наибольшее значение данных табл. 2 заключается в том, что они позволяют оценивать граниты в отношении содержания в них того или иного минерала рудного или редкого элемента. Это позволяет выделять гранитоиды, характеризующиеся повышенным содержанием ряда акцессорных минералов и именно в связи с такими гранитами искать россыпные месторождения указанных минералов, а также пегматитовые, грейзеновые или контактово-метасоматические рудопроявления элементов, образующих эти минералы.

■

И. Д. ЦАРОВСКИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКЦЕССОРНОГО ЦИРКОНА ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИИ ДОКЕМБРИЙСКИХ ПОРОД УКРАИНСКОГО ЩИТА

Начиная с 1952 г. нами проводились работы по изучению акцессорного циркона, в результате чего была установлена возможность использования этого минерала для корреляции докембрийских пород Украинского щита. Среди пород Украинского щита, как известно, выделены доплатформенные комплексы архейского и нижнепротерозойского возраста и платформенные комплексы верхнепротерозойского возраста. Полное и последовательное описание докембрийских формаций приводится в опубликованном большом коллективном докладе сотрудников Института геологических наук АН УССР, поэтому здесь мы ограничимся только самыми необходимыми сведениями.

Породы древнего этапа формирования, образованные в условиях подвижной зоны, составляют большую многоформационную группу, в составе которой преимущественно распространены гранитоидные типы. Эти породы и составляют собственно основу кристаллического фундамента. Породы габбро-анортозито-рапакиви-гранитной и сиенито-щелочной формаций платформенного этапа формирования представлены в массивах разломного типа и приурочены к общей дуговой зоне: Волноваха — Смела — Коростень. По отношению к ней массивы приблизительно размещены радиально. Единая система расположения этих массивов и общие петрохимические черты слагающих их пород служат главной предпосылкой для объединения их в одну общую возрастную группу, относящуюся к верхнему протерозою.

ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ ЦИРКОНА

Главные минералогические различия цирконов из пород архейской и нижнепротерозойской подвижной зон и верхнепротерозойских пород платформенного типа приведены в табл. 1.

Количественное преобладание циркона над апатитом исключительно отчетливо выражено в гранитоидах и нефелиновых породах верхнепротерозойского возраста. Во всех без исключения массивах, где представлены такие породы платформенного типа, сохраняется один и тот же порядок содержания акцессорного циркона — 10^{-1} — $10^{-2}\%$. В более древних породах кристаллического основания содержание циркона, как правило, ниже

Таблица 1. Главные минералогические различия цирконов

Породы архейской и нижнепротерозойской подвижной зоны	Породы верхнепротерозойские платформенного типа
1. Количественное преобладание апатита над цирконом	1. Резкое количественное преобладание циркона над апатитом
2. Морфогенетический тип циркона А с призматическими гранями (110) и (100)	2. Морфогенетический тип циркона Б с преимущественным развитием призматической грани (110)
3. Переходная габитусная форма циркона от призматической к укороченнопризматической, но с мерой столбчатости m не ниже 2 (исключение составляют кировоградские гранитоиды)	3. Широкий диапазон изменения облика циркона с мерой столбчатости m выше и ниже (для рапакви) 2, вплоть до появления бипирамидальных форм в щелочных породах
4. Приблизительно постоянное отношение $K/HfO_2 = 2\%$ во всех цирконах, независимо от местонахождения древних пород (исключение составляют кировоградские гранитоиды с K/HfO_2 до 3%)	4. Выраженное смещенное отношение $K/HfO_2 = 0,9 - 5\%$ наблюдается в пределах одного комплекса пород; особенно резко это отношение меняется в породах мегасоматического типа

Сопровождающие признаки

1. Низкая железистость биотита, обуславливающая понижение показателя преломления ($Ng < 1,656$)	1. Высокая железистость биотита ($Ng > 1,656$) в гранитоидных породах и высокая железистость амфибола в щелочных породах (железистый гаггинсит)
2. Акцессорный апатит с $Nm < 1,640$	2. Акцессорный апатит с $Nm = 1,640$ и выше (повышенное содержание гидроксильной группы)

$$* K/HfO_2 = \frac{HfO_2}{ZrO_2 + HfO_2} \cdot 100\%$$

и не выходит за пределы 10⁻³%. Этим вполне оправдано отнесение верхнепротерозойской группы пород нормального состава к цирконовому типу; подтверждается существование связи между петрохимическим составом и типом акцессорной минерализации, установленной в других регионах (А. В. Рабинович, М. И. Куровец). Характерно, что в качестве сопутствующих акцессорному циркону в докембрийских породах Украины установлены акцессорные ториево-редкоземельные минералы. По морфологическим различиям цирконы отнесены к типам А и Б в соответствии с их принадлежностью к двум разным группам докембрийских пород: подвижной зоны и платформы (рис. 1, 2). Существуют многочисленные указания на возможности использования акцессорного циркона для корреляций пород (С. Д. Туровский).

Наши данные также свидетельствуют о том, что морфогенетические различия у цирконов из пород резко различного возраста выражены исключительно отчетливо. Для наиболее древних пород подвижной зоны характерно постоянное присутствие граней призмы второго рода (100), которые вытесняют иногда полностью призматические грани (110). Другие дополнительные грани в этом типе циркона (А) менее четко выражены, и под бинокулярном не всегда удается определить их символы. В некоторых случаях можно установить пирамидальные грани (221), иногда (311) и некоторые другие. Но в большинстве случаев эти дополнительные грани вследствие закругленности ребер между (111) и (110) не поддаются определению.

Как правило, с более молодыми докембрийскими породами Украинского щита (сиенитовый и коростенский комплексы) связаны цирконы с минимальным количеством граней (110) и (111) (тип Б). Субщелочные калиевые сиенито-гранитоиды, как и собственно щелочные породы — нефелиновые сиениты Приазовья и Среднего Приднепровья, содержат циркон, кристаллы которого характеризуются преимущественным развитием

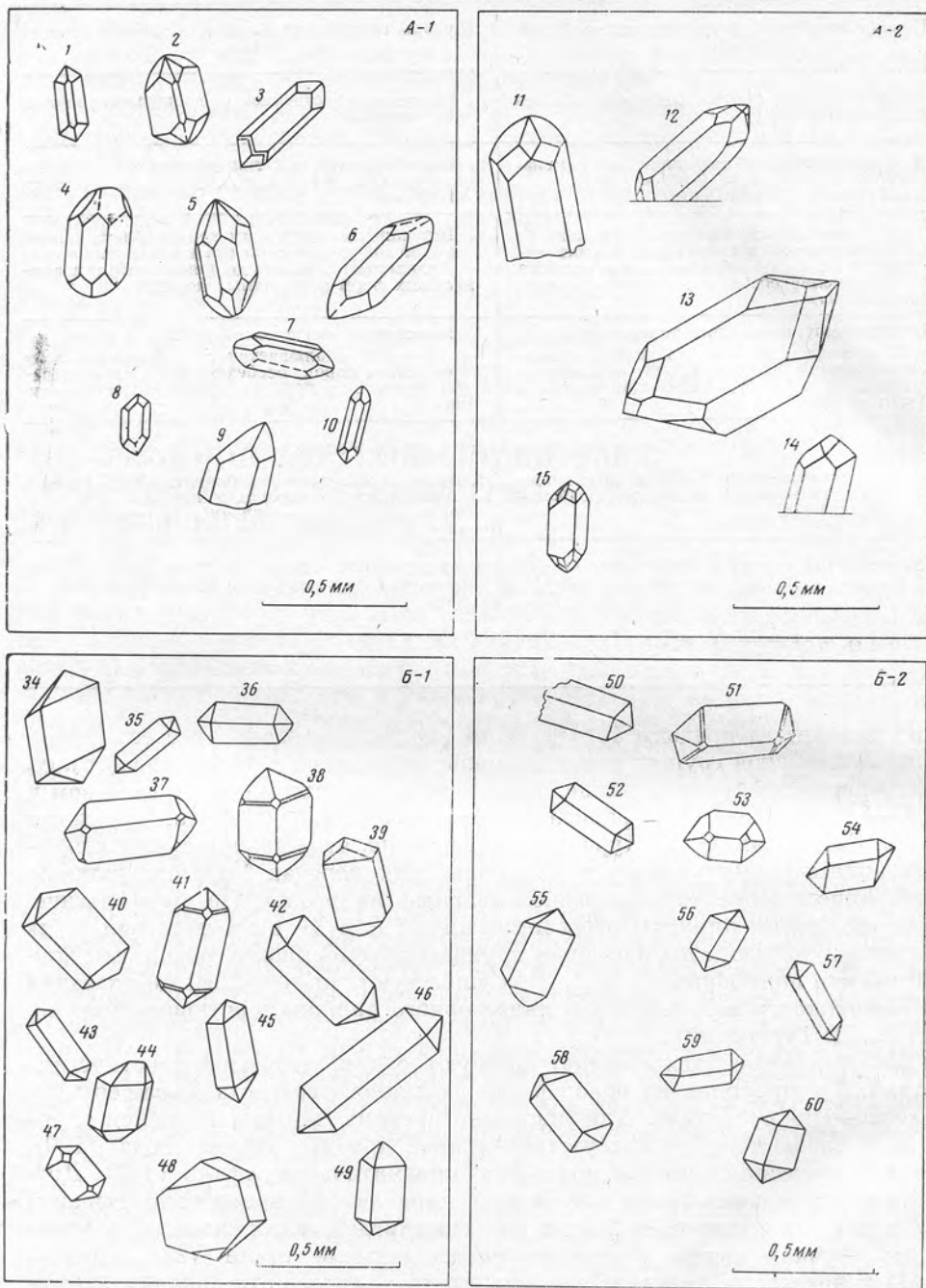
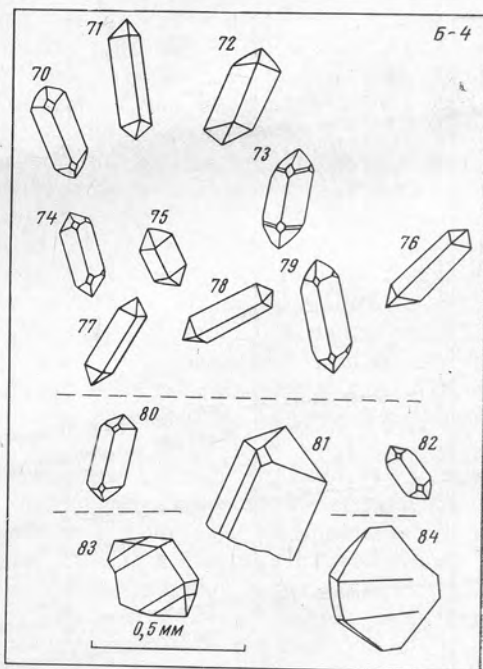
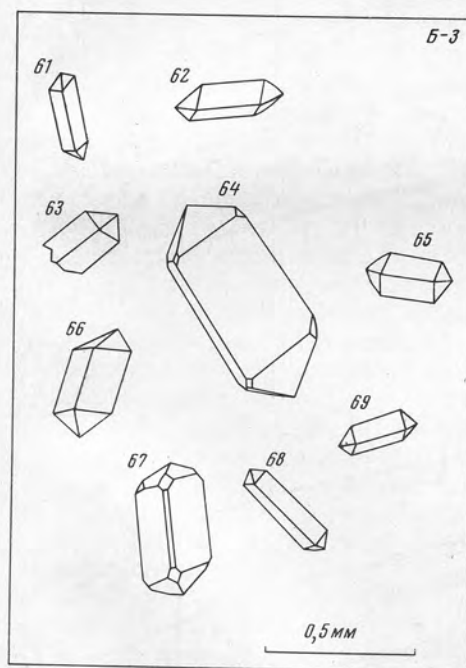
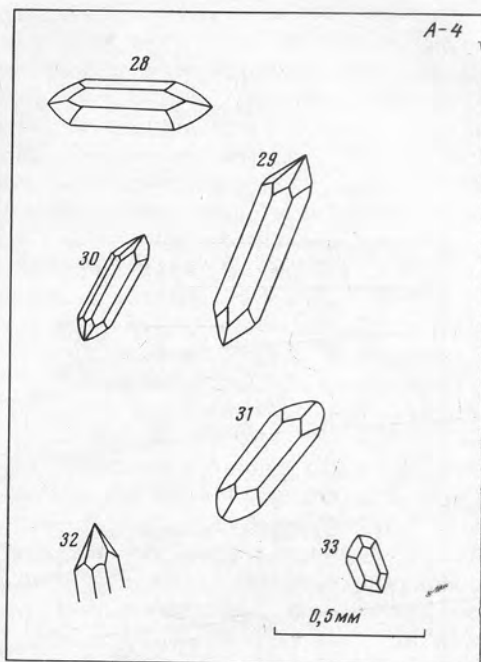
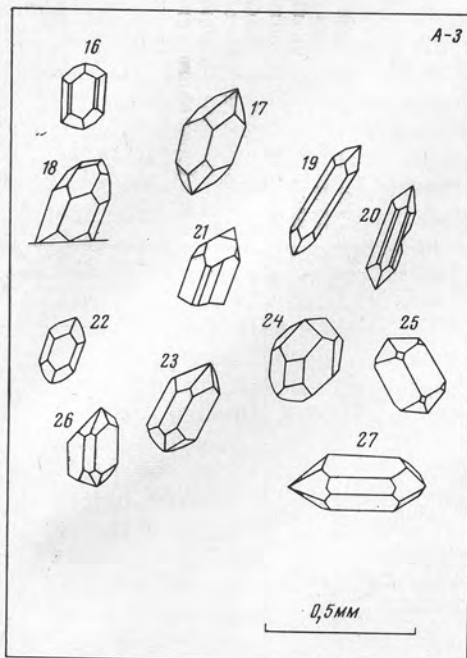


Рис. 1. Морфогенетические типы акцессорного циркона Украинского щита (верхний ряд — циркон А в породах кристаллического основания, нижний ряд — циркон Б в породах платформенного типа)

A-1 — из группы гранодиоритов; A-2 — из побужеской группы пород; A-3 — из житомирско-



уманско-тобовской группы пород; А-4 — из пород кировоградского типа; Б-1 — из пород Коростенского массива; Б-2 — из пород Корсунь-Новомиргородского массива; Б-3 — из пород Ингуло-Ингулецкого водораздела; Б-4 — из пород массивов сленитового комплекса Призовья

граней (110), что противоречит выводам В. В. Ляховича. Есть основания полагать, что во всех глубинных верхнепротерозойских породах Украинского щита типичен циркон именно такого вида. Исключение составляют цирконы из гранит-пегматитов, генетически ассоциирующиеся с биотит-роговообманковыми гранитоидами р. Кальмиус (цирконы 87—89 на рис. 3). Эти пегматиты характеризуются наличием в их ядрах крупных кварцевых штокообразных выделений. По-видимому, в рассмотренном случае преимущественное развитие призматических граней (100) обусловлено влиянием повышенного содержания кремнекислоты в пегматитах, не свойственного материнским породам сиенитового комплекса.

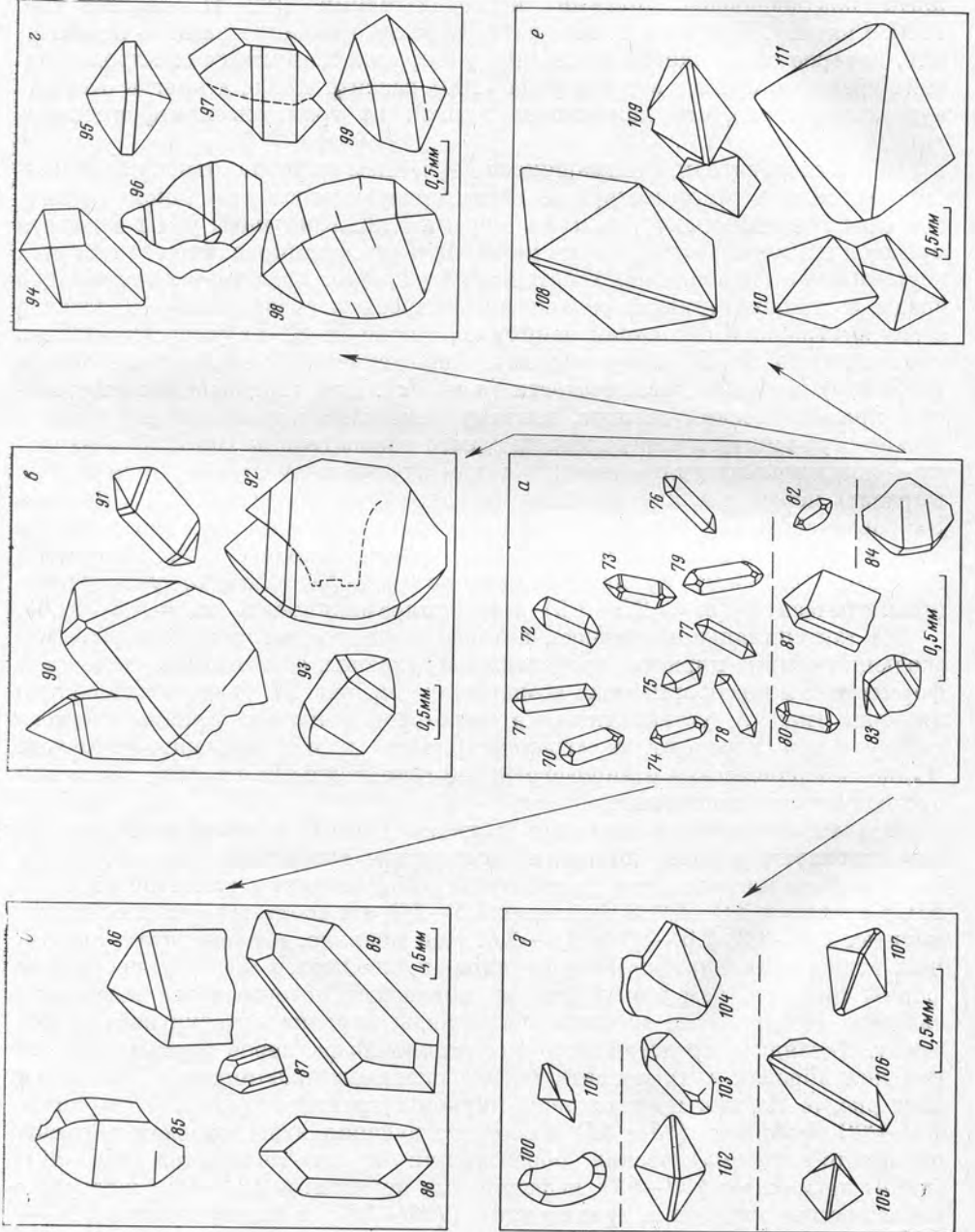
Рассмотренные морфогенетические различия циркона Украинского щита подтверждены другими исследователями (О. И. Матковский, Г. М. Гнатив). При этом Г. М. Гнатив обратил внимание на одно исключение, которое заключается в том, что у циркона из архейских кировоградских гранитов призма второго рода (100) развита слабо, а иногда отсутствует совершенно, что напоминает циркон из гранитов платформенного типа.

Все исследователи, занимавшиеся изучением циркона, отмечают изменчивость облика этого минерала, характеризующегося различной вытянутостью по вертикальной оси. В свое время Е. Е. Костылева указывала, что примеси в цирконе мало влияют на облик и что формирование его габитуса обуславливается влиянием генетических условий, химизмом окружающей среды и температурными условиями. Вопросами связи облика кристалла с его внутренним строением занимался также Н. К. Разумовский. Облик кристалла, по Н. К. Разумовскому, определяется мерой столбчатости ($m = a/b$) и мерой пластинчатости ($n = b/c$). Для циркона типичен столбчато-призматический габитус, поэтому при характеристике его облика можно ограничиться определением одного показателя m (по В. В. Ляховичу — коэффициент удлинения). В таком случае меру столбчатости можно выразить через $\operatorname{tg} \alpha$, как это было сделано в свое время В. В. Долово-Добровольским для берилла. При этом представляется возможным выделить на графике следующие габитусные формы циркона: 1) тонкопризматическую ($m > 5,0$), 2) призматическую ($m = 5,0-2,5$), 3) укороченно-призматическую ($m = 2,5-1,5$) и 4) бипирамидальную ($m = 1,5-0,66$).

На тангенциальном графике, который является наглядным выражением эволюции облика циркона, представлены цирконы, образованные в доплатформенных и платформенных комплексах (см. рис. 2). В эволюции облика циркона типа А устанавливается некоторое усиление призматического габитуса при переходе от «гранодиоритов» к житомирским гранитам. Чудново-бердичевские и кировоградские гранитоиды на графике занимают промежуточное положение.

В платформенных комплексах цирконы типа Б (правая часть рис. 2) характеризуются более широким диапазоном изменения облика. Так, в Октябрьском массиве мера столбчатости m составляет в гранитоидах 3,0—5,0, в сиенитах 3,0—4,0, в фойяитах 1,5—2,0, а в соответствующих им пегматитах 2,0—3,0; 2,0—2,8 и 1,5—2,0. Как правило, в пегматитах, связанных с породами платформенного типа, наблюдаются более укороченные формы циркона, чем в материнских породах, с которыми эти пегматиты связаны. Но при этом абсолютные размеры циркона в пегматитах возрастают. Наглядное представление о соотношении размеров циркона в материнских породах и их пегматитах для сиенитового комплекса Приазовья дает рис. 3. На нем представлены цирконы гранитов (71—79), сиенитов (80—82), фойяитов (83 и 84) и соответствующие этим породам цирконы пегматито-метасоматических образований: гранит-пегматитов (85—89), сиенит-пегматитов [90—93], нефелиновых пегматитов (94—99), щелочных метасоматических зон в гранитоидах (100—104) и мариуполитов (108—111).

Рис. 3. Морфология и соотношение размеров циркона материнских пород (а) и соответствующих им гранит-пегматитов (б), сиенит-пегматитов (в), нефелиновых пегматитов (г), зон оплечивания грантоидов (д) и марипулитов (е)



Диапазон изменения меры столбчатости циркона рапакиви совмещает в себе данные, отвечающие гранитоидным и пегматитовым разновидностям: *ст* 4,0—1,5 и ниже (см. рис. 2). На этом основании можно считать, что в рапакиви представлен циркон двух генераций.

Особое значение придается содержанию изоморфных примесей в цирконе как коррелятивному признаку. Есть основания полагать, что изменение отношения $\text{Hf} : \text{Zr}$ в цирконах связано с различием геолого-генетических условий их образования.

Нормальное (несмещенное) отношение $\text{Hf} : \text{Zr}$ устанавливается исключительно в гранитоидных породах кристаллического основания архейского возраста. Такое утверждение основано на результатах определения содержания гафния в древних породах Украинского щита (табл. 2).

Оказывается, что гранитоидные породы анатектического типа, которые господствуют в Украинском щите, отличаются достаточно постоянным отношением $\text{Hf} : \text{Zr} \approx 2\%$. Не исключено, что это отношение, остающееся несмещенным, исходное и связано с унаследованием циркона из наиболее древних осадочных пород; оно соответствует принятому Г. Гевеши среднему для литосферы $\text{Hf} : \text{Zr} = 1,50$.

Появление другого, дифференциального, типа отношения $\text{Hf} : \text{Zr}$ устанавливается для сравнительно более юных пород и, по-видимому, обусловлено внесением с течением времени усложнений в первоначальную простую схему отношения трудноразделяемой пары $\text{Hf} - \text{Zr}$.

Таблица 2. Содержание HfO_2 в аксессуарном цирконе древних пород кристаллического основания (архей)

Порода	Место взятия образца	Тип циркона	Габуитусный индекс (<i>m</i>)	K HfO_2 , %
Собиты	Карьер с. Жаданы	А	2,40—3,50	2,00
Гранодиориты	Высокая печь	»		2,00
	Судилковский карьер (у ст. Шепетовка)	»	1,50—3,20 (с отклонением до 4,5)	2,09
	Карьер Савро	»	2,00—3,50 (с отклонением 1,70—4,50)	2,24
Чуднов-Бердичевские гранитоиды	Балка Демурина	»	2,50—3,75	2,09
	Крюковский карьер	»	2,0—3,70	2,04
	Чудновский карьер	»	2,40—4,40	2,00
	С. Трояны	»	2,00—4,00	2,09
	Бердичев (карьер «Писки»)	»	2,00—5,50 (с отклонением 1,8—7,6)	2,19
Серые мелкозернистые гранитоиды	Салтычья могила	»	2,7—5,00	2,09
	Р. Случь	»	2,5—3,7	2,04
	С. Старые Бабаны	»	1,80—4,60	2,16
Мигматиты	Гнивайские карьеры	»	—	1,90
	Сабарово	»	1,35—3,0	2,06
	Р Каменка (у с. Екатериновки)	»	—	2,02
	Карьер у с. Субботцы	»	2,40—4,0	2,24

Среднее 2,08

Таблица 3. Содержание HfO_2 в аксессуарном цирконе пород платформенного типа (верхний протерозой)

Характеристика	Северо-западная часть Украинского щита		Средняя часть Украинского щита		Юго-восточная часть Украинского щита	
	рапакиви Коростенского массива	гранитоиды малых интрузий	рапакиви Корсунь-Новомиргородского массива	гранитоиды Ингуло-Ингулецкого водораздела	гранито-сиениты	нефелиновые сиениты
K_{HfO_2}	0,90—2,30	3,10—4,60	1,06—1,96	1,60—2,10	0,62—1,12	1,48—1,68
Средняя относительная гафниеносность *	0,86	1,43	0,70	0,91	0,55	0,76

* За единицу принято содержание гафния в цирконах архейских пород, отличающееся постоянным $K_{\text{HfO}_2} = 2,0\%$ ($\text{Hf} : \text{Zr} = 1 : 50$).

В табл. 3 приводятся обобщенные данные, характеризующие изменения соотношения $\text{Hf} : \text{Zr}$ в цирконах платформенного типа.

Вполне отчетливо прослеживается восходящая линия $\text{Hf} : \text{Zr}$ при магматической кристаллизации. Изменение в содержании гафния зависит при этом от степени глубинного расчленения пород, малые интрузивы, образованные позже, отличаются некоторым повышением содержания гафния. Однако последующее формирование нового комплекса пород влечет за собой появление циркона с более низким содержанием гафния. Так, в сиенитовом комплексе Приазовья соотношение $\text{Hf} : \text{Zr}$ составляет почти половину отношения, установленного для литосферы. Но и в последнем случае сохраняется общая зависимость $\text{Hf} : \text{Zr}$ от степени дифференцированности пород, что следует из сравнения средней относительной гафниеносности гранито-сиенитов с крайним дифференциатом сиенитового комплекса — нефелиновыми сиенитами (см. табл. 3).

С формированием пегматитов обычно связано увеличение отношения $\text{Hf} : \text{Zr}$, что обусловлено относительно возросшей подвижностью Zr и частичным его выносом в экзоконтактные зоны. При этом цирконы, которые формируются в пегматите, несколько обогащаются гафнием. В зависимости от кислотно-щелочного состояния растворов естественная богатимость цирконов гафнием иногда может быть значительной. Но, как правило, пегматиты, залегающие в материнских породах, отличаются лишь небольшим относительным увеличением содержания гафния (табл. 4).

Однако наиболее резко проявляется перераспределение в отношении $\text{Hf} : \text{Zr}$ в метасоматических породах. При явлениях кремнекислого замещения (типа грейзенизации) это отношение заметно возрастает, а при щелочном замещении (альбитизация) может падать весьма значительно.

Таблица 4. Сравнительное изменение содержания HfO_2 в аксессуарных цирконах материнских пород и залегающих среди них пегматитов

Порода	K_{HfO_2} , %	Порода	K_{HfO_2} , %
Рапакиви (приконтактной зоны)	0,90	Гранит-пегматит (приконтактной зоны)	1,34
Гранито-сиениты	0,90—1,75	Гранит-пегматит (центральной части массива)	2,20 и более
Фойяиты	1,60	Нефелиновый пегматит	1,75

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИЗУЧЕНИЯ АКЦЕССОРНЫХ ОКИСНЫХ ЖЕЛЕЗО-ТИТАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ В ИЗВЕРЖЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Окисные железо-титановые минералы в изверженных горных породах всегда акцессорные. Состав и свойства самих минералов, а также условия равновесия в системе железо — титан — кислород в последние 10—15 лет детально изучены рядом исследователей как путем экспериментов, так и в природных рудах и породах (А. Ф. Баддингтон, Рамдор).

Заметим, что количественные соотношения и состав акцессорных железо-титановых минералов определяются валовым химическим составом изверженных горных пород, степенью окисления железа и титана, характеризующей окислительный потенциал системы, и температурой формирования, определяющей состав взаимно насыщенных твердых растворов: ильменита и ульвошпинели в магнетите, магнетита и гематита в ильмените. Влияние степени окисления на состав сосуществующих окисных железо-титановых минералов показано на рис. 1. В зависимости от степени окисления окисные железо-титановые минералы образуют ряд минеральных ассоциаций.

В изверженных горных породах встречаются первые четыре ассоциации, причем третья ассоциация наиболее распространена. Остальные возникают только при метаморфизме. На Урале вторая ассоциация известна среди габбро-диабазов различного возраста, содержащих богатый титаном акцессорный и рудный магнетит (В. Г. Фоминых).

Степень окисления влияет не только на состав окисных железо-титановых минералов, но и на их количественные соотношения с железо-магнезиальными силикатами. Поэтому при одном и том же содержании железа и титана в породе количества магнетита и ильменита могут сильно различаться. Чем выше степень окисления железа, тем больше доля его и титана в рудной, а не в силикатной форме. По-видимому, этим обстоятельством объясняются значительные различия в содержании магнетита и ильменита между аналогичными по составу гранитами и гранитоидами базальтоидного и сиалического происхождения (рис. 2), отмеченные нами на Урале (Д. С. Штейнберг, В. Г. Фоминых) и В. А. Вахрушевым в Алтае-Саянской области, хотя валовое содержание титана и железа в тех и других очень близко.

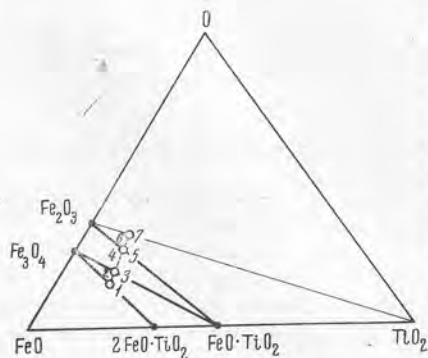


Рис. 1. Минеральные ассоциации в системе Fe — Ti — O в зависимости от степени окисления (по А. Ф. Баддингтону)

1 — магнетит — ульвошпинель (только в виде твердых растворов и структур распада); 2 — магнетит — ульвошпинель (вростки и раствор) — ильменит (вростки и самостоятельные зерна); 3 — магнетит — ильменит (вростки и самостоятельные зерна); 4 — магнетит с вростками ильменита (ильменомагнетит) и ферриильменит (ильменит с растворенным гематитом в количестве свыше 6%) с вростками титаногематита; 5 — титансодержащий гематит (с растворенным ильменитом или с вростками феррильменита — титаногематит или ильменогематит) и ферриильменит (однородный или с вростками титаногематита); 6 — гематит — ильменит — рутил; 7 — гематит и рутилогематит — рутил

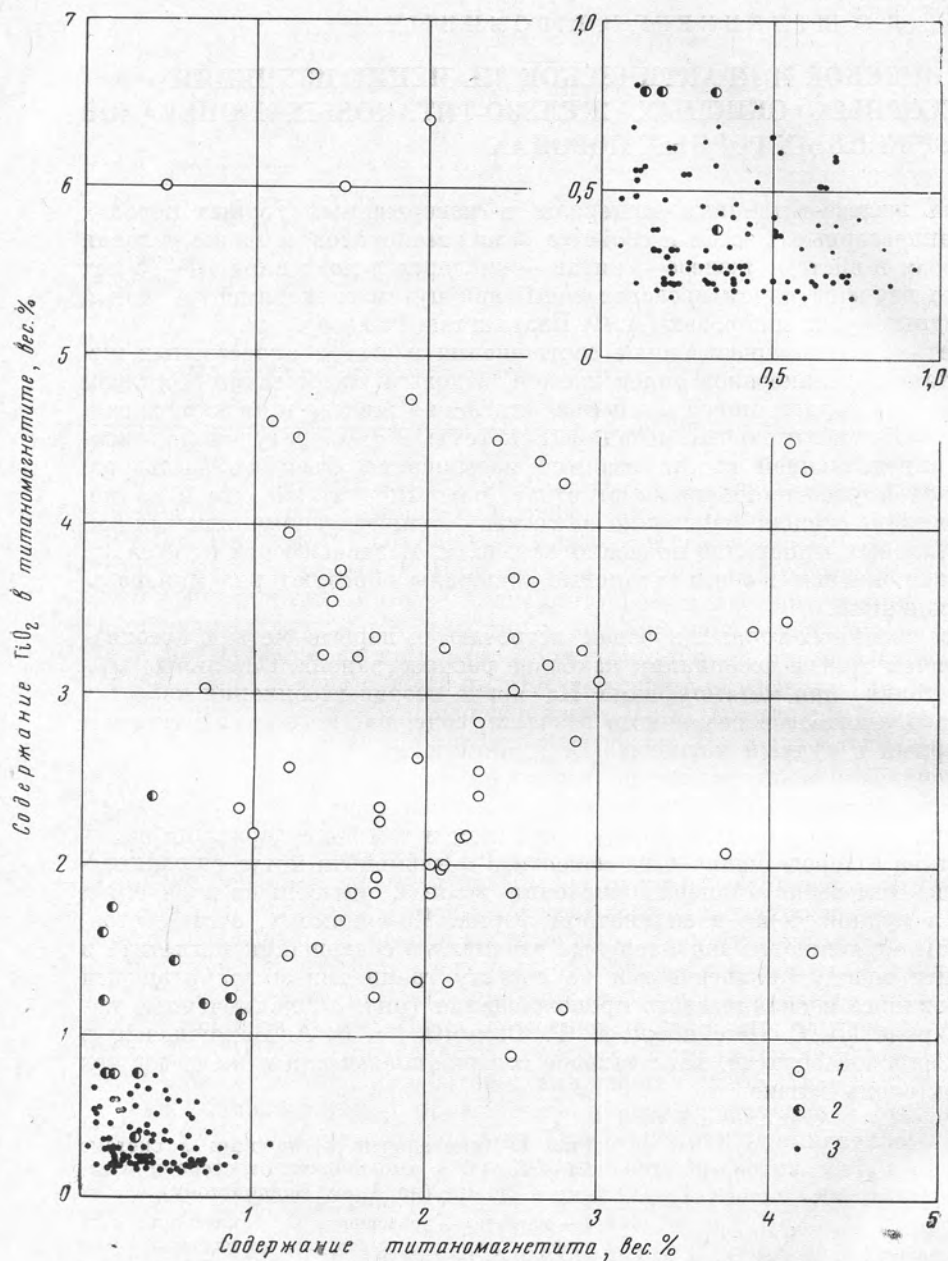


Рис. 2. Диаграмма зависимости содержания TiO_2 в титаномагнетитах и магнетитах от содержания их в гранитоидах и сиенитах Урала

1 — базальтоидные гранитоиды и сиениты калиевого ряда; 2 — базальтоидные гранитоиды натриевого ряда; 3 — гранитоиды и сиениты сиалического происхождения

Можно предположить, что граниты и гранитоиды гранитного ряда формируются в более восстановительной обстановке, чем аналогичные по составу породы базальтоидного происхождения. Это подтверждается и низким содержанием окисного железа в биотитах эндоконтактных ореолов гранитов, в биотитах самих гранитов и повышенной степенью окисления железа в биотитах из интрузивных горных пород габброидного происхождения и из вкрапленников эффузивов, производных базальтовой магмы. Таким образом, различия в составе и содержании окисных железо-титановых минералов в гранитах и гранитоидах базальтоидного и сиалического происхождения прежде всего объясняются не различием химического состава расплавов, а различиями в условиях формирования. Это хорошо согласуется с приуроченностью к первым железорудным контактовым месторождениям и с непродуктивностью, как правило, или слабой продуктивностью вторых (Л. М. Овчинников, Д. С. Штейнберг).

Характерно, что и среди базальтоидных гранитоидов наибольшей степенью окисления железа обладают наиболее продуктивные богатые калием разности, в то время как натриевые (плагιοграниты, кварцевые диориты и др.) непродуктивны в этом отношении, содержат пониженное количество магнетита, хотя и большее, чем сиалические граниты (Е. Б. Знаменский, В. Г. Фоминых). Поэтому продуктивность гранитоидов в отношении контактово-метасоматических железорудных месторождений, по-видимому, связана не только с их происхождением за счет дифференциации базальтовой магмы или за счет селективного плавления сиала, сколько с условиями их формирования, а именно с режимом кислорода.

Дальнейшие исследования в этом направлении, безусловно, представляют большой интерес. Задачей этих исследований должно стать изучение распределения железа и титана между различными железо-магнезиальными силикатами, титаномагнетитом и ильменитом в различных типах изверженных горных пород как функции условий формирования и общего химического состава пород. Интересны в этом отношении данные для нормальных гранитов, опубликованные Л. В. Дмитриевым и Е. Б. Знаменским, показавшие, что главная часть титана присутствует в них в силикатной форме. Изменение режима кислорода может вызвать существенные и весьма разнообразные метаморфические преобразования железо-титановых окисных минералов в соответствии с диаграммой (см. рис. 1). Различные процессы изменения титаномагнетита при метаморфизме описаны П. Рамдором, П. Я. Ярошем, Ю. А. Соколовым и другими исследователями.

Условия формирования влияют на распределение железа и титана между окисными акцессорными минералами и железисто-магнезиальными силикатами не только в гранитоидах, но в еще большей степени и в основных горных породах — интрузивных и эффузивных. Это можно видеть из данных распределения титана и железа в различных частях верхнетурнейского базальтового потока мощностью 8 м из района Магнитогорска на Южном Урале (см. таблицу).

Пробы 3 и 10 взяты из верхней части потока, пробы 27 и 30 — из нижней, в некотором удалении от лежащего бока.

$FeO' = FeO + 0,9Fe_2O_3$ (общее железо в пересчете на закись). Титан и железо определены в химической лаборатории Института геологии УФАН СССР Л. И. Меттих.

Обращает на себя внимание постоянство содержаний железа и титана при значительном различии в содержании ильменита. По наблюдениям Т. А. Смирновой, в хорошо раскристаллизованных долеритовых разностях из других тел пироксен в проходящем свете имеет коричневую окраску, обусловленную примесью титана, в стекловатых разностях хорошо индивидуализированные зерна пироксена бесцветны, дендритовидные окрашены в коричневый цвет.

Несомненно, что в верхней части потока титан в значительной степени входит в силикатной форме в состав хлорита, возникшего на месте стекла, и поэтому ильменит почти отсутствует. В долеритовых разностях титан входит в состав авгита. Таким образом, несомненно, что при одинаковом содержании в базальтах и долеритах титана и железа распреде-

Таблица. Распределение FeO' , TiO_2 титаномагнетита и ильменита в базальтовом потоке (вес. %)

№ пробы	FeO'	TiO_2	Титано-магнетит	Ильменит
3	12,1	3,3	5,1	0,4
19	12,0	3,6	2,2	0,2
27	12,0	3,2	3,2	3,8
30	12,1	3,3	2,0	3,8

ление их между отдельными фазами может быть резко различным. В частности, может сильно колебаться и содержание титана в пироксене. Поэтому по содержанию ильменита не всегда можно судить о содержании титана в эффузивах базальтового состава.

Впервые Рамдор, а впоследствии более детально ряд других авторов показали, что состав твердых растворов в этой системе, насыщенных в момент формирования, может быть использован как геологический термометр (А. Ф. Баддингтон и др., рис. 3). Наибольшее значение в этом отно-

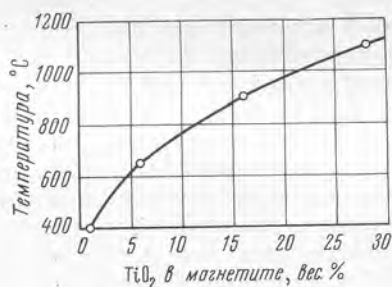


Рис. 3. Содержание двуокиси титана в магнетите (равновесном с ильменитом) как функция температуры (по А. Ф. Баддингтону)

шении имеют твердые растворы ильменита и ульвошпинели в магнетите и продукты их распада. Поэтому содержание титана в акцессорном магнетите имеет важное значение.

А. Ф. Баддингтоном и другими исследователями было подмечено, что особенно богат титаном магнетит базальтов (содержание TiO_2 в нем 20—30%), в интрузивных фациях базальтов — долеритах и габбро-диабаз — содержание двуокиси титана в магнетите заметно ниже и колеблется от 10 до 20%; в габбро и пироксенитах, связанных с ними, содержание TiO_2 в магнетите еще ниже и близко к 5%. Аналогичные данные получены нами на уральском материале (В. Г. Фоминых, Д. С. Штейнберг). Указанные различия свидетельствуют о различных температурах кристаллизации титаномагнетита в изверженных породах базальтового состава, образовавшихся на различных глубинах. Это можно объяснить только понижением температуры кристаллизации под влиянием летучих (главным образом воды), концентрация которых неизбежно прямо связана с внешним давлением, увеличивающимся с глубиной. Содержание титана в магнетите, которое легко определяется путем химических анализов магнитных фракций, может быть, по-видимому, использовано для выделения фаций глубинности изверженных горных пород базальтового состава.

В ходе кристаллизации природных силикатных расплавов содержание титана в магнетите понижается в соответствии с понижением температуры его формирования. Эта закономерность, несомненно, сохраняется и в типичных постмагматических процессах. Так, в единой, по нашим представлениям, серии магнетитовых месторождений Урала, включающей, с одной стороны, типичные так называемые магматические титаномагнетитовые месторождения Урала, с другой — не менее типичные контактово-метасоматические, содержание двуокиси титана в магнетите падает постепенно от 6—8% до следов. В этом отношении магнетит рудных концентраций ведет себя так же, как аксессуарный (Д. С. Штейнберг, В. Г. Фоминных). Параллельно падает содержание в магнетите и трехоксида ванадия от 1,5% до следов (рис. 4). Таким образом, содержание титана в магнетите имеет исключительно большое генетическое значение.

Нередко аксессуарный титаномагнетит изверженных горных пород имеет зональное строение: ядро богаче титаном, чем периферия. Аналогичные явления наблюдаются и на Урале. Это может быть связано как с длительным периодом магматической кристаллизации, так и с наложением более низкотемпературного постмагматического метасоматического титаномагнетита. В этом случае содержание титана в магнетите может быть использовано для расчленения магматической и послемагматической генераций магнетита.

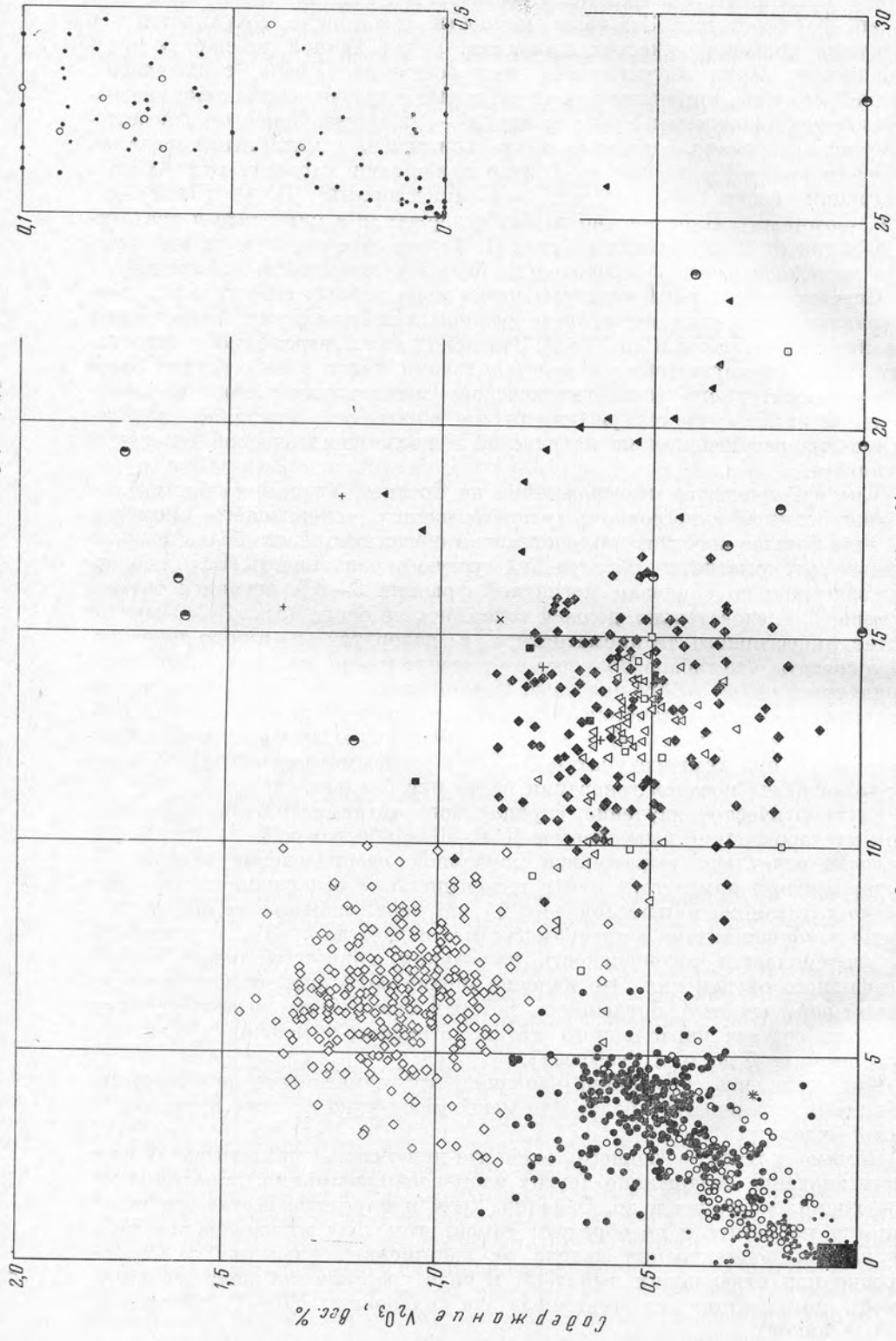
Так, в Волковском месторождении на Среднем Урале в габбро наблюдаются реликты аксессуарного титаномагнетита, содержащего примерно в 2 раза больше вростков ильменита, чем обрастающий его более поздний рудный титаномагнетит, образующий густую вкрапленность. Если последний содержит по анализам магнитной фракции 6—8% двуокиси титана, то первый, следовательно, должен содержать ее около 15%. Это обычный состав аксессуарного титаномагнетита в долеритах и габбро-диабазов. Надо сказать, что габбро Волковского массива имеют типичную офитовую структуру и облик габбро-диабазов. Несомненно, что в Волковском месторождении имеется титаномагнетит двух генераций: ранней магматогенной (позднемагматическая) и поздней более низкотемпературной (образовавшаяся при температурах 600—800°) метасоматической. По объему титаномагнетит поздней генерации резко преобладает.

Систематическое изучение вкрапленного титаномагнетита в Волковском месторождении, выполненное Д. С. Штейнбергом и М. В. Ереминой, показало отчетливо выраженное зональное распределение титана. На месторождении намечается центр с повышенным содержанием двуокиси титана в титаномагнетите (около 8%), по мере удаления от него содержание двуокиси титана в титаномагнетите падает до 2—3%; одновременно увеличивается интенсивность наложения гидротермального медно-сульфидного оруденения. Это явление можно объяснить только температурной зональностью оруденения, которая очень четко выделяется при изучении состава вкрапленного титаномагнетита, содержание которого колеблется от 5 до 20% (весовых).

Интересно, что содержание ванадия в титаномагнетите не обнаруживает этой зональности и более или менее постоянно на всем протяжении месторождения.

Помимо титана — главного элемента-примеси, в магнетитах может иметь значение содержание других элементов: алюминия, ванадия, магния, хрома, марганца и др. Ванадий, хром и марганец всегда входят в решетку магнетита и не образуют самостоятельных минералов-вростков, так как их концентрация далека от насыщения. Алюминий и магний нередко при охлаждении выпадают в виде вростков шпинели, варьирующей по составу от герцинита до плеонаста (В. Г. Фоминных, Б. А. Юников).

Содержание ванадия в аксессуарном магнетите интрузивных пород



ряда гранит — диорит — габбро находится в прямой зависимости от содержания титана (см. рис. 4). В то же время в основных породах ряда габбро — диабаз — долерит, в которых титаномагнетит богат титаном, содержание ванадия в нем колеблется в очень широких пределах, снижаясь вплоть до следов. В интрузии Скаергард содержание ванадия в титаномагнетите снижается от 1,6% в нижних горизонтах, представляющих ранние стадии кристаллизации, до следов в верхних, сложенных продуктами кристаллизации последних стадий. Таким образом, прямая зависимость между содержанием титана и ванадия выдерживается далеко не всегда. Это отчетливо видно и на Урале (волковское габбро и копанские габбро-диабазы). Ванадий — гораздо более чувствительный показатель условий и стадий кристаллизации, чем титан.

Аналогично ванадию ведет себя и хром, содержание которого колеблется очень значительно, хотя и измеряется большей частью сотыми, реже десятными долями процента. Намечается повышенное содержание этого элемента в некоторых габбро-диабазях западного склона Урала. Но данных по содержанию хрома в титаномагнетитах изверженных пород Урала очень мало. Очень мало данных и по другим элементам-примесям (NiO, CoO, MnO и др.), поэтому одной из главных задач в изучении окисных железо-титановых минералов, в частности титаномагнетитов и магнетитов, является получение систематических данных по их составу.

Генетическое значение имеет внутренняя структура титаномагнетита: при быстром охлаждении акцессорный титаномагнетит сохраняет первично-однородную структуру. Такой титаномагнетит, как установлено Рамдором, отличается под микроскопом своими свойствами (красноватая окраска, устойчивость к травлению). Точка Кюри у такого магнетита на несколько сот градусов ниже, чем у нормального магнетита (585°) и при высоком содержании титана может быть близкой к нормальной температуре (Чевальер, Вольф, Мати). Таким образом, по магнитным свойствам можно отличать закаленные кайнотипные породы с однородным титаномагнетитом от палеотипных, в которых титаномагнетит превращен в агрегат тонких сростаний магнетита с ильменитом и ульвошинелью.

Рис. 4. Содержание титана и ванадия в магнетитах различных типов

Магнетит в изверженных породах базальтоидного ряда (производных базальтовой магмы): 1 — в базальтах; 2 — в основных породах Скаергардской интрузии и Бушвельдского комплекса (Винцент, Филипп); 3 — в габбро-диабазях Копанского массива (Южный Урал) и западного склона Урала; 4 — в габбро-диабазях Пудожгорского месторождения (Северная Карелия); 5 — в габбро-диабазях Таберга (Швеция); 6 — в габбро-диабазях Малого Куйбаса (Южный Урал); 7 — в траппах Сибирской платформы; 8 — в габбро-диабазях США и Канады (В. А. Унковская); 9 — в габбро Волковского месторождения (Средний Урал); 10—11 — в пироксенитах, горнблендитах и габбро платиноносного пояса Урала (10 — Качканарский тип: Качканарский, Тагальский и Ревдинский массивы; 11 — Баяновский тип: Кумбинский и Баранчинский массивы); магнетит в боковых породах, связанный с интрузиями базальтоидного ряда (контактово-метасоматический): 12 — связанный с габбро (Копанский массив); 13 — связанный с сиенитами и гранитоидами базальтоидного ряда (магнетит контактово-метасоматических месторождений железа: Оеокня-Александровское, Естюнинское, Качкарское, Гороблагодатское и др.)

ВРЕМЯ И УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗВЕРЖЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Рассматриваемый вопрос уже давно привлекает внимание исследователей (И. Д. Батиева, И. В. Бельков, Л. Р. Вагер, Р. Л. Митгелл, У. Х. Гросс, А. П. Никольский, С. Д. Туровский и многие другие). Весьма часто высказываемые предположения и взгляды малообоснованы фактическим материалом или базируются на частных нетипичных случаях.

Анализ литературных сведений был произведен С. Д. Туровским. Мы отметим лишь некоторые результативные положения его анализа.

1. Подавляющее большинство акцессорных минералов выделяется очень поздно, в завершающие стадии кристаллизации магмы и формирования изверженных пород.

2. Большая роль в образовании ведущих акцессорных минералов принадлежит реакционным взаимодействиям остаточных расплавов с ранее выделившимися пороодообразующими компонентами. При этом взаимодействии освобождаются некоторые необходимые для образования акцессориев петрогенные элементы.

3. Остаточные расплавы, из которых происходит кристаллизация основной массы акцессориев, по физико-химическому состоянию являются или флюидами, насыщенными газообразными компонентами, или даже водно-жидкими растворами.

В настоящее время достаточно определенно установлено, что акцессорные минералы распределены в породах очень неравномерно. Акцессории, как правило, встречаются групповыми скоплениями. В местах их скоплений обычно встречается несколько минеральных видов, причем от участка к участку их состав может быть одним и тем же, но может и существенно меняться. Для них характерны различные взаимоотношения с главными пороодообразующими минералами: одни приурочены только к цветным, другие локализируются преимущественно среди кварца, третьи расположены среди калиевых полевых шпатов или на границе их с кварцем.

В каждой изверженной породе можно встретить несколько парагенетических ассоциаций акцессорных минералов, причем только одна, максимум две из них являются ведущими, остальные составляют незначительную долю от всей массы акцессориев, но отличаются разнообразием минеральных видов.

В изверженных породах Северного Тянь-Шаня нами обнаружены следующие парагенетические ассоциации акцессориев:

I. Парагенетические ассоциации акцессориев в диоритах, габбро-диоритах и других близких по составу породах:

- 1) апатит, магнетит;
- 2) апатит, магнетит, ильменит;
- 3) апатит, магнетит, сфен (ильменит, циркон, ортит)¹;
- 4) апатит, циркон (торит);
- 5) (рутил, шеелит, флюорит, пирит, молибденит);
- 6) (кальцит, галенит, барит).

II. Парагенетические ассоциации акцессориев в сиенитах:

- 1) апатит, магнетит, сфен, ильменит, циркон;
- 2) апатит, циркон, ториванит, сфен;

¹ Минералы, указанные без скобок, установлены в ассоциации достоверно; минералы, указанные в скобках, включены в ассоциацию предположительно; ассоциации, заключенные целиком в скобки, выделены на основании логических предпосылок.

- 3) апатит, циркон, ортит;
- 4) циртолит, торит, ураноторит;
- 5) турмалин (шеелит, рутил, гематит, тантало-ниобаты);
- 6) флюорит, пирит (арсенопирит, анатаз, касситерит, молибденит);
- 7) кальцит, галенит (барит, сфалерит, халькопирит).

III. Парагенетические ассоциации аксессуариев в гранодиоритах и гранитах:

- 1) апатит, магнетит, циркон;
- 2) апатит, циркон, магнетит, ортит;
- 3) апатит, магнетит, сфен, циркон;
- 4) апатит, магнетит, ильменит, циркон;
- 5) апатит, циркон, сфен, торит;
- 6) циртолит, ферриторит, флюорит (рутил, гематит);
- 7) флюорит, пирит (рутил, шеелит, молибденит, арсенопирит);
- 8) кальцит (галенит, сфалерит, халькопирит, барит).

IV. Парагенетические ассоциации в лейкократовых гранитах и аляскитах:

- 1) апатит, магнетит, циркон;
- 2) апатит, магнетит, циркон, ортит (ильменит);
- 3) апатит, магнетит, сфен, циркон;
- 4) апатит, магнетит, циркон;
- 5) циркон, апатит, торит;
- 6) монацит, флюорит, карбонаты редких земель (тантало-ниобаты);
- 7) монацит, пирит, ферриторит, циркон + флюорит;
- 8) циртолит, рутил, флюорит;
- 9) циртолит, ферриторит, флюорит, рутил, гематит;
- 10) касситерит, анатаз (молибденит, шеелит, турмалин);
- 11) флюорит + пирит, арсенопирит (сфалерит, халькопирит);
- 12) флюорит (кальцит, галенит (барит)).

Постоянное сонахождение почти всех минералов каждой парагенетической ассоциации свидетельствует об их близкоодновременном выделении и о близости физико-химических условий образования. При этом каждая парагенетическая ассоциация аксессуарных минералов достаточно тесно связана с определенными породообразующими компонентами, что позволяет, правда пока схематично, наметить последовательность образования ассоциаций.

Во всех типах пород ассоциации с апатитом, магнетитом, сфеном, ильменитом, цирконом и ортитом находятся в теснейшем парагенезисе с амфиболами и особенно биотитом. В большинстве случаев перечисленные минералы окружают цветные компоненты, срastaются с ними, расположены в них по трещинам, по спайности и по межзерновым швам, т. е. обнаруживают признаки более позднего происхождения.

Апатит-циркон-торианит-сфеновая ассоциация сиенитов обособлена от цветных компонентов и располагается в интерстициях между зернами калиевого полевого шпата. Аналогично ведут себя и другие ассоциации аксессуариев сиенитов.

Монацит-флюоритовая ассоциация с карбонатами редких земель, наблюдаемая в аляскитовых гранитах, локализуется в интерстициях среди выделений калиевых полевых шпатов и изредка на границах полевых шпатов и кварца.

Циркон-apatит-торитовая ассоциация всегда приурочена к калиевому полевному шпату. При этом циркон и апатит иногда образуют в нем мелкие включения.

Циртолит-ферриторит-флюорит-рутил-гематитовая ассоциация всегда расположена в интерстициях или на границах между калиевым полевым шпатом и кварцем, причем в циртолите иногда встречаются включения последних.

Касситерит-анатазовая ассоциация локализуется в кварце или между его зерен. Флюорит-пиритовая и флюорит-кальцитовая ассоциации выполняют изредка наблюдаемые трещины в кварце или интерстиции между его зерен.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Акцессорные минералы выделяются в заключительные стадии формирования пород и расположены в интерстициях между породообразующими компонентами, по межзерновым швам и трещинам. Редко акцессории образуют включения в наиболее поздних породообразующих минералах (биотит, кварц, реже калиевый полевой шпат).

2. Период выделения акцессорных минералов достаточно продолжителен. Он начинается с момента кристаллизации дейтерических цветных и заканчивается после образования самого позднего породообразующего компонента — кварца.

3. Наибольшая по видовому разнообразию часть акцессориев кристаллизуется в самые поздние стадии формирования пород (в период выделения кварца и после него), а наибольшая по валовому количеству часть акцессориев выделяется на ранних стадиях их кристаллизации в период образования дейтерических цветных минералов.

4. Кристаллизация акцессорных минералов происходит стадийно. В каждую стадию образуется определенная парагенетическая ассоциация, характеризующаяся своим видовым составом минералов, своим физико-химическим состоянием минералообразующего магматического остатка, своими взаимоотношениями с породообразующими компонентами.

5. В каждой стадии (ассоциации) минералы выделяются не одновременно, а закономерно последовательно согласно геохимическим особенностям слагающих их элементов и общей направленности изменений физико-химического состояния среды.

Акцессорные минералы характеризуются и разнообразием условий образования. Действительно, такие минералы, как сфалерит, галенит, пирит, халькопирит, арсенопирит, кальцит, барит и другие сульфиды, сульфосоли и карбонаты, являются типичными продуктами относительно низкотемпературных гидротермальных процессов. Их нахождение в геологических образованиях других генетических типов (пегматиты, скарны и др.) обусловлено, как показывают детальные исследования, воздействием на них более поздних гидротермальных процессов.

Исходя из данных наблюдений, естественно предположить, что и в изверженных горных породах эти минералы связаны с гидротермальными явлениями заключительных стадий формирования пород.

Такие минералы, как цирколит, малакон, монацит, турмалин, торит, поликраз-эвксенит, тантало-ниобаты, топаз и многие другие, характерны для высокотемпературных рудных проявлений — пегматитов, пневматолитов. В любой изверженной породе могут присутствовать минералы, соответствующие по условиям образования различным стадиям природных эндогенных процессов: магматической, пегматитовой, пневматолитовой и разнотемпературных гидротермальным.

Анализ морфологических особенностей некоторых акцессорных минералов и сравнение их с морфологией аналогичных минеральных видов из рудных образований уже были освещены С. Д. Туровским.

Распределение кристаллов с различными морфологическими особенностями по различным типам пород и в самих породах подчинено определенным закономерностям. Так, в отношении циркона установлено, что очень мелкие розовые прозрачные его кристаллы длиннопризматического, часто игольчатого габитуса с развитием большого количества разнообразных граней широко распространены в более основных породах (диориты, габбро-диориты и др.), значительно реже они встречаются в гранодиоритах, адамеллитах, гранитах, где образуют включения в калиевом полево-

те и биотите, и совершенно отсутствуют в лейкократовых гранитах, аляскитах и гранофирах. По-видимому, эта разновидность циркона является наиболее ранней и высокотемпературной.

Более крупные розовые, светло-коричневые, розово-бурые прозрачные до полупрозрачных, часто сильно трещиноватые кристаллы призматического, реже длиннопризматического габитуса с развитием призм (110), (100) и бипирамиды (111), реже других граней широко распространены в гранодиоритах, адамеллитах, гранитах, в меньших количествах они встречаются в диоритах, габбро-диоритах и лейкократовых гранитах, аляскитах, гранофирах и пегматитах. Подобный циркон ассоциирует в породах с апатитом, магнетитом, сфеном, располагается вокруг биотита или амфибола и выполняет интерстиции среди калиевого полевого шпата. Этот циркон, вероятно, является более поздней и более низкотемпературной разновидностью по сравнению с предыдущей.

В аляскитах, лейкократовых гранитах и гранофирах широко распространены крупные короткопризматические или бипирамидальные темно-окрашенные (коричневые, оранжево-красные, темно-бурые и др.) сильно трещиноватые и непрозрачные кристаллы циркона, приближающиеся по составу к циртолиту. Реже такой циркон встречается в гранофирах и гранитах и совершенно отсутствует в диоритах и габбро-диоритах. Довольно часто он развит в пегматитах, кварцевых жилах и даже в некоторых гидротермальных сульфидных рудопроявлениях. Эта разновидность циркона, по-видимому, является наиболее поздней и низкотемпературной.

Таким образом, в ходе кристаллизации пород с падением температуры расплава и обогащением его летучими компонентами, а также акцессорными элементами морфологические особенности цирконов претерпевают изменения в сторону увеличения размеров кристаллов, потемнения их окраски, увеличения трещиноватости, обеднения простыми кристаллографическими формами, превращения их габитуса от игольчатого до бипирамидального, усложнения химического состава (повышение содержания гафния, тория, урана, редких земель, свинца, цинка и других элементов) и увеличения их метамиктности. Аналогичные изменения морфологических особенностей можно видеть и у других минералов.

Анализ распределения акцессорных минералов в интрузивных телах показывает, что их апикальные части по сравнению с глубинными зонами отличаются не только более высокими валовыми содержаниями, но и более разнообразным видовым составом этих компонентов, причем среди них значительное место занимают минералы, относящиеся по времени образования к заключительным моментам кристаллизации магматического расплава (торит, монацит, рутил, флюорит, турмалин, циртолит, анатаз и др.).

В каждом интрузивном комплексе при переходе от ранних фаз к конечным происходит усложнение видового состава акцессорных компонентов, при этом каждая последующая фаза постепенно обогащается минералами, формирование которых происходит в наиболее поздние стадии кристаллизации пород из остаточных расплавов, обогащенных летучими и акцессорными химическими элементами и отвечающих по физико-химическому состоянию пегматито-пневматолитовым флюидам или водным растворам (малакон, циртолит, монацит, торит, ферриторит, рутил, флюорит, сульфиды свинца, меди, цинка, анатаз, тантало-ниобаты и многие другие).

При наличии в остаточных расплавах щелочей в количествах, избыточных по отношению к стехиометрическому в щелочных полевых шпатах, растворимости воды в остаточных расплавах может возрасти до такой степени, что возникают условия непосредственного перехода магматического расплава в остаточную водную жидкость. Это позволяет довольно легко объяснить позднее выделение таких акцессорных минералов, как циртолит, торит, топаз, сульфиды, флюорит и многие другие. Летучие ком-

поненты при кристаллизации магматических расплавов постепенно накапливаются в остаточных расплавах. Заметную роль летучие компоненты и вода начинают играть с момента выделения дейтерических цветных минералов, которые, по-видимому, могут служить своеобразными индикаторами возрастания концентрации таких компонентов, как H_2O , F, Cl, B и др.

Можно полагать, что такие элементы, как цирконий, торий, редкие земли, тантал, ниобий и многие другие, соединения которых достаточно тугоплавки, вследствие своей низкой первичной концентрации будут длительное время оставаться в остаточном расплаве. По мере сокращения объема расплава их концентрация будет повышаться. Благоприятным фактором длительного удержания этих элементов в расплаве будет понижающее влияние на температуру кристаллизации их соединений летучих, концентрация которых на поздних стадиях постепенно повышается. Многие из тех элементов, которые входят в состав акцессориев (Th, TR, Zr и др.), очень легко образуют комплексные соединения со щелочными металлами, галоидами и углекислотой. Повышение концентрации щелочных металлов и летучих компонентов с ходом кристаллизации расплава создает благоприятные условия для образования комплексных соединений, задерживающихся длительное время в остаточных жидкостях.

Некоторое повышение концентраций ряда акцессорных элементов, например цинка, олова, титана, меди и некоторых других, в остаточных расплавах может происходить в результате реакционного взаимодействия расплавов с ранее выделившимися порообразующими, особенно цветными минералами.

Важную роль для изменения концентрации акцессорных элементов играют явления изоморфизма. Как известно, общее содержание рудных, редких и рассеянных (акцессорных) элементов невелико, и многие из них, как показывают исследования, входят в виде изоморфной примеси в порообразующие минералы. В связи с этим немаловажное значение будут иметь следующие факторы: насколько велико количество выделившихся в ранние стадии порообразующих минералов, способных содержать в себе примеси акцессорных элементов, каковы пороги их насыщения, каково валовое содержание самих элементов в магматическом расплаве.

Вероятно, из-за своих кристаллохимических особенностей цирконий, торий, редкие земли и другие элементы при существующих на ранних стадиях кристаллизации магмы физико-химических условиях не могут входить в порообразующие минералы в качестве изоморфных примесей. В то же время цинк, ванадий, свинец и другие компоненты легко связываются в виде примесей в порообразующих минералах и редко образуют свои собственные минералы.

Кроме того, возможность захвата порообразующими минералами акцессорных элементов во многом зависит от времени и условий появления у сульфидных элементов халькофильных свойств, от подвижности самих элементов и их соединений и т. п.

При образовании магнетита важную роль играют летучие, особенно пары воды и водород. В зависимости от соотношений концентраций (парциальных давлений) этих компонентов устойчивы либо железосодержащие силикаты, либо окислы железа (магнетит).

Наблюдаемые в изверженных породах явления замещения железосодержащих силикатов магнетитом (или наоборот) могут быть связаны с изменением концентрации (парциального давления) отдельных летучих компонентов, например воды и водорода, происходящем в процессе кристаллизации магматического расплава.

ВЫВОДЫ

На основании всего изложенного можно сделать достаточно определенные выводы в отношении времени и условий образования акцессорных минералов в процессе формирования изверженной породы.

Время выделения. Даже наиболее ранняя ассоциация акцессориев — циркон, апатит, магнетит — выделяется на сравнительно поздних стадиях кристаллизации магматического расплава, сразу же за образованием дейтерических цветных минералов и в несравнимо меньших количествах одновременно с ними. Заканчивается выделение акцессориев после полной раскристаллизации остаточного расплава. Таким образом, период кристаллизации акцессориев достаточно продолжителен. Их выделение происходит стадийно (пульсационно), благодаря этому возникают группы акцессориев, тесно ассоциирующих друг с другом. Этот вывод, как мы видели, хорошо подтверждается эмпирическими, экспериментальными и теоретическими данными.

Условия образования. Наиболее важными факторами, благоприятствующими созданию условий для выделения акцессорных минералов, являются: 1) изменение концентрации летучих компонентов, щелочей, рудных, редких и рассеянных элементов, их постепенное и прогрессирующее накопление в остаточных расплавах; 2) возникновение условий для реакционного взаимодействия остаточных расплавов с ранее выделившимися пороодообразующими минералами, в результате которого высвобождается некоторое количество необходимых для образования акцессорных минералов петрогенных элементов; 3) постепенное снижение температуры; 4) возможность обособления газовой фазы; 5) возможность перехода магматического расплава в водный раствор.

По условиям образования акцессорные минералы схематически можно объединить в три группы.

1. Минералы, образующиеся из остаточного магматического расплава в период и в процессе реакционного взаимодействия его с ранее выделившимися пороодообразующими компонентами за счет высвобождающихся из них петрогенных элементов. Минералообразующая система в этот период представляет собой еще магматический расплав, но уже с сильно возросшей концентрацией щелочей, кремнезема, растворенных вод, других летучих и многих акцессорных химических элементов, что повышает ее реакционные способности. В отдельных случаях появляется свободная газовая фаза с высокой упругостью паров некоторых компонентов. К этой группе, которую мы называем позднемагматической, относятся магнетит, апатит, сфен, ортит, ильменит, отчасти циркон и некоторые другие минералы.

2. Минералы, выделяющиеся или из обособившейся газовой фазы, заключенной в интерстициях, или из флюида, в который превращается в конце раскристаллизации магматический расплав. Этот флюид представляет собой смесь газов, паров воды, акцессорных химических элементов и остаточного силикатного материала (в основном кварца) с высоким парциальным давлением отдельных компонентов. Он также в основном локализуется в интерстициях.

К этой группе, которую мы называем пегматито-пневматолитовой, относятся циркон, циртолит, торит, турмалин, топаз, тантало-ниобаты, частично рутил, флюорит, пирит и многие другие минералы.

3. Минералы, возникшие из водных растворов, еще значительно насыщенных летучими газообразными компонентами и акцессорными химическими элементами. Они образуются или за счет конденсации газообразной фазы, или при наличии определенных условий непосредственно из расплава. Эти растворы располагаются только в интерстициях. К этой

группе, которую мы называем гидротермальной, относятся все сульфиды, карбонаты, флюорит, анатаз и многие другие минералы.

Следует отметить, что две последние группы минералов в количественном отношении составляют ничтожную долю от всего объема пород, что свидетельствует о мизерности масштабов процессов их образования по сравнению с масштабом кристаллизации породообразующих минералов.



С. Д. ТУРОВСКИЙ

ПРИЗНАКИ СИНГЕНЕТИЧНОСТИ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ

Изверженные горные породы в течение длительной геологической истории после своего образования обычно претерпевают (причем неоднократно) весьма существенные изменения. Они могут быть вызваны разнообразными факторами, но особенно крупные изменения вызываются циркуляцией в породах послемагматических рудоносных растворов. Они-то и представляют наибольший интерес.

Послемагматические растворы не только вызывают разнообразные превращения первичных породообразующих и акцессорных минералов (растворение и замещение вторичными продуктами), но и служат причиной появления в породах минеральных новообразований, осложняющих минеральный состав пород акцессорной части. Подобные минералы мы называем наложенными.

Морфологические и химические свойства одноименных минералов, встречающихся во многих фациальных разновидностях пород, не остаются постоянными, а претерпевают закономерные изменения при переходах от одной фации к другой (эта особенность наиболее отчетливо прослеживается у циркона). Поэтому, если содержания и морфологические особенности какого-нибудь минерала или группы минералов (обычно это относится к сульфидам) остаются без изменения во всех частях массива, во всех его фациях, то есть все основания подозревать, что они наложены.

Если в породах появляются минералы, встречающиеся в рудопроявлениях, имеющие к тому же морфологические особенности и химический состав такие же, как у минералов из рудопроявлений, то можно подозревать, что такие минералы наложенные. Подозрения перейдут в уверенность, если содержание этих минералов по мере приближения к рудопроявлениям будет увеличиваться.

Послемагматической «пропарке» в равной степени подвергаются как изверженные, так и окружающие их осадочно-метаморфические образования. Поэтому если в изверженных и осадочно-метаморфических породах встречаются одни и те же минералы, обладающие тождественными свойствами, то есть все основания считать их наложенными. Если же они развиты и в рудопроявлениях, то их эпигенетическая природа полностью доказана.

Резюмируя изложенное, следует отметить, что большую помощь при восстановлении первичного состава акцессориев изверженных пород может оказать параллельное опробование рудопроявлений, развитых в районе изучаемых интрузивных тел, и осадочных пород, вмещающих эти тела.

Для различия акцессорных и наложенных минералов большую помощь оказывают наблюдения над характером изменения акцессориев, над

морфологическими особенностями изучаемых минералов, данные об их химическом составе.

При воздействии на изверженные породы химически высокоактивных послемагматических растворов все без исключения акцессорные минералы подвергаются растворению, даже такие устойчивые, как циркон, монацит, апатит, хромит и др. Замещению вторичными продуктами особенно подвержены титан- и железосодержащие (сфен, ильменит, рутил, анатаз, магнетит, пирит и др.) и радиоактивные (торит, ураноторит, торинанит, делоренцит и др.) минералы. В породах резко возрастают содержания лейкоксена, гидроокислов железа, хлорита и других вторичных продуктов. Общие содержания акцессорных компонентов в них резко снижаются.

Изучение содержаний акцессорных минералов в неизменных и измененных породах некоторых массивов Северного Тянь-Шаня показало, что в отдельных массивах растворению подвергалось от 20 до 82% от общей массы акцессориев. Наиболее легкорастворимыми оказались магнетит, ильменит, турмалин, флюорит, торит, ортит и некоторые другие; в измененных гранитоидах резко возрастают содержания лейкоксена и гидроокислов железа. К этому следует добавить, что такие акцессорные минералы, как торит, ураноторит, торинанит, поликраз-эвксенит, делоренцит и некоторые другие, содержащие повышенные количества радиоактивных элементов, в измененных породах покрыты толстыми корочками вторичных соединений, главным компонентом которых является торогуммит.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОВ

Акцессорные минералы можно достаточно легко отличать от наложенных по их морфологическим особенностям, как показали исследования изверженных пород Северного Тянь-Шаня.

Сульфиды (пирит, галенит, арсенопирит, цинковая обманка, халькопирит и др.) в качестве акцессорных компонентов всегда встречаются в виде разобщенных обособленных друг от друга самостоятельных правильных кристаллов или неправильных выделений, форма которых определяется формой выполняемых ими интерсертальных полостей. Они никогда не образуют сростков. Обычно все выделения представлены монокристаллами. В цинковой обманке (обычно это светлая разновидность) отсутствует эмульсионная вкрапленность халькопирита или каких-либо других минералов. Кристаллы галенита всегда покрыты тонкими пленками землистого церуссита, а кристаллы пирита — тонкими пленками гидроокислов железа. Поверхность многих кристаллов матовая.

Наложённые сульфиды часто образуют сростки или сплошные агрегаты мелких зерен одного минерала. Этим они напоминают аналогичные образования из рудных проявлений. Почти никогда не встречаются эти сульфиды (за исключением пирита и арсенопирита) в виде хорошо образованных кристаллов. Цинковая обманка часто насыщена эмульсионной вкрапленностью халькопирита. Вторичные изменения минералов наблюдаются очень редко.

Касситерит акцессорный всегда представлен очень мелкими (сотые доли миллиметра) призматическими светлоокрашенными хорошо образованными прозрачными кристаллами. Окраска кристаллов часто распределена зонально или пятнисто: на общем светло-коричневом или даже бесцветном фоне заметны более темноокрашенные пятна или зоны. Блеск на гранях стеклянный до полудрагоценного. Кристаллы всегда одиночные, сростков не образуют, редки и двойники. Реакция «оловянное зеркало» получается с большим трудом.

Наложённый касситерит отличается более крупными размерами выделений, которые часто не имеют кристаллической огранки. Реже встречае-

мые кристаллы имеют короткопризматический габитус. Окраска темная, темно-коричневая, темно-бурая. Минерал непрозрачный, блеск стеклянный до полуматового. Часты сростки нескольких индивидов. «Оловянное зеркало» появляется быстро.

Молибденит акцессорный всегда в виде мелких, но совершенно правильных шестиугольных табличек и пластинок. Наложенный молибденит образует неправильные, мелкочешуйчатые листоватые выделения.

Флюорит акцессорный встречается в виде монокристалльных зерен, реже правильных прозрачных кубических или октаэдрических кристаллов. Наложенный флюорит менее прозрачен и часто представлен агрегативными сростками нескольких зерен.

Циртолит акцессорный — это одиночные мелкие короткопризматические полупрозрачные или полупросвечивающие кристаллы или неправильные выделения, форма которых повторяет форму выполняемой интерстиции. Цвет светлый: светло-бурый, бежевый, светло-коричневый, светло-красный с буроватым оттенком. Блеск на гранях стеклянный.

Наложенный циртолит непрозрачен, образует крупные сростки нескольких неправильных зерен или крупные бипирамидальные кристаллы с полуматовым блеском. Окраска темная, часто зональная, темно-бурая, темно-коричневая, буро-серая и другая.

Ферриторит акцессорный обычно встречается в виде мелких грубо призматических кристаллов или неправильных вытянутых выделений, напоминающих плохо образованные кристаллы. Блеск стеклянный, излом раковистый, полупросвечивает, цвет кирпично-красный, сургучный, красный с буроватым оттенком, оранжево-красный.

Наложенный ферриторит образует неправильно изометрические непрозрачные выделения с раковистым изломом и полуматовым или полустеклянным блеском. Цвет темно-красно-бурый, сургучный, коричневый. Кристаллов никогда не образует. Наложенные минералы имеют состав примесей такой же, как в аналогичных минеральных видах из рудопроявлений. Этот состав резко отличается от состава аналогичных акцессорных минералов большими сложностями, набором элементов-примесей и их содержаниями. Акцессорные минералы несколько «чище» от примесей.

■
С. Д. ТУРОВСКИЙ

ЗНАЧЕНИЕ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ ГЕОЛОГИИ

Сейчас уже многими признается, что изучение акцессорных минералов и химических элементов дает в руки исследователя очень ценные и важные материалы, помогающие или позволяющие не только по-иному трактовать некоторые положения современной петрологии, геохимии и теории рудогенеза, но и решать новые теоретические и практические вопросы геологии.

1. Акцессорные минералы, особенно совместно с акцессорными химическими элементами, могут оказать большую помощь при выделении комагматических серий изверженных пород. Детально этот вопрос освещен в ряде статей С. Д. Туровского.

2. Акцессорные минералы в сочетании с акцессорными химическими элементами могут помочь исследователю в решении такого вопроса, как

принадлежность изучаемого тела к той или иной интрузивной фазе соответствующего интрузивного комплекса.

Изменение состава аксессуаров и их содержаний от фазы к фазе в каждом интрузивном комплексе происходит всегда закономерно, в соответствии с общей направленностью дифференциации, со сменой в этом процессе физико-химических особенностей отдельных дифференциатов. Поэтому, зная состав аксессуаров в изучаемом интрузивном теле, можно с достаточной долей уверенности определить фазу магматической деятельности, к которой отнесится эта интрузия.

3. Акцессорные минералы, особенно в тесном сочетании с акцессорными химическими элементами, могут служить индикатором геохимической и металлогенической специализации интрузивных комплексов.

4. Акцессорные минералы оказывают существенную помощь при выявлении возрастных взаимоотношений дайковых пород (особенно лампрофиров и порфириров). Часто по отдельным объектам идут длительные дискуссии о том, каковы на них дайки: дорудные или пострудные. В этом случае изучение акцессорных минералов дайковых образований в пределах рудных тел и за их пределами является незаменимым методом. В случае дорудного возраста даек их первичные акцессорные минералы всегда в той или иной степени изменены в результате воздействия на них рудоносных реагентов. Эти изменения проявляются в растворении аксессуаров, в корродированности их кристаллов, в замещении их вторичными минеральными новообразованиями. Кроме этого, в дорудных дайках всегда присутствуют минералы так называемого наложенного комплекса, которые по видовому и химическому составу, по морфологическим особенностям являются аналогами минералов рудных тел. В случае послерудного возраста даек наложенный комплекс минералов отсутствует, первичные акцессорные минералы не несут следов изменения (С. Д. Туровский).

5. Акцессорные минералы являются теми компонентами изверженных горных пород, в которых концентрируется значительная часть акцессорных химических элементов (рудных, редких и рассеянных), всегда присутствующих в тех или иных количествах, в том или ином видовом сочетании в любом магматическом расплаве. При кристаллизации расплава некоторая часть акцессорных элементов входит в виде изоморфных или эндокриптных примесей в состав породообразующих минералов, каждый вид которых обладает своими пределами (порогом) насыщения для различных элементов. Эти пределы несколько повышаются или понижаются (но в строго определенных границах, определяемых законами геохимии) в зависимости от концентраций элементов в магматических расплавах и физико-химических особенностей самих расплавов.

Оставшиеся после насыщения породообразующих компонентов акцессорные химические элементы образуют самостоятельные акцессорные минералы. Поэтому, если магматические расплавы содержат незначительные количества химических элементов, то подавляющая часть их войдет в состав породообразующих компонентов; на образование самостоятельных аксессуаров их останется очень мало. Если же расплавы содержат повышенные количества разнообразных элементов, то, несмотря на захват значительной части их породообразующими компонентами, останутся большие количества элементов, образующих самостоятельные акцессорные минералы.

Видовой состав и содержание акцессорных минералов в изверженных породах могут служить показателями обогащенности исходных магматических расплавов редкими и рассеянными элементами, тяжелыми и летучими компонентами.

6. В настоящее время многие исследователи (И. Д. Батиева, И. В. Бельков, У. Х. Гросс, В. К. Монич, С. Д. Туровский, М. Е. Яковлева) пришли к выводу, во-первых, о продолжительности времени обра-

зования акцессорных минералов и, во-вторых, об очень позднем выделении их главной по количеству и видовому составу массы при кристаллизации расплавов. В ходе изменений физико-химических условий кристаллизации расплавов меняются не только количества выделяющихся акцессорных минералов и их видовой состав, но и морфологические, оптические, химические и другие особенности отдельных их минеральных видов и парагенетических ассоциаций.

Детальное изучение акцессорных минералов может оказать существенную помощь при реставрации процессов кристаллизации магматических расплавов и при выяснении последовательности изменения физико-химических параметров (температура, окислительно-восстановительные потенциалы, концентрация летучих, тяжелых, редких и рассеянных компонентов, режим серы и многие другие) в ходе этой кристаллизации.

7. Акцессорные минералы могут служить дополнительным, вспомогательным к геологическим и петрографическим критериям признаком для определения глубинности формирования интрузий. Как показали наши работы, акцессорные минералы гипабиссальных интрузивных тел и по содержанию, и по видовому составу существенно отличаются от акцессорных минералов из пород, формирующихся в более глубинных условиях (см. таблицу). Из данных таблицы достаточно наглядно видно, что породы каждой интрузивной фазы, формирующиеся в гипабиссальных условиях (на малых глубинах), отличаются от глубинных пород более разнообразным составом акцессорных минералов. Содержание тех минералов, которые встречаются в обоих типах пород, всегда выше в гипабиссальных массивах. Это очень характерная черта в распределении акцессориев в массивах различных глубинных условий формирования.

8. Акцессорные минералы, особенно в совокупности с акцессорными химическими элементами, могут оказать большую помощь в расшифровке сущности, механизма и последовательности процессов контаминации и гибридизма; в выявлении роли летучих и характера поведения тяжелых элементов в этих процессах, в восстановлении механизма, последовательности и физико-химической обстановки контактового воздействия интрузии на вмещающие породы для выявления дифференциальной подвижности в этом процессе не только породообразующих, но и рудных, редких и рассеянных компонентов; в восстановлении последовательности, механизма и физико-химической обстановки околорудного метаморфизма вмещающих пород при формировании различных по генетическим особенностям месторождений для выявления дифференциальной подвижности в этом процессе отдельных рудных компонентов.

Нами при изучении некоторых месторождений Северного Тянь-Шаня подмечена очень интересная и важная в практическом отношении (для оценки ореолов первичного рассеяния) особенность в распределении отдельных рудных минералов в зонах околорудного метаморфизма. Так, арсенопирит встречается на расстоянии не более 20 м от рудных тел, халькопирит — 30—50 м, цинковая обманка — 70 м. Наиболее подвижен свинец. В виде галенита он встречается в удалении от рудных тел на несколько сот метров, где отсутствуют всякие другие следы воздействия рудоносных растворов. Акцессорный монацит встречается в зоне, удаленной не более чем на 3 м от рудных тел, акцессорный ферриторит распространяется дальше, примерно на 6—7 м от них. Наиболее удален акцессорный цирконит. Его можно встретить в 15—20 м от рудных тел.

Выявление подобных закономерностей в характере распространения отдельных рудных минералов вокруг рудных проявлений имеет очень большое практическое значение. Они являются прямыми оценочными критериями обнаруживаемых минералого-геохимическими методами ореолов рассеяния над слепыми рудными телами и месторождениями.

9. В практике геологических исследований нередко приходится сталки-

ваться с необходимостью стратификации немых осадочно-метаморфических толщ. Особенно важно это при изучении структур рудных полей, локализованных в подобных толщах. Как показали наши работы, существенную помощь здесь могут оказать акцессорные минералы этих немых образований. Обычно среди них удается выделить достаточно хорошо выдерживающиеся прослои, пачки, горизонты, обогащенные каким-нибудь одним или ассоциацией акцессорных минералов. Такие акцессорно-стратиграфические единицы могут служить хорошим маркирующим элементом при картировании.

В последнее время широкое признание получили геохимические методы поисков слепых рудных тел и месторождений. Они позволяют выявлять ореолы рассеяния, которые впоследствии могут разведываться и оцениваться. К сожалению, их оценка проходкой горных выработок — мероприятие весьма дорогостоящее. Желательно для получения предварительных данных о ценности обнаруженного ореола применять какой-нибудь более дешевый метод. В качестве такого метода можно предложить минералогическое изучение тяжелых фракций из протолочек, взятых в обнаруженных ореолах. Выявленные минералы с учетом дифференциальной подвижности отдельных рудных компонентов могут дать достаточно удовлетворительные данные о возможностях и перспективах конкретных ореолов рассеяния. На основании этого мы предлагаем комплексный минералого-геохимический метод поисков слепых рудных тел, в котором металлотометрия сочетается с изучением тяжелых фракций протолочек, т. е. акцессорных минералов исследуемых образований.

Все изложенное далеко не исчерпывает те возможности, которые могут дать акцессорные минералы и химические элементы природных образований для решения теоретических и практических вопросов геологии. Об этом убедительно свидетельствуют выходящие в свет книги и статьи по акцессорным минералам, число которых год от года возрастает.



И. Е. СМОРЧКОВ, Н. Н. БАТЫРЕВА

ЗНАЧЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ПРИ ПЕТРОГРАФО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Петрографо-металлогенические исследования проводятся для выяснения роли магматических процессов в образовании и размещении рудных месторождений гидротермального типа. Как правило, наиболее важными задачами этих исследований являются: 1) выявление характера генетической связи оруденения с изверженными породами; 2) установление таких признаков вещественного состава и геологических условий образования разновозрастных комплексов изверженных пород, в которых отображалась бы рудогенерирующая способность магматических расплавов. В этой связи исключительно важное значение приобретают вопросы, связанные с изучением закономерностей распределения и форм нахождения элементов-примесей, особенно тех из них, которые концентрируются в рудных месторождениях, генетически связанных с изверженными породами.

В настоящее время можно уже с достаточной полнотой охарактеризовать значение акцессорных элементов и минералов изверженных горных пород и как наиболее достоверных признаков генетического родства различных эндогенных образований, и как индикаторов характерных особен-

ностей магматических, постмагматических, ассимиляционных и метаморфических процессов.

Однако еще и сейчас при определении понятия «акцессорные минералы» принимаются во внимание только два следующих признака: 1) незначительные содержания этих минералов в горной породе и 2) необходимость применять методы концентрации как обязательное предварительное условие их изучения.

Имея в виду, что в настоящее время акцессорные минералы исследуются главным образом для выявления дополнительных критериев комагматичности и металлогенической специализации изверженных образований, для определения понятия «акцессорные минералы» следует привлечь в первую очередь такие признаки, которые характеризуют время и условия образования, а также состав этих минералов. В этой связи правильнее было бы называть акцессорными минералами изверженных пород те из них, которые представляют собой сингенетические, в количественном отношении второстепенные образования, являющиеся обычно своеобразными коллекторами, в которых сосредоточивается значительная часть содержащихся в породе элементов-примесей.

Радиоактивные акцессорные минералы гранитоидных пород (циркон, цирколит, монацит, ортит, ураноторит, фергюсонит и др.) по ряду обстоятельств представляют наибольший интерес, так как их изучение позволяет получить дополнительный материал для обоснования многих вопросов металлогении. Имеется в виду возможность определения их абсолютного возраста и более обоснованного в связи с этим установления сингенетичности их образования. Важно также то, что они кристаллизуются в позднемагматическую стадию формирования гранитов и что в них концентрируется основная масса содержащихся в породе радиоактивных элементов. Наконец, следует отметить и тот факт, что сейчас имеются надежные аналитические методы, позволяющие определять весьма малые количества урана и тория в этих минералах.

Рассмотрим некоторые примеры, показывающие роль радиоактивных акцессорных минералов при петрографо-металлогенических исследованиях.

1. В результате определения абсолютного возраста радиоактивных акцессорных минералов изверженных пород и урановых гидротермальных рудопроявлений в одном из районов СССР достаточно обоснованно устанавливается парагенетический характер связи между оруденением и массивами гранитоидных пород. При этом длительность промежутка времени, отделяющего конец магматической деятельности от начала образования руд, измеряется 10—15 млн. лет.

Проведенные нами исследования по выяснению особенностей распределения радиоактивных минералов в разновозрастных комплексах интрузивных пород показали, что содержание урана в более молодых комплексах по сравнению с более древними возрастает в 3—4 раза. Содержание урана в пегматитовых и аплитовых дайках по сравнению с материнскими гранитными массивами увеличивается в 1,5—2 раза. Отмечается, что в пределах отдельных гранитных массивов наблюдается четко выраженная тенденция обогащения ураном апикальных их частей.

Наконец, следует подчеркнуть, что именно в результате изучения акцессорных минералов удалось установить, что уран уходит из расплава в твердую фазу в наиболее поздние стадии формирования каждой отдельно взятой гранитной породы. Этот вывод находится в соответствии с тем, что сейчас происходит значительная эволюция взглядов и в отношении времени образования акцессорных минералов в основных и ультраосновных породах. Например, нередко отмечается, что ильменит и магнетит в габбровых породах, хромит в перидотитах, особенно никельсодержащий пирротин в норитах кристаллизуются, как правило, в позднемагматическую стадию формирования горной породы.

Совокупность указанных данных заставляет прийти к следующим выводам металлогенического характера:

а) источником рудного вещества для образования гидротермальных месторождений, особенно промышленного типа, являются глубинные магматические очаги («корневые части интрузий») в наиболее поздние стадии их развития. Состав гидротермальных месторождений может быть поставлен в функциональную зависимость от эволюции родоначальной магмы;

б) рудогенерирующая способность магмы определяется не только количеством содержащегося в ней рудного вещества, но и главным образом интенсивностью процессов, приводящих к отчленению рудного вещества от силикатных расплавов. Магма, содержащая даже кларковые количества урана, при благоприятных условиях его отчленения от силикатного расплава может являться источником гидротермального оруденения промышленного типа;

в) к числу благоприятных условий возникновения рудогенерирующей способности магмы нужно относить высокое содержание в магматическом расплаве рудных и летучих компонентов; возможность образования в магме таких комплексных соединений, содержащих рудное вещество, которые длительное время не выпадают в твердую фазу; большую длительность промежутков времени, в течение которых не происходит извержений расплавов из магматического очага; большой объем и столбообразную форму залегания магматических масс в глубинном очаге, обуславливающие резко выраженную гетерогенность состава магмы в связи с изопотенциальным распределением летучих компонентов; сопряженность момента образования глубинных разломов с тем периодом времени, когда магма в верхних частях очага обладает наибольшей рудогенерирующей способностью и т. п.

2. Можно наметить некоторые признаки изверженных пород, отображающие рудогенерирующую способность магмы и приобретающие таким образом значение поисковых критериев.

К числу таких критериев, как нам представляется, следует относить закономерно направленные, резко выраженные изменения средних значений содержания акцессорных минералов и элементов в ряду комагматических образований (разновозрастные интрузии, одновременные интрузивные фазы, материнские породы и связанные с ними серии дайковых пород, более или менее разновозрастные и одинакового состава интрузивные и эффузивные образования и т. п.). Необходимо подчеркнуть, что при выявлении вариаций в содержании сингенетических акцессорных минералов и элементов очень важно обращать внимание также на градиент изменения указанных величин. Иначе говоря, при сопоставлении средних содержаний акцессорных минералов и элементов, обнаруживаемых в различных дифференциатах единого магматического очага, необходимо учитывать те промежутки времени, которые характеризуют разновозрастность пород.

Важным признаком, характеризующим рудогенерирующую способность магмы, является также степень неравномерности распределения акцессорных минералов и элементов по вертикали интрузивного тела. Здесь, как и в первом случае, необходимо обращать внимание на выявление градиента изменений указанных величин. Сопоставляя отдельные интрузивы между собой по степени неравномерности распределения в них акцессорных минералов и элементов, нужно учитывать различную глубину их образования.

Весьма характерный признак рудогенерирующей способности магматических расплавов — сосредоточение главной массы рудных компонентов в акцессорных минералах позднемагматической стадии формирования изверженной породы.

Имеются основания утверждать, что, располагая данными об ассоциациях и количественных соотношениях, составляющих породу химических элементов и минералов, зная формы нахождения всех элементов-примесей и последовательность выделения породообразующих и акцессорных минералов, мы смогли бы значительно дальше продвинуться в познании признаков рудогенерирующей способности гранитной магмы.

ДИСКУССИЯ ПО РАЗДЕЛУ «ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ВОПРОСОВ»

В. Е. Гендлер (Всесоюзный аэрогеологический трест) указал, что совещание выявило переход исследователей от качественной характеристики минералов к их количественной оценке в граммах на 1 т, начались и тонкие исследования самих минералов. В ряде докладов мало внимания уделено связи редких элементов с основными окислами, часто не упоминалось, о каких гранитах идет речь. А ведь даже обычные биотитовые граниты содержат от 69 до 78% SiO_2 , а если не выделять адамеллиты, то и до 65%. В докладах не говорилось, каковы колебания содержаний SiO_2 внутри группы гранитоидов, какова там корреляция и наблюдается ли связь петрохимии и акцессорных элементов. Н. Н. Амшинский говорил о змеиногорских и калбинских гранитах. Но в калбинском комплексе преобладают биотитовые граниты, а среди змеиногорских — породы типа гранодиоритов с содержанием SiO_2 около 63%. Можно ли сравнивать их без учета химизма? Ведь для гранитоидов Северо-Западного Алтая выявилась четкая корреляция содержания SiO_2 и урана. С уменьшением содержания SiO_2 уменьшается и содержание урана. Если сравнивать средние содержания этого элемента по комплексам, можно прийти к выводу о большой разнице. Однако при учете кислых пород такая разница исчезает.

Возможность двойного толкования выводов, очевидно, сохранится и в других случаях, поэтому особенно необходима точная увязка данных изучения акцессорных минералов с точным количественным петрографическим описанием пород.

В первую очередь необходимо изучать массивы, абсолютный возраст которых, не расходящийся с геологическими данными по его датировке, известен.

В. Е. Гендлер внес предложение просить б. Государственный геологический комитет выделить опорные массивы, на которых следует провести тщательное комплексное изучение их геологии, петрологии, геохимии, акцессорных минералов. На поздних этапах изучения желательна проходка ряда скважин для обследования массивов на глубину.

П. Ф. Сопко (Горно-геологический институт Башкирского филиала АН СССР) подчеркнул, что созыв совещания по изучению акцессорных минералов в изверженных породах весьма своевременен вследствие широкого развития подобного рода исследований. Особенно большой интерес представляют сообщения о распределении акцессорных минералов в разных провинциях СССР (Русская платформа, Украина и др.) и их петрологическом значении.

Связь оруденения с определенными фациями интрузивных пород может быть установлена лишь по тем акцессорным минералам, которые присут-

ствуют как в месторождениях, так и в интрузивных породах, не затронутых более поздними гидротермальными изменениями или подвергшихся лишь аутометасоматозу. Такие акцессорные минералы могут помочь однозначному решению вопроса о генетических связях месторождений литофильных элементов. Для большинства же месторождений халькофильных элементов, если не для всех, вопросы оруденения, вернее его связей с определенными магматическими формациями и фациями, на основе изучения лишь акцессорных минералов решить нельзя.

В частности, в изученных автором на Южном Урале породах так называемого Худолозовского комплекса (серия даек и трещинных интрузий нижнекарбонового возраста) первичные акцессорные минералы редки и представлены в основном магнетитом, титаномагнетитом и апатитом, причем наблюдается уменьшение содержания акцессорных минералов при переходе от интрузивных пород к жильным. Широко распространены в породах сульфиды, главным образом пирит. Интересно, что в жильных породах он отличается повышенной никеленосностью и кобальтоносностью по сравнению с пиритом, развитым в интрузивных породах. Можно сделать вывод, что связанные с худолозовским комплексом медно-никелевые месторождения по времени были близки к формированию жильных пород. Однако этот вывод недостаточен для решения вопроса об источнике оруденения и его связи с теми или иными магматическими фациями и формациями.

Исследования по акцессорным минералам должны быть расширены, обязательно должен быть создан координационный орган по этим исследованиям.

Г. А. Ильинский (Ленинградский государственный университет) остановился на морфологических типах кристаллов циркона и подчеркнул, что он является одним из наиболее распространенных минералов, который, как отмечали докладчики, удобен для корреляционных выводов. Важно знать не только содержание этого минерала в породе, но и его морфологические особенности. Однако часто это вызывает затруднения и нередко невозможно даже понять без рисунка, что характерно для данного циркона. Еще в 1933 г. И. И. Шафрановский выделил три типа кристаллов — циркониевый, гиацинтовый и промежуточный. В каждом типе кристаллов можно выделить много разновидностей по габитусу кристаллов в зависимости от отношения длины к ширине. Четвертый тип кристаллов приведен у А. А. Кухаренко в «Минералогии россыпей». Это копьевидный тип кристаллов. Встречаются и переходные типы, отличающиеся постоянным присутствием граней (131), а также изометрический тип кристаллов.

И. И. Шафрановский указывал, что циркониевый тип кристаллов характерен для щелочных пород, причем по мере перехода от сиенитов к нефелиновым сиенитам грань призмы (110) исчезает. Практически в каждом типе кристаллов можно выделить разные габитусные формы от столбчатых до короткопризматических и изометричных. Гиацинтовый тип кристаллов встречается в некоторых сиенитах и диоритах. Кристаллы обоих типов, как сказал С. Ф. Соболев, встречаются в ультраосновных и основных породах Урала.

В гранитах преобладают кристаллы, на которых почти всегда есть грани (131). Копьевидный тип кристаллов характерен для метаморфизованных пород. Облик кристаллов зависит не только от петрохимических особенностей пород, но и от температуры, давления и состава растворов. Если в одной пробе встречаются кристаллы, существенно отличающиеся по морфологическим, оптическим, химическим и другим особенностям, можно предполагать различное происхождение этого минерала и говорить о различных его генерациях. Таких наблюдений очень мало, они еще не

обобщены, но изучение кристалломорфологии циркона — это одно из перспективных направлений в изучении аксессуариев. Выделение морфологических типов цирконов не требует гониометрических исследований и их можно различать при пользовании лупой.

Д. С. Крейгер (Московский геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе) остановилась на вопросе унификации отбора проб и их обработке. Опробование полезных ископаемых дает прекрасные теоретические данные о законах распределения рудных минералов в рудных зонах. Те же закономерности и в породах. Неправильно говорить о какой-то единой весовой пробе для гранитов и других пород, потому что в зависимости от характера распределения акцессорных минералов должен быть различный подход. На Урале брались пробы весом от 2 до 25 кг и проводилось сравнение их количественных и качественных определений. Оказалось, что в гранитах наилучший выход акцессорных минералов наблюдался в пробах весом 8—10 кг, в сиенитах — 4—6 кг, что находится в прямой зависимости от распределения акцессорных минералов в породе (равномерное, неравномерное), их количества и степени изменения. Иногда берется проба с ничтожным весом, но результаты получаются хорошие.

Таким образом, следует подчеркнуть, что прежде, чем брать пробы, надо провести экспериментальные работы для уточнения характера пород, подобно тому, как поступают рудничные геологи при опробовании жильных и штокверковых месторождений. Тогда можно прийти к унифицированным результатам. В ходе обработки проб в одних случаях нужно выделять электромагнитную фракцию, в других не нужно.

Необходимо унифицировать требования к точности исследований в зависимости от рода наблюдений. Должны быть единые требования к точности определения и, кроме того, необходимо строго учитывать экономичность работ. Сбор проб со 100 м² хорош при обнаженных интрузивах, но для Урала это нереально из-за задернованности. Автор против использования валовых проб.

Нельзя рекомендовать методики с дорогостоящими и труднодоступными препаратами (жидкость Клерича), всегда следует исходить из реальных экономических позиций.

Л. Н. Рудовская (Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов) на примере гранитных слюдоносных пегматитов Северной Карелии показала, какое значение имеет изучение акцессорных минералов. В этом районе развиты две четко выделяющиеся группы пегматитов. Часть акцессорных минералов в них имеет сквозной характер:

Акцессорные минералы слюдоносных гранитных пегматитов разных возрастных групп

Микроклин-олигоклазовые пегматиты разных типов

Ортит	Берилл (редок)
Монацит	Карбуран
Ксенотим	Уранинит
Циртолит	Вторичные урановые минералы

Альбит-микроклиновые пегматиты

Ортит	Тапиолит	Пурпурит-сиклерит
Монацит	Фергюсонит	Сподумен
Ксенотим	Микролит	Лещидолит
Циртолит	Джалмаит	Урановые минералы
Берилл	Обручевит	Шпинель
Танталит-колумбит	Редкоземельный бетафит	

Группа ранних пегматитов отличается не только по аксессуарным, но и по породообразующим минералам. Нахождение одного из минералов, не свойственного данной группе, уже может дать какой-то ответ. Большое значение имеет изучение свойств минералов. Так, аксессуарный ортит из пегматитов раннего этапа образования гораздо более обогащен церием с незначительным содержанием более тяжелых элементов, тогда как ортит из поздних пегматитов обогащен самарием и гадолинием. То же характерно и для монацитов.

Исследование аксессуарных циртолитов позволило выделить две их генерации. В ранних циртолитах содержание Hf_2O колеблется от 2 до 4,5%, в поздних 7—8%, а в наиболее поздних из них 10%.

Различие в составе минералов еще не свидетельствует о принадлежности к разновозрастным группам, только многочисленные химические определения дают ответ на этот вопрос.

Б. П. Золотарев (Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов) остановился на некоторых спорных вопросах изучения аксессуарных минералов. По его мнению, большинство представленных докладов основано на работах, выполненных на различном научно-методическом уровне. В связи с этим дискуссионное освещение приобрели: методы полевого опробования, методы лабораторного обогащения, некоторые аспекты изучения аксессуарных минералов и определение понятия «аксессуарный минерал».

Особого внимания заслуживают по крайней мере два метода полевого опробования изверженных пород, описанные в материалах конференции: 1) метод площадного опробования (рекомендованный В. В. Ляховичем и С. Д. Туровским); 2) метод частных проб (предложенный М. И. Толстым).

Каковы особенности этих методов? Прежде всего при площадном опробовании участков массивов с различной обнаженностью пробы будут собираться с неравных площадей, а следовательно, они будут обладать различной представительностью. При опробовании пород жильной серии малой мощности дефицит площади рекомендуется компенсировать сбором материала по простиранию жильного тела.

Для пород однородного сложения типа аплитов или гранитов это, возможно, и допустимо, а для неравнозернистых образований, имеющих неоднородное или сложное зональное строение, таких, как пегматиты, — вряд ли. Кроме того, по утверждению С. Д. Туровского, преимуществом площадного опробования служит нивелирование неоднородности распределения содержаний аксессуарных минералов. В свете последних данных это «преимущество» является недостатком метода, так как изучение степени неоднородности распределения содержаний аксессуарных минералов представляет самостоятельный интерес и одну из первоочередных задач.

Метод частных проб свободен от этих недостатков, но сами пробы из-за малого веса (0,3 кг) не представительны.

В специальной работе В. В. Ляховича и Д. А. Родионова показано, что проба становится представительной начиная от 1 кг и выше. Чтобы исключить перечисленные недостатки, необходимо брать *штуфные* пробы весом более 1 кг.

В методах обогащения наметилось два направления: 1) извлечение аксессуарных минералов из квартованной обесплавленной, но неконцентрированной навески весом 0,1—0,5 кг (Б. К. Львов, М. И. Задумина); 2) обогащение проб большого веса на концентрационном столе с последующим фракционированием (В. В. Ляхович и др.).

Недостатком первого метода является значительная потеря чувствительности (по сравнению со вторым) при кажущейся максимальной полноте извлечения. Обогащителям хорошо известно, что при такой широте гранулометрического класса (от микронов до 0,5—1,0 мм) полнота извле-

чения минералов в тяжелых жидкостях да и любым другим методом далеко не максимальна.

Второй метод характеризуется очень высокой чувствительностью. При весе пробы 10 кг максимальная чувствительность достигает 0,0000005%. Недостаток метода — большие потери при промывке. В том случае, когда промывка ведется на концентрационном столе, можно стабилизировать гидродинамический режим (определенная частота колебаний деки, угол наклона деки, постоянное давление воды, заданное уровнем гидропитателя и калиброванными отверстиями датчиков воды, и др.), а следовательно, добиться систематической ошибки, которая при специальном эксперименте может быть установлена для каждого минерала и учтена. Поэтому получение концентратов из представительных проб на концентрационных столах с предварительным экспериментом кажется наиболее целесообразным и перспективным.

Как показало большинство исследований, главным недостатком изучения аксессуарных минералов является их слабая химическая изученность вследствие чрезвычайной трудоемкости отбора материала на анализ. Поэтому возникает необходимость получения каких-то физических параметров, характеризующих аксессуары, экспресс-методами, требующими небольшого количества исследуемого материала. С этих позиций интересны метод определения дисперсии удельных весов, рекомендованный М. Я. Кацом, и чрезвычайно перспективный метод сравнительной дисперсии дупреломления, разрабатываемый Е. А. Кузнецовым. Изучение морфологических типов кристаллов обладает большими потенциальными возможностями, тем более что морфологическое изучение кристаллов общедоступно и не требует специальных приспособлений.

Большинство исследователей, занимающихся изучением аксессуарных минералов, пользуется определением И. А. Преображенского.

Определение «аксессуарного минерала», данное И. Х. Хамрабаевым, представляется интересным, но неполным, сформулированным в общем виде. И в историческом аспекте определение И. Х. Хамрабаева не выдерживает критики. Оно чревато возможной путаницей из-за субъективности отношения тех или иных исследователей к критериям определения генезиса минералов и может привести к тяжелым последствиям в деле изучения аксессуарных минералов.

Предлагается следующее определение: «К аксессуарным минералам относятся все второстепенные, прежде всего редкометалльные минералы, возникшие в результате магматической кристаллизации или метасоматоза и не связанные с процессами низкотемпературного (гипергенного) разложения пород».

Б. М. Меликсетян (Геологический институт АН Армянской ССР) подчеркнул необходимость проведения комплексных исследований, уделяя значительное внимание и изучению дайковых пород, аплитовых и кварцевых жил, эффузивных пород. Проводимое изучение эффузивных пород показало, что для них характерен большой комплекс аксессуарных минералов и среди них встречается большое количество сульфидов.

Термин «аксессуарный минерал» нужно понимать, глубоко вкладывая в него и генетический смысл. Это все сингенетичные породообразующие минералы, которые выделяются в течение длительного периода кристаллизации.

В. В. Козырев (Киргизское геологическое управление Министерства геологии СССР) отметил, что схема обработки проб, принятая в управлении, несколько отличается от схемы, применяемой в ИМГРЭ В. В. Ляховичем (см. рисунок). Эта схема применяется для обработки проб биотитовых и аляскитовых гранитов, которые опробуются с площади 100 м². Он

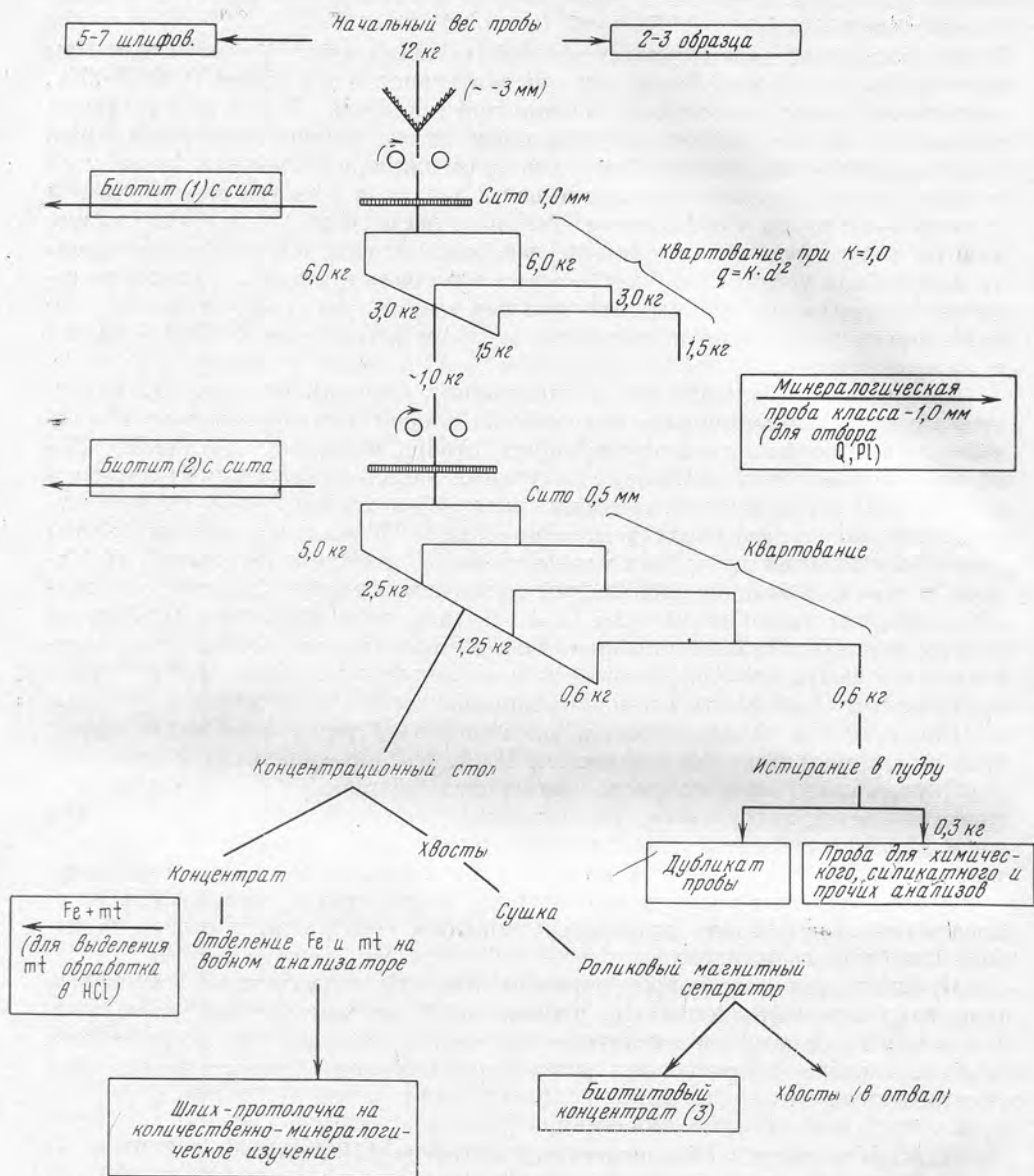


Схема обработки минералого-геохимических проб гранитоидов

считает, что такое опробование вполне приемлемо для неизменных типов пород, в измененных породах методика должна быть иной. Одновременно с взятием пробы берутся еще два-три образца этой же породы для определения абсолютного возраста (по валовой пробе), а также делается пять-семь шлифов для петрографического изучения пород.

При геохимических исследованиях особенно важна частота сбора пробы, дробления и сепарации. Флотацию, по его мнению, здесь применять нельзя, так как много элементов можно потерять и заразить пробу другими элементами.

И. В. Гинзбург (Минералогический музей АН СССР) указала, что результаты выполненного ею изучения аксессуарных минералов гранитоидов Кольского полуострова опубликованы в статьях 1958—1960 гг. Из докла-

дов, которые были посвящены значению акцессорных минералов для петрографических выводов, можно сделать заключение, что геолого-петрографический подход остался прежним. Мы ищем, есть ли в изученных комплексах сквозные или проходящие акцессорные минералы, позволяющие говорить о тех или иных геологических особенностях пород. Изучаем их спектроскопически, рентгенохимически, химически и сравниваем списочный состав как породообразующих, так и акцессорных минералов. На основе анализа всех этих признаков делаем определенные эмпирические выводы. Приятно, что выводы, которые раньше делались большей частью по интуиции, сейчас все более обосновываются математически. Строгий математический подход положительно отражается на существовании и качестве петрографических выводов.

В докладах остались незатронутыми акцессорные минералы как минералогические объекты. Почти не говорилось о связи акцессорных минералов с тем или иным составом пород, специально не рассматривались парагенезисы, в которых участвуют акцессорные минералы; не исследовались физико-химические условия таких парагенезисов. Акцессорные минералы желательно изучать совместно с главными породообразующими минералами.

И. В. Гинзбург обратилась к присутствующим с просьбой сдавать минералогически анализированные акцессорные минералы и пробы в Минералогический музей АН СССР, а не оставлять их у себя после окончательного изучения.

Л. Ф. Кочеткова (Якутское геологическое управление) зачитала доклад И. С. Ипатьевой, не приехавшей на совещание по состоянию здоровья (доклад помещен в сборник), и коротко остановилась на состоянии работы по изучению акцессорных минералов в Якутии. Несмотря на то, что изучение акцессорных минералов находится еще в начальной стадии, уже есть очень интересные выводы, позволяющие говорить о прямой генетической связи золотого оруденения с интрузиями. Этот метод изучения акцессорных минералов необходимо широко применять.

М. Г. Руб (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР) отметила, что в докладах мало внимания уделялось акцессорным минералам постмагматических и метасоматических пород, а этот раздел исследований заслуживает также специального обсуждения.

Все методические доклады показали, что мало внимания уделяется методике выделения акцессорных минералов из эффузивных и субвулканических пород. В то же время сейчас доказано, что с эффузивными и субвулканическими образованиями связаны интересные месторождения. М. Г. Руб предложила поставить в лабораториях, занимающихся выделением акцессорных минералов, специальные методические исследования по выделению акцессорных минералов из субвулканических и эффузивных пород.

Она отметила также, что в ряде докладов были приведены очень интересные данные по значению изучения акцессорных минералов для решения ряда теоретических и практических вопросов. В частности, в некоторых докладах освещалось значение акцессорных минералов для выяснения характера связи с теми или иными магматическими комплексами.

Из выступлений и существующей литературы известно, что наиболее трудно определить характер связи сульфидного оруденения с магматизмом. С этой точки зрения большое значение имеет изучение оловорудных месторождений, среди которых известны как высокотемпературные (грейзеновый и кварц-касситеритовый), так и низкотемпературные (сульфидно-

касситеритовый) типы. Олово наблюдается также в полиметаллических и даже сурьмяно-ртутных месторождениях.

Таким образом, установив генетическую связь оловорудных месторождений различных генетических типов между собой и связь высокотемпературных месторождений с определенными магматическими комплексами, можно говорить о связи и более низкотемпературных оловянных месторождений с этими комплексами, однако связь эта более сложная, чем говорили выступающие. Отделение рудоносных растворов от магмы происходило неоднократно, но наиболее интересное промышленное оруденение образуется после самых поздних магматических дифференциатов и связано с остаточным магматическим расплавом, насыщенным летучими компонентами и рудными элементами.

А. М. Подольский (Московский геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе) напомнил, что по вопросу об акцессорных минералах как одном из признаков потенциальной рудоносности интрузивов существует две точки зрения. Одна базируется на изучении оловоносных и ниобий-танталовых интрузивов, где наличие акцессорных минералов является признаком и рудоносности интрузивов (И. Е. Сморгчов, М. Г. Руб, И. Ф. Григорьев, Е. И. Долманова). По мнению Г. Н. Гогель и В. И. Знаменского, наличие акцессорных минералов еще не свидетельствует о рудоносности интрузива. Это зависит от формы нахождения элемента в его минералах-концентраторах.

А. М. Подольским в результате изучения гранитоидов Казахстана установлено, что минералами-концентраторами ниобия и тантала оказались биотит и сфен. При наличии акцессорного колумбита граниты потенциально рудоносны. Он проводил растворение минералов-концентраторов, например биотита, в 5%-ной плавиковой кислоте (по совету М. Е. Казаковой) и, кроме Nb_2O_5 , в фильтрате был получен колумбит. При дифференциальном растворении оказалось, что биотит в участке развития альбитизации и вне его содержит тот же колумбит (содержание Nb в изоморфной смеси 0,12—0,14%).

С. Ф. Соболев (Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов) указал, что изучение акцессорных минералов проводится с разной детальностью. Более перспективными работы будут только тогда, когда будет предпринято комплексное изучение минералов на широкой геологической основе и с широким применением геохимических методик. Необходима методика максимальной извлекаемости акцессорных минералов.

Б. К. Львов (Ленинградский государственный университет) остановился на вопросе методики обработки проб и отметил сопротивление некоторых исследователей применению метода обработки проб, предлагаемого им. Трудоемкость предлагаемой им методики одинакова с существующими, но потери несравнимы с потерями при промывании на концентрационном столе или любым другим способом. При промывке коэффициент поправки различен для разных минералов и проб, причем нередко достигает 3 и более.

Выделение минералов из протолок необходимо для других целей, а не для количественного анализа. Количественный подсчет в протолочках дает лучшие результаты без отмывки. Точность при подсчетах несомненно нужна, так как по содержанию элементов мы судим о балансе распределения элементов в породах и минералах.

Фотографировать кристаллы акцессорных минералов можно в иммерсионных препаратах, применяя низкочувствительную позитивную пленку. Пленка вставляется в самодельную кассету, которая делается из картона

и оклеена черной бумагой. Кассета имеет отверстие на величину тубуса. Кристаллы фотографируются при выдержке 20—30 сек.; конечное увеличение может достигать 400 раз и более.

Удельный вес определяется при пользовании трубочками М. М. Василевской и Н. И. Руденко. Эти трубочки приспособляются на микроскоп.

В акцессорных минералах уран определяется химически по методике И. Е. Старика. Кристалл, который можно измерить под бинокляром, вдавливается в перл NaF, и люминесцентным методом достаточно точно определяется содержание урана.

Р. В. Пугалова (Геологический институт АН Казахской ССР) подчеркнула необходимость выработки экономически рациональной схемы опробования пород. Очень часто им приходится работать без наборов тяжелых жидкостей, так как их нет.

Больше внимания следует уделять методикам извлечения акцессорных минералов, тогда их проще будет изучать, шире практиковать изучение поверхностей минералов под электронными микроскопом.

Циркон является одним из лучших объектов исследования. При его изучении необходимо четко разграничивать циртолиты и малаконы.

Г. И. Кокорев (Узбекское геологическое управление) отметил, что хотя разными исследователями применялись разные методики, результаты у всех получились сходные. Прав В. Е. Гендлер, сказавший, что без солидного и достоверного геологического анализа с привлечением данных абсолютного возраста нельзя глубоко изучать акцессорные минералы и элементы. В каждом районе есть эталонные интрузивы, но много их и с еще неясными возрастными соотношениями. При наличии солидной геологической базы изучение акцессорных минералов даст полезные и нужные результаты.

Теперь, когда основные закономерности распространения акцессорных минералов в интрузивных комплексах уже выявлены, необходимо переходить к изучению их в эффузивах, тем более, что в результате проведенных геологосъемочных работ стратиграфическое положение, характер разрез эффузивных толщ в некоторых районах достаточно изучены.

Интрузии, руды, эффузии — это очень сложные объекты и без изучения акцессорных минералов и элементов в них нельзя говорить о рудоотделении из расплава, о чем хорошо сказала М. Г. Руб. То же следует сказать и о жильном сопровождении интрузий, где также мало акцессорных минералов, как и в эффузивах, но где четко унаследуются видовой состав материнских пород.

Кроме того, Г. И. Кокорев остановился на методике взятия проб. На совещании говорилось, что площадное опробование усредняет содержание минералов в породах и не дает картины их распределения. Но ведь опробование ведется и в центре массива, и в его эндоконтактных зонах, и на различных эрозионных срезах. Поэтому можно судить и о характере распределения. В гибридных породах колебания породообразующих минералов наиболее велики и усредненные пробы дают лучшие результаты. В метаморфических же породах площадное опробование не даст нужного эффекта.

Ю. М. Кириарский (Геологический институт Кольского филиала АН СССР) отметил, что чрезвычайно разнообразная тематика и различная направленность всех заслушанных докладов совсем не случайны. Они объясняются, в частности, большой широтой обсуждаемого предмета, широким содержанием понятия «акцессорные минералы». Отсюда то внимание, которое уделяют акцессорным минералам все геологи, независимо от их специализации.

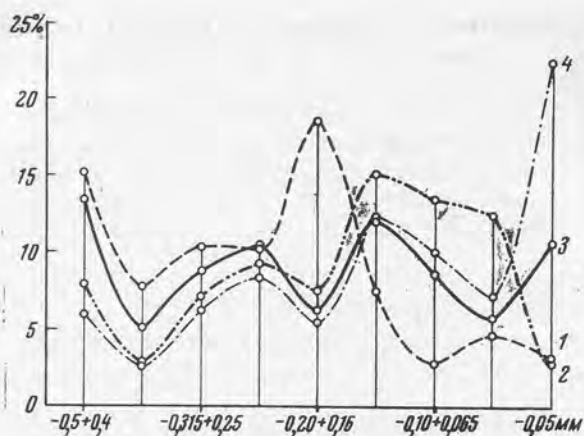


Рис. 1. Выход фракций (в вес. %) по классам крупности для проб различных типов пород

1 — мелкозернистые апатит-магнетит-форстерит-флогопитовые породы; 2 — мелкозернистые апатит-форстеритовые породы; 3 — крупнозернистые апатит-форстерит-магнетитовые породы; 4 — крупнозернистые кальцитовые карбонаты

При изучении распределения редких элементов в породах и в минералах различных массивов им применялись разнообразные методы контроля результатов. Наиболее интересны следующие наблюдения.

1. Контроль цифр фазового анализа методом параллельного подсчета в шлифах показывает, что даже при суммарной длине линий подсчета 25—30 см получается различная сходимости результатов для всех минералов. При этом для аксессуарных минералов в шлифах часто устанавливается заниженное содержание по сравнению с данными фазового анализа. В отдельных случаях относительная ошибка подсчета достигала 20%. Вероятнее всего это следует объяснить выкрашиванием аксессуарных минералов при изготовлении шлифов.

2. Контроль цифр фазового анализа проб методом люминесценции (для люминесцирующих минералов — циркона, флюорита, кальцита и т. п. — при подсчете их в навеске, отквартованной из соответствующей фракции) также дает несколько заниженные по сравнению с данными фазового анализа результаты. При этом для однотипных проб ошибка часто носит систематический характер и может быть учтена путем дополнительного пересчета. Вероятно, она вызывается тем, что среди люминесцирующих зерен в пробах могут находиться и несветящиеся зерна данного минерала, которые, естественно, пропускаются при таком методе контроля.

3. Контроль цифр фазового анализа проб радиометрическими методами применялся при наличии в пробах радиоактивных аксессуарных минералов (циртолит, пироклор и т. п.). Необходимым условием применения радиометрического контроля является наличие в пробе (или в анализируемой фракции) только одного радиоактивного минерала с постоянным содержанием радиоактивных элементов в отдельных его зернах. Иными словами, предварительно необходимо установить наличие корреляционной связи между степенью радиоактивности анализируемого материала и содержанием в этом материале того или иного минерала. При наличии такой корреляции радиометрический метод является быстрым, точным и чрезвычайно удобным для определения содержания соответствующих аксессуарных минералов как в различных фракциях, так и в необработанных пробах.

4. В большинстве проб обнаруживается неравномерность распределения материала по классам крупности. Это положение, чрезвычайно важное при изучении аксессуарных минералов, судя по литературным данным, никем внимательно не рассматривалось. Наблюдения Ю. М. Кирнарского по этому вопросу сводятся к следующему:

а) контрольные химические анализы шламов, проводимые параллельно с анализами основных проб, обычно говорят об избирательном переиз-

мельчении отдельных минералов пробы. Это вызывает расхождение результатов анализов пробы и шлама, причем в отдельных случаях величина этого расхождения достигает 10—15% содержания элемента в зависимости от минералогического состава пород;

б) при одном и том же режиме дробления проб для пород различного состава наблюдается различный выход фракций по классам крупности (рис. 1);

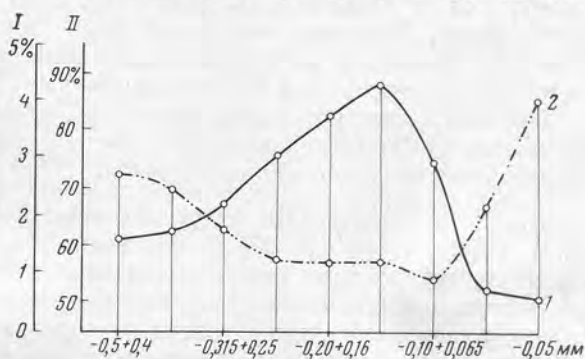
в) в пределах одной пробы наблюдается различное распределение одного и того же минерала по классам крупности. Другими словами, в каждой пробе содержание каждого минерала непостоянно в различных фракциях по классам крупности (рис. 2).

Таким образом, при определении содержания акцессорных минералов в пробах необходимо предварительное обоснование выбора класса крупности для «рабочих» фракций.

Фактический материал показывает, что в пробах, различающихся по количественно-минералогическому составу, роль минералов-концентраторов обычно выполняют различные минералы-носители. Например, для

Рис. 2. Распределение магнетита (в вес. %) по классам крупности в пробах различных типов пород

1 — мелкозернистые апатит-магнетит-форстерит-флогопитовые породы; 2 — крупнозернистые апатит-форстерит-магнетитовые породы; I — шкала масштаба для кривой 1; II — шкала масштаба для кривой 2



ниобия отмечались следующие минералы-концентраторы: пирохлор (в случае его присутствия с ним связывается 60—99% общего содержания Nb_2O_5 в породе), сфен (соответственно 0—95%), слюды (0—60%), пироксены (0—40%) и другие минералы. Для циркония в качестве минералов-концентраторов отмечаются бадделлит, циркон, циркелит, эгирин и др. (таблица).

Возможная роль минералов-концентраторов в различных типах пород

Nb_2O_5 , %	ZrO_2 , %
Пирохлор > 90	Циркон до 85
Перовскит > 80	Бадделлит до 95
Сфен до 40	Циркелит до 15
Биотит до 30	Эгирин до 60

Эти данные позволяют сделать следующий предварительный вывод, вероятно, имеющий значение при изучении акцессорных минералов: в различных типах и разновидностях пород (даже в пределах одного массива) при постоянном наборе минералов-носителей могут быть различные главные минералы-концентраторы отдельных элементов.

А. С. Павленко в чрезвычайно интересном, хотя и трудно воспринимаемом сообщении, в частности, сказал, что с физико-химической точки зрения, в метасоматической породе невозможно совместное присутствие

двух и более редкометалльных акцессорных минералов для каждого из редких элементов. Видимо, это положение может быть очень широко использовано геологами. Так, в случае одновременного нахождения в метасоматических породах таких пар акцессорных минералов, как бадделейт и циркон, эвдиалит и астрофиллит, пироклор и колумбит (и ферсмит) и т. п., указанное положение может явиться дополнительным критерием при решении вопросов о возрастной последовательности образования минералов, о выделении разновременных этапов минералообразования и последовательных стадий метасоматоза и т. п.

Ю. В. Казыцын (Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт) указал, что уже существует определенный подход к изучению акцессорных минералов. Акцессорная минералогия находится в стадии обобщения и превращается в область самостоятельных геологических значений.

Опыт автора по гониометрическим исследованиям акцессорных минералов уже опубликован. Оказалось, что отношение $a:c$ и величина ρ колеблются от комплекса к комплексу. Рентгеновские данные это также подтвердили. Цирконы различаются по спектру поглощения и люминесценции. Измерение показателя преломления их при помощи фосфорнометиленовых жидкостей дает точность до 0,001.

Настало время, когда приходится говорить о необходимости подготовки к изданию учебного руководства по акцессорной минералогии и включения в программу вузов подобного же курса.

А. С. Павленко (Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского АН СССР) остановился на одном из вопросов методологии изучения акцессорных минералов. Акцессорные минералы связывают породы и руды, поэтому их исследование может пролить свет на процессы рудообразования и главным образом поможет понять процессы мобилизации и миграции рудного вещества. Опыт петрографии и минералогии показывает, что только с применением геохимии и физической химии можно решать вопросы образования акцессорных минералов.

Парагенетический подход к вопросу изучения акцессорных минералов обязателен. Только таким путем можно выяснить условия, приводящие к формированию того или другого акцессорного минерала. Важно определить физико-химическую сущность минерала. Советские петрологи достигли больших результатов при изучении физико-химических условий формирования породообразующих минералов. В магматической системе акцессорные минералы представляют собой обособления избыточных элементов, исчезновение которых не ведет к появлению новой фазы.

В. В. Ляхович (Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов) отметил, что предполагается изучить один и тот же акцессорный минерал в разных типах пород. Тогда можно будет получить ключ к решению обратных задач и вопросы корреляции будут решаться более убедительно.

Многие работы, как правило, связаны с сопоставлением. Однако, чтобы сопоставлять, надо знать средние значения. Для этого нужны методики, и выработка их будет одной из главнейших задач.

Корреляция акцессорных минералов в настоящее время очень модна, но необходимо также нахождение минерального фона акцессорных минералов. Минералы нужно располагать поэлементно, тогда четко устанавливаются их особенности.

В области химии существуют международные стандарты. Они нужны и в наших исследованиях. Для этого необходимо из одного участка гранитного массива взять пробы и обработать их в разных лабораториях, а

к концу года выслать результаты обработки в один центр, чтоб можно было найти ошибки методики.

С. Д. Туровский (Геологический институт АН Киргизской ССР) сказал, что брать пробы весом 300 г — это порочная методика. В них редкие минералы плохо улавливаются.

Крупность дробления проб для извлечения акцессорных минералов имеет очень большое значение. На конечный результат влияют также способ засыпки материала в дробилки, методы его дальнейшей обработки. Сотрудники института работают над методиками увеличения выхода мономинеральных фракций хотя бы до 80%. В. В. Ляхович ориентирует на подсчет зерен во фракциях, С. Д. Туровский же считает более целесообразным доведение их до мономинеральных, после чего они взвешиваются. Например, так он поступает при оценке содержания в пробах апатита, магнетита, пльменита и сфена.

В. С. Коптев-Дворников (Московский государственный университет). Главная цель совещания, вероятно, достигнута: рассмотрены результаты большого количества исследований и достижений в области изучения акцессорных минералов. Можно сказать, что исследования в области акцессорных минералов позволяют решать ряд задач:

1) выделять комагматические серии, в благоприятных геологических условиях проводить возрастную корреляцию, выделять фации глубинности, судить о глубине эрозионных срезов интрузивных комплексов и об их металлогенической и геохимической специализации;

2) правильно использовать данные исследований по абсолютному возрасту;

3) однозначно решать вопросы генетической связи месторождений полезных ископаемых с интрузивами и корректировать направления геохимических поисковых работ;

4) конкретизировать прогнозные и металлогенические карты;

5) обнаруживать массивы горных пород, которые могут быть использованы как новые источники минерального сырья редких и рассеянных элементов.

Наиболее эффективные результаты работ по акцессорным минералам получаются при осуществлении их в комплексе полеозенных геологических, геохимических и петрографических исследований.

Следует остановиться на некоторых замечаниях.

1. Мало освещались причины, приводящие к неравномерному распределению акцессорных минералов.

2. Далеко еще не все ясно с возрастной корреляцией по акцессорным минералам, хотя установлено, что, используя геохимические особенности пород и минералов, корреляция становится все более реальной.

3. Не было обращено внимание на такие минералы, как силлиманит, корунд, андалузит, и на анализ причин их образования. Для получения наиболее полной информации от изучения акцессорных минералов было бы весьма целесообразным сосредоточить внимание специалистов прежде всего на всестороннем исследовании таких распространенных минералов, как апатит, циркон и магнетит. Необходимо больше внимания уделять изучению акцессорных минералов в основных породах, эффузивных и дайковых образованиях. Это особенно важно для решения вопросов комагматичности пород.

4. Отсутствуют общепринятые рациональные методы отбора проб, схемы их обогащения, а также способы математической обработки полученных результатов. Это существенно затрудняет сопоставление данных различных регионов. До сих пор еще преобладают работы, выполненные в отрыве от глубоких геолого-петрологических и геохимических исследо-

ваний. Отсутствуют физико-химические и экспериментальные исследования в области моделирования процессов образования акцессорных минералов.

5. Докладчики сделали ряд замечаний по организации исследований. Они касались: 1) необходимости создания специализированных лабораторий в ряде геологических учреждений; 2) создания постоянной комиссии по изучению акцессорных минералов при Междуведомственном петрографическом комитете; 3) проведения систематического опробования массивов горных пород главных геологических формаций различных регионов для выявления их потенциальной рудоносности и возможности использования в качестве сырья на редкие и рассеянные элементы; 4) постановки всесторонних комплексных исследований на нескольких «эталонных» природных объектах; 5) создания методического и информационного центра при ИМГРЭ.

Очевидно, что выполнение перечисленных задач будет способствовать решению интересных и важных теоретических и практических проблем.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
МЕТОДЫ ОТБОРА И ОБРАБОТКИ ПРОБ	
<i>В. В. Ляхович, С. Д. Туровский.</i> Методика изучения акцессорных минералов изверженных пород	5
<i>Б. К. Львов.</i> Методика изучения акцессорных минералов	10
<i>Н. Н. Амшинский, И. В. Мариич, А. М. Горб, Л. И. Орлова.</i> Основы методики минералого-геохимических исследований гранитоидов	18
<i>В. С. Мищенко.</i> Изучение и учет абсолютных и относительных потерь акцессорных минералов при получении искусственных шлихов	22
<i>М. И. Толстой, И. М. Остафийчук.</i> Некоторые особенности статистического распределения элементов и минералов в горных породах и их значение при минералого-геохимических исследованиях	34
<i>Е. А. Кузнецов.</i> Метод сравнительной дисперсии двупреломления для исследования акцессорных минералов	39
ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ СЕПАРАЦИИ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ	
<i>Г. А. Коц, Е. Г. Разумная.</i> Микрообогатительная аппаратура для сепарации минералогических проб и возможности ее применения	44
<i>К. К. Никитин, Т. Н. Вознесенская.</i> Схемы выделения акцессорных минералов из ультраосновных, средних, кислых и щелочных пород	47
<i>Н. Н. Батырева.</i> Некоторые простые методы выделения мономинеральных фракций	53
<i>С. Д. Туровский, А. В. Шендрик.</i> Некоторые усовершенствованные приемы обработки тяжелых фракций из протокочек	55
<i>Г. М. Козлова, К. К. Никитин.</i> Выделение биотита, лепидолита, мусковита и вермикулита для определения абсолютного возраста и других исследований	58
<i>Г. М. Козлова, К. К. Никитин.</i> Применение вибрационной плоскости для выделения мономинеральных фракций слюд и других пластинчатых минералов	61
<i>К. К. Никитин.</i> Выделение ферромагнитных минералов на магнитном сепараторе с бегущим магнитным полем	64
<i>А. Э. Гауке.</i> Разделение некоторых редкометалльных и сульфидных минералов с применением электрической сепарации	66
<i>А. П. Пиккат-Ордынская.</i> Опыт выделения мономинеральных фракций галенита, пирита, халькопирита, сфалерита, кварца и полевого шпата методом флотации	75
<i>М. Я. Кац, В. В. Баранов.</i> Опыт конструирования однозонных полюсов к изодинамическому сепаратору минералов	77
Дискуссия по разделам «Методы отбора и обработки проб» и «Приборы и методы сепарации акцессорных минералов»	80
АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ СССР	
АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРАНИТОИДОВ	
<i>О. И. Египко.</i> Акцессорные минералы докембрийских гранитоидов сводовой части Воронежской антеклизы	87
<i>О. Ш. Надарейшвили.</i> Значение акцессорных минералов в изучении вопросов петрологии гранитоидов	91
<i>В. М. Меликсетян.</i> Закономерности распределения акцессорных минералов в гранитоидах Мегринского плутона	95
21 Акцессорные минералы	317

<i>П. М. Бартикян.</i> Акцессорные минералы Шамшадинской группы интрузивов (Армения)	108
<i>М. И. Задумина.</i> Акцессорные минералы и элементы в гранитоидах Котансуйского массива (Южный Урал)	115
<i>Т. А. Иванова.</i> Акцессорные минералы и редкие элементы в магматических комплексах Северного Тимана	120
<i>Г. Н. Гогель.</i> Акцессорные минералы гранитоидов Центрального Казахстана и Заильского Алатау	124
<i>А. И. Ежов.</i> Акцессорные минералы гранитоидов Шалгиинского района (Центральный Казахстан)	128
<i>С. Д. Туровский, Г. Н. Кокарев.</i> Акцессорные минералы палеозойских интрузивных комплексов северного Тянь-Шаня	130
<i>П. С. Козлова.</i> Состав и распределение акцессорных минералов в интрузивных породах южного склона Таласского хребта (Средняя Азия)	134
<i>И. Х. Хамрабаев, К. Урумбаев.</i> Геохимические особенности гранитоидных интрузивов Западного Узбекистана, центральной части Чаткало-Кураминских гор и распределение в них некоторых акцессориев и малых элементов	141
<i>И. Л. Козлов.</i> Распределение акцессорных минералов в гранитоидах Чиримбинского и Гурахтинского массивов в Енисейском кряже	149
<i>А. Л. Плешанова, А. П. Гладких.</i> Акцессорные минералы гранитоидов Западного Забайкалья	152
<i>Ю. В. Казыцын.</i> Минералого-геохимические критерии металлоносности интрузий Северо-Восточного Забайкалья	156
<i>Н. С. Варганова, И. В. Завьялова.</i> Акцессорные минералы гранитоидов Восточного Забайкалья и их значение для корреляции	164
<i>А. Р. Зилов, Д. Жалсабон.</i> Распределение акцессорных минералов в гранитоидах среднего течения р. Витим	170
<i>И. С. Ипатьева.</i> Акцессорные минералы гранитоидов Верхне-Индибирского района (Восточная Якутия)	173
<i>Е. И. Никитина, В. И. Сотников.</i> Поведение акцессорных минералов при формировании кварц-мусковитовых грейзенов	181
<i>Г. М. Гнатив, О. И. Магковский.</i> Морфологические особенности акцессорного циркона изверженных пород крайней северо-западной части Украинского кристаллического щита	186
<i>А. П. Берзина, В. И. Сотников.</i> Циркон из гранитоидов разных генетических типов (на примере Горного Алтая)	193
<i>Б. К. Львов, А. А. Жангуров.</i> Акцессорный монацит из гранитов и метаморфических пород Восточно-Уральского антиклинория	196
<i>В. В. Ляхович.</i> Некоторые особенности акцессорного граната гранитоидов	204
АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД	
<i>Г. А. Ильинский.</i> Акцессорные минералы щелочных пород Алайского хребта	215
<i>Р. В. Пугалова.</i> Акцессорные минералы щелочных пород Причингизья	218
<i>Л. С. Погиблова.</i> Поведение акцессорных минералов в процессе дифференциации сложной интрузии Кызыл-Омшул (Северный Тянь-Шань)	224
<i>В. И. Фельдман.</i> Акцессорные минералы щелочных гранитоидов Тайдутского массива (Центральное Забайкалье)	227
АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОД	
<i>С. Ф. Соболев.</i> Акцессорные минералы ультраосновных и основных пород Урала	236
<i>Б. П. Золотарев.</i> Морфология и генезис некоторых акцессорных минералов ультраосновных и щелочных пород массивов Африканда, Вуориярви и Саллаулатви	248
<i>И. А. Ефимов, Л. Г. Косинцева.</i> Акцессорные минералы в эклогитах и пироповых серпентинитах Кокчетавского антиклинория и Киргизского хребта	254
<i>Е. Д. Надеждина.</i> Некоторые особенности акцессорной редкоземельной минерализации в трапах районов рек Подкаменной Тунгуски и Большой Ботубии (Сибирская платформа)	257

Дискуссия по разделу «Акцессорные минералы изверженных пород отдельных районов СССР»	265
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ВОПРОСОВ	
<i>В. В. Ляхович.</i> Акцессорные минералы как поисковый признак	267
✓ <i>И. Д. Царовский.</i> Использование акцессорного циркона для корреляции докембрийских пород Украинского щита	272
<i>Д. С. Штейнберг, В. Г. Фоминых.</i> Генетическое и практическое значение изучения акцессорных окисных железо-титановых минералов в изверженных горных породах	281
<i>И. В. Носырев, С. Д. Туровский.</i> Время и условия кристаллизации акцессорных минералов изверженных горных пород	288
<i>С. Д. Туровский.</i> Признаки сингенетичности акцессорных минералов	294
<i>С. Д. Туровский.</i> Значение акцессорных минералов для решения некоторых теоретических и практических вопросов геологии	296
<i>И. Е. Сморгков, Н. Н. Багырева.</i> Значение радиоактивных акцессорных минералов при петрографо-металлогенетических исследованиях	300
Дискуссия по разделу «Опыт использования акцессорных минералов для решения генетических и других вопросов»	303

УДК 552.124.3

Методика изучения акцессорных минералов. Ляхович В. В., Туровский С. Д. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 7.

Описаны методика взятия проб в зависимости от задач исследований (регионального, локального характера или специализированных работ по акцессорным минералам), методика дробления проб и последующей их обработки.

УДК 552.124.3

Методика изучения акцессорных минералов. Львов Б. К. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 12.

Описана методика обработки проб, обеспечивающая максимальное извлечение из проб акцессорных минералов, и рассмотрены способы изображения результатов количественно-минералогического анализа (табличный, графический).

Таблиц 2, иллюстраций 2.

УДК 552.124.3

Основы методики минералого-геохимических исследований гранитоидов. Амшинский Н. Н., Марич И. В., Гороб А. М., Орлова Л. И. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 19.

Описана методика взятия проб и их обработки при минералого-геохимических исследованиях гранитоидов для целей корреляции, установления закономерностей распределения акцессорных минералов, а также рассмотрен способ изображения результатов количественного анализа акцессорных минералов.

Таблица 1, иллюстраций 2.

УДК 552.124.3

Изучение и учет абсолютных и относительных потерь акцессорных минералов при получении искусственных шлихов. Мищенко В. С. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 24.

Приведены результаты ряда опытов по изучению и учету абсолютных и относительных потерь акцессорных минералов при получении искусственных шлихов на примере докембрийских гранитоидных пород Среднего Приднпровья. Установлены весьма значительные различия в поправочных коэффициентах для разных видов акцессорных минералов и типов пород. Для большинства акцессорных минералов основным источником потерь является промывка. Сделан вывод, что удельный вес — главный признак, определяющий степень потерь акцессорных минералов при промывке.

Таблиц 6, иллюстрация 1.

УДК 552.124.3

Некоторые особенности статистического распределения элементов и минералов в горных породах и их значение при минералого-геохимических исследованиях. Толстой М. И., Остафийчук И. М. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 36.

Изучение характера распределения галлия в процессе равновесной и неравновесной кристаллизации в искусственных кристаллах $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ показало, что распределение его в случае равновесной кристаллизации происходит по закону В. Г. Хлопина и хорошо описывается нормальным законом, при неравновесной кристаллизации распределение галлия более сложное и подчиняется логнормальному закону. На примере магнетита из гранодиоритов Атасорского массива и магнетита из руд одного скарнового месторождения Северного Казахстана показано, что распределение элементов-примесей является значительно более сложным и неоднозначным для магнетитов интрузивных пород и магнетитов скарноворудного процесса.

На примере некоторых массивов Северного Казахстана (Крыкудукский, Балыкбайский, Ащикольский, Боровской и др.) сравниваются кривые статистического распределения в горных породах Fe, Ti и Cu, которое может быть использовано для носовой оценки преимущественных форм нахождения химических элементов. Приведены рекомендации по отбору протоколов для такого рода исследований.

Иллюстраций 4.

УДК 552.124.3

Метод сравнительной дисперсии дупреломления для исследования акцессорных минералов. Кузнецов Е. А. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 41.

Рассмотрены химические составы цирконов и апатитов из габбро, кварцевых диоритов, сиенитов и гранитов Тагильского массива на Урале, определенные методом сравнительной дисперсии дупреломления. Установлено, что количество галлия в составе циркона постепенно понижается с увеличением щелочности породы. Аналогично поведение трехокиси иттрия, тогда как изменения в содержании тория имеют противоречивый характер.

Таблиц 3, иллюстрация 1.

УДК 552.124.3

Микрообогатительная аппаратура для сепарации минералогических проб и возможности ее применения. К о ц Г. А., Р а з у м н а я Е. Г. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 19 г., 46.

Описаны устройство и возможности применения микрогабаритной обогатительной аппаратуры (лаборатория ПОЛМ) для сепарации руд и горных пород при минералогическом анализе и различных методах обогащения. Освещаются опыт применения этой аппаратуры для выделения сульфидов из полиметаллических руд, выделения мономинеральных фракций из руды, шеллита и пирита из их совместного концентрата, способы концентрации акцессорных минералов из горных пород. Отмечается также возможность использования нового оборудования для экспрессной оценки обогатимости руд.

УДК 552.124.3

Схемы выделения акцессорных минералов из ультраосновных, средних, кислых и щелочных пород. Н и к и т и н К. К., В о з н е с е н с к а я Т. Н. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 49.

Описаны схемы дробления, выделения концентрата акцессорных минералов в зависимости от зернистости пород и разделения концентрата акцессорных минералов на мономинеральные фракции в зависимости от начального веса проб и их состава. Приведены схемы выделения хромшпинелида из дунита, сфена из гранита, циркона и апатита из гранит-порфира, циркона из порфирита, пирита из метаамфиболита, касситерита и вольфрамита из пегматитов.

Иллюстраций 2.

УДК 552.124.3

Некоторые простые методы выделения мономинеральных фракций. Б а т ы р е в а Н. Н. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 55.

Описаны способы разделения минералов легкой фракции в разбавленной тяжелой жидкости (с удельным весом минерала меньше удельного веса жидкости), а также отмывка минералов в тяжелой жидкости для получения мономинеральной фракции (минералы с удельным весом больше удельного веса жидкости).

УДК 552.124.3

Некоторые усовершенствованные приемы обработки тяжелых фракций из протокочек. Т у р о в с к и й С. Д., Ш е н д р и к А. В. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1967 г. 57.

Описаны ускоренный метод деления шлихов в тяжелых жидкостях с использованием воронки Бюхнера, соединенной через колбу Бунзена с отсасывающим устройством, а также некоторые приемы получения мономинеральных концентратов.

Таблица 1, иллюстрация 1.

УДК 552.124.3

Выделение биотита, лепидолита, мусковита и вермикулита для определения абсолютного возраста и других исследований. К о з л о в а Г. М., Н и к и т и н К. К. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 60.

Описаны метод дробления и получения концентрата с применением реагентов и без них и метод доводки концентрата для выделения мономинеральной навески слюды.

Иллюстрация 1.

УДК 552.124.3

Применение вибрационной плоскости для выделения мономинеральных фракций слюды и других пластинчатых минералов. К о з л о в а Г. М., Н и к и т и н К. К. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 63.

Описаны устройство вибрационной плоскости, сконструированной авторами, а также подготовка материала к сепарации, порядок работы и результаты обогащения некоторых проб на виброплоскости.

Таблиц 3, иллюстрация 1.

УДК 552.124.3

Выделение ферромагнитных минералов на магнитном сепараторе с бегущим магнитным полем. Н и к и т и н К. К. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 66.

Описано устройство электромагнитного сепаратора с бегущим магнитным полем и порядок работы на нем. При помощи устройства могут быть получены концентраты магнетита 98—99, 5%-ной чистоты.

Иллюстраций 2.

УДК 552.124.3

Разделение некоторых редкометалльных и сульфидных минералов с применением электрической сепарации. Гауке А. Э. Сб. «Акцессорные минералы изверженных горных пород». 1968 г., 68.

Приведены краткие сведения по электрическим свойствам минералов, устройство схемы барабанного электросепаратора, схемы электросепарации проводящих минералов, а также возможности разделения сульфидов селективным изменением их поверхностной электропроводности путем обработки минералов различными реактивами (извлечение галенита и пирита, галенита и халькопирита, халькопирита и пирита).

Иллюстраций 6.

УДК 552.124.3

Опыт выделения мономинеральных фракций галенита, пирита, халькопирита, сфалерита, кварца и полевого шпата методом флотации. Пиккат-Ордынская А. П. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 77.

Рассмотрены два варианта схем флотации — последовательно-селективная и коллективно-селективная, позволяющие выделять концентраты 90—97%-ной чистоты.

Иллюстрация 1.

УДК 552.124.3

Опыт конструирования однозонных полюсов к изодинамическому сепаратору минералов К а ц М. Я., Б а р а н о в В. В. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 79.

Описан изодинамический сепаратор минералов с более рациональными сменными полюсами (однозонные без нулевого полюса), а также приведены результаты деления тонких классов минералов (флогопит, каолин, гумбрин, диксит-гематит) на этом сепараторе.

Иллюстраций 3.

УДК 552.124.3 552.321.1

Акцессорные минералы докембрийских гранитоидов сводовой части Воронежской антеклизы. Е г и п к о О. И. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 89.

Приводятся краткое описание геологического положения и основных черт петрологии гранитоидов кристаллического фундамента Воронежской антеклизы, применяемая методика для выделения акцессорных минералов и обсуждаются полученные результаты. Установлен немагматогенный генезис большей части акцессорных минералов, многие из которых имеют две-три возрастные генерации (магнетит, пирит, сфен, апатит, рутил), отвечающие различным этапам формирования породы (домагматический, магматический и постмагматический).

Таблица 1.

УДК 552.124.3 552.321.1

Значение акцессорных минералов в изучении вопросов петрологии гранитоидов. Н а д а р е й ш в и л и О. Ш. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 93.

В палеозойских гранитоидах Большого Кавказа была выявлена и изучена ассоциация микроскопических акцессориев (волосовидный и призматический рутил, удлиненно-призматический циркон и игольчатый апатит). Они встречаются в двуслюдяных гранитоидах («серые гранитоиды» Кавказа), являясь для них маркирующими. Масштабы регионального распространения акцессориев ультрамикроскопических размеров не ограничены Большим Кавказом. Они обнаружены в шлифах пород из других областей развития валедонид и герцинид (Закавказье, Средняя Азия, Забайкалье, Карелия, Рудные горы, Саксония, Грампианские горы и др.). При помощи этих акцессориев можно коррелировать древние гранитоиды разных регионов.

Иллюстраций 2.

УДК 552.124.3 552.321.1

Закономерности распределения акцессорных минералов в гранитоидах Мегринского плутона М е л и к с е т я н Б. М. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 97.

Комплексные петрографо-минералого-геохимические исследования позволили автору расчленил плутон на три разновозрастных интрузивных комплекса с жильно-магматическими сериями и коагматичными образованиями (монцитовой, граносиенитовой и гранитный), характеризующимися определенными особенностями распределения акцессорных минералов.

Приведены данные о количественных соотношениях акцессорных минералов в пределах выделяемых комплексов, охарактеризованы типы циркона в них и особенности состава элементов-примесей, рассмотрены элементы-примеси в сфенах, ортите, монаците, ксенотиме и других минералах, а также вопросы генезиса акцессорных минералов и понятие «акцессории». Обсуждается роль акцессорных минералов для решения вопросов о единстве магматического очага и генетической связи оруденения с интрузивами.

Таблиц 3, иллюстраций 6.

Акцессорные минералы Шамшадинской группы интрузивов (Армения). Бартикян П. М. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 110.

Более 30 акцессорных минералов присутствует в породах Шамшадинской группы интрузивов, принадлежащих (по типу акцессориев) к апатит-циркониевому типу. По акцессорным минералам определен домеловой возраст интрузивов путем корреляции акцессорных минералов интрузивов и вмещающих их осадочных пород. Приведена формула для расчета количественных содержаний акцессорных минералов в горных породах.

Таблица 1, иллюстраций 3.

Акцессорные минералы и элементы в гранитоидах Котансуйского массива (Южный Урал). Задумина М. И. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 117.

Изложены результаты изучения 120 протолок, взятых из кварцевых диоритов, граодиоритов (I фаза), плагиогранитов и крупнозернистых порфировидных биотитовых гранитов (II фаза), биотитовых, мусковитовых и двуслюдяных средне- и мелкозернистых гранитов (III фаза), аляскитов (IV фаза) и сопровождающих их широко развитых и разнообразных жильных отщеплений.

Выделены сквозные и спорадические акцессорные минералы гранитоидов, приведены их содержания, выделена группа гибридных и приконтактных минералов. Отмечено, что акцессорные магнетит, монацит, ксенохим, апатит и циркон чутко реагируют на изменения физико-химических условий среды. Анализ ассоциаций акцессорных элементов свидетельствует о том, что исходная магма имела специфическую редкоземельную металлогенетическую специализацию.

Таблица 1.

Акцессорные минералы и редкие элементы в магматических комплексах Северного Тимана. Иванова Т. А. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 122.

Разнообразная и сложная серия интрузивных пород (основного, кислого и щелочного ряда) доверхнеислудийского возраста, образующая ряд разобщенных крупных и мелких тел, залегающих среди метаморфических сланцев докембрия, рассматривается как апикальные части (купола, жилы, апофизы) скрытого на глубине крупного интрузивного тела. В формировании пород кислого и щелочного ряда (граниты, щелочные и нефелиновые сyenиты) большое участие принимают процессы послемагматического метасоматоза (микроклинизация, альбитизация, биотитизация и карбонатизация). Основная масса акцессорных минералов выделена в процессе послемагматического метасоматоза и связана с различными стадиями этого процесса. Описан состав элементов-примесей в акцессорных цирконе, флюорите, апатите, монаците, сфене, везувине, в рудных и других минералах. Исходя из состава акцессорных минералов, делается вывод, что растворы, производящие метасоматоз, содержали, по-видимому, повышенные количества Р, Ti, Nb, F, редких земель и радиоактивных элементов.

Акцессорные минералы гранитоидов Центрального Казахстана и Запыйского Алатау. Готель Г. Н. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 126.

На основании анализа 400 проб из герцинских гранитоидов Центрального Казахстана и 80 проб из каледонских гранитоидов выделены акцессорные минералы магматической стадии кристаллизации (магнетит, апатит, магматический циркон, ильменит, сфен, ортит) и минералы, связанные с автометасоматическими преобразованиями пород (торит, монацит, ксенохим, циркон II, блонстрандин, дивидит, сфен II и др.). Приведен видовой состав акцессорных минералов в зависимости от петрографического состава пород. Сравнение акцессорных минералов в гранитоидах обоих районов позволило выявить различия в составе, содержании и морфологических особенностях минералов. Отмечаются резко выраженный титанистый тип ассоциаций акцессорных минералов среднегерцинских гранитов, широкое развитие в них редкоземельных фосфатов и др.

Основным отличием среднегерцинских гранитов от каледонских является высокое содержание в первых минералов титана ранней стадии и наличие заметно выраженных процессов высокотемпературного автометасоматоза, обусловивших образование ряда редкоземельных, вторичных и других минералов. Акцессорные минералы могут быть использованы как поисковый критерий. Сопоставление гранитоидов герцинских комплексов в Центральном Казахстане и каледонских в Запыйском Алатау по акцессорным минералам показывает возможность различать петрографически сходные породы лишь в случае их связи с регионально обособленными разновозрастными очагами магмы.

Акцессорные минералы гранитоидов Шалгиинского района (Центральный Казахстан). Ежов А. И. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 130.

На основании изучения акцессорных минералов гранитоидов массив Мунглу отнесен к сфен-магнетитовому типу с характерным оловянно-вольфрамовым рудопроявлением. Приведены сводная таблица развития акцессорных минералов в гранитоидах.

типичные акцессорные минералы и отмечено наличие в массиве Куу наряду с обычными акцессорными минералами граната, корунда, силлиманита, ставролита и шпинели. Появление последних объясняется глубинным загрязнением магмы породами нижнего структурного этажа. Изучение акцессорных минералов выявило геохимическую специализацию интрузивов и помогло решению вопроса о генетической связи редкометаллических рудопроявлений с Мунглинским интрузивом.

Иллюстрация 1.

УДК 552.124.3 552.321.1

Акцессорные минералы палеозойских интрузивных комплексов Северного Тянь-Шаня. Туровский С. Д., Кокарев Г. Н. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 132.

Рассмотрены состав и содержание акцессорных минералов в изверженных породах четырех палеозойских интрузивных комплексов Северного Тянь-Шаня (среднекембрийско-нижнеордовинский, силур-девонский, карбоновый и пермский). Установлено, что для каждого комплекса характерно присутствие типоморфных для него акцессорных минералов. Из акцессорных минералов, выявленных в изверженных породах всех возрастов, 23 вида встречаются во всех комплексах, 31 минеральный вид встречается в породах трех комплексов. По интрузивным фазам в каждом комплексе типоморфные минералы распределяются закономерно. Отмечено, что основная по видовому составу и содержанию масса типоморфных минералов накапливается в породах конечных интрузивных фаз. Сделан вывод о возможности использования акцессорных минералов в качестве критерия для возрастной корреляции изверженных пород.

Таблиц 2.

УДК 552.124.3 552.321.1

Состав и распределение акцессорных минералов в интрузивных породах южного склона Таласского хребта (Средняя Азия). Козлова П. С. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 136.

В искусственных шлихах из габбро, кварцевого диорита, биотитового гранита (каледонские), эгирин-авгитового сиенита (варисские) и щелочных габброидов (альпийские) обнаружено около 40 акцессорных минералов, причем характерным минералом габбровых пород является апатит, в кварцевых диоритах и биотитовых гранитах — циркон, в лейкократовых гранитах — циркон, флюорит, в кварцевых щелочных сиенитах — циртолит. Приведены морфологические формы циркона, флюорита, циртолита, эвдиалита, апатита и других акцессорных минералов из различных пород, акцессорные элементы в них. Для щелочных сиенитов устанавливается четкая зависимость состава и содержания акцессорных минералов от состава и генезиса пород. Акцессорные минералы щелочных сиенитов характеризуются более сложным химическим составом, чем аналогичные минералы из пород каледонского и альпийского возраста. Жильные породы, кроме аллитов, которые сходны по составу акцессорных минералов с материнскими породами, бедны акцессорными минералами (гранит-порфиры, кварцевые порфиры, лампрофиры и диорит-порфиры).

Иллюстраций 3.

УДК 552.124.3 552.321.1

Геохимические особенности гранитоидных интрузивов Западного Узбекистана, центральной части Чаткало-Кураминских гор и распределение в них некоторых акцессорных и малых элементов. Хамрабаев И. Х., Урунбаев К. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 143.

Рассмотрены железистость, известковистость и щелочность гранитоидных верхнекарбоновых интрузивов Западного Узбекистана, сформировавшихся в четыре фазы: 1) диориты и кварцевые диориты, 2) порфировидные биотитовые гранодиориты, 3) биотитовые мусковитизированные граниты, аляскиты и лейкократовые граниты, а также акцессорные минералы, наблюдаемые в шлихах и шлифах из проломок в Актауском, Каратюбинском, Зирабулакском, Синтабском интрузивах Западного Узбекистана и в Кошмансайском, Сарардонском, Чептабском, Чимганском массивах в Чаткало-Кураминских горах. Приведены содержания акцессорных минералов и элементов в апатите, сфене, ортите, цирконе, нагзите, моналите, ксенотиме, рутиле. Показана связь химизма пород и состава акцессорных минералов. Даны региональные кварцовые содержания Мо, W, Nb, Ta, Ge, Ga, Pb, Zn, Cu для центральной части Чаткало-Кураминских гор.

Таблица 1, иллюстрация 3.

УДК 552.124.3 552.321.1

Распределение акцессорных минералов в гранитоидах Чиримбинского и Гурахтинского массивов в Енисейском кряже. Комов И. Л. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 151.

Приведены результаты изучения распределения акцессорных минералов в гранитоидах Чиримбинского и Гурахтинского массивов в Енисейском кряже. Впервые проведены работы по изучению химического состава, распределения акцессорных минералов в гранитах и гранито-гнейсах Чиримбинского массива, свидетельствующие об их разновозрастности. Выявлены закономерности в распределении акцессорных минералов в различных петрографических разновидностях и образованиях различных фаз интрузивной деятельности гранитоидов Гурахтинского массива.

Таблиц 2.

Акцессорные минералы гранитоидов Западного Забайкалья. Плещанова А. Л., Гладких А. П. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 154.

Приведены результаты изучения акцессорных минералов в трех массивах палеозойских гранитоидов в юго-западных отрогах Хамар-Дабана (Хурликский, Утатский и Оронгодский) и трех комплексах мезозойского возраста в бассейне нижнего течения р. Джиды (Кудунский, Геветуйский и Дабхорский). Рассмотрены особенности поведения минералов в различных частях палеозойских массивов. Установлено увеличение содержания апатита от центра интрузивов к периферии. Гранитоиды мезозойского возраста характеризуются значительно более высоким содержанием общей суммы акцессорных минералов по сравнению с палеозойскими и обладают более разнообразным видовым составом. В палеозойских гранитах отмечается постоянное присутствие молибденита.

Таблиц 2, иллюстрация 1.

Минералого-геохимические критерии металлоносности интрузий Северо-Восточного Забайкалья. Казлицы Ю. В. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 158.

На примере гранитоидов трех разновозрастных магматических комплексов — олекминского (Pz), аманано-амуджиканского (J₁—J₂) и нерчуганского (J₃—C₁) — изучались значение акцессорных минералов и акцессорных элементов для корреляции интрузивов, роль акцессорных минералов в концентрации рассеянных элементов и поведение акцессорных минералов и элементов в ходе послемагматических процессов. Установлено, что рассматриваемые комплексы имеют как «корреляционные» (аманано-амуджиканский — Ni, Co, Sn, Sc, олекминский — Nb, нерчуганский — Zr, J₁), так и «металлогенные» элементы (аманано-амуджиканский Mo, W, Cu, Pb, Zn). Рассмотрено поведение элементов-примесей при эпидотизации, калишпатизации, серицитизации, альбитизации, турмалинизации, аргиллизации. Общий повышенный уровень содержания металлогенных элементов в металлоносных интрузивах указывает на эндогенную природу рудного вещества, а уменьшение отношений Mo:W в гранитоидах и минералах, наиболее близких генетически к орудению, свидетельствует о возможности избирательного накопления или отделения даже весьма близких по химическим свойствам элементов.

Таблица 1, иллюстраций 6.

Акцессорные минералы гранитоидов Восточного Забайкалья и их значение для корреляции. Вартанова Н. С., Завьялова И. В. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 166.

Изложены результаты изучения акцессорных минералов в гранитных массивах Восточного Забайкалья (палеозойские — Кутмарский, Эке-Булакский, Булгагайский, Заурюльгуневский, Чаган-Олуевский, Удинский; мезозойские — Кондоевский, Соктуевский, южная часть Антйского массива, интрузивы Верхнего Приамурья). Установлено, что в синорогенных массивах граниты имеют однообразный апатит-фен-магнетитовый тип ассоциации акцессорных минералов. В гранитных интрузивах, приуроченных к разломам, наблюдается большее разнообразие типов ассоциаций и соответственно более разнообразный минералогический состав акцессорных минералов. Сопоставление минералогического состава и содержаний акцессорных изодатных пород разновозрастных массивов показало, что акцессорная минерализация зависит от условий формирования пород и не зависит от возраста, а потому не может быть использована в целях возрастной корреляции.

Таблиц 3, иллюстрация 1.

Распределение акцессорных минералов в гранитоидах среднего течения р. Витим. Зиллов А. Р., Жалсабон Д. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 172.

Рассматриваются особенности распределения акцессорных минералов и микроэлементов в четырех разновозрастных гранитоидных комплексах (нижнепротерозойские биотитовые гранитоиды, верхнепротерозойские биотит-роговообманковые диориты и роговообманково-биотитовые граниты, палеозойские кварцевые диориты и биотитовые граниты, мезозойские граниты и гранит-порфиры). На основании изучения 60 минералогических проб показаны отличия по содержанию и видовому составу акцессорных минералов разновозрастных гранитоидов.

Таблиц 3.

Акцессорные минералы гранитоидов Верхне-Индигирского района (Восточная Якутия). Ипатьева И. С. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 175.

Изучены распределения акцессорных минералов в крупных гранитоидных интрузивах Верхне-Индигирского района, а также в небольших штокообразных гранитоидных телах и дайках основного, среднего и кислого состава (центральная часть Иньяля-Дибинского синклиория) показало, что в гранитоидах могут быть выделены акцессорные минералы раннего, позднего и завершающего этапов кристаллизации гранитов, причем содержание раннемагматических акцессорных минералов (циркон, ильменит, апатит) понижается в сторону более поздних по времени образования пород, а более поздние дифференциаты гранитной магмы обогащены акцессорными минералами, содержащими редкоземельные компоненты.

Отмечено, что комплекс акцессорных минералов в породах даек среднего и кислого состава такой же, как и в гранитоидных интрузивах, а комплекс акцессорных минералов в породах даек основного состава позволяет предполагать отсутствие генетической связи с кислыми интрузивами района. Присутствие в биотитовых гранитах (Чугулукский, Сяляпский массивы) в рассеянном виде и в незначительном количестве главных компонентов золоторудных кварцевых жил позволяет высказать предположение о прямой генетической связи золотого оруденения с гранитными интрузивами Верхне-Индигирского района.

Таблиц 2.

УДК 552.124.3 552.321.1

Поведение акцессорных минералов при формировании кварц-мусковитовых грейзенов-никитин А. Е. И., С о т н и к о в В. И. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород», 1968 г., 183.

При формировании кварц-мусковитовых грейзенов одного месторождения в Горном Алтае имело место значительное изменение содержания и морфологических особенностей акцессорных минералов (турмалин, апатит, циркон, магнетит, пирит) из плагио-гранитов. Спектральный анализ новообразованных минералов показал, что некоторые из них (например, мартит) могут быть использованы в качестве минералов-индикаторов профиля оруденения. Мартит обладает повышенными содержаниями основных элементов рудных жил.

Таблиц 3, иллюстраций 3.

УДК 552.124.3 552.321.1

Морфологические особенности акцессорного циркона изверженных пород крайней северо-западной части Украинского кристаллического щита. Г н а т и в Г. М., М а т к о в с к и й О. И. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 188.

Рассмотрены содержания акцессорных минералов в породах архейского метаморфического комплекса и в изверженных образованиях кировоградско-житомирского и осницкого комплексов, которые характеризуются большим разнообразием акцессорных минералов. Содержания акцессорных минералов подвержены значительным колебаниям в зависимости от условий образования пород. Описаны облик, габитус, комбинации простых форм и размеры кристаллов циркона во всех комплексах.

Таблиц 2, иллюстраций 2.

УДК 552.124.3 552.321.1

Циркон из гранитоидов разных генетических типов (на примере Горного Алтая). Б е р з и н а А. П., С о т н и к о в В. И. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 195.

Изучены морфологические, физические и другие особенности цирконов из гранитоидных пород трех генетических групп: 1) гранитоидов, образовавшихся на месте путем магматического замещения, по Д. С. Коржинскому (докембрийский—Тургунидинский и каледонские — Кубадринский и Бугузунский массивы); 2) гранитоидов, формирование которых связывается с интродуцированием магмы, возникшей в результате плавления алломаслячатых толщ (герцинские гранитоиды Калбинского комплекса); 3) гранитоидов повышенной основности, для которых предполагается связь с магмой основного состава. Установлено, что цирконы обладают рядом специфических свойств. Детальный анализ циркона в комплексе с другими исследованиями может быть использован при уточнении генезиса магматических образований.

В гранитах первой группы наблюдается циркон как реликтовый, так и новообразованный, содержание их зависит от степени проявления магматического замещения. Если для гранитоидов второй группы типичны удлиненнопризматические кристаллы с растворенными вершинами и ребрами, то цирконы из гранитов третьей группы представлены прозрачными кристаллами с хорошо выраженными кристаллографическими формами.

Таблица 1.

УДК 552.124.3 552.321.1

Акцессорный монацит из гранитов и метаморфических пород Восточно-Уральского антиклинария. Л ь в о в В. К., Ж а н г у р о в А. А. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 168.

Исследование акцессорных монацитов из гранитов и вмещающих их пород Кочкарского, Челябинского, Джамбыкско-Карагайского и Суудукского районов позволило выявить ряд особенностей, касающихся как количественного распределения этого минерала, так и его физических и химических свойств. Установлено, что монацитомными являются лишь нормальные микроклиновые граниты джамбыкско-санарского комплекса, связанные с ними лейкократовые граниты и жильные дериваты, а также некоторые разновидности слюдястых сланцев и гнейсов, находящихся в непосредственной близости от этих гранитоидов. Отсутствие монацита в гранитоидах других комплексов (пластовский, степнинско-неплюевский) позволяет использовать данные о распределении этого минерала для расчленения и корреляции гранитов, в ряде случаев сходных по другим признакам. По морфологическим признакам выделено три главных типа кристаллов: 1) призматический (в гранитах); 2) пинакоидальный таблитчатый (преимущественно в пегматитах и лейкократовых жильных гранитах); 3) пинакоидальный пластинчатый (свойствен метаморфическим породам).

Приведены оптические константы монацита, результаты изучения акцессорных элементов в нем, а также отмечено, что во времени кристаллизации акцессорный монацит проявляет большое сходство с апатитом.

Таблиц 9, иллюстрация 1.

Некоторые особенности акцессорного граната гранитоидов. Л я х о в и ч В. В. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 206.

Установлено, что в наибольших количествах гранат присутствует в древних гранитоидах, в лейкократовых, аляскитовых и двуслюдяных гранитах и постоянно встречается в жильных дериватах гранитов, в аплитах и пегматитах. Содержание граната в гранитоидах непосредственно и связано как с петрохимическими особенностями гранитоидов, так и со степенью измененности их поздними процессами (грейзенизация — увеличение содержания граната, альбитизация — резко пониженные его содержания). Описаны формы граната, окраска, размеры, особенности химического состава гранатов докембрийских и послекембрийских гранитоидов, его геохимические особенности.

Считается, что состав граната может указывать не только на время образования этого минерала, но и на условия формирования включающей его породы. В генетически связанной серии пород (кислые эффузивы — граниты — аплиты — пегматиты) состав акцессорного граната закономерно изменяется от существенно альмандинового в эффузивах к альмандин-спессартиновому в гранитах и существенно спессартиновому в аплитах, пегматитах и метасоматически измененных гранитах, т. е. более поздние по времени выделения гранаты характеризуются все более возрастающей ролью в их составе марганца. Гранаты ассимиляционного генезиса характеризуются более высокими содержаниями Mg, Ca и Fe. Для докембрийских гранитов в составе граната характерны высокие содержания пиропового и няккие спессартинового компонентов, для гранатов послекембрийских гранитов характерны обратные соотношения.

Таблиц 5, иллюстраций 2.

Акцессорные минералы щелочных пород Алайского хребта. И л ь и н с к и й Г. А. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 217.

Рассмотрены количественные соотношения акцессорных минералов в щелочных интрузивах Алая (две серии: сиенитовая — нефелино-сиенитовая и нефелино-сиенитовая — гранитная; интрузивы Зардалек, Урусай, Чекинды, Матча, Кульп, Ходжаачкан, Джилису, Сурметаш и др.). Освещены особенности распределения ряда акцессориев по фациальным разновидностям пород, позволяющие уточнить процесс образования этих минералов в зависимости от геохимической обстановки.

Таблиц 3.

Акцессорные минералы щелочных пород Причингизья. П у т а л о в а Р. В. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 220.

Приведены результаты изучения акцессорных минералов в кварцевых сиенитах Батлакского и щелочных гранитах Арсаланского интрузивов, принадлежащих среднегерцинскому интрузивному комплексу. Даны содержания акцессорных минералов и подробно описаны свойства циркона, магнетита, а также особенности распределения акцессорных элементов в цирконе, сфене и приведена последовательность их выделения в процессе формирования гранитоидов. Изучение акцессорных элементов в акцессорных минералах гранитоидов Причингизья позволило выявить их геохимическую специализацию на редкоземельные элементы.

Таблиц 4, иллюстрация 1.

Поведение акцессорных минералов в процессе дифференциации сложной интрузии Кзыл-Омпул (Северный Тянь-Шань). П о г и б л о в а Л. С. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 226.

Изложены результаты изучения девяти шлиховых проб, взятых из сиенитов, граносиенитов и лейкократовых гранитов. Изучение количественно-минерального состава акцессорных минералов, а также акцессорных элементов в цирконе и апатитах дало автору основание говорить о том, что акцессорные минералы в интрузии Кзыл-Омпул являются чувствительными индикаторами изменения химического состава пород и, в частности, содержания кремнезема в них. Для обнаруженного впервые в нефелиновых сиенитах акцессорного бадделита приведены оптические свойства.

Таблиц 3.

Акцессорные минералы щелочных гранитоидов Тайдутского массива (Центральное Забайкалье). Ф е л ь д м а н В. И. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 229.

Приведены результаты изучения акцессорных минералов гранитоидов верхнетриасового возраста, их распределение в гранитоидах различной основности, последовательность формирования и содержания в целом по интрузиву и в породах различных ступеней метасоматоза. Отмечена длительность и многоэтапность формирования акцессорных минералов.

Таблиц 4, иллюстраций 6.

Акцессорные минералы ультраосновных и основных пород Урала. Соболев С. Ф. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г. 238.

Рассматриваются ассоциации акцессорных минералов ультраосновных и основных пород трех важнейших формаций Урала: гардбургитовой, дунит-пироксенит-габбро-диоритовой (платиноносной) и габбро-диабазовой. Приводятся средние содержания минералов, освещаются особенности распространения, распределения, образования, морфологии и химического состава. Отмечено, что для всех пород ультраосновных и основных формаций характерно ограниченное число минералов и значительно меньшее их содержание по сравнению с гранитоидами и щелочными породами.

Таблиц 3, иллюстраций 3.

Морфология и генезис некоторых акцессорных минералов ультраосновных и щелочных пород массивов Африканда, Вуориярви и Салланлатви. Золотарев Б. П. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 250.

Рассматриваются распределение акцессорных минералов, морфологические особенности некоторых из них (сфен, циркон, апатит) в породах массивов Африканда, Вуориярви и Салланлатви. Изучение морфологических типов кристаллов и особенностей их распределения позволило установить относительную последовательность их кристаллизации и генезис.

Таблиц 2, иллюстрация 1.

Акцессорные минералы в эклогитах и пироповых серпентинитах Кокчетавского и антиклинария Киргизского хребта. Ефимов И. А., Косинцева Л. Г. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 256.

Эклогиты рассматриваются как тектонические отторженцы от подкорового слоя (мантин), вынесенные к поверхности вместе с гнейсами при поднятии докембрийской антиклинальной зоны. В эклогитах обнаружены акцессорные рутил, фторапатит, резе — циркон, магнетит, галенит и др. Приводятся содержания некоторых акцессорных минералов (рутил, апатит), их размеры, химический состав, содержания акцессорных элементов. Акцессорные минералы в эклогитах указывают на их специфичность и условия формирования (при высокой температуре и большом давлении).

Таблица 1.

Некоторые особенности акцессорной редкоземельной минерализации в траппах районов рек Подкаменной Тунгуски и Большой Ботубоии (Сибирская платформа). Надеждина Е. Д. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 269.

Описаны акцессорные минералы нормальных и главным образом лейкократовых траппов из двух районов бортовых зон Тунгусской синеклизы. Образование лейкократовых долеритов и редкоземельной минерализации в них связывается с постмагматической гидротермальной переработкой нормальных траппов. Приведены данные о видовом составе, морфологии, содержаниях и химизме акцессорных минералов из нормальных и преимущественно лейкократовых траппов. Региональные особенности состава трапповой магмы и связанных с ней постмагматических растворов привели к образованию ортит-малакон-апатитовой ассоциации акцессорных минералов в траппах р. Подкаменной Тунгуски и апатит-сфеновой — в траппах р. Большой Ботубоии. Появление редкоземельной акцессорной минерализации тесно связано с процессами постмагматических и главным образом метасоматических преобразований в траппах.

Таблиц 2, иллюстраций 3.

Акцессорные минералы как поисковый признак. Ляхович В. В. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г. 269.

Приведены средние содержания некоторых акцессорных минералов в биотитовых гранитах различных районов Советского Союза и даны статистические оценки содержания некоторых акцессорных минералов в гранитоидах (гранодиориты, лейкократовые граниты и аляскиты), а также отмечено, что граниты Дальнего Востока характеризуются повышенными содержаниями акцессорных галенита, сфалерита, пееелита и ортита, для гранитоидов Восточного Забайкалья характерны повышенные содержания акцессорных молибденита, сфалерита, монацита, циркона, ортита, апатита и турмалина. Акцессорные минералы ниобия и тантала встречаются в гранитах Тувы и Горного Алтая, минералы тория — в гранитах Казахстана. С гранитоидами, характеризующимися повышенными содержаниями ряда акцессорных минералов, следует связывать россыпные месторождения этих минералов, а также легматитовые, грейзеновые или контактово-метасоматические рудопроявления элементов, образующих эти минералы.

Таблиц 2.

УДК 552.124.3

Использование акцессорного циркона для корреляции докембрийских пород Украинского щита. Ц а р о в с к и й И. Д. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 274.

Приведены типоморфные признаки циркона, позволяющие различать по цирконам породы архейской и нижнепротерозойской подвижной зоны и верхнепротерозойские породы платформенного типа (Октябрьский массив). Отмечено, что морфогенетические различия у цирконов из пород различного возраста выражены исключительно отчетливо. Рассмотрено поведение НЮ, в акцессорных цирконах. Особое значение придается содержанию изоморфных примесей в цирконе как коррелятивному признаку.

Таблиц 4, иллюстраций 3.

УДК 552.124.3

Генетическое и практическое значение изучения акцессорных окисных железо-титановых минералов в изверженных горных породах. Ш т е й н б е р г Д. С., Ф о м и н ы х В. Г. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 283.

Авторы считают, что различия в составе и содержании окисных железо-титановых минералов в гранитах и гранитоидах базальтоидного и сиалического происхождения объясняются не различием химического состава расплавов, а прежде всего разными условиями формирования. На примере Урала рассмотрено распределение и поведение титана и железа в разных частях верхнетурнейского базальтового потока из района Магнитогорска. Кроме того, магнетит использован как геологический термометр (габбро, Волковский массив). Рассмотрены акцессорные элементы в магматитах и подчеркивается, что ванадий является более чувствительным показателем условий и стадий кристаллизации, чем титан.

Таблица 1, иллюстраций 4.

УДК 552.124.3

Время и условия кристаллизации акцессорных минералов изверженных горных пород. Н о с ы р е в И. В., Т у р о в с к и й С. Д., Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород», 1968 г., 290.

На примере Северного Тянь-Шаня рассмотрены парагенетические ассоциации акцессорных минералов в диоритах и габбро-диоритах, в гранодиоритах, лейкократовых гранитах и аляскитах. Установлено, что акцессорные минералы выделяются в заключительные стадии формирования пород, имея достаточно продолжительный стадийный период выделения, причем наибольшая по видовому разнообразию часть акцессорных минералов кристаллизуется в самые поздние стадии формирования пород (в период выделения кварца и после него), а наибольшая часть по валовому количеству — на ранних стадиях их кристаллизации в период образования дейтерических цветных минералов. В ходе кристаллизации пород с падением температуры расплава, обогащенном его летучими компонентами и акцессорными элементами цирконы претерпевают изменения в сторону увеличения размеров кристаллов, потемнения окраски, усложнения морфологических форм и химического состава, увеличения их метамиктности. В каждом интрузивном комплексе при переходе от ранних фаз к конечным изменяется видовой состав акцессорных минералов.

По условиям образования акцессорные минералы объединены в три группы: 1) образующиеся из остаточного магматического расплава в период и в процессе реакционного взаимодействия расплава с ранее выделившимися породообразующими компонентами за счет высвобождающихся из них петрогенных элементов; 2) выделяющиеся или из обособившейся газовой фазы, заключенной в интерстициях, или из флюида; 3) образующиеся из водных растворов.

УДК 552.124.3

Признаки сингенетичности акцессорных минералов. Т у р о в с к и й С. Д. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 296.

На примере неизмененных и измененных пород некоторых массивов Северного Тянь-Шаня показана необходимость выделения акцессорных и наложенных минералов и описаны их отличия по морфологическим особенностям (пирит, галенит, арсенопирит, цинковая обманка, халькопирит, касситерит, молибденит, флюорит, пирротит, ферритит). Отмечены более сложный состав элементов-примесей в наложенных минералах и тождественность их подобным минералам из рудопроявлений. Акцессорные минералы по сравнению с наложенными несколько «чище» от примесей.

УДК 552.124.3

Значение акцессорных минералов для решения некоторых теоретических и практических вопросов геологии. Т у р о в с к и й С. Д. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород», 1968 г., 298.

Рассматривается возможность использования данных изучения акцессорных минералов и химических элементов для возрастной корреляции интрузивных образований, для выявления возрастных взаимоотношений дайковых пород и оруденения, для выявления физико-химической обстановки становления интрузивных тел в отдельные стадии этого процесса, для определения глубинности формирования интрузивных тел и решения ряда других теоретических вопросов. В практических целях методы изучения акцессорных минералов могут быть использованы при геохимических поисках «слепых» рудных тел и при минералогической съемке разнообразных геологических объектов.

Таблица 1.

Значение радиоактивных акцессорных минералов при петрографо-металлогенических исследованиях. Сморчков И. Е., Батырева Н. Н. Сб. «Акцессорные минералы изверженных пород». 1968 г., 302.

Акцессорными минералами, по мнению авторов, правильнее было бы называть те, которые представляют собой сингенетические, в количественном отношении второстепенные образования, являющиеся обычно своеобразными коллекторами, в которых сосредоточивается значительная часть содержащихся в породе элементов-примесей. Отмечается значение акцессорных минералов как наиболее достоверных признаков генетического родства различных эндогенных образований и как индикаторов характерных особенностей магматических, постмагматических, ассимиляционных и метаморфических процессов. Радиоактивные акцессорные минералы кристаллизуются в позднемагматическую стадию формирования гранитов, и в них концентрируется основная масса содержащихся в породе радиоактивных элементов. Отмечается, что радиоактивные акцессорные минералы позволяют достаточно обоснованно устанавливать парагенетический характер связи между оруденением и массивами гранитоидных пород, судить о рудогенерирующей способности магмы.

**Акцессорные минералы
изверженных пород**

*Утверждено к печати
Институтом геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии АН СССР*

Редактор издательства *В. А. Крыжановский*
Художник *В. Ф. Соболев*
Технический редактор *Н. П. Кузнецова*

Сдано в набор 16/II 1968 г. Подписано к печати 11/VII — 1968 г.
Формат 70 × 108^{1/16} Бумага № 2 Усл. печ. л. 30,8. Уч.-изд. л. 30,7
Тираж 1500 экз. Т-10636 Тип. зак. 292

Цена 2 р. 26 коп.

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография издательства «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

28.