

А К А Д Е М И Я Н А У К С О Ю З А С С Р

Т Р У Д Ы
ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ВЫПУСК 56. ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ СЕРИЯ (№17). 1941

И. А. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ В ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОДАХ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

И. А. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ В ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОДАХ

I. ВВЕДЕНИЕ

В последнюю четверть века появилось довольно много работ, посвященных изучению тяжелых и акцессорных минералов в изверженных и частью метаморфических породах. Несмотря на это, до сих пор является неясным вопрос о важности такого изучения для петрологии, так как результаты у различных авторов получались разные. Так как на основании изучения акцессорных минералов пытаются решить такие основные вопросы, как коагматичность пород, их возраст и т. п., то представляется целесообразным дать критический обзор литературы по акцессорным минералам изверженных и метаморфических пород. Имеются некоторые сводки по акцессорным минералам. В 1931 г. при Отделении геологии и географии американского Национального исследовательского совета (National Research Council) был образован под председательством А. Н. Винчела Комитет по акцессорным минералам, сводки которого публикуются в отчетах Национального исследовательского совета (Annual Reports). В 1937 г. Рид дал краткую сводку работ по акцессорным и тяжелым минералам, кончающуюся 1936 годом (Reed, 1937). Настоящая статья представляет попытку критического обзора литературы по акцессорным (и тяжелым) минералам.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ «АКЦЕССОРНЫЙ МИНЕРАЛ»

В своем обзоре исследований акцессорных минералов Рид (Reed, 1937) в самом начале ставит вопрос об определении понятия «акцессорный минерал». Этот вопрос решался в Комитете по акцессорным минералам в кристаллических породах. Пять членов Комитета согласились на следующем определении (цитируется по Риду):

«Для целей Комитета акцессорными являются те минералы, которые присутствуют в таких малых количествах, что они могут быть изучены скорее методами, включающими в себе концентрацию, чем методами изучения шлифов. Иногда такие минералы, как кварц и даже полевой шпат, находятся в очень малых количествах в некоторых горных породах. Тем не менее, они не считаются акцессорными минералами, так как до настоящего времени неизвестно, почему их лучше изучать методом концентрации.

Акцессорные минералы не должны быть смешиваемы с «тяжелыми» минералами; роговая обманка и биотит представляют примеры тяжелых минералов, редких для некоторых гранитов и потому часто включаемых в акцессорные минералы. Но, по крайней мере в большинстве случаев, представляется правильным, что они с большей пользой могут быть изучаемы обычными методами в шлифах.

Далее, опыт показывает, что если эти минералы включить в иссле-

дования, производящиеся методом концентрации, то затруднения, которые при этом возникают, совершенно не пропорциональны пользе, получающейся при изучении их этим методом.

Проф. Тольман не соглашается с высказанными положениями и утверждает, что термин «акцессорные минералы» имеет совершенно определенное значение и какое-либо переопределение может внести путаницу. Он думает, что задача может быть разрешена просто указанием группы минералов, наиболее подходящих к изучению методами концентрации. Он согласен с тем, что включение ферро-магнезиальных минералов может затемнить имеющие большее значение соотношения более обычных минералов, тем более, что ферро-магнезиальные минералы могут быть изучаемы в шлифах».

Первый признак акцессорных минералов, взятый для их определения Комитетом, — очень малое количество в породе; второй признак — польза от изучения минералов методом концентрации — относится не к самим минералам, а к результатам исследования; его можно формулировать так: значимость минералов для характеристики породы. Если минерал, встречающийся в породе в очень малых количествах, имеет значение, то он будет акцессорным минералом, если не имеет, то к акцессорным его отнести нельзя. Объективное решение этой дилеммы весьма затруднительно, и вряд ли подобный признак может быть взят для определения акцессорных минералов.

Рид присоединяется к определению акцессорных минералов, данному Холмсом (Holmes, 1920): минералы, встречающиеся в небольших количествах в породе; присутствие или отсутствие их не влияет на определение породы. Приводимые Ридом определения акцессорных минералов Ля-Форжа, Озанна и Джохенсена, в сущности, не отличаются от определения Холмса. Интересно, что Рид примкнул к определению Холмса и других, в котором отрицается роль акцессорных минералов как определяющих породу, и в то же время приводит литературу, авторы которой стремятся изучить акцессорные минералы для определения возраста пород, т. е. для выявления весьма существенного признака пород.

Если можно определить возраст интрузии, пользуясь только определенной ассоциацией акцессорных минералов, то очевидно, что наличие этих ассоциаций представляет весьма существенный признак пород и что в различии акцессорных минералов сказывается различие магм. Поэтому главный отличительный признак акцессорных минералов, указываемый Ридом, оказывается неправильным. В самом деле, было бы нелепо вводить в петрографическое исследование пород изучение признака, который не влияет на их диагностику.

Первый признак в определении, данном Комитетом по акцессорным минералам — их малое количество в породе, — представляет самый существенный признак акцессорных минералов. Будет правильным признать, что он в достаточной степени определяет эту категорию минералов. Здесь встречается лишь одно затруднение: как установить числовой предел содержания минерала в породе, ниже которого минерал считается акцессорным? Если бы существовало общепринятое деление пород по типам, группам, семействам, видам и т. д., то можно бы сказать, что акцессорными минералами называются такие, которые не влияют на отношение породы к той или иной, скажем, разновидности пород. Пока можно применить для определения малости количества акцессорных минералов тот признак, который указан Комитетом по акцессорным минералам, — необходимость для их изучения применения методов концентрации. Таким образом, представляется возможным принять определение Комитета по акцессорным минералам в его первой части, т. е. без ограничения в отношении каких-либо других минералов: акцессорными называются минералы, присутствующие в породе в таких малых количествах, что для изучения их требуется применение методов концентрации.

Благодаря обычному методу концентрации — промывке, — при котором получаются концентраты только тяжелых минералов, а легкие акцессорные минералы нередко ускользают от наблюдения, большая часть литературы об акцессориях, как указывает Рид, имеет дело с тяжелыми минералами. Получается большой недочет в исследовании акцессориев, который возможно будет устранить лишь в случае нахождения методов концентрации легких акцессориев на основании каких-либо их свойств. До сих пор изучение акцессорных минералов представляло собой изучение тяжелых минералов; эти два термина в некоторых работах являются синонимами.

III. КЛАССИФИКАЦИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ

Озанн (Osann; см. Rosenbusch, 1923, 17—18) делит минералы пород на существенные или главные составные части породы, побочные составные части и акцессорные или добавочные. К побочным он относит апатит, железорудные минералы, циркон. Добавочные делятся на викарирующие (заменяющие): турмалин на месте слюды, гаюин на месте нефелина; характерные: титанит в гранитах, пироп в серпентинитах, перовскит в меллилитовых базальтах, и случайные: флюорит в гранитах, галенит в песчаниках, сфалерит в известняках. При классификации Озанна акцессорные минералы, как они обычно понимаются в литературе, окажутся и среди побочных (apatит, циркон), и среди добавочных (турмалин, титанит). Некоторое видоизменение классификации Озанна представляет классификация Джохенсена.

Джохенсен (Johannsen, 1931; по Reed, 1937) делит минералы изверженных пород на первичные и вторичные. Среди первичных различаются существенные или главные составные части породы и акцессорные. Существенные минералы представляют необходимую часть породы. Акцессорные минералы делятся на малые акцессории и вспомогательные минералы. В число первых включаются обычно присутствующие минералы: апатит, циркон, титанит, железорудные минералы и другие, отсутствие или присутствие которых не влияет на классификацию данной породы. В некоторых случаях акцессорные минералы находятся в таком количестве, что они становятся имеющими значение (conspicuous), как титанит в сиените или топаз или турмалин в граните. Эти минералы могут быть названы вспомогательными (auxillary), добавочными составными частями. Вторичные минералы могут образовываться при вхождении нового материала (турмалин, топаз, флюорит), замещении (каолин, эпидот, хлорит, титанит и другие) и выветривании (кальцит, лимонит, водные силикаты). Эти минералы Джохенсен не называет акцессорными.

Райт (Wright, 1932) отмечает классификации акцессориев, употребляемые Уэльсом и Грантамом. Д. Р. Грантам (Grantham, 1928) разделяет акцессории на первичные или пирогенные: циркон, апатит, флюорит, и вторичные или инфильтрованные: турмалин, топаз и отчасти флюорит.

Уэльс (Wells, 1931) разделяет акцессорные минералы по их генезису на четыре группы:

1) Нормальные акцессорные минералы, образующиеся из расплавов без посторонних влияний: циркон, магнетит, ильменит, некоторые титаниты, более редко — ксенотим, монацит и, может быть, ортит.

2) Пневматолитовые акцессорные минералы: турмалин, флюорит, топаз, касситерит, некоторые рутилы, анатаз, брукит. Концентрацию этих минералов можно предполагать ближе к кровле интрузивов.

3) Контаминационные акцессорные минералы, получившиеся из поглощенных подстилающих или покрывающих пород: кордиерит, силлиманит, андалузит, шпинель, гранат. Они не имеют никакого значения для определения времени образования пород.

4) Вторичные акцессорные минералы, представляющие продукты изменения первичных минералов: клиноцоизит, цоизит, эпидот.

Классификация Уэльса в ее применении может вызвать возражения. По Трюмену (Trueman, 1912), в кристаллических известняках Гренвиля, Онтарио, находятся большие кристаллы циркона с хорошо развитыми гранями, ассоциирующиеся с титанитом, графитом и волластонитом. В серицитовых сланцах Таунуса хорошие кристаллы циркона ассоциируются с хорошо округленными зернами кварца. В прорезанном гранитом кварците из Риб Хилл, Висконсин, находятся многочисленные цирконы; некоторые из них показывают вторичное увеличение. Магнетит нередко является вторичным минералом разного времени происхождения: элимагматический продукт разложения пироксенов и амфиболов, гидротермальный или пневматолитический, заполняющий трещины в полевых шпатах.

С другой стороны не доказано, что турмалин в турмалиновых гранитах всегда является пневматолитовым минералом. По Брэммэлу и Харвуду (Brammal, Harwood, 1925 и 1927), первичный турмалин может образовываться в граните эвтектические сростки с β -кварцем; имеется вторичный турмалин, проникающий по спайности в полевые шпаты, замещая их, и вторичный, образующийся после застывания породы. Силлиманит и андалузит, по Е. Хиллсу (Hills, 1938), встречаются в неконтаминированных гранитах. По Кейсу (Keyes, 1893), эпидот в гранитах Мэриленда представлен хорошо образованными кристаллами; он встречается в виде включений в титаните и биотите наравне с включениями циркона, апатита и магнетита. Кейс указывает на сростки эпидота с алланитом. Такие же сростки наблюдал и Хоббс, приводящий подобные указания Вильямса, Лакруа, Бреггера и Адамса (Hobbs, 1893). Если первичность перечисленных минералов на основании приведенных данных и нельзя считать окончательно установленной, то в таком же положении находится вопрос и об их вторичном происхождении. Условия образования минералов, перечисленных Уэльсом, нельзя считать выясненными, что мешает признать приложимость его классификации. В каждом отдельном случае относительно акцессориев необходимо ставить вопрос о способах их образования, и только после решения этого вопроса можно делать попытки пользоваться акцессориями для корреляции и для установления связи того или другого элемента с интрузивами. В громадном большинстве работ по акцессорным минералам такой вопрос не ставится.

Рид (Reed, 1937) первым признаком деления акцессорных минералов считает генетический, по которому акцессории делятся на первичные, пневматолитовые, гидротермальные, акцессории выветривания. Вторым признаком Рид предлагает взять физические свойства, например удельный вес: акцессории с уд. весом более 2.86 будут «тяжелыми» акцессориями. Третий признак — химический состав, например сульфидные акцессории. Рид замечает, что различие в классификации акцессориев может повести к недоразумениям, так как первичные акцессории одного автора оказываются гидротермальными другого, а вторичные — пневматолитовыми или гидротермальными.

Можно признать принципы классификации акцессорных минералов, указанные Ридом, правильными. Генетический признак имеет первостепенное значение: но, как видно из приведенных литературных данных, для некоторых по крайней мере минералов будет затруднительно отнесение их в ту или иную генетическую группу. При изучении литературы не удалось установить, почему некоторые минералы, например циркон и апатит, считаются первично-магматическими; с другой стороны, осталось неясным, почему граниты с андалузитом Хиллса не контаминированы.

Современное состояние учения о магме и происхождении интрузивных пород таково, что вообще трудно говорить о доказанности «первично-магматического» происхождения минералов интрузивов, если взгляды

Де-Люри (De Lury, 1937) о происхождении «магматических» очагов вследствие переплавления уже имевшихся пород имеют основание (Левинсон-Лессинг, 1937). Вопрос о классификации акцессорных минералов и об отнесении их представителей в ту или другую группу является чрезвычайно важным для оценки правильности выводов, основанных на изучении акцессориев, относительно комагматичности интрузивных пород.

IV. ЦЕЛИ РАБОТ ПО АКЦЕССОРНЫМ МИНЕРАЛАМ

Работы по акцессорным минералам можно разделить на 4 группы:

1) Исследование свойств акцессорных минералов, их генезиса и распространения. Таковы работы Тюраха, Брэммэла и Харвуда о цирконе, рутиле, анатазе и бруките, Хрущева и Трюмена о цирконе, Кейса об эпидоте.

2) Исследования вариаций акцессорных минералов в определенной группе пород. Эти исследования, начатые Рэстолом и Уилькоксоном, дали основание предполагать, что известные ассоциации акцессориев могут служить отличительным признаком при распознавании возраста гранитных интрузий и, таким образом, исследование их может производиться в целях корреляции интрузивных пород. Большая часть работ по акцессорным минералам относится к этой группе, причем некоторые из них произведены с целью проверки метода корреляции по акцессорным (тяжелым) минералам. Такие проверочные работы производились до последнего времени, спустя более 20 лет после появления в свет работы Рэстола и Уилькоксона.

3) Изучение распространения акцессорных минералов в одной и той же породе. Вопрос о распределении акцессорных минералов в породе является очень существенным для оценки метода исследования изверженных горных пород при помощи акцессориев; но кроме работы Вильсона (Wilson, 1937) и Дэпплса (Dapples, 1940) нельзя указать других, произведенных систематически в данном направлении.

4) Исследование акцессорных минералов в породах с целью решения вопросов, касающихся полезных ископаемых. Сюда относятся работы Линкена о золоте в породах и связанных с ним минералах, Ньюхауза о непрозрачных окислах и сульфидах в обычных породах, Фергюсона и Бэтмена, Островского и Трофимова о минералах, связанных с оловом.

Шлиховые работы, так широко развернувшиеся в последнее время, отчасти можно отнести к работам по акцессорным минералам — в том случае, когда работы охватывают такие районы, где имеются выходы лишь одного типа пород, как, например, работы Игумнова (Игумнов, 1938) о шлихах Кочкарского массива на Южном Урале. К сожалению, даже и в этом случае нельзя быть уверенным, что акцессории происходят только из гранитов, так что по минералам шлихов можно заключать только об общем характере акцессориев группы пород, занимающей исследованную местность.

Еще более обширные группы пород дают материал для осадочных образований, в которых изучаются (главным образом, в целях корреляции) акцессорные тяжелые минералы. При установленном происхождении осадочных пород, их акцессорные минералы могут дать представление об акцессорных минералах определенной магматической провинции.

И для шлиховых работ, и для работ по корреляции осадочных образований может производиться изучение акцессорных минералов изверженных пород с целью выяснения происхождения минералов шлихов и осадочных пород. Обычно эта цель ставится попутно; специально этому вопросу посвящено несколько работ (Zerndt, 1927; Groves, 1931 г.). У нас исследования подобного рода производились, например, в Восточном Забайкалье.

У. МЕТОДУ ИССЛЕДОВАНИЯ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ

Обычный метод петрографического исследования пород в плоскопараллельных шлифах неприменим к акцессорным минералам вследствие очень малого количества их в породе. Поэтому почти всегда применяется метод концентрации, более или менее однообразный у различных исследователей.

Взятие образцов. Для исследования берется большой образец породы, весом до 1 кг или несколько больше. Лишь в одном случае был собран для исследования элювий пород (Claus, 1936), что отчасти вызывалось необходимостью из-за отсутствия достаточного числа обнажений.

Работы по тяжелым или акцессорным минералам обычно не сопровождались настоящим опробованием породы для получения образцов для анализа. Если таким же способом, как брались образцы для анализа на тяжелые и акцессорные минералы, было бы опробовано месторождение полезного ископаемого, то данные анализа не были бы признаны характеризующими рудное месторождение, особенно для вкрапленных руд. По анализу одного штуфового образца, хотя бы и большого, мы так же не можем судить о качественном и количественном составе акцессорных минералов, как и о распределении и свойствах полезного ископаемого. Поэтому при исследовании акцессорных минералов необходимо производить опробование породы теми же методами, какие употребляются при взятии образцов для анализа на полезные ископаемые. Принимая во внимание обычно чрезвычайно малое содержание в породе акцессорных минералов, а также и неравномерное распределение их в породе, следует брать для анализа на акцессорные минералы возможно большее количество образцов с возможно большей площади, чтобы получить среднее содержание минералов, характерное для данного массива. Лишь в последнее время опробование интрузивов на Южном и Приполярном Урале производилось более рациональным способом и брались большие количества породы (работы С. Д. Попова, А. А. Тимофеева, И. А. Преображенского).

Неравномерность распределения акцессорных минералов в породе должна быть изучена анализами проб, взятых по линиям, пересекающим породу в различных направлениях. Здесь также должен быть применен метод опробования на полезное ископаемое, иначе результаты анализов будут более или менее случайными, и нельзя будет говорить о среднем содержании акцессориев и о характерности его для данного массива или данной магмы.

Дробление. Взятые образцы измельчаются до прохождения через сита с ячейками разных диаметров у разных исследователей, от 150 до 40 меш. Рекомендуется не применять при размельчении растирания для большей сохранности минеральных зерен. Измельчение производится в различного рода дробилках или в ступках.

При дроблении больших образцов получается некоторое количество муки, в которой минералы настолько измельчены, что исследовать их затруднительно. Изредка определяются потери на муку (Wang, 1932, 3.6%; Pabst, 1938, 15%). Ни в одной из работ по акцессорным минералам нет указаний на то, количества каких минералов уменьшаются вследствие их раздробления до муки. Между тем, несомненно, что при различной хрупкости минералов они будут измельчены в различной степени. На неодинаковое количество переходящих в муку различных минералов указывает В. И. Влодавец (Влодавец, Сазонова, 1933). В одном случае было определено содержание фосфора в апатитово-нефелиновой породе путем подсчета зерен апатита и других минералов и пересчета на весовые проценты в раздробленной средней пробе, предназначенной в химическую лабораторию; в другом случае для подсчета были взяты средние пробы из химической лаборатории, уже истертые в порошок. Оказалось, что

в первом случае расхождение с химическими анализами было максимум 1.50%, минимум 0.00%, среднее 0.91%; во втором случае максимум расхождения 4.06%, минимум 0.15%, среднее 1.91%. Кроме апатита, были подсчитаны нефелин, эгирин, слюда, сфен, титаномагнетит и дано распределение этих минералов в породе.

Обращается внимание на то, что после дробления иногда остаются целыми такие формы минералов, которые, казалось бы, должны были разрушиться. Возможно, что для раздробления породы лучше бы применять раздавливание, при котором как-будто больше вероятности, что разделение произойдет по поверхностям между минералами. Но исследований в этом направлении не встречено.

Концентрация. Получающаяся мука удаляется промывкой, декантацией. Затем в большинстве случаев легкие минералы удаляются отмывкой. Нередко из полученного песка берется лишь небольшая часть (причем о квартовании почти никогда не говорится) и разделяется бромформом, с удельным весом около 2.8, на тяжелую и легкую фракции.

Ф. Смитсон (Smithson, 1930) нашел, что количества тяжелых минералов, получающиеся при одной отмывке, при отмывке с последующим разделением бромформом и при разделении только бромформом, весьма различны и что разница зависит от удельного веса минералов. Подобные же результаты получил Юинг (Ewing, 1931). Вильсон (Wilson, 1937) указывает на изменения количеств биотита, роговой обманки, апатита, титанита вследствие пластинчатости биотита, малого, сравнительно с титанитом и цирконом, веса апатита и трещиноватости титанита. Вильсон, так же как и Смитсон, при разделении бромформом с промывкой получил больше циркона и меньше апатита и титанита, чем без промывки. Ни в одной работе не вводится поправок к найденным процентам тяжелых минералов на ошибки при концентрации, хотя эти ошибки, судя по данным Смитсона, Юинга и Вильямса, настолько значительны и притом неодинаковы для различных минералов, что нельзя производить сравнения содержания минерала в разных породах даже у одного и того же исследователя, так как нет уверенности, что ошибки эти будут постоянны при различных определениях. Представляется весьма целесообразным поставить исследовательскую работу по выработке методов обогащения без применения тяжелых жидкостей, при употреблении которых работа по выделению тяжелых минералов из больших навесок обходится слишком дорого, тем более что уже была попытка применить для разделения по удельным весам минеральных зерен круговое движение в воде (Stancin, 1937).

Количественные определения. В тех случаях, когда простым магнитом отделяется магнитная фракция, состоящая только из магнетита, количество последнего нередко определяется взвешиванием. Взвешиванием же нередко определяется процент тяжелых минералов (уд. вес больше 2.86) в породе, так называемый «числовой индекс» (Index figure) — понятие, введенное в употребление Брэммэлом и Харвудом (Brammal a. Harwood, 1923). Процент высчитывается к измельченной породе без муки, так что остается не учтенным изменение отношения между тяжелыми и легкими минералами, происшедшее от различной способности их давать муку.

Для количественного определения обычно берется только часть тяжелой фракции, причем почти никогда не говорится о квартовании. Смитсон произвел для проверки подсчет зерен по всей полученной тяжелой фракции, но не дал сравнения подсчетов для одного и того же образца. Биотит, попадая в больших количествах в тяжелую фракцию, нередко мешает определению других минералов; поэтому его иногда удаляют вторичным разделением бромформом после разложения соляной кислотой. Пирит удаляется в этих случаях растворением в азотной кислоте. Подобные приемы хорошо известны из практики петрографов, имеющих

дело с тяжелыми минералами из осадочных пород. Клаус (Claus, 1936) для подробного изучения цирконов выделял их концентрат, удаляя магнитные минералы магнитом, разлагая другие HCl и производя после этого разделение бромформом.

Далеко не во всех работах производился подсчет зерен минералов. Для выражения количества минералов нередко употреблялась условная шкала, состоящая у различных исследователей из различного количества ступеней, число которых доходит до 10 (Boos, 1935); иногда же отмечается лишь отсутствие и присутствие минерала.

Трудно представить, чтобы условные выражения количества минералов были свободны от ошибок, зависящих от автора. Такие ошибки определил Дж. Тейлор (Taylor J. H., 1937), сравнивая свои подсчеты с определениями «на глаз» Грувса. С другой стороны, опытные подсчеты Смитсона, Юинга и Вильсона заставляют сомневаться в достоверности и цифровых данных.

Сравнение содержания аксессуарных минералов в различных породах при условном обозначении их количеств может производиться только приблизительно. При подстановке чисел вместо ступеней условной шкалы и вычерчивании соответственных кривых получаются результаты, отличные от тех, на которые указывает автор (Boos, 1935), и во всяком случае не подтверждающие выводов автора, сделанных на основании не подсчетов, а впечатлений. Подробный разбор данных приводит к другим выводам, расходящимся с выводами авторов (Groves, 1930, 1932). Редкие авторы (Claus, 1936, Jenks, 1934) пользуются графическим сравнением результатов подсчетов минералов; иногда прибегают к средним величинам, затмевающим колебания в содержании минералов в отдельных породах, имеющие большое значение (Wang, 1932). Лишь у одного Вильсона (Wilson, 1937) вычислены проценты ошибок, получающиеся вследствие недостаточного числа подсчитанных зерен.

Приводимые в литературе проценты тяжелых или аксессуарных минералов нельзя сравнивать между собою, так как они подсчитываются по отношению не ко всей породе, а к тяжелой фракции (например, Stark, Barnes, 1935), количество которой в различных породах различно. Процент циркона в тяжелой фракции может уменьшаться, а в породе увеличиваться или оставаться тем же.

Выводы. Результаты подсчетов минеральных видов и их разновидностей представляют фундамент для дальнейших рассуждений и выводов. Между тем, эти результаты получаются после ряда манипуляций, произведенных с большими или меньшими ошибками. Опробование пород произведено с ошибками; при измельчении допущены ошибки; концентрация тяжелых минералов произведена с ошибками; подсчеты сделаны с ошибками. Вероятность теорий о комагматичности пород и об их относительном возрасте, построенных на основании таких подсчетов, получается незначительной.

VI. АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ КАК КОРРЕЛЯТИВНЫЕ ПРИЗНАКИ

Работы, в которых аксессуарными минералами пользуются для корреляции, можно разделить на четыре группы. В первой испытывают метод корреляции по аксессуарным минералам на породах, геологические соотношения между которыми выявлены другими способами (Дженкс, Мак-Адамс, Пабст, Старк, Старк и Барнес, Тэйлор). Во второй — коррелируют между собою породы неизвестных взаимных геологических соотношений; определение этих соотношений геологическими данными не подтверждается, но и не противоречит принятым взглядам (Боос, Брэмэл и Харвуд, Брюс и Джюитт, Вильсон, Гош, Грувс, Клаус, Рид и Гиллюли, Рэстол и Уилькоксон, Сингевальд, Тольман и Кох). В работах третьей группы на основании аксессуарных минералов определяется

возраст пород, отличный от того, какой им был приписан на основании геологических соображений (Дэвисон, отчасти Грувс). В четвертой группе авторы не делают определенных заключений (Ларсен и другие, Смитсон). Не было встречено работ, в которых соотношения пород, установленные на основании метода сравнения акцессорных минералов, были бы потом подтверждены геологическими данными.

Для всех работ самым важным является вопрос о значении акцессорных минералов для познания интрузивов, обсуждавшийся многими авторами. К решению этого вопроса подходили чисто эмпирическим путем, сравнивая акцессории различных гранитных массивов, нередко не обращая внимания на отклонения состава акцессориев отдельных образцов от того, который признавали типичным для данной породы. Мнения о значении акцессориев получились различные, и можно сказать, что несмотря на большое число работ по акцессорным минералам, вопрос об их значении не решен в общем объеме. Весьма возможно, что это происходит оттого, что одни и те же акцессории в различных случаях могут то иметь значение, то ничего не значить, так как они представляют не существенный отличительный признак, а второстепенный, изменчивый в зависимости от различных обстоятельств. Возможно, что причиной этой изменчивости является слишком малое количество акцессориев в породе; это же обстоятельство, при имеющихся способах получения акцессориев из породы, ведет к искусственным изменениям содержания акцессориев. Колебания в содержании акцессориев в абсолютном отношении могут быть ничтожны, и от реальной величины содержание может доходить до нуля; данный акцессорный минерал как признак тогда исчезает. При неточных способах получения акцессорных минералов для исследования уже незначительное изменение их абсолютного количества дает другую характеристику породы.

Утверждение, что акцессорные минералы непременно представляют первые продукты кристаллизации магмы, не имеет под собой достаточных оснований. Даже такие минералы, как циркон, могут образоваться значительно позже застывания магматического расплава. По Дельтеру (Doelter, 1913, 50), присутствие циркона в друзах и трещинах хлоритовых пород и нередкое нахождение его с хлоритом указывают на образование из горячих водных растворов под давлением. Цирконы подвергаются магматической коррозии (Armstrong, 1922). По Трюмену (Trueman, 1912), в кварците, прорезанном гранитом, наблюдались цирконы с признаками вторичного увеличения. Притом цирконы в различных породах могут быть одинаковыми и в одинаковых различных (Rastall, Wilcockson, 1915). Апатит может быть различен в одинаковых породах (Fleet, Smithson, 1928). При разборе классификации акцессорных минералов было уже указано на неустойчивость признака первичного происхождения для различных минералов (стр. 4 и далее). Вопрос о первичности в породе самородных элементов (Lincoln, 1911) также является нерешенным во многих случаях. Интрузивная порода может подвергнуться вторичной минерализации под влиянием другой интрузии совершенно другого возраста и петрографического характера; каждый раз необходимо устанавливать, не мог ли данный минерал получиться вследствие процессов, не связанных с застыванием того расплава, который дал вмещающую его породу. Тем более этот вопрос должен быть поставлен, когда имеются признаки контаминации, между тем некоторые авторы (Brammal a. Harwood, 1923; Harcourt, 1934; Groves, 1927^{1,2}) не принимают этого во внимание, хотя и указывают на возможность контаминации. Притом вопрос о происхождении интрузивных пород не может считаться окончательно решенным, и если принять во внимание взгляды Де-Люри (De Lury, 1937) и других, то «первичность» минералов будет иметь совсем другой смысл. Можно вполне присоединиться к критике метода корреляции по акцессорным минералам, данной Уэльсом (Wells, 1931).

Из авторов, содержание работ которых приведено ниже, двенадцать считают, что метод акцессорных минералов применим для корреляции (Боос, Дэвисон, Гош, Грувс, Мак Адамс, Марсден, Пабст, Рид и Гиллоли, Сингевальд, Тэйлор, Уонг, Церндт), пять отрицают эту возможность (Брюс и Джюитт, Дженкс, Доллар, Островский, Уэльс), семь не дают определенного ответа (Клаус, Ларсен и другие, Старк, Старк и Барнес, Смитсон, Тольман, Кох).

Но критика работ с положительным решением вопроса заставляет сомневаться в выводах авторов; поэтому можно уверенно сказать, что в течение более чем 20 лет, прошедших со времени работ Рэстолла и Уилькоксона (Rastall, Wilcockson, 1915), не установлена возможность корреляции интрузивов по акцессорным минералам, несмотря на большое число работ.

VII. АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ КАК ОПРЕДЕЛИТЕЛИ ФОРМ ИНТРУЗИЙ

Определение формы интрузии по акцессорным минералам было сделано Мак-Адамсом (Mc Adams, 1936). Но едва ли можно считать доказанной возможность накопления тяжелого магнетита внизу интрузива, а на этом накоплении и основывается вывод автора. Других работ по определению формы интрузии по акцессориям встречать не приходилось.

VIII. АССОЦИАЦИИ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ С РУДНЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ

Фергюсон и Бэйтмен, Линкен, Трофимов указывают на минералы, ассоциирующиеся с месторождениями олова и золота. Часть из этих минералов встречается как акцессорные в изверженных породах. Но ассоциация указанных минералов с оловом или золотом не является обязательной в том смысле, что при ней должно быть скопление олова или золота или что без нее скопления этих металлов не будет.

Грувс (Gruves, 1932) и Островский (1937) изучали тяжелые минералы гранитоидов с целью выяснить их оловоносность. Минералы, характерные для оловоносных гранитоидов, неодинаковы у Грувса и Островского, как видно из табл. I.

Таблица I

Минералы, характерные для оловоносных гранитоидов, по Грувсу и Островскому

	Ильменит Рутил	Титанит	Магнетит	Апатит	Циркон
Грувс	Не указаны	Бурый, характерен	Не указан	С плеохроич- ным ядром, характерен	Два типа, характерен
Островский	Есть и нет	Редок, нет	Непостоянен	Обычен и нет	Более постоянен

Островский указывает, что признаки оловоносных гранитоидов не могут считаться установленными. Брэммэл и Харвуд на основании акцессориев ставят в связь золотосодержащие пегматитовые валуны и граниты Дартмоора (Brammal, Harwood, 1924). Но по тем же авторам, граниты Дартмоора контаминированы; кроме того, вряд ли можно сравнивать минералы пегматитов и гранитов, принимая во внимание различие в их образовании. А. Брэммэл (Brammal, 1926) считает золото в гранитах

Дартмоора первичным; кроме золота, другие тяжелые минералы не ук­зываются.

По Де-Люри (De Lury, 1938) металлические элементы не концентрируются в породах, а скорее рассеиваются; скопления их образовались еще в звездный период существования Земли. Количества элемента, рассеянного в породе, должно бы быть большим в местах, близких к его скоплениям. До сих пор является нерешенным вопрос, как будут вести себя акцессорные минералы при приближении к рудным скоплениям: будут ли изменяться их ассоциации и концентрации в породе? Возможно, что минералы, находящиеся в рудных скоплениях, как жильные минералы или содержащие в себе элементы рудных минералов, будут встречаться в больших количествах. Рилей (Riley, 1936) пытался определить закономерность распространения некоторых минералов и элементов вокруг рудных месторождений и получил интересные кривые изменения их содержания в породе при приближении к рудному телу.

В. Ньюхауз дает распределение минералов в сланцевой серии, окружающей граниты в Новой Шотландии (Newhouse, 1936), выделяя 3 зоны, из которых средняя всего богаче золотом. Количественного содержания минералов он не дает. В литературе не встретилось указаний на подобную работу с акцессорными минералами в интрузивах.

Пока не выяснена причинная зависимость между ассоциациями акцессорных минералов и скоплениями металлических элементов, представляется более целесообразным исследовать распределение в породе этих элементов, нередко находящихся в малых количествах в различных породах. Содержание этих малых составных частей, как их называет Харкорт (Harcourt, 1934), или акцессорных элементов, как их можно назвать, возможно, увеличивается с приближением к скоплениям данного элемента, произошло ли это скопление вследствие концентрации или же представляет остаток от скоплений, образовавшихся в звездную стадию, как предполагает Де-Люри. На закономерную связь между концентрацией металлических элементов в глубинных породах и степенью обогащения ими рудных жил указал Оттеманн (Ottemann, 1940).

IX. ВЫВОДЫ

1) Понятие «акцессорный минерал» не вполне определенное. Главным признаком акцессорных минералов является их малое содержание в породе. Повидимому, этот признак является единственным отличительным для акцессорных минералов.

2) Приемлемая классификация акцессорных минералов по генетическому признаку; необходимо ставить вопрос о первичности или вторичности для каждого из акцессорных минералов в каждом данном случае, так как этот признак, имеющий весьма большое значение, может быть неодинаковым для одного и того же минерала в различных породах.

3) Методы исследования акцессорных минералов страдают многими и существенными недостатками. Образец породы для изучения акцессорных минералов должен представлять собою пробу этой породы, взятую такими же методами, какие употребляются при взятии проб для анализов руд с малым содержанием металла. Необходимо поставить работы по определению относительных количеств минералов, переходящих при измельчении породы в муку. Способы концентрации акцессорных минералов дают результаты с большими ошибками; необходимо эти ошибки определять и учитывать; желательно нахождение более точных методов концентрации. Количества акцессорных минералов должны выражаться в процентах по отношению ко всей породе, полученных при помощи взвешивания или подсчета зерен минералов. Для сравнения этих количеств необходимо применять метод кривых. Результаты подсчетов должны быть подробно разобраны, принимая во внимание уклонения

в отдельных образцах. Ряд ошибок, допускаемых при манипуляциях с акцессорными минералами, обесценивает результаты работ.

4) Вопрос о применимости метода акцессорных минералов для корреляции изверженных пород и для выяснения их форм образования не может считаться решенным, равно как и о значении акцессорных минералов для характеристики пород. Пока не выяснен характер распределения акцессорных минералов в одной и той же породе и влияние на состав, количества и качества акцессорных минералов контаминации и различных постмагматических изменений в породе, нельзя применять метод акцессорных минералов для корреляции.

5) Применение метода акцессорных минералов для выяснения соотношений между ними и рудными образованиями затрудняется теми же обстоятельствами, что и применение к корреляции. Кроме того, требуется выяснить причинную зависимость между данным металлом и ассоциацией акцессорных минералов. Возможно, что на местонахождения рудных скоплений может скорее указать распределение в породе «акцессорных элементов», чем акцессорных минералов.

Х. КРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Обзор литературы представляет краткое изложение содержания статей по акцессорным минералам и связанным с ними вопросам, сопровождающееся критическими замечаниями. Материал расположен в следующем порядке.

1. Описания акцессорных минералов.
2. Корреляция по акцессорным минералам и критика метода.
3. Связь акцессорных минералов с рудами.

В каждом отделе по возможности выдерживается хронологический порядок (по появлению работ в печати); работы одного и того же автора разбираются одна за другою.

1. Описания акцессорных минералов

Ряд работ посвящен исследованию отдельных минералов или групп минералов, обычно являющихся акцессорными в изверженных породах. Тюрх (Thürsch, 1884) путем отмывки и промывки в фарфоровой чашке исследовал тяжелые минералы в 600 образцах рыхлых, осадочных и кристаллических пород. Более подробно исследованы циркон, рутил, анатаз, брукит, псевдобрукит; менее — турмалин, гранат, ставролит, глаукофан, пикотит, магнетит, апатит, сфен, аксинит и шпинель. Подсчеты в статье не даются, и в перечне минералов сказано лишь «очень редок»; «част». В цирконе наблюдались включения: 1) апатита 0.01×0.1 мм, давшего реакцию на Р; 2) газовые; 3) жидкости с пузырьком; 4) магнетита; 5) бурые трубковидные — стекло. Включений больше в нижних зернистых гнейсах, меньше в сланцеватых гнейсах и слюдяных сланцах. Циркон очень распространен. Анатаз тоже распространен, но в меньшем количестве; он образуется не только в изверженных, но и в осадочных породах, где имеет кристаллические очертания без следов окатывания, и в таких осадочных породах, где имеется некоторое количество каолина или полевого шпата. Образование брукита и псевдобрукита подобно образованию анатаза. Интересно, что Соллас (Sollas, 1891) указывает на включения циркона в апатите. Повидимому, эти минералы могут быть близки по времени своего образования.

К. Хрущев указал, что цирконы могут служить показателями происхождения глин и песчаников, так как благодаря своей твердости эти минералы сохраняют свою форму и иногда почти не истираются. В гнейсах и подобных им архейских породах цирконы по большей части округлые, с центральными темными включениями или со скоплениями многих

включений. В гранитах такие цирконы представляют исключение и выпадают лишь в единичных зернах. Можно по цирконам различать породы облика гнейсогранитов от настоящих гранитов. Цирконов больше и они с более выраженными формами в породах порфиорового строения с ясно выраженной основной массой. Среди включений в цирконах были определены мелкие кристаллы циркона же, апатит, рутил и, предположительно, брукит (Chrusterschoff, 1886).

Дерби (Derby, 1891) изучал ксенотим как акцессорный минерал в шлихах и горных породах из Бразилии. Ксенотим найден в шлихах из бразильских мусковитовых гранитов, в которых он представляет сравнительно постоянную составную часть. Образцы были взяты большей частью из малых даек, секущих гнейсы или метаморфические сланцы. Ксенотим ассоциируется с цирконом и монацитом. В общем, грани кристаллов неровные вследствие изменений, которые делают кристаллы шероховатыми и непрозрачными. Почти постоянная встречаемость ксенотима в породах Бразилии позволяет Дерби предполагать, что ксенотим окажется в таких же породах и из других мест. Исследования валунов из штата Нью-Йорк и гранитов из Уестерли подтвердили это предположение.

Соллас (Sollas, 1891) изучал количественный минералогический состав гранитов Лейнстера, занимающих около 2000 км² в середине Ирландии. Породы дробились в ступке и пропускались через ряд сит до 16 меш: мука удалялась отмучиванием, остальная масса разделялась тяжелыми жидкостями. Величины образцов не указаны. Определялись все минералы, среди них — циркон и апатит. Соллас не решается сказать определенно, который из этих минералов кристаллизовался ранее. Соллас характеризует граниты Лейнстера на основании содержания порообразующих минералов, а не акцессорных.

По Трюмену (Treueman, 1912), маленькие цирконы кристаллизуются из магмы очень рано. Трюмен ссылается на Тюреха (Thürsch, 1884), по которому циркон может кристаллизоваться из водных растворов, так как кристаллы циркона встречаются в друзах в хлоритовых сланцах Тироля; неокругленные кристаллы циркона находятся в серицитовых сланцах Таунуса в ассоциации с кварцитом с хорошо округленными зернами кварца. В кристаллических известняках Гренвиля, Онтарио, находятся кристаллы циркона с хорошо развитыми гранями, ассоциирующиеся с титанитом, графитом и волластонитом. Повидимому, циркон может уноситься в растворах из интрузивных пород. В кварците, прорезанном гранитом, в Риб Хилл, Вазау, Висконсин, находятся многочисленные цирконы с признаками вторичного увеличения. Однажды наблюдалась оболочка вокруг ядра со всех сторон. За исключением вторичного увеличения, циркон очень стоек при изменении породы. Он находится во всех изверженных породах; практически — во всех песчаных осадочных породах. По Тюреху, цирконы в гранитах и сиенитах имеют хорошо развитые кристаллические грани, в диоритах более округленные, в базальтах и долеритах — в общем округленные и часто зональные; в осадочных породах они в общем округленные, но иногда с кристаллическими очертаниями. Циркон округляется скорее, чем кварц. Данные Трюмена и Тюреха указывают на то, что циркон не всегда бывает первичным, что особенно надо сказать про оболочку зональных кристаллов.

П. Армстронг (Armstrong, 1922) пытался найти различие между цирконами осадочных и изверженных пород с целью отличить метаморфические породы осадочного и изверженного происхождения. Оказалось, что в метаморфизованных песчаниках на ряду с округленными зернами находятся зерна с хорошими гранями; автор объясняет сохранение граней при переносе тем, что кристаллы циркона переносились в пластинках биотита, защищавших их от истирания. Но цирконы из недеформирован-

ных гранитов могут иметь вследствие магматической коррозии округленные и оплавленные края и характерные ямки на поверхности, не отличимые от ямок, наблюдающихся на цирконе из осадочных пород. Цирконы гнейсов отличаются шероховатой (пузырчатой) поверхностью, характер которой не выяснен. Автор приходит к следующим выводам: 1) степень окатанности циркона не может указывать на первично осадочную породу; 2) окатанность цирконов в песчаниках не имеет характера отличительного признака; 3) циркон не может служить критерием для определения природы раскристаллизовавшейся породы без петрологических данных об ее происхождении.

Брэмэл и Харвуд занимались акцессорными минералами по отдельности, исследуя цирконы, турмалины, рутил, анатаз и брукит. Циркон в дартморских гранитах встречается в двух разновидностях, первая — бесцветный и желтоватый и зеленоватый в отраженном свете и бесцветный в проходящем, зональный с включениями в длинных кристаллах; вторая — без зон в коротких кристаллах, без включений. Эти две разновидности представляют, по словам авторов, «запутанную задачу» (puzzling problem; Brammal, Harwood, 1923_{2,3}). Турмалин встречен трех генераций: пирогенный первичный с температурой образования $575^{\circ} + x$ градусов (вместе с β -кварцем); пирогенный вторичный, вследствие реакций между расплавом и образовавшимися минералами, замещающий полевые шпаты и биотит или в псевдоморфозах по ним; вторичный, после застывания магмы образующийся при температуре ниже 575° . Рутил, анатаз и брукит могут быть первичными минералами при температурах, больших температур окончания кристаллизации магмы, вторичными — в боросиликатных расплавах и гидротермальными продуктами разложения титансодержащего биотита под влиянием минеральных кислот (Brammal, Harwood, 1925, 1927). Судя по этим работам, исследованные минералы могут быть признаны характеризующими магматический расплав только в определенных случаях.

Грувс и Мурэнт (Groves, Mourant, 1929) изучали включения в апатитах из изверженных пород. Хоббс (Hobbs, 1893) указал на параллельное срастание эпидота и алланита как на доказательство первичного происхождения эпидота; Кейс (Keyes, 1893), Лебедев (1936) также приводят примеры, когда эпидот является первичным.

И. Мардоч (Murdoch, 1936) нашел андалузит в пегматитовых дайках, секущих магнетитовое месторождение около Винчестера, Калифорния. Пегматит состоит из грязно-бело-серого плагиоклаза № 2, белого ортоклаза, кварца, черного турмалина, андалузита, биотита, силлиманита и очень малого количества яркосинего кордиерита. Кристаллы андалузита в поперечнике 0.32 — 1.27 см, в длину 2.54 — 7.62 см, в большинстве случаев непрозрачные, иногда прозрачные в середине. Часть зерен замещена силлиманитом. Они концентрируются вдоль краев дайки; во вмещающей породе находится немного андалузита.

Дж. Дж. Мак Дональд и Р. Мерриам описали пегматит с андалузитом из округа Фресно, Калифорния. Пегматит состоит почти только из кварца и олигоклаза с листочками хлорита и небольшим количеством клинохлора. Андалузит разбросан по породе; он призматический и радиально-лучистый, от светлорозового до темнофиолетового, в диаметре от 10 до 1 см и менее, в длину 1—15 см. В нем включены зерна корунда, расположенные в беспорядке (Mc Donald, Merriam, 1938).

Е. С. Хиллс (Hills, 1938) указывает, что «по крайней мере есть хороший повод сомневаться в верности предположения, что андалузит и силлиманит постоянно бывают минералами контаминации, когда встречаются в изверженных породах». Он возражает Тиррелу, утверждающему, что андалузит никогда не бывает пирогенным, и приводит примеры изверженных пород, для которых считает явления контаминации отсутствующими: гранитов с андалузитом 13 случаев, гранитов с силли-

манитом 2 случая, аплитов с андалузитом 6 случаев, пегматитов с андалузитом 4 случая (из них 1 с силлиманитом), грейзенов 1 случай.

В качестве акцессорного минерала, образовавшегося в изверженной породе вследствие гидротермальных процессов, может быть встречен ангидрит. Дж. Б. Лангфорд и Е. Дж. Ханкок сообщают о гипогенном ангидрите из рудника Мак-Интайр в округе Поркупин, Онтарио. Ангидрит находится в кварцевых жилах на глубине 610—1638 м (2000—5375 фут); грунтовые воды проникают только до 460 м (1500 фут). Выше встречается селенит. Ангидрит представляет последнюю фазу минерализации. Сернокислые растворы разъедают анкерит и образуют ангидрит (Langford, Hancock, 1936).

2. Корреляция по акцессорным минералам и критика метода

Р. Г. Рэстолл и В. Г. Уилькоксон первые применили метод изучения акцессорных минералов для сравнения между собой интрузивов (Rastall, Wilcockson, 1915), исследуя граниты и родственные им породы в округе Инглиш Лэйк в Англии. Породы измельчались в большой ступке резкими ударами пестика с частым просеиванием сквозь сито с отверстиями в 1 мм (для избежания образования пыли). Мука отделялась отмучиванием; затем получался концентрат отмывкой в фарфоровой чашке. Концентрат подвергался разделению подковообразным магнитом, электромагнитом и бромформом; половина тяжелой части обрабатывалась кислотой. Все полученные фракции монтировались в канадском бальзаме, часть оставлялась для химических исследований. Количество минералов отмечалось пятью ступенями: весьма обычен, довольно обычен, обычен, редок, весьма редок. О подсчетах не сказано.

Изученные породы разделяются на пять групп: граниты Скидоу, граниты Шап, гранофиры Эксдэйл, микрограниты Фрелкелд, гранофиры Энердэйл. Все эти интрузивные породы более или менее контаминированы захваченными ими породами кровли, вследствие чего в них среди акцессорий образовались такие минералы, как андалузит и корунд; встречаются турмалин, гранат; наличие грейзена говорит о возможности пневматолитических процессов, результатом которых может быть турмалин гранитов Скидоу (Синен-Гилл); все же авторы считают голубой турмалин в граните Уостдэйла подтверждающим мнение об общности магм гранитов Уостдэйла и Эксдэйла. Анатаз и брукит предполагаются происшедшими из сфена или ильменита. О происхождении граната не говорится. Высказано предположение, что эпидот может быть первичным минералом. В своих выводах авторы отмечают следующее. Редкие компоненты каждой интрузии распределены довольно постоянно, что не касается апофиз, отличающихся разнообразными ассоциациями минералов. Результаты исследования ничего не говорят о генетической связи между интрузиями округа Инглиш Лэйк. Характерно наличие пирротина и отсутствия магнетита. Пирротин встречается в изверженных породах и в других местах и не приурочен исключительно к данному округу Англии. Среди цирконов не обнаружено ни одного типа, который был бы характерен для какого-либо комплекса пород. В распределении зональных кристаллов циркона в различных породах не подмечено какой-либо закономерности: все типы, указанные Хрущевым, встречаются совместно в образцах из одной и той же интрузии и даже в одном образце. Авторы более или менее подробно описывают почти каждый найденный минерал, особенно обращая внимание на цирконы. Авторы очень осторожны в своих выводах, несмотря на то, что они могли пользоваться результатами своих детальных исследований таких основных акцессориев, как циркон, апатит и титанит.

В 1923—1927 гг. А. Брэммэл и Х. Харвуд (Brammal, Harwood) произвели ряд исследований дартморских гранитов. Интересно, в каком порядке появлялись статьи этих авторов. В 1923 г. напечатано о находении в дартморских гранитах рутила, анатаза и брукита; о находении в этих гранитах циркона; о минералогии, структуре и петрологии дартморского гранита. В 1924 г. появилась статья о золотоносных пегматитах, минералогический состав которых сравнивается с таковым дартморских гранитов. В 1925 г. авторы изучают процессы турмалинизации, а в 1926 г. указывают на содержание золота и серебра в дартморских гранитах и изучают продукты разрушения этих гранитов. В 1927 г. выясняются температурные условия образования турмалина, рутила, брукита и анатаза. Таким образом, условия образования акцессорных минералов изучались главным образом позже (1925 г. и далее), чем эти минералы были применены для корреляции (1923).

Авторы различают в гранитном массиве Дартмора четыре стадии интрузии: 1) интрузия, на которую указывают остатки темных и более основных пород кровли, давших включения в гранитах; 2) гранит Джайанта, интродуцировавший покровные породы и ассимилировавший значительную их часть полностью или частично (остались ксенолиты); вследствие ассимиляции получились гранат, андалузит, силлиманит, кордиерит, шпинель, корунд; 3) интрузия синего гранита в гранит Джайанта; часть гранита Джайанта была захвачена и ассимилирована; 4) несколько меньших интрузий в обоих гранитах. Можно определенно сказать, что синий гранит отличается от гранита Джайанта не вследствие происхождения из различных магм (такое различие в происхождении могло быть и не быть), а вследствие большей контаминации гранита Джайанта, ассимилировавшего породы кровли.

Несмотря на указанные признаки контаминации, авторы на основании числового индекса (index figure), т. е. процента тяжелых минералов в породе, и акцессорных минералов коррелируют граниты Дартмора с гранитами Нуткракера и гранитами Гритор Рок; ясно, что при поглощении и ассимилировании различных пород одной и той же магмой акцессории могут быть различны, особенно такие, как гранат, андалузит, корунд и шпинель, указываемые для гранита Нуткракера. Признаки гранитов Джайанта и синего приведены в табл. 2.

Таблица 2

Признаки гранитов Джайанта и синего по Брэммэлу и Харвуду

Гранит Джайанта, более старый	Синий гранит, более молодой
Грубозернистый, порфирированный, богат биотитом, имеет гранат	Тонкозернистый, непорфирированный. Почти без биотита, постоянно мусковит
Кордиерит свежий и измененный, андалузит, силлиманит, темнозеленая шпинель, корунд	Нет силлиманита, только измененный кордиерит; немногие зерна определены как андалузит; флюорит
Числовой индекс 7.5—12	Ниже больше биотита, порфирированность, граната очень мало Числовой индекс менее 1

Церндт (Zerndt, 1927; по Claus, 1936) на основании статистического исследования граней цирконов из проб пород гранитного ряда пришел к заключению о тождественности их для гранитов одинаковых местонахождений и о различии для гранитов различных местонахождений. Однако он ограничивает приложимость этих данных к циркону как «руководящему» минералу, указывая на влияние на форму цирконов физических условий, сильно меняющихся в одном и том же местонахождении.

Клаус, цитируя Церндта и Уэльса, приходит к выводу, что на основании имеющихся в отношении цирконов данных нельзя вывести ничего определенного.

А. В. Грувс (Groves, 1927^{1,2}) исследовал тяжелые минералы гранитов о-вов Пролива (Нормандских) — Джерси, Гернси, Сарка и Альдернея. Он выделяет на основании тяжелых минералов более старые и более молодые граниты, параллелизуя старые граниты Джерси с гранитами Гернси и выделяя среди гранитов Альдернея и тот и другой вид; коррелирует старые граниты с гранито-гнейсами Лизарда; устанавливает различие в тяжелых минералах гранитов о-вов Пролива и дартморских. Табл. 3 дает представление об отличительных признаках старых и молодых гранитов, гранитов о-вов Пролива и дартморских.

Таблица 3

Отличительные признаки старых и молодых гранитов, гранитов о-вов Пролива и дартморских по Грувсу

Более старые граниты	Более молодые граниты
1. Тяжелых минералов мало, меньше 1%	1. Тяжелых минералов больше, до 69.8%
2. Кристаллы мелкие	2. Кристаллы крупные
3. Нет клиноцоизита, цоизита, эпидота, гематита	3. Эти минералы имеются
4. Очень мало биотита	4. Биотита много
5. Циркон большей частью окрашен и очень корродирован, 0.05—1.0 мм	5. Циркон с хорошим гранями, 0,15—0.25 мм
6. Магнетит в хороших октаэдрах	6. Магнетита нет
7. Дартморские граниты	7. Граниты Джерси
<p>Главные тяжелые минералы</p> <p>Циркон, апатит, биотит, турмалин, ильменит, гранат, касситерит, анатаз, рутил, брукит, мусковит, монацит</p>	<p>Циркон, биотит, апатит, роговая обманка, флюорит, титанит, хлорит, эпидот, цоизит, клиноцоизит</p>

Во второй статье Грувс указывает, что самым важным минералом для корреляции является циркон. Он постоянно присутствует и мало разрушается при дроблении. Следует не только перечислять аксессуарные минералы, но и описывать их и выяснять условия кристаллизации. Округленность цирконов ничего не говорит, так как они могут быть округленными и в изверженных породах; в гнейсах округленность повышается с увеличением полосатости.

Грувс (Groves, 1930) делит граниты северной Бретании, о-вов Пролива (Нормандских) и Котентина на семь групп. Характеристика этих групп по данным Грувса дана в табл. 4.

Минералогическая характеристика групп гранитов сев. Бретани, островов Пролива и Котентина по Грувсу

Группы	Циркон		Апатит с ядром	Роговая обманка	Биотит	Титанит	Турмалин	Числовой индекс	
		бурый зональн.						средний	мин. и макс.
I	+	+	+	—	2.5—10%	+ иногда нет	— редко есть	6.7	3—11.2
II	+	+	+	много (больше к краям) и нет	4—15% больш. часть тяжел. минер.	+ больше к сере- дине, иногда нет	— редко есть	9.5	2.5—16.9
III	+ иногда нет	—	—	+ иногда нет	+	+ иногда нет	—	10.1	0.4—30
IV	+	+ иногда нет	+ иногда нет	— иногда есть	1—22%	+ желтов.- бурый, иногда нет	— редко есть	8.2	1.2—23.3
V	редок или нет	—	иногда есть	господ- ствует, в одном случае нет	—	—	—	20.7	10.4—46.1
VI	+	+ иногда нет	+ иногда нет	—	+ иногда нет	— иногда есть	— редко есть	8.5	1.2—21.6
VII	+	+ иногда нет	+	—	2—15%	+	—	15.4	13.4—17.3

Можно считать, что все или большая часть гранитов Грувса представляют контаминированные породы. В 1-й группе спорадически встречается андалузит, относимый автором (в главе с выводами) к продуктам загрязнения. 2-я группа содержит темные ксенолиты. В 3-й группе цирконы «очевидно произошли за счет ассимилированного материала» (гаагский массив). В 4-ю группу включен гранит из северо-западной части Сен-Ренана, содержащий андалузит. Граниты Авранша из 6-й группы по Грувсу не характерны, так как находятся в ранней стадии денудации и обнаженная часть их загрязнена продуктами ассимиляции.

Количество минералов отмечено шестью ступенями (не считая нуля); о подсчетах зерен ничего не сказано. Подробного сравнения аксессуарных минералов разных групп не произведено, что очень затрудняет проверку выводов автора. В своих выводах Грувс указывает на почти пол-

ную однородность ассоциаций тяжелых минералов гранитов 2-й группы и считает их комагматическими, не говоря о том, что сфен и монацит встречаются не во всех гранитах этой группы, а числовой индекс, обнаруживающий по Грувсу дифференциацию и загрязнение путем ассимиляции, колеблется от 2.5 до 16.9. Из таблицы акцессорных минералов Грувса видно сходство между ассоциациями этих минералов во 2-й группе и в 1, 2, 4, 6 и 7 группах, на основании которого Грувс считает эти граниты генетически родственными. Но среди гранитов 3-й группы есть не менее подходящие к гранитам 2-й группы, чем некоторые граниты из 4-й и 6-й групп, как видно из табл. 5, представляющей выдержку из таблицы Грувса.

Таблица 5

Сравнение акцессорных минералов гранитов II—IV и VI групп Грувса

Группа и местонахождение	Числов. индекс	Циркон	Бурый зональн. циркон	Апатит	Апатит с ядром	Сфен	Монацит
II. К В от Трегастела	8.4	4	+	4	+	5	5
III. Бухта С.-Мартен	4.2	3	—	5	—	4	—
IV. К В от Генгампа	7.6	1	—	3	—	—	—
VI. К В от Дола	13.4	4	—	5	—	—	—

Грувс считает «более новые» граниты о-ва Джерси комагматическими с гранитами 2-й группы на основании сходства в минералогическом составе. Этот гранит может рассматриваться как максимально загрязненная при ассимиляции порода. Тяжелые минералы в комагматических гранитах — циркон, апатит, монацит, рутил, железные руды и сфен — «обычно кристаллизуются из магм на ранних стадиях охлаждения», и их свойства «определяются первоначальным составом и ранней историей охлаждения магмы», что особенно проявляется на массивах, находящихся вдоль одной тектонической линии. Грувс предвидит возражения против метода тяжелых минералов: тяжелые минералы зависят и от пород, в которые интродуцирована магма, их облик — от физико-химических условий кристаллизации; черты породообразующих минералов являются наиболее важными. Считая, что необходимо выбирать наименее загрязненные образцы, Грувс исследовал влияние загрязнения при ассимиляции. Оказалось, что цирконы ассимилированной породы иногда остаются в виде ксенокристов; примесь габбрового материала дает увеличение роговой обманки, глинистых пород — биотита и сфена; циркон и апатит не меняются от загрязнения; но как отличить циркон-ксенокристалл от циркона, собственного породе, Грувс не говорит. По Брэммэлу в дартморских гранитах цирконы верхних и нижних участков различны, но это различие Грувс не считает серьезным; почему так — Грувс не выясняет. Тяжелые минералы как второстепенные части не менее важны для корреляции, чем главные.

В своей более поздней работе А. Грувс (Groves, 1931₂) указывает, что дартморские граниты отличаются от других гранитов своими тяжелыми минералами: зональным цирконом, различными разновидностями андалузита и турмалина, определенным альмандином и синим дюмортьеритом. На основании этих минералов Грувс считает пестрые и верхние зеленые песчаники верхнего мела происшедшими от разрушения дартморских гранитов. В данном случае тяжелые минералы, независимо от их происхождения в гранитах, могут указывать на происхождение

ние обломочного материала (терригенных минералов) в осадочных породах.

А. К. Уэльс (Wells, 1931) подверг резкой критике работы Грувса над акцессорными минералами о-вов Пролива. Грувс нашел сходство между тяжелыми минералами гранитов Джерси и армориканских гранитов юго-запада Англии. Но граниты Джерси неодинаковы по возрасту с армориканскими, лежащими ниже так называемых кембрийских конгломератов Альдернея, а граниты северной Бретани и Котентина относятся к пермокарбону, к которому Грувс относит и граниты Джерси. Уэльс указывает, что метод корреляции по тяжелым минералам мог бы иметь значение, если бы было доказано, что интрузии одного и того же времени имеют одни и те же отличительные признаки и что магма варьирует от одного периода к другому. Но вероятно, что изменение магмы от периода к периоду такое же, как изменение в течение одного периода. Армориканские граниты, связанные со складчатостью широтного направления, могут быть различны в разных широтах. А Грувс граниты о-вов Пролива на основании имеющих в них фторсодержащих минералов отличает от английских гранитов, в которых этих минералов нет. Тождество минералогического состава получится только в случае одинаковой величины интрузии, тождественности способа инъекции, толщи кровли и других условий. Кроме того, магма, поднимаясь на поверхность, может захватывать породы и изменять свой состав. Числовой индекс зависит от комбинации, от нее зависит количество биотита. А Грувс по количеству биотита различает молодые и старые граниты, между тем как «старый» гранит просто более чист, чем «молодой». Рутил часто бывает пневматолитового происхождения. Первичными минералами остаются циркон, апатит, монацит. Граниты Джерси подобны гранитам Девона и Корнуола по своим зональным цирконам, но эта зональность — физическое явление и свойственна цирконам не только армориканских гранитов. Кристаллографические очертания не характерны: комбинации (110) и (111) встречаются повсюду. Грувс должен был указать, в каких условиях выделяются цирконы армориканских гранитов и нет ли заметного различия акцессорных минералов в зависимости от глубины.

В своем ответе Уэльсу А. В. Грувс указывает, что возраст гранитов определен ошибочно, что выяснилось по новым стратиграфическим данным. По Уэльсу одинаковый минералогический состав получается лишь при одинаковых условиях охлаждения. Но первичные стойкие акцессорные минералы кристаллизуются ранее изменений, которые вносит охлаждение. Поэтому они менее подвержены влиянию величины интрузии, способа инъекции и т. п. Пневматолитовые минералы не всегда являются последними продуктами кристаллизации (Groves, 1931).

Через год после критики Уэльса Грувс опубликовал работу, в которой применен метод сравнения пород по акцессорным минералам. В 1929 г. он исследовал граниты юго-восточной части Анколы, Африка, стараясь найти отличительные признаки оловоносных гранитоидов и в то же время определить их сравнительный возраст. Грувс на основании тяжелых акцессорных минералов полагает, что граниты Анколы комагматичны гранитам Уганды и Серы, Бвина и Мванца; для оловоносных гранитов характерны два типа цирконов, апатит с плеохроичным ядром и бурый титанит (Groves, 1932). Таблица тяжелых минералов, данная Грувсом в его статье, не совсем подтверждает его выводы. Два типа цирконов встречаются не во всех гранитах, которые Грувс считает оловоносными; нет анализа других гранитов, некомагматичных изученным, так что можно предположить, что граниты и других возрастов могут иметь те же тяжелые минералы. Остается также неясным, какая связь между оловоносностью и указанными тремя минералами. По предположению Симмонса (Simmons, 1932) оловянное оруденение гранитов Анколы связано с приносом олова в виде станнатов щелочей; по Островскому, изу-

чавшему тяжелые минералы гранитов Средней Азии (Островский, 1937), по Саркисяну, Андрущенко и Сморгчову, исследовавшим оловоносность Восточного Забайкалья, характерен антагонизм между титанитом и касситеритом. Поэтому выводы Гривса относительно значения тяжелых минералов нельзя считать доказанными.

П. К. Гош дал описание гранитов Бодман Моор в Корноуле (Chosh, 1927). По Гошу сначала произошла интрузия двуслюдистого «нормального» крупнокристаллического гранита, за которой следовало образование пегматитовых и меланократовых жил, аплитов и кварцево-турмалиновых и кварцевых жил. Затем был интродуцирован менее крупнозернистый, с меньшим количеством биотита, но с литионитом и с большим количеством турмалина «годаверский» гранит; после него «тонкозернистый» гранит с меньшим количеством вкрапленников ортоклаза и слюды. Последними образовались «эльвановые» дайки гранитового и кварцевого порфира. За каждой интрузией следовало образование кварц-турмалиновых и кварцевых жил. В нормальном и годаверском граните много включений роговиков, пород осадочного происхождения с биотитом, андалузитом, силлиманитом, корундом, шпинелью, кордиеритом и кварцем. Гош кратко описывает акцессорные минералы, относя к ним почему-то биотит и мусковит. Так же как и у Брэмзла для дартморского гранита, для более молодых гранитов процент тяжелых минералов меньше: нормальный гранит 8.5—5.5; годаверский 5—4.4; тонкозернистый 3; эльван 1.1—2.4. В нормальном граните указаны акцессории: магнетит, ильменит, пирротин, касситерит, рутил, брукит, анатаз, турмалин, биотит, мусковит, андалузит (пурпурный и бесцветный), корунд (желтый, бесцветный, синеватый), циркон, флюорит, берилл (очень мало), апатит. В годаверском граните присутствуют все эти минералы, кроме берилла, желтого и бесцветного корунда; добавляется литионит. В двух остальных типах гранитов акцессории не перечислены. Следуя Уэльсу (Wells, 1931), уменьшение количества акцессорных минералов в более молодых интрузиях можно объяснить не изменением магматического состава, а условиями интрузии, при которых для более старых гранитов происходила большая контаминация, следы которой остались в виде многочисленных включений. По описанию Гоша все четыре типа гранитов отличаются между собою и по минералогическому составу основных породообразующих минералов, и по структуре, что заметно и макроскопически; поэтому исследование акцессорных (или тяжелых) минералов в данном случае ничего не прибавило к познанию пород.

В. Ф. Флит и Ф. Смитсон (Fleet, Smithson, 1928) указывают на присутствие апатита в древнем красном песчанике Кардифа и в граните Джерси и описывают апатит из гранита Лейнстера. В этом граните, кроме ранее известных апатитов, слабофиолетовых, с центральным плеохроичным ядром, указанных Солласом (Sollas, 1891), находятся апатиты с темным, даже непрозрачным ядром. Но в центре гранитной массы апатит совершенно чист и бесцветен. Около западного края интрузии зерна с темным ядром находятся вместе с совершенно бесцветными. В ксенолитах, богатых биотитом, большая часть апатитов характеризуется темным ядром с резкими границами; иногда наблюдаются два ядра, лежащие параллельно друг другу в одном и том же зерне. Из краткой заметки авторов видно, что апатит может быть различного характера в различных частях гранитного массива и что характер апатита может зависеть от ксенолитов.

К. Сингвалд (Singewald, 1932) описал постмагматические изменения пластовых жил монцонитово-диоритового порфира и кварцевого монцонитового порфира горы Ловлэнд в округе Парк, Колорадо, и сравнил акцессорные минералы этих пород. В них находятся апатит, титанистый магнетит, циркон, титанит и алланит. Кроме алланита, очень редкого в кварцевом монцонитовом порфире, остальные акцессорные минералы

одинаковы в обеих породах, если считать, что количество магнетита в кварцевом монцонитовом порфире уменьшилось вследствие реакции с основной массой; различны только относительные количества циркона и титанита. На основании такого сходства и полевых наблюдений автор приходит к выводу о происхождении обеих пород из одного магматического резервуара и об интрателлурическом происхождении аксессуаров. Повидимому, автор изучал аксессуарии только в шлифах и не производил подсчетов (подсчетов не приводится), поэтому его заключение нельзя считать обоснованным.

Ф. Смитсон (Smithson, 1928) описал аксессуарные минералы из гранита на южном берегу Дублинского залива: апатит, циркон, монацит, анатаз, брукит, рутил, ильменит, магнетит, пирит, барит, гранат, турмалин, биотит, хлорит, мусковит. Циркон нередко бывает зональным; иногда встречаются и кристаллы с округлым центральным ядром; получается впечатление, что около частью резорбированного или истертого зерна циркона кристаллизовалась внешняя оболочка, ориентированная одинаково с ядром. Барит, обычный жильный минерал около Балликоруса, находится в рассеянном состоянии в граните около Скальпа (юго-восточный край массива). Лейкократовые породы типа эльвана или аплитов отличаются большим богатством турмалином, гранатом и апатитом и редкостью монацита и циркона. Смитсон не делает каких-либо выводов из своих наблюдений.

Ф. Смитсон (Smithson, 1930) на образцах из триасового песчаника выяснял разницу в содержании тяжелых минералов, зависящую от метода их получения: только промывкой (НР), только разделением бромформом (НВ) и комбинированным методом — промывкой и последующим разделением бромформом (НРВ). При способе НРВ песчаник измельчался до прохождения через сито в 40 меш, взвешивался, промывался декантацией, отмывался в чашке для выпаривания 5 раз, пока остаток, состоящий большей частью из кварца, не доходил до нескольких грамм, обрабатывался бромформом; после тщательного перемешивания тяжелой части фракции, часть ее монтировалась в канадском бальзаме и зерна подсчитывались. При НВ бралось только несколько грамм, отмывки не производилось, монтировался весь остаток. При НР концентрат получался только отмывкой. Более подробно Смитсон исследовал изменение количества тяжелых минералов при способах НРВ и НВ (табл. 6).

Результаты своего эксперимента Смитсон считает неблагоприятными для тех случаев, когда определяют частоту встречаемости минералов подсчетами или на глаз (by judgment). Возможно, что один и тот же петрограф может сравнивать полученные им подсчеты, если он не меняет метода; но при сравнении с подсчетами других могут получиться неправильные заключения. Смитсон сравнивал также результаты подсчетов всего полученного концентрата тяжелых минералов при методах НР, НРВ и НВ для турмалина и циркона (табл. 7).

Взятого образца нет среди включенных в табл. 6, почему можно сравнивать между собой лишь отношения между результатами трех методов. Остался нерешенным вопрос: какая получится разница в содержании минералов, если материал из одного и того же образца анализировать несколько раз одним и тем же методом? Кроме того, разница между НР и НВ недостаточно выяснена.

Ф. Смитсон (Smithson, 1932) изучал аксессуарные минералы в гранитах Лейнстера, юго-восточная часть Ирландии. В этих гранитах и пегматитах найдены гранат, магнетит, пирит, анатаз, рутил, циркон, барит, брукит, миспикель, апатит, берилл, ильменит, молибденит, пирротин, кварц, турмалин, биотит, хлорит, эпидот, монацит, мусковит, ортоклаз, сподумен, титанит, альбит-олигоклаз, микролин, лейкоксен, лимонит, пинит (и килланит). Содержание основных минералов непостоянное, самые большие колебания в процентах мусковита и биотита. Смитсон

Таблица 6

Изменение количеств аксессуарных минералов, полученных промывкой и последующим разделением бромформом (НРВ) и только разделением бромформом (НВ) по Смитсону

Минерал	Метод	Месторождения				Сред.	Отноше- ние НРВ : НВ	Удельный вес минерала
		А	В	С	Д			
Турмалин . . .	НРВ	3.3	4.6	22.1	7.6	9.4	0.33	3.1
	НВ	22.3	28.3	32.8	29.4	28.2		
Ставролит . . .	НРВ	6.7	4.1	8.2	—	4.7	0.31	3.7
	НВ	13.9	26.6	19.4	—	15.0		
Гранат	НРВ	2.2	1.8	1.8	0.8	1.7	0.61	3.8
	НВ	0.4	3.5	7.5	—	2.8		
Рутил	НРВ	7.8	6.7	10.9	12.2	9.4	1.00	4.2
	НВ	7.3	6.4	7.5	16.5	9.4		
Циркон (и мо- нацит)	НРВ	80.0	82.7	57.0	79.3	74.8	1.68	4.5 (5.0)
	НВ	56.1	35.3	32.0	54.1	44.6		

не делает выводов из изучения аксессуарных; различие между гранитами бросается в глаза уже при рассмотрении обычных породообразующих минералов.

Юинг (Ewing, 1931) сравнивал результаты определения количества в тяжелой фракции циркона, рутила, ставролита, дистена и турмалина двумя способами. Для исследования были взяты образцы песков. Одни образцы разделялись бромформом, другие сначала промывкой на блюде для испарения (23 см в диаметре), потом бромформом. Количество зерен минералов подсчитывалось с помощью счетчика при прохождении зерна через вертикальную нить при движении предметного столика. Средние отношения количеств зерен, полученных промывкой и последующим разделением бромформом и только разделением бромформом, получились следующие: циркон 1.10; рутил 0.91; ставролит 0.99; дистен 0.80; турмалин 0.61.

Если взять определения в различных образцах (табл. 8), то разница между двумя способами концентрации будет еще более значительной,

Таблица 7

Количества турмалина и циркона, полученные при различных способах концентрации, по Смитсону

	НР	НРВ	НВ
Турмалин . . .	4.6	11.0	28.8
Циркон	78.6	67.1	52.3

Средние отношения количеств зерен, полученных промывкой и последующим разделением бромформом (Pa) и только разделением бромформом (Br) по Юингу

Минералы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Метод	Ср. отнош.
Циркон . . .	64	77	76	61	76	67.5	79	68,5	87	Pa	1.10
	53.5	68	68	60	73.5	66.5	65	65	78	Br	
Рутил . . .	8	8	8	12.5	8.5	12.5	11	9.5	9.5	Pa	0.91
	9	9	13.5	7.5	10.5	9	11	12.5	14.5	Br	
Ставролит .	6.5	3	6.5	5	4	4	2.5	6.5	0.5	Pa	0.99
	6.5	4.5	4	6	3	4.5	3.5	6.5	0.5	Br	
Дистен . . .	12.5	6	6	10	6	8.5	3	5.5	1.5	Pa	0.80
	17.5	9	8	12.5	5.5	7.5	8.5	3	4.5	Br	
Турмалин .	9	6	3.5	11.5	5.5	7.5	4.5	10	1.5	Pa	0.61
	13.5	13	6.5	14	7.5	12.5	12	13	4.5	Br	

притом для рутила, ставролита и дистена различных знаков. Юинг говорит, что надо принять во внимание еще и личный фактор. Результаты опыта Юинга указывают на очень большие неточности в определении процента тяжелых минералов в концентрате.

Ванг (Wang, 1932) исследовал тяжелые минералы из одиннадцати месторождений архейских кислых изверженных пород (риолитов и гранитов) в центральной и северной части штата Висконсин. Ванг поставил себе три задачи: 1) выяснить, характерны ли тяжелые минералы из каждого массива для породы массива; 2) можно ли по тяжелым минералам узнать, к какому массиву принадлежит данная порода; 3) имеют ли какое-нибудь отношение к магматическим провинциям минералы в серии массивов из одной или двух областей и окажется ли в них какое-либо сходство, согласно их географическому распределению.

Ванг брал образцы в 1 кг через определенные интервалы по долине и ширине массивов, раздроблял их кувалдой и затем в ступке до 80 или 100 меш; 300—500 г, в зависимости от большего или меньшего богатства породы минералами, отмывалось декантацией от муки и сокращалось промывкой до 10 г. Концентрат разделялся ацетилентетрабромэтаном с уд. весом 3.00; в случае большого количества магнитной части она удалялась магнитом, а пирит — азотной кислотой. Монтировалось в каннадском бальзаме 3 шлифа немагнитной и 1 магнитной части. В одном случае указана потеря муки после декантации; на 231.4 г породы 8.44 г муки (3.6%). Почему-то было определено очень мало видов тяжелых минералов: флюорит, хлорит (роговая обманка), биотит, циркон и мала-

кон, титанит и лишь в одном граните еще галенит, гранат и апатит. Для решения второй задачи были исследованы три образца гранита из Возау (Wausau), но не сказано, где в этом массиве были взяты образцы. Уонг делает следующее заключение: 1) тяжелые минералы характерны для отдельных интрузий качественно и количественно, но вторичные изменения в хлорит роговой обманки и биотита могут ввести в ошибку; 2) два образца из трех, взятых из одной интрузии, нельзя сравнить с третьим, если не обращать внимания на то, что хлорит является измененным биотитом или роговой обманкой; 3) тяжелые минералы характерны не только для отдельных интрузий, но и для серии интрузий, так что каждая магматическая провинция имеет свои собственные ассоциации тяжелых минералов. В данном случае таких ассоциаций две: в первой флюорита 75—30%, циркона 10—2%, роговой обманки, биотита 50—15%; во второй — флюорита нет, часто немного апатита и титанита, роговой обманки и биотита 80—95%. Малое количество видов тяжелых минералов наводит на сомнения в полноте определения. Колебания в количестве минералов в одной и той же ассоциации слишком велики. Гранит Возау, из которого было взято три образца, по роговой обманке и биотиту (считая, что весь хлорит надо перечислить на эти минералы) не подойдет ни к одной указанной провинции.

Дж. Рид и Дж. Гилюли (Reed, Gilluly, 1932) поставили вопрос о корреляции по тяжелым минералам интрузивов Синих гор в северо-восточном Онтарио. Здесь находятся дотретичные изверженные породы: габбро, рогово-обманковые кварцевые диориты, биотито-кварцевые диориты, трондъемиты и альбитовые граниты. Возможно, что биотитово-кварцевые диориты более молодые, как можно судить по меньшему катаклазу и отсутствию в них гнейсовидности. Но это могло происходить вследствие того, что интрузия этого диорита произошла к концу орогенических движений, и хотя под влиянием этой интрузии во вмещающих породах получилась периферическая сланцеватость, окончательное застывание интрузии происходило уже без динамических воздействий, и только в краях ее замечается сланцеватость. Связать интрузии с определенными по времени эффузивными породами пока не представляется возможным. Поэтому авторы попробовали применить для корреляции метод тяжелых минералов, заимствовав его у Грувса. «Числовой индекс» Грувса был получен взвешиванием легкой и тяжелой части и вычислением процента тяжелой части породы. Для трех образцов были произведены химические анализы и на основании определения минералов вычислен модальный минералогический состав, а по нему «числовые индексы». Они получились равными, соответственно, 36, 24 и 8; взвешиванием получено 32, 8 и 1. Поэтому авторы заключают, что этот индекс у них получился слишком неточным и имеет мало значения для классификации пород. Частоту встречаемости тяжелых минералов авторы оценивали пятиступенной шкалой: очень редко, редко, обычно, очень обычно, обильно, и изобразили результаты оценок графически, закрашивая соответствующую часть прямоугольника, соответствующего данному минералу и породе. Количества минералов для двух образцов и количества полевого шпата и кварца для всех даны по шлифам. Авторы делают следующие выводы из своих наблюдений: Биотито-кварцевые диориты из разных мест, находящихся на расстоянии до 50 км, характеризуются аксессуарными минералами, сходство которых также бросается в глаза (striking), как и сходство породообразующих минералов. Но на таблице такого сходства не видно. Даже для биотита три отметки: обилен, очень обычен, обычен; кварца в одном образце нет; из аксессуарных минералов более постоянны циркон, а ильменит лишь в двух из семи образцов. Авгит лишь в одном, но очень обычен, обыкновенная роговая обманка обильна, а в одном образце ее совсем нет; гиперстен лишь в одном образце (где и авгит). Тяжелые минералы в образцах других пород настолько различны, что

авторы приходят к заключению, что ими нельзя пользоваться для корреляции этих пород. Причиной такого разнообразия авторы считают или ассимиляцию, или же различие в глубинах относительно кровли интрузива. Коррозия циркона и апатита, наблюдавшаяся в кварцево-рогово-обманковых диоритах и трондjemитах, заставляет авторов ставить вопрос об устойчивости этих минералов при магматических процессах.

Райт (Wright, 1932) считает, что для исследования гранитовых батолитов Канады следовало бы применить метод Грувса, хотя он и подвергся резкой критике Уэльса. Сравнивая акцессорные минералы гранита Фальмоуза, исследованного Гошем (Ghosh, 1928) и дартморского гранита Брэммэла, Райт приходит к выводу, что по акцессорным минералам можно узнать, из какого гранита взят образец. Указывая на методы, которые следует применять при изучении акцессорных минералов, Райт говорит, что должны быть подробно исследованы большие площади; образцы должны быть не менее одного фунта (0.452 кг) и возможно больше; с площади в $\frac{1}{4}$ кв. мили (64.7 га) надо брать по крайней мере 10 образцов. Райт не упоминает о своих исследованиях акцессориев, и его рассуждения являются чисто теоретическими. Опробование породы, даже если брать по образцу с га, не может считаться правильным.

Е. Дэвисон исследовал акцессорные минералы гранита о-ва Ленди, находящегося в Бристольском проливе, и сравнивал их с акцессориями третичных гранитов гор Маурн в Ирландии, о-вов Арран и Мюлл в Северном проливе и палеозойских гранитов западной Англии. Граниты Ленди близки к гранитам западной Англии по большому количеству в них мусковита, которого очень мало в других гранитах, по отсутствующим в других гранитах турмалину, флюориту, топазу и касситериту. Кроме того, были измерены величины плеохраичных ореолов в слюдах, причем оказалось, что ореолы в гранитах Ленди в среднем 30.1 μ , западной Англии 30.3 μ , а в других гранитах максимум 10.1 μ . На основании изучения акцессориев и измерений ореолов Дэвисон пришел к заключению, что гранит Ленди не третичный, как его определили прежние исследователи, а послекарбонный (Davison, 1932).

А. Доллар подверг критике работу Дэвисона. Он указал, что интрузия Ленди сложная; можно различать несколько гранитов. Дэвисон не указал среди минералов берилла, более характерного для гранитов Маурн, чем для дотретичных. По химическому составу гранит Ленди подобен гранитам Маурн, Аррана и Мюлла, только в последних нет лития. Ореолы могли сохраниться в слюдах, начавших образовываться в палеозое (in infused micas of palaeozoic initiation). Доллар полагает, что среди доказательств возраста гранитов акцессорные минералы имеют небольшое значение, если вообще таковое имеют (Dollag, 1932).

К. Ламей (Lamey, 1933) исследовал «республиканские» граниты северной части п-ова Мичигана. Красные крупнозернистые порфиридные граниты с пегматитовыми фациями интродировали нижнюю, среднюю и верхнюю гуронские формации. В них имеется касситерит в сравнительно мелких кристаллах, биотит и мусковит, но слюд мало. Были определены акцессории: молибденит, пирит, пирротин, халькопирит, магнетит, турмалин, гранат, апатит, флюорит, циркон, ильменит. Значение этих минералов Ламей не указывает.

В. Дженкс (Jenks, 1934) исследовал тяжелые минералы в нордмаркитах, авгитовых сиенитах, анальцимовых сиенитах и многочисленных их порфириновых разновидностях в горах Плизант, Мэн. Были определены минералы: титанит, апатит, магнетит, циркон, алланит. Дженкс пришел к заключению, что биотит, авгит и роговая обманка изменчивы в одном и том же типе пород, например нордмарките. Такая же изменчивость наблюдается в различных породах. Тяжелые минералы как индексы типов пород не имеют значения; у анальцимовых сиенитов несколько

другая комбинация аксессуариев. Акцессорные минералы могут быть полезны для изучения процессов седиментации.

Но Р. Марсден (Marsden, 1935) делает другой вывод из наблюдений Дженкса. Он считает, что данные Дженкса согласны с представлением о постоянстве акцессорных минералов в сиенитовом штоке. Согласно Гошу (Ghosh, 1927) и Брэммэлу (Brammell, 1926), акцессорные минералы двух гранитов были похожи между собою на расстоянии 100 км. Марсден считает, что Дженкс напрасно взял роговую обманку и авгит, не являющиеся акцессорными минералами, и не дал отношений количеств апатита и циркона; вообще лучше выражать количества акцессорных минералов в процентах. Трудно согласиться с первым замечанием Марсдена после критики Уэльсом работ Гривса.

Дж. Старк (Stark, 1934) в 1931—1932 гг. исследовал тяжелые минералы небольших гранитных интрузий неизвестного возраста в центральном Колорадо и на основании этих минералов отнес их к местным докембрийским интрузиям. После этого работа была направлена на изучение акцессорных минералов интрузий, определенных как третичные Крауфордом. Считая, что работы по тяжелым минералам изверженных пород находятся еще в стадии эксперимента, автор поставил целью проверить этот метод, дающий возможность коррелировать отдельные удаленные друг от друга выходы. Оказалось, что в исследованных породах почти во всех образцах повторяются апатит, биотит, ильменит, титанит и циркон; роговая обманка встречена во всех, кроме четырех, образцах. Затем бросается в глаза отсутствие турмалина, монацита, флюорита, берилла, силлиманита — минералов, указанных М. Боос (Boos, 1935) в изверженных породах хребта Фронт. В общем минералогические анализы указывают на сходство с главной массой батолита Принстон, что не противоречит выводам Крауфорда. Но если взять только таблицы найденных тяжелых минералов, то такое предположение будет не более как догадкой (*is scarcely more than suggestive*, стр. 591). Число анализов слишком мало, чтобы высказаться с большей уверенностью (в таблицах данные о 28 образцах). Таким образом, вопрос о пригодности метода тяжелых минералов для корреляции остался нерешенным.

М. Ф. Боос и С. М. Боос изучали граниты трех батолитов — Лонгс Пик Сент Врэн, Сильвер Плюм и Криппл Крик в хребте Фронт, — южной границы Уайоминга с Колорадо до истоков р. Арканзас (Boos M. F., Boos C. M., 1933). На ряду с обычным геолого-петрографическим исследованием были изучены акцессорные тяжелые минералы, полученные раздроблением образцов величиной около 500 см³ до 65 меш, с использованием из этой массы 50 г. После удаления легких минералов и муки промывкой остаток был разделен бромформом с уд. весом 2.8. В магнитной фракции были большей частью биотит и магнетит, составлявшие 75—90% тяжелых минералов. Выделены три группы тяжелых минералов: 1) первичные или нормальные: биотит, магнетит, ильменит, апатит, циркон, титанит, алланит; 2) контаминационные: силлиманит, гранат, флюорит, рутил, пирит; 3) вторичные: хлорит, лейкоксен, гематит. Первичные минералы в общем распространены однообразно, но циркон концентрируется у вершин штоков, где много биотита; апатит хотя встречается везде, но местами обилен, параллельно увеличению содержания циркона; алланит хотя и не обилен, но широко распространен и характерен для батолита; титанит локализуется у краев батолита.

В крупнозернистых гранитах большее количество акцессорных минералов, но те же виды, что и в мелкозернистых. Силлиманит — главный контаминационный минерал во всех образцах. Более разнообразны акцессории в гранитах с таблитчатым микроклином. Тонкозернистые дайки бедны акцессориями. В граните горы Олимп акцессориев больше, чем в типичном Лонгс Пик граните. Цирконы встречаются двух типов — окрашенные и неокрашенные; они имеются везде.

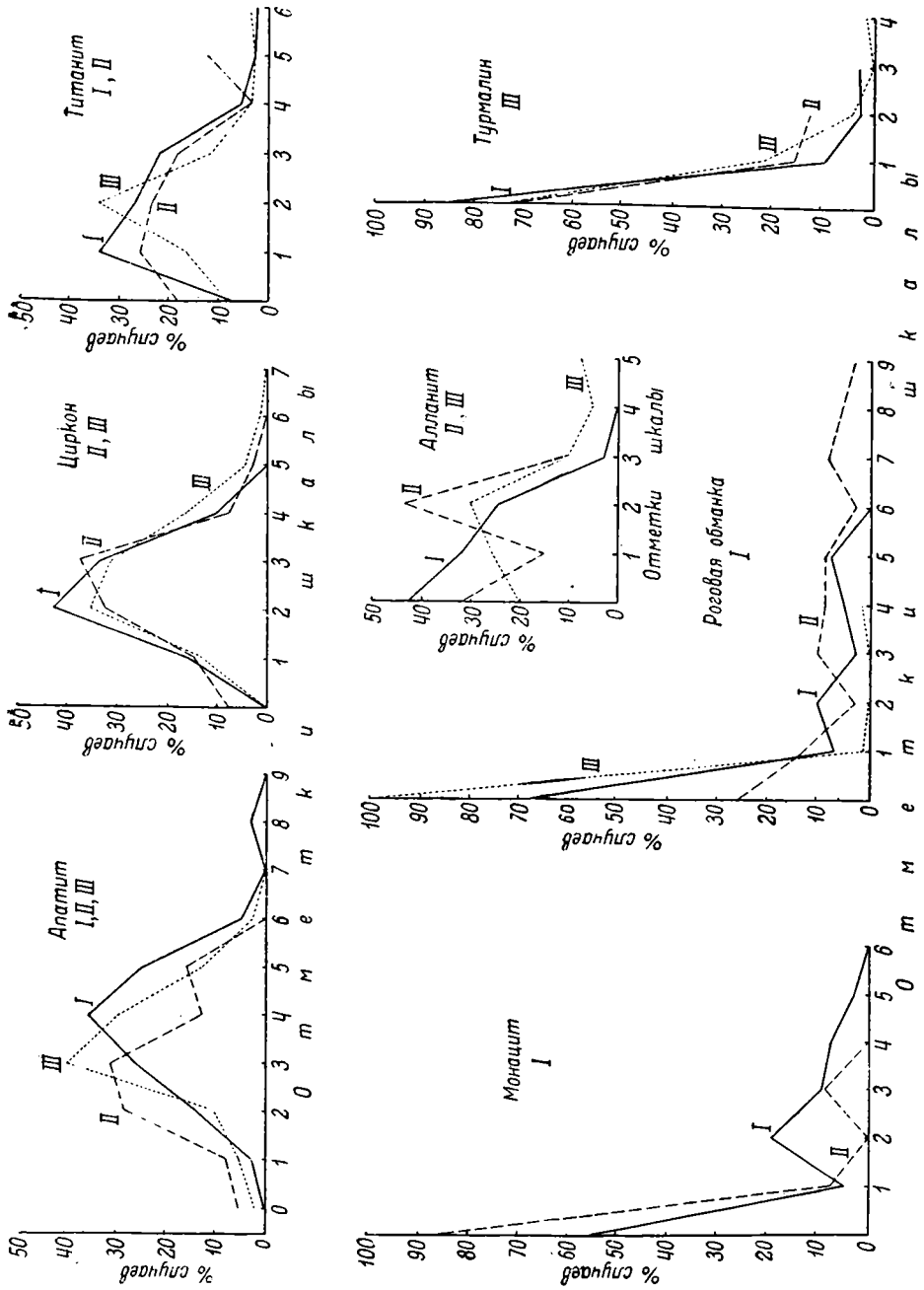
М. Ф. Боос продолжала исследования тяжелых минералов гранитов хребта Фронт (Boos, 1935). На этот раз исследования захватили десять батолитов и два штока. Батолиты и штоки по полевым наблюдениям разделяются на самые старые (I), промежуточные (II) и молодые (III). Старые граниты характеризуются ассоциацией титанита, апатита, роговой обманки, монацита; промежуточные — бледного апатита, титанита, циркона, алланита; молодые — окрашенного циркона, апатита, алланита, турмалина. Циркон, апатит и титанит имеются двух генераций; более ранние в больших кристаллах. Боос делает вывод, что ассоциации тяжелых минералов представляют признаки, относящиеся к возрасту, текстуре, содержанию кварца и полевого шпата и виду залегания отдельных гранитов.

В старых гранитах большее количество тяжелых минералов, но видов меньше; в промежуточных больше видов, но меньшее количество. В молодых много мелких зерен, но общее количество меньше, чем в старых. Боос дает таблицы тяжелых минералов для каждого батолита, обозначая количество минералов десятью единицами: чрезвычайно много (flood), очень обилен, обилен, очень обычен, обычен, немного (scarce), очень немного, редок, очень редок, отсутствует; кроме того, указано, когда минерал был найден в шлифах. Для того чтобы проверить выводы Боос относительно характерности указанных ассоциаций тяжелых минералов для гранитов различного возраста, были подсчитаны случаи различных ступеней шкалы, указанные для тяжелых минералов, типичных для гранитов всех трех возрастов. Проценты этих случаев к общему их количеству для данного минерала в данном граните данного возраста нанесены на график (фиг. 1).

Из графика ясно видно, что во многих случаях «типичные» для гранита данного возраста тяжелые минералы отсутствуют или же находятся в весьма малом количестве. Роговая обманка, характерная для старых гранитов, в них отсутствует в 68.4% случаев; турмалин реже встречается в молодых гранитах, чем в промежуточных; алланита больше в старом граните, чем в промежуточном. Было подсчитано среднее содержание минералов в гранитах различного возраста. Для подсчета ступени шкалы Боос были отмечены числами от 0 до 9; эти числа помножились на соответственное число случаев для данного числа; сумма этих произведений делилась на число случаев. Таким образом получалось взвешенное среднее содержание минералов в данном граните. График фиг. 2 представляет результат этих вычислений. Из него видно, что и среднее содержание «типичных» для гранитов разного возраста минералов по большей части не характерно для них, хотя было исследовано 215 образцов из 40 различных мест батолитов и штоков. Количества апатита, роговой обманки, монацита, титанита, алланита и турмалина весьма изменчивы для различных образцов из одного и того же места; в гранитах промежуточного возраста даже циркон не везде встречен. Поэтому, основываясь на материале, данном Боос в ее статье, нельзя согласиться с ее выводами. Кроме того метод определения количества минералов неправилен, так как не указано, каким образом определялась ступень принятой десятибалльной шкалы. При десятибалльной шкале определение ступеней является слишком произвольным.

К. Тольман и Г. Кох с целью характеризовать гранитные породы юго-западного Миссури исследовали их аксессуарные минералы (Tolman, Koch, 1935) и получили следующие результаты. «Разнообразный характер большей части важнейших первичных аксессуариев варьирует так сильно как в отдельных образцах, так и во всем комплексе гранитов, что эти минералы не могут быть использованы в качестве основы для различения типов. Найдено, впрочем, что различные образцы показывают различные роды и относительные количества главнейших аксессуариев, на основании которых можно различать хорошо определенные группы. Группы

пород, различные на этом основании, показывают также достаточное (reasonable) постоянство в общем петрографическом характере и географическом (local? Напечатано logical) распределении». Напонятное противоречие между первой и второй частью заключения не могло быть



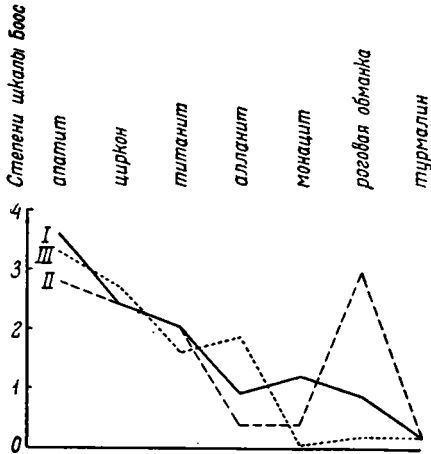
Фиг. 1. Колебания содержания типичных минералов в гранитах старых (I), промежуточного возраста (II) и молодых (III)

выяснено штудированием работы Тольмана и Коха, так как напечатано лишь краткое ее содержание.

Г. Л. Тэйлор (Taylor, 1935) применил для сравнения докембрийских гранитов Черных холмов (Black Hills) в Южной Дакоте три метода: по тяжелым минералам, по данным спектроскопического анализа и по отношению между свинцом и ураном (радиоскопический метод). Были взяты

свежие образцы трех гранитов: 1) Гэм Лодж — с кварцем, олигоклазом, альбитом, микроклином, биотитом и мусковитом; 2) Харней Пик — тонкозернистый гранит с кварцем, ортоклазом и микроклином, мусковитом (до 20%), турмалином (до 15%), магнетитом, пиритом, пирротином, биотитом, бериллом, апатитом и кассетеритом (в шлифах); 3) Литтл Эльк — гнейсовидный гранит с кварцем, плагиоклазом № 10, ортоклазом, микроклином, альбитом, биотитом, цирконом, эпидотом, клиноцоизитом, апатитом, хлоритом, титанитом, пиритом, пирротином и магнетитом. Количества тяжелых минералов определялись по двухступенной шкале. Табл. 9 содержит эти определения.

Концентрат тяжелых минералов растворялся, и раствор подвергался спектральному анализу. Кроме того, было радиометрически определено отношение Pb: U. Эти данные включены в табл. 9. Тэйлор считает возможным выделить два типа гранитов: один — 1-й и 3-й граниты, второй — 2-й гранит; методы по тяжелым минералам и спектроскопический



Фиг. 2. Взвешенное среднее содержание типичных минералов в гранитах старых (I), промежуточного возраста (II) и молодых (III).

можно использовать для корреляции отдельных выводов. Несмотря на почти полное отсутствие числового определения количеств минералов, все же получилась разница между типами гранитов, указанными Тэйлором. Надо заметить, что общий состав 2-го гранита явно отличается от такового 1-го и 3-го: в нем отсутствуют плагиоклазы, много турмалина и мусковита, так что и без применения метода тяжелых минералов и спектроскопического можно выделить этот тип.

Дж. Старк и Ф. Барнс (Stark, Barnes, 1935) сделали попытку коррелировать по тяжелым минералам докембрийские гранитные батолиты Пайкс Пика и Сильвер Плюма в хребте Саватч, центральная часть Колорадо, решая вопрос, можно ли пользоваться этим методом. В докем-

брии хребта Саватч было две интрузии; сланцы и гранитная масса образовали в кровле обширные смешанные зоны с постепенными переходами между сланцами и кристаллическими породами. Кроме батолитов, исследованы граниты неустановленного возраста с Галена Крик, Вудди Крик и Экспресс Крик. Образцы размельчались до 200 меш и меньше; 50 г промывались в большой чашке и подвергались делению бромформом уд. веса 2.84—2.86. Магнитные минералы извлекались подковообразным магнитом. Две фракции изучались под микроскопом с подсчетом зерен.

Сравнение гранитов Южной Дакоты по тяжелым минералам, спектроскопи

Граниты	Апатит	Биотит бурый	Биотит зеленый	Хлорит	Клиноцоизит	Эпидот	Гранат	Магнетит	Пирит	Пирротин	Титанит
1	2	95%	2	2	2	1	—	1	—	1	2
2	1	1	—	—	—	—	30%	1	1	1	—
3	2	2	95%	2	2	1	—	1	1	1	2

Для сравнения процентное содержание минералов для каждого образца изображено кривыми, причем авторы обращают большее внимание на форму кривых, чем на высоту ординаты для какого-либо минерала. Батолиты различаются отношением циркона к титаниту: для Пайкс Пик оно равно 1 : 2, для Сильвер Плюм — 4 : 1. Затем, в гранитах Пайкс Пик алланит отмечен в 6 образцах из 8, в гранитах Сильвер Плюм — в 2 из 12. Данные авторов по сравнению кривых для батолитов Пайкс Пик и Сильвер Плюм мною сведены в табл. 10.

Роговая обманка, биотит, эпидот и мусковит имеют мало значения, так как их содержание зависит от ассимиляции вмещающих пород. Гранит Галена, очень похожий на трахитоидную разность гранитов Сильвер Плюм, авторы считают среднезернистой фракцией гранита Пайкс Пик на основании преобладания титанита над цирконом. Гранит из Вудди Крик внешне очень сходен с гранитом Пайкс Пик, но обилие апатита и преобладание циркона над титанитом заставляют коррелировать его с гранитом Сильвер Плюм. Гранит Экспресс Крик по низкому содержанию апатита и высокому алланита сходен с гранитом Пайкс Пик, а по преобладанию циркона над титанитом — с гранитом Сильвер Плюм. В виду того, что гранит Экспресс Крик подходит по тяжелым минералам к граниту с р. Тэйлор, относящемуся к граниту Пайкс Пик, авторы считают его относящимся к граниту Пайкс Пик, не отрицая возможности отношения его к гранитам Сильвер Плюм. Авторы приходят к заключению, что «если единичные анализы неизвестного гранита не имеют особой цены, то ряд анализов, после сопоставления с анализами известных уже гранитов, может привести к успешной корреляции». Данные свои авторы считают годными лишь для предварительных заключений; результаты метода лучше проверить исследованиями обычных шлифов и полевыми наблюдениями. Работа Старка и Барнеса выгодно отличается от других более точными подсчетами и систематически проведенным сравнением состава тяжелых минералов, сопровождающимся графическим изображением их количеств для каждого образца.

Л. Бертуа (Berthois, 1935) изучал петрографию гранитных массивов восточной Бретани, уделяя особое внимание тяжелым минералам. Была исследована гранитная дресва из 360 различных мест; определено и изучено 26 различных тяжелых минералов, описано 10 массивов биотитового гранита, 2 двуслюдистого гранита и их контактные зоны. Турмалин оказался связанным с биотитовым гранитом; в контактных зонах его лишь немного больше, или же количество его не увеличивается. Монацит сопровождает турмалин во всех биотитовых гранитах и очень редок в двуслюдистых. Из титанистых минералов в восточной части встречается больше брукита, в западной — анатаза; рутил редок. В двуслюдистых гранитах найден хризоберилл. Все граниты Бертуа считает герцинскими.

Г. Клаус (Claus, 1936) исследовал тяжелые минералы кристаллических пород из области между Пассау и Чамом, на южном краю Богем-

Таблица 9

ческому анализу и отношению между свинцом и ураном по Тэйлору

Тур- малин	Цир- кон бес- цвет.	Цир- кон зонал.	Цир- кон синий	Спектральный анализ							Pb : U средн.
				Ag	Fe	Ti	Zr	K	B	Li	
—	1	1	—	>	>	>	>	<	—	—	0.22 ± 0.02 0.226 0.27 ± 0.02
65%	1	1	2	<	<	<	<	>	+	—	
—	1	2	—	>	>	>	>	<	—	—	

Сравнение кривых для титанита и циркона в гранитах Пайкс Пик и Сильвер Плюм по Старку и Барнесу

	Пайкс Пик	Сильвер Плюм
Число кривых, в которых титанит и циркон занимают высшие точки	Титанит занимает высшие точки в 6 кривых из 8	Циркон занимает высшие точки в 9 кривых из 11
Отношение циркона к титаниту	1 : 2	4 : 1
Образцы с алланитом	6 из 8	2 из 11
Средний, минимальный и максимальный проценты алланита	3.8 ; 0.1—13.4	0.2 ; 0.5—2.1
То же для апатита	13.0 ; 2.7—35.8	26.4 ; 9.2—51.8
Ильменит	Более обычен	Менее обычен

(Данных для этого заключения в таблице авторов нет.)

ского массива, с целью выяснения значения их для различения кристаллических пород и для определения источников происхождения осадочных пород. В исследованной области встречаются большей частью граниты; с ними и диоритами ассоциируются гнейсо-граниты. Другой тип гнейсов — инъекционные породы. Образование материала пород гнейсовой серии началось с интрузий основной магмы (габбро и нориты) и затем кислой, инъецировавших парасланцы; затем последовала конкордантная интрузия, давшая гнейсо-граниты и гнейсо-сиениты; последней была дискордантная интрузия диоритов и гранитов.

Образцы для исследования собирались исключительно из элювия, что, по мнению автора, имеет свои преимущества: не требуется дробления, при котором размельчаются минералы. От 80 г воздушносухой пробы отделялись ситом обломки больше 0.5 мм, остаток промывался в чашке и просеивался снова через сито 0.24 мм; фракция меньше 0.24 мм содержала все тяжелые минералы (доказательств этого автор не приводит). Она делилась затем бромформом и потом смесью ацетилентетрабромиды и иодистого метилена для частичного удаления биотита. Полученный концентрат перемешивался на часовом стекле, и из него делались препараты на коллолите. В общем подсчитывалось 200—300 зерен, причем только оптически определимых минералов. Для изучения цирконов брались каждый раз 50 зерен, которые выделялись, после обработки концентрата HCl, повторным делением бромформом и извлечением рудных минералов магнитом. Для цирконов определялись: характер граней, аномальные формы (округленные, коррозия), зональное строение (с подсчетами), отношение длины к ширине (с подсчетами), химические изменения, величина кристаллов (с подсчетами). Кратко описаны монацит (с подсчетом кристаллов различных величин), ксенотим, апатит, титанит, эпидот, роговая обманка, андалузит, турмалин, дюмортьерит, гранат, силлиманит, рутил, анатаз, брукит. В таблицах 1 и 2 даются проценты апатита, биотита, непрозрачных минералов, анатаза, брукита и прозрачных мине-

ралов к общей сумме минералов и проценты остальных минералов (не изменяющихся при выветривании) к их сумме. В таблице 3 даны проценты прозрачных минералов второй группы в породах различного возраста и происхождения. Эти данные разбираются отдельно для каждого минерала. По мнению Клауса, по тяжелым минералам можно отличить инъецированные сланцы от собственно изверженных пород; значительно труднее дать характеристику изверженных пород, что зависит, вероятно, от происхождения их из одного магматического очага. Из тяжелых минералов самыми важными являются циркон и монацит. Различные условия остывания сказываются на цирконах в различных отношениях длины кристаллов к ширине. Изучение тяжелых минералов изверженных и кристаллических пород дает возможность определить источники происхождения осадочных пород. Со вторым выводом автора можно вполне согласиться.

Метод взятия образцов, применявшийся автором, может быть правильным в том случае, если есть уверенность, что в элювий не попали чуждые данной породе минералы, например с примесью делювия. Автор не говорит, каким образом из элювия бралось 80 г; если не было квартования, то состав пробы может оказаться случайным. В редкой из работ по тяжелым минералам встречается подробный разбор числовых данных, какой дан у Клауса. Обращает на себя внимание то, что, несмотря на подробное изучение цирконов и отчасти монацитов и на произведенные подсчеты, все же не получилось данных для различения пород интрузий разного возраста. На графике (фиг. 1 у Клауса) в гранитах дискордантных интрузий не меньше различий между цирконами в отношении длины к ширине, чем между цирконами некоторых дискордантных и конкордантных.

Мак Адамс (Mc Adams, 1936) изучал акцессорные минералы горы Вольф, Техас, с целью оказать помощь петрографам-осадочникам при изучении формаций Гольф Кост и сравнить акцессорные минералы изверженных пород той же площади с таковыми из гранитов горы Вольф. Он ставит вопрос: могут ли акцессорные минералы указывать на характер интрузии и на родственные интрузивные формы? К работе приложена карточка, на которую нанесены границы гранитной интрузии и места взятия образцов, с указанием процентов в них апатита, циркона, титанита, рутила и монацита. Образцы измельчались до 65 меш, 50 г отмывались от муки и обрабатывались бромформом. Для подсчета бралось квартованием от $\frac{1}{16}$ до $\frac{1}{32}$ тяжелой фракции. Содержание роговой обманки и биотита выражалось в процентах. Найдены были: биотит, роговая обманка, магнетит, мусковит, апатит, циркон, титанит, монацит, рутил, хлорит, флюорит, гранат, турмалин, брукит, касситерит, пирит, неопределенный желтый изотропный минерал с высоким N, составляющий до 60% акцессорных минералов. Для гранитов горы Вольф и Лон Грув характерны апатит, циркон, титанит, монацит; эти граниты комагматичны. Для гранита горы Бэр характерно обилие пурпурного флюорита и неопределенного изотропного минерала; судя по обилию флюорита, с этим гранитом одинаков по возрасту кварцевый порфир. Эти породы моложе гранитов горы Вольф. Интрузию одни считали батолитом, другие — факолитом. Мак Адамс считает верным второе предположение, так как количество циркона по отношению к апатиту увеличивается к северо-западному концу интрузии: отношение ап : цр изменяется от 33 : 1 до 9.32 : 1, хотя есть исключения, которых автор почему-то не придает значения. Магнетит вследствие большого удельного веса концентрируется внизу; такой концентрации не могло быть в батолите, не имеющем дна. Автор не ставит вопроса о первичности флюорита в граните и кварцевом порфире. Более молодой возраст кварцевого порфира по отношению к граниту горы Вольф определяется полевыми наблюдениями. Накопление более тяжелых минералов

Сравнение метода подсчета минералов и метода определения количеств

	Би-тит	Рого-вая об-манка	Хло-рит	Магне-тит	Иль-менит	Лимо-нит	Пи-рит	Цир-кон
Пятибалльная шкала Гривса .	5	5	3	4	3	—	—	4
Проценты Тэйлора	59.46	24.78	4.81	2.82	0.96	1.24	0.14	0.60
Проценты, переведенные на пятибалльную шкалу	5	5	4	4	2	3	1	2

ко дну интрузии далеко не всегда наблюдается. Указание на невозможность накопления магнетита книзу в батолите не имеет значения, пока не доказано, что существуют «бездонные» батолиты.

Е. Брюс и В. Джюитт (Bruce, Jewitt, 1936) рассматривали вопрос о распределении аксессуарных минералов в докембрийских интрузивах канадского щита. Авторы не только определяли минералы, но и подробно исследовали их и дали рисунки многих минеральных зерен. Они сравнивали граниты Красного озера в северо-западном Онтарио и гранит с северо-западной стороны оз. Ролло. Вывод из работы получился следующий: схожесть аксессуарных минералов всех исследованных гранитов могла бы рассматриваться как доказательство одной широко распространенной гранитной интрузии, если бы не было того факта, что аксессуарии, найденные в этих гранитах, подобны тем, которые встречаются во многих других гранитах несомненно совершенно другого возраста.

Дж. Тэйлор (Taylor, 1937) поставил два вопроса. Меньше ли различия в тяжелых минералах в одном сложном гранитном массиве, чем в двух массивах разного возраста? Какова степень вариаций тяжелых минералов в гранитах одного и того же возраста, но различной величины и различной истории остывания? Среди британских гранитов Тэйлор выбрал сложный интрузивный комплекс гор Моурн в графстве Даун, Северная Ирландия, описанный ранее Рилеем, различающим четыре типа гранитов. Для этих четырех типов не оказалось разницы в тяжелых минералах и их разновидностях. Автором было обращено особое внимание на приблизительное определение высоты, с которой брались образцы, для того чтобы узнать различие в аксессуарных минералах верхней и нижней части выходов гранита; это особенно относится к пневматолитовым минералам, о которых Уэльс (Wells, 1931) говорит, что ближе к кровле их больше. В горах Моурн кровля сохранилась. На разрезах через гранитный комплекс видно, что Уэльс прав, хотя иногда около кровли флюорита нет, а в середине его много. Циркон на различных высотах оказался различным, несмотря на превышение лишь на 300 м. Тэйлор делает следующий вывод. Для гранитного комплекса гор Моурн степень изменчивости ассоциаций аксессуарных минералов для четырех интрузий такого же порядка, как для различных образцов из одной интрузии по отношению к видам минералов и их характеру. Количества флюорита и качества циркона меняются в зависимости от расстояния от кровли.

Для демонстрации преимущества метода подсчета перед методом определения количества минералов на-глаз, Тэйлор сравнил определения количества минералов на-глаз Гривсом в гранитах Ля Мойе, о. Джерси, с результатами своего подсчета. В приводимой табл. 11 явно видно расхождение данных.

Р. В. Вильсон (Wilson, 1937) воспользовался для изучения тяжелых

минералов на-глаз в гранитах о-ва Джерси по Тэйлору

Апатит	Титанит	Флюорит	Топаз	Турмалин	Мусковит	Рутил	Силлиманит	Эпидот	Клиноцоизит	Непрозрачные
4 0.69	4 0.91	5 0.91	1 0.40	— 0.02	— 0.03	— 0.06	1 0.02	3 0.71	3 0.19	— 1.60
2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	3

минералов тоналита Валь Верде около Лос Анжелоса, Калифорния, туннелем, который проходит около 14 км через массив тоналита. Образцы были взяты через полмили на протяжении пяти миль, где не было значительных сбросов. Порода была измельчена и просеяна; 30 г с зернами от 100 до 150 меш были отмыты до половины первоначального веса для того, чтобы освободиться от легких минералов и части биотита. Оставшийся материал был разделен бромформом и затем на три фракции электромагнитом; из немагнитной части приготовлены препараты. Сильно и умеренно магнитные фракции были просмотрены только бегло. Акцессорные минералы разделены были на три группы: 1) первичные минералы, находящиеся в достаточном количестве для подсчета во всех образцах и, повидимому, присутствующие в любом образце: циркон, апатит и титанит; 2) вторичные минералы, обычно находящиеся в количестве достаточном, повидимому, чтобы попадаться во всех случаях (to be expected in a random count): группа эпидота — эпидот, клиноцоизит, цоизит (обычно редок); 3) первичные и вторичные минералы, достаточно редкие или отсутствующие в большей части образцов, так что их присутствие нельзя предсказать в отдельных образцах: турмалин, монацит, анатаз, кальцит (?), алланит (?), тулит (?), пирит и неопределенные. Подсчитаны были только циркон, апатит и титанит. Вильсон считает, что вариации в содержании этих минералов зависят от пяти следующих причин. 1) Отсутствие абсолютного контроля при изготовлении препаратов. Пластинчатый биотит и роговая обманка, присутствующие в большом количестве, увлекают с собой другие минералы при разделении бромформом и электромагнитом. 2) Промывкой удалается скорее апатит, чем циркон- и титанит. Один и тот же образец был исследован с разделением бромформом с промывкой и без промывки. Результаты указаны в табл. 12.

Таблица 12

Сравнение количеств тяжелых минералов, полученных промывкой и последующим разделением бромформом и только бромформом по Вильсону

№ образца	Сколько промыто г	Сколько осталось г	% тяжел. минерал.	Число зерен	Циркон		Апатит		Титанит	
					%	% ошибки	%	% ошибки	%	% ошибки
№ 11937 без промывки	—	—	23	486	16	7.5	42	4	42	4
С промывкой	49.9	17.2	9	39)	23	6	31	5	46	3.5

Зерна титанита, вследствие трещиноватости, разбиваются при раздроблении породы; степень измельчения зависит от способа раздробле-

ния. Вильсон указывает эти способы (ступка, дисковая дробилка, ручная дробилка). 3) Ошибки в определении минералов. Для минералов, приведенных в таблице, Вильсон считает ошибку ничтожной. 4) Ошибка вследствие ограниченного числа зерен. Ее Вильсон считает существенной и дает возможные ошибки в процентах, руководясь указаниями в статье Драйдена (Dryden, 1931). 5) Действительное изменение в составе породы.

Акцессорные минералы тоналита сохраняют свой характер на всем исследованном его протяжении. Характерен высокий процент титанита. Отношение циркона к апатиту различное, обычно апатита больше. Другие акцессорные минералы находятся в слишком малых количествах. Можно только сказать, что порода кислее на западном конце туннеля, что сказывается на увеличении содержания циркона и уменьшении апатита, а также на увеличении коррозии циркона. Ближе к кровле больше турмалина, монацита и анатаза. Вильсон считает, что акцессорные минералы тоналита не настолько сильно варьируют, чтобы корреляция по ним была невозможна. Но так как была исследована только одна порода, а апатит, титанит и циркон очень обычны для разнообразных пород, то возможно, что не было в достаточной степени доказано, что эти минералы пригодны для корреляции.

По таблице процентного содержания циркона, апатита и титанита видно, что и в начале тоннеля процент циркона колеблется от 5 до 15, апатита от 54 до 21, титанита от 34 до 75, причем изменение содержания идет скачками. При желании можно сделать совсем другой вывод, чем делает Вильсон: что тоналит на протяжении тоннеля неоднороден.

В февральском номере «American Mineralogist» за 1937 г. появилась сводка Дж. Рида относительно работ по акцессорным минералам в изверженных и метаморфических породах (Reed, 1937). Рид сообщает, что в 1931 г. при Отделении геологии и географии Национального исследовательского Совета (National Research Council) был образован Комитет по акцессорным минералам кристаллических пород под председательством А. У. Винчела. С тех пор каждый год Винчел делает сводку работ по акцессорным минералам, законченных или производящихся в Северной Америке. Несколько из этих работ уже напечатано и еще больше предполагается опубликовать. Много работ подобного рода ведется оканчивающими студентами под руководством профессоров, интересующихся проблемой акцессорных минералов. Большая часть исследователей акцессорных минералов считает, что эти исследования находятся еще в детской стадии развития. Почти все признают здоровыми основными принципами исследования. Большая часть признает значение акцессориев для корреляции, объяснения дифференциации даже в настоящей рудиментарной (?) стадии нашего знания. В общем североамериканские работники осторожны в своих выводах, вполне сознавая трудности и ограниченность подобных исследований; например, Райт (Wright, 1932) говорит: «Акцессории изверженных масс из многих площадей и различного возраста все же должны быть изучаемы детально, прежде чем делать широкие и обобщающие выводы относительно полезности этих минералов при корреляции и разграничении батолитов. Результаты исследований, произведенных до сих пор, можно уверенно считать достаточно обнадеживающими, чтобы стимулировать более интенсивное, чем до сих пор, изучение акцессориев в гранитах». Рид разбирает вопрос об определении понятия «акцессорные минералы». Он приводит мнения по этому вопросу, высказанные на заседании Комитета по акцессорным минералам, и считает лучшим определение Холмса (Holmes, 1920, 1923).

Е. Ларсен, Дж. Ирвинг, Ф. Гоньер и Е. Ларсен (Larsen, и др., 1938) исследовали акцессорные минералы в лавах третичных вулканов области Сан-Хуан, Калифорния. Лавы представлены латитами и риолитами

с биотитом, авгитом, роговой обманкой и кварцем. Магнетит и ильменит встречены почти везде, кроме пузырчатых пород верхней части жерл. Железистый апатит в небольшом количестве находится во всех лавах. Циркона нет в большей части биотитово-авгитово-кварцевых латитов и риолитов, в других породах его очень мало. Титанит почти так же обычен, как биотит или роговая обманка. Авгит и роговая обманка в риолитах в очень малых количествах — менее 0.1%. Авторы не упоминают целей исследования аксессуариев. О возможности явлений контаминации не говорится.

А. Пабст (Pabst, 1938) исследовал аксессуарии интрузивов Иосемита с целью узнать, могут ли единицы интрузивных тел, определенные другими методами, быть определены по ассоциациям их тяжелых минералов. Породы района были ранее изучены Калкинсом и картированы Клоосом. Следует отметить метод, которым пользовался Пабст. Навеска в 275 г породы измельчалась до 60—100 меш, взвешивалась, промывалась для удаления муки и снова взвешивалась. Потеря в весе после промывки была менее 15% и общая потеря не более 20% в большинстве случаев. 10 или 15 г разделялись бромформом уд. веса 2.88. В легкой фракции оказывались весь мусковит и хлорит и слабо измененный биотит. Магнитная фракция удалялась простым магнитом; электромагнитное разделение не дало существенных результатов. Одну часть тяжелых минералов кипятили в разбавленной HCl, растворявшей апатит и выщелачивавшей биотит; биотит вновь удалялся бромформом. Этот способ отделения биотита заслуживает внимания. Роговая обманка отделялась от титанита и других более тяжелых минералов форматом таллия с уд. весом 3.3. Частично производился подсчет зерен в 2 или более шлифах, большей частью количества минералов определялись по 5-степенной шкале. Аксессуарных минералов мало во всех породах; главные из них — титанит, апатит и циркон. Титанит почти во всех породах, пирит в некоторых, но не характерен для них; турмалин лишь спорадически; рутил, анатаз, шпинель — только случайно; они плохо определяются. По Пабсту различие между аксессуарными минералами тесно родственных пород очень резкое, несмотря на малое число разновидностей. Апатита больше в гранитах Элькапитан, чем в гранитах Тафта; в гранитах Тафта больше циркона, встречающегося в двух разновидностях. У диоритов и габбро, относящихся к нескольким различным интрузиям, большое различие в аксессуарных минералах. Места концентрации темных минералов — автолиты и шпирсы — близки между собою по минералогическому составу.

И. Церндт (Zerndt, 1937), взяв циркон в качестве руководящего минерала для корреляции магматических пород и для выяснения происхождения материала осадочных образований, исследовал цирконы из магматических и осадочных пород Карпат. Он получал концентрации циркона по методу Тюрха (Thugach, 1884) и определял частоту встречаемости, частоту комбинаций и наибольшего развития граней форм (111), m (110), a (100) и x (311), выражая эти данные в процентах и изображая их условно на треугольнике, следуя примеру Ниггли. Церндт пришел к заключению, что по наблюдавшимся им признакам могут быть различаемы петрографические провинции и выясняемо происхождение материала осадочных пород. Цирконы гранитов Татр и окрестностей Кракова Церндт считает весьма сходными, что подтверждается и приводимой им таблицей: большое развитие a , комбинации ra и $rtax$, что не наблюдается в других породах. Данные Церндта для других пород настолько разнообразны, что трудно сравнивать их между собою как по числовым данным таблицы, так и по диаграммам. Число изученных кристаллов циркона было различно: в двух случаях 100, в четырех 30, в шести 20 и в трех 10. Это обстоятельство позволяет поставить вопрос о равнозначности результатов наблюдений.

Грувс (Groves, 1931₂) сравнивал найденные им тяжелые минералы в граните Дартмора и осадочных породах южной Англии для решения вопроса о происхождении материала осадочных пород различного возраста. Оказалось, что дартморский гранит не был вскрыт в пермское и триасовое время и что и в юрских породах нет тяжелых минералов из этого гранита. В некотором количестве они появляются в нижнем мелу; в верхнем мелу они встречаются в громадном количестве осадочных пород, их немного в эоценовых и нет в олигоценовых породах. Работа Грувса ясно показывает, какое значение имеет для определения источника материалов осадочных пород изучение аксессуариев в породах изверженных.

Дэпплс (Dapples, 1940) изучал распределение аксессуарных минералов в лакколите г. Уит Стон, Колорадо. На склоне горы на расстоянии по высоте в 930 м было взято пять образцов; каждый весил около 0.8 кг и состоял из кусков, собранных с площади 9 м². Куски были измельчены до 100—200 меш и меньше 200 меш; из обеих фракций на делителе Джонса получены по две части, каждая весом 10 г; из каждой навески после выделения магнетита и железа и легкой фракции приготовлено по 2 шлифа, в которых подсчитывалось 400—2000 зерен. Таким образом, каждый образец дал для подсчета восемь препаратов. Оказалось, что содержание минералов в фракциях 100—200 меш и менее 200 меш различно; что различия в процентах одного и того же минерала очень велики в различных препаратах из одного и того же образца; они больше для фракции 100—200 меш. Различия в процентах циркона, апатита и титанита для отдельных образцов различны. На основании этого Дэпплс полагает, что аксессуары распределены в лакколите неравномерно. Это обстоятельство затрудняет корреляцию по процентному содержанию аксессуариев; все же Дэпплс считает возможным при корреляции основываться на соотношениях между процентами аксессуарных минералов, принимая во внимание вариации этих процентов для одного и того же образца и для одной и той же породы. Дэпплс вычислял проценты минералов к тяжелой фракции; возможно, что при вычислении их по отношению ко всей породе получились бы другие данные.

3. Связь аксессуарных минералов с рудами

Ф. Ч. Линкен (Lincoln, 1911) сделал сводку указаний на минералы, встречающиеся вместе с золотом. В таблицах, приводимых Линкеном, даны: число наблюдавшихся случаев совместного нахождения минерала и золота; число случаев, когда известны детали; число случаев, когда золото находится в следующих отношениях к минералу: в виде вростков, рассеяно в минерале, находится внутри его и находится вместе с ним. В таблице указано 112 минералов, среди них следующие «тяжелые» минералы (обычные «аксессуары»): апатит, флюорит, гематит, магнетит, эпидот, гранат, турмалин, циркон, касситерит, рутил, титанит, шеелит, биотит, роговая обманка, пироксен, мусковит, многие сульфиды. Само золото было встречено в 46 изверженных породах; из них только в 3 случаях положительно можно сказать, что золото первичное, в 19 случаях это вероятно, и в 24 — возможно. Количества минералов не указаны. Большое число минералов, с которыми ассоциируется золото, затрудняет применение метода аксессуарных минералов к нахождению в породах признаков, указывающих на их связь с месторождениями золота, так как в каждой, можно сказать, породе найдутся группы минералов из указанных Линкеном.

Брэммэл и Харвуд исследовали тяжелые аксессуарные минералы в пегматитах, находящихся в виде валунов в районе распространения дартморских гранитов (Brammal, Harwood, 1924). Был исследован каче-

ственно и количественно минералогический состав пегматитов, но аксессуарии только перечислены. Определены минералы: кварц, ортоклаз, плагиоклаз (олигоклаз), турмалин, амфиболы, титанит, апатит, ильменит, гематит, и аксессуарии: пирит, пирротин, циркон, молибденит, золото, серебро (неизвестно в каком виде). Аксессуариев 0.12%. В Джайант-граните вместо амфиболов биотит, титанита мало, аксессуариев 0.6%, среди них нет серебра, редко встречается золото в листочках в пустотах и имеются гранат, кордиерит, андалузит, силлиманит, шпинель, корунд, монацит, мусковит, топаз, барит, рутил. В синем граните такой же почти состав, но нет титанита; аксессуариев 0.4%, нет молибденита, кордиерита, андалузита, силлиманита (табл. 13).

Таблица 13

Сравнение аксессуарных минералов пегматитов и гранитов по Брэммэлу и Харвуду (минус (—) в клетке означает указанное автором отсутствие минерала; пустая клетка,—что отсутствие минерала не указано)

	Гранит Джайанта	Фельзит Уиттабаро	Синий гранит	Пегматит Биттлфорда
Кварц			+	+
Ортоклаз			+	+
Плагиоклаз			+	+
Биотит		+	+	
Турмалин			+	+
Амфибол	—	—	—	+
Титанит		сл	—	+
Апатит			+	+
Ильменит			+	+
Гематит			—	+
Пирит	+	+	+	+
Пирротин	+	+	+	+
Циркон	+	+	+	+
Молибденит		+		+
Золото		+		+
Серебро				+
Флюорит	+		+	
Мусковит	+	+	+	
Монацит	+	+	+	
Топаз	+	+	+	
Гранат	+	+		
Кордиерит		+		
Андалузит		+		
Силлиманит		+		
Шпинель		+		
Корунд		+		
Барит		+		
Рутил		+		
Пинит	?			
% аксессуариев	0.4	0.6	0.3	0.12

С пегматитом сравнивается также фельзитоподобная порода из Уиттабаро, залегающая в граните Джайанта в виде слоя (sheet). Золота в пегматите 0.0040—0.0014%, серебра 0.0023—0.0003%. Очень трудно сравнивать минералогический состав пегматитов с таковым гранитов, подвергшихся контаминации, особенно когда неизвестно местонахождение пегматита и нельзя судить о том, могли ли пегматиты быть также контаминированы.

По А. Брэммэлу (Brammal, 1926₃). золото и серебро, кроме пегматитов Биттлфорда, находится и в нормальном сером биотитовом граните, в котором иногда встречается видимое золото. Оно включено в кварце или же в полевом шпате параллельно или поперек спайности. Анализ показал в этом граните 0.00004% золота и 0.00024% серебра. Брэммэл считает доказанным первичный характер золота в дартморских

гранитах, так как видимое золото встречается в виде включений в кварце и полевом шпате и его присутствие, вместо с серебром, доказано анализами в биотите. С другой стороны, анализы пневматолитизированного гранита, инкрустаций на стенках трещин и кристаллов пирита дали, по сравнению с нормальным гранитом, значительно меньшее (до 0%) содержание золота и серебра. Определений тяжелых минералов гранита Брэммэл не дает.

А. Н. Винчел (Winchell, 1914) дает список минералов, найденных в гидротермальных рудных месторождениях золота, серебра, меди и свинца в штате Монтана. Среди них встречаются обычные акцессории: эпидот, флюорит, гранат, халькопирит, галенит, молибденит, пирит, пирротин, рутил, цоизит. В горных породах, тесно связанных с рудными месторождениями, найдены не встреченные в месторождениях минералы: актинолит, анортоклаз, апатит, авгит, корунд, энстатит, ильменит, каолин, парагонит (?), плагиоклаз, рутил (попал по ошибке?), титанит, турмалин, тримит, циркон. Винчел не выделяет специально акцессорных минералов; изучение минералов в породах производилось только на шлифах. Винчел не делает каких-либо выводов, но все же на его работу можно смотреть как на одну из первых, в которых минеральный состав рудных месторождений сравнивается с таковым в окружающих породах. Основываясь на округленных формах и выветрелости кристаллов циркона в сланцах, Винчел считает, что слюдитые сланцы округа Рэббит, Монтана, произошли из кварцитов. Цирконы в песчаниках и кварцитах характерно выветрены и округлены, а в изверженных породах почти все цирконы прозрачны и остроугольны.

В. Х. Ньюхауз (Newhouse, 1936) исследовал непрозрачные окислы и сульфиды в изверженных породах для установления связи между содержанием этих рудных минералов в породах и процессами металлогении (концентрации руд). Так как рудные минералы нередко присутствуют в породах как акцессории, то работа Ньюхауза представляет большой интерес при рассмотрении вопроса об акцессорных минералах для выяснения соотношений между этими минералами и породообразующими и решения вопроса о первичности рудных минералов. Рудные минералы изучались в 266 главных кислых и основных интрузивных и эффузивных породах при помощи аншлифов. По Ньюхаузу зерна рудных минералов значительно меньше в эффузивных, чем в интрузивных породах. В диабазовых дайках зерна пирита меньше около охлаждавшихся поверхностей даек. Величина зерен окислов, кроме таблитчатых кристаллов, меняется от края даек к середине от 0.3—0.4 до 0.4—0.6 мм.

Всего больше распространен магнетит в кислых и эффузивных и ильменит в основных породах и почти во всех магнетит в сростании с ильменитом. В гранитах магнетит и ильменит — ранние выделения, а в основных породах они моложе железо-магнезиальных силикатов и полевых шпатов. Сульфиды очень распространены, их свойства меняются в зависимости от состава и структуры породы. Ньюхауз считает их магматическими, образовавшимися во время кристаллизации породы. В гранитах распространены халькопирит и две генерации пирита — раннего, образующего включения в магнетите, и позднего, но образовавшегося ранее окончания кристаллизации породы. Сиениты и нефелиновые сиениты содержат пирит, пирротин и халькопирит. Диориты и родственные им породы содержат пирит, более поздний, чем в гранитах, пирротин, халькопирит и редко очень мало пентландита. В габбро находятся пирит, более поздний, чем в диоритах, пирротин, пентландит — поздние продукты кристаллизации — и еще более поздний халькопирит. В норитах пентландит более част, чем в габбро, в остальном норит похож на габбро. В эффузивных (экструзивных) породах зерна сульфидов меньше, их количества и время образования различны в различных эффузивах. В более фемических породах сульфидов больше, чем в са-

лических, и они образуются в течение более долгого времени, что указывает на большую их растворимость в магме этих пород. Зерна сульфидов бывают гипидиоморфными и идиоморфными; пирит и пирротин в некоторых типах выделяются в виде сферолитов, глобулярных масс, указывая на нерастворимость их в магме. Величина сферолитов в интрузивах в несколько раз больше, чем в экструзивах. Концентрации сульфидов с небольшим количеством окислов и окислов с небольшим количеством сульфидов представляют последние продукты застывания магмы. При концентрации рудных минералов относительные количества магнетита — ильменита — шпинели или ильменита — магнетита, а также пирротина — пентландита — халькопирита существенно не меняются. Сульфиды различны в изверженных породах различных магматических центров (провинций, очагов).

Ньюхауз не приводит данных о различии в содержании сульфидов в породах одного и того же типа, но различного возраста или находящихся на различном расстоянии и в различных отношениях к рудным массам. Обращает на себя внимание указание на зависимость величины зерен от расстояния от охлаждающихся поверхностей и различие между сульфидами различных магматических очагов.

Г. Дж. Фергюсон и А. М. Бэйтмен (Ferguson, Bateman, 1912) дали сводку о минералах, ассоциирующихся с оловянными месторождениями Старого и Нового Света. Указаны следующие минералы: висмут, серебро, галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, арсенопирит, станнин, флюорит, кварц, касситерит, гематит, магнетит, сидерит, топаз, хлорит, турмалин, слюды, полевошпат, каолин, апатит, вольфрамит, шеелит, молибденит.

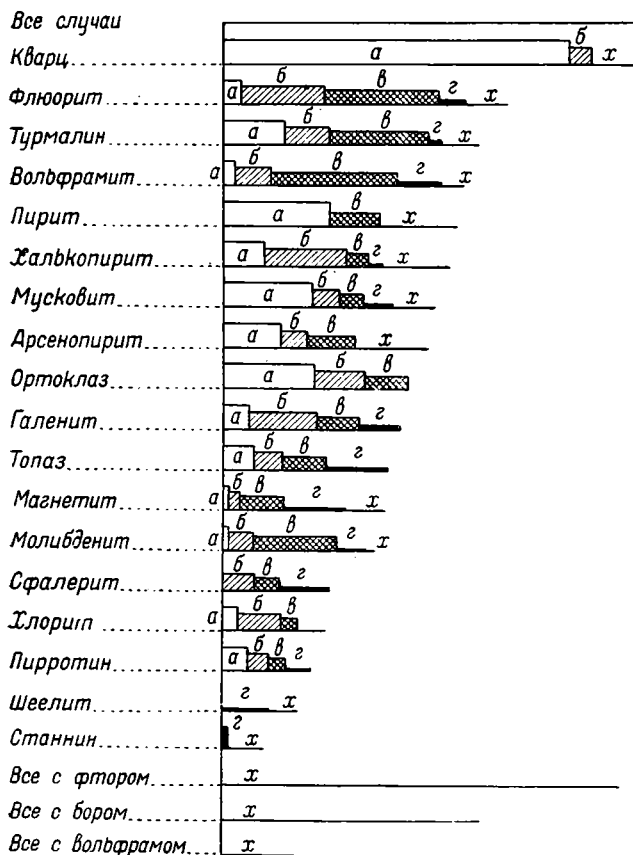
Менее распространены: ильменит, берилл, сподумен, колумбит, танталит, данбурит, триплит, гетерозит, монацит, фенакит, аксинит, дурангит, эшинит, уранинит. Правильнее было бы сказать не «ассоциирующиеся с оловянными месторождениями», а найденные вместе с касситеритом и оловосодержащими минералами, так как «ассоциация» предполагает какую-то связь, а в данных случаях никакой связи не установлено.

Для более существенных минералов дано приблизительное количественное распределение в «ассоциации» с касситеритом (фиг. 3). Указанные минералы находятся не только в изверженных породах, но и в жилах и других рудных образованиях. Сравнительно мало указаний на ассоциацию сопровождающих оловянные месторождения минералов с породами. В Корнуоле касситерит находится почти только в гранитах; то же в Трансваале, в Новом Южном Уэльсе; в 26 случаях касситерит почти только в гранитах, в 8 — и в гранитах, и в интродуцированных ими породах, в 4 — преимущественно в интродуцированных породах. В общем количество турмалина, мусковита и топаза увеличивается от гранитов через порфиры к пегматитам. Пегматиты, ассоциирующиеся с оловянными месторождениями, богаты пневматолитовыми минералами с бором и фтором. Авторы замечают, что и в минералогическом и в химическом характере оловоносных гранитов не много такого, что отличало бы их от неоловоносных. Относительно акцессориев оловоносных гранитоидов у авторов, повидимому, не было данных.

Пока мы не знаем причинной зависимости между минералами, «ассоциирующимися» с оловорудными месторождениями, и этими месторождениями. Возможно, что такая зависимость была бы более ясной, если бы в каждом из сопутствующих оловорудным месторождениям минералов определялось бы содержание олова. Олово имеется в некоторых турмалинах и лепидолитах. Фридель и Гранжан в рутиле из слюдянистых сланцев с жилами лампрофиров из департамента Во, Франция, нашли 1.75% SnO₂; они сочли олово изоморфно замещающим титан (Friedel et Grandjean, 1909).

И. А. Островский (Островский, 1937) изучал тяжелые минералы гранитов из 30 обособленных массивов западного Тянь-шаня. Некото-

рые минералы, встречающиеся редко и случайно, остались неопределенными. Островский делит граниты по тяжелым минералам на четыре типа: 1) сфеновый — много титанита, магнетита и ильменита, нет рутила и ильменита, апатит часто, циркон всегда; роговообманковые гранодиориты и адамеллиты; 2) ильменитовый — постоянно ильменит, местами рутил; титанит редок, магнетит непостоянен, апатит обычен, но иногда его нет; циркон более постоянен; лейкократовые и аляскинские гранитоиды; 3) беститанитовые, магнетитовые — нет титанита, ильменита, рутила, постоянно магнетит и циркон; апатита иногда нет; иногда ортит и монацит; лейкократовые биотитовые граниты, сходные с 2-м типом; 4) беститанитовые и безмагнетитовые — нет титанита, рутила, ильменита, магнетита, постоянно апатит и циркон, иногда ортит; гранодиориты, адамеллиты, граниты. Турмалина и флюорита мало в 1-м типе; они характерны для 3-го и 4-го; гранат и сульфиды — в 4-м. Возраст исследованных пород — от додевонского до посленижнекаменноугольного; сравнения тяжелых минералов для различных возрастов Островский не дает. Тип 1-й считается неоловоносным, типы 2-й и 3-й — оловоносные; признаки оловоносных гранитов не могут считаться доказанными, но заслуживают внимания. Турмалин и флюорит указывают на два рода пневматолитических процессов. Сравнение тяжелых минералов предположительно оловоносных гранитоидов, указанных Островским, с минералами, ассоциирующими с месторождениями олова по Фергюсону и Бэйтмену, дается в табл. 14.



Фиг. 3. Приблизительное количественное распределение более важных минералов, ассоциирующихся с касситеритом (по Фергюсону и Бэйтмену). Длина линии пропорциональна числу случаев, высота — относительному количеству: а — очень много, б — много, в — порядочно, г — редко, х — количество неизвестно.

Из 13 минералов, указанных Островским для оловоносных гранитоидов, 5 не упоминаются Фергюсоном и Бэйтменом среди минералов, ассоциирующихся с оловянными месторождениями: титанит, рутил, циркон, ортит и эпидот. Минералогический облик оловоносных гранитоидов в отношении аксессуарных или тяжелых минералов остается неясным.

Относительно метода изучения гранитоидов по тяжелым минералам Островский делает следующий вывод: «Значение метода тяжелых фракций сводится лишь к расширению наших понятий о минеральном

дью; 3) беститанитовые, магнетитовые — нет титанита, ильменита, рутила, постоянно магнетит и циркон; апатита иногда нет; иногда ортит и монацит; лейкократовые биотитовые граниты, сходные с 2-м типом; 4) беститанитовые и безмагнетитовые — нет титанита, рутила, ильменита, магнетита, постоянно апатит и циркон, иногда ортит; гранодиориты, адамеллиты, граниты. Турмалина и флюорита мало в 1-м типе; они характерны для 3-го и 4-го; гранат и сульфиды — в 4-м. Возраст исследованных пород — от додевонского до посленижнекаменноугольного; сравнения тяжелых минералов для различных возрастов Островский не дает. Тип 1-й считается неоловоносным, типы 2-й и 3-й — оловоносные; признаки оловоносных гранитов не могут считаться доказанными, но заслуживают внимания.

Сравнение тяжелых минералов предположительно оловоносных гранитоидов Островского с минералами, ассоциирующимися с месторождениями олова, по Фергюсону и Бэйтмену

	Указанные Сморчковым	Указанные Трофимовым	По Фергюсону и Бэйтмену	По Островскому
Магнетит	+	+	+	+
Ильменит		+	+	+
Рутил			—	+
Титанит	—		—	+
Касситерит		+	+	+
Циркон	+		—	+
Апатит	—		+	+
Монацит			+	+
Ортит			—	+
Турмалин			+	+
Флюорит	+		+	+
Эпидот			—	+
Сульфиды		+	+	+
Гематит			+	не упоминаются
Сидерит		+	+	
Топаз		+	+	
Хлорит			+	
Слюды			+	
Вольфрамит		+	+	
Шеелит		+	+	
Молибденит			+	
Висмут			+	
Серебро			+	
Берилл			+	
Сподумен			+	
Колумбит			+	
Танталит			+	
Данбурит			+	
Триплит			+	
Гетерозит			+	
Фенакит			+	
Аксинит			+	
Дурангит			+	
Эшинит			+	
Уранинит			+	
Пирит	+		—	

составе гранитов. Нет, повидимому, оснований придавать этому методу более широкое значение» (стр. 181).

В. С. Трофимов (1938) в статье о классификации месторождений олова сульфидно-касситеритовой формации приводит список минералов, встречающихся в оловянных месторождениях рассматриваемых типов. Среди редко встречающихся имеются и те минералы, которые указывают Островский и Фергюсон и Бэйтмен; они помещены в табл. 14. Сравнение производить затруднительно, так как Трофимов имел дело не с породами, а с рудными образованиями, в которых комплекс аксессуарных минералов может быть своеобразным.

И. Е. Сморчков (1940) на основании изучения искусственных шлихов из оловоносных гранитов Зеренского района, Восточное Забайкалье, считает характерным для этих гранитов присутствие пирита, магнетита, циркона и флюорита и отсутствие титанита, роговой обманки и апатита. Весьма вероятно, что пирит и флюорит являются вторичными минералами, несколько странно отсутствие апатита.

ЛИТЕРАТУРА

- Влодавец В. И. и Сазонова Э. А. Опыт количественно-минералогической характеристики месторождений. Тр. Аркт. инст., 1933, 12, 101.
- Игумнов А. Н. Шлихи некоторых уральских россыпей. Тр. Урал. инст. геол. и мин., 1938, вып. 2, 277—282.
- Лебедев А. П. Эпидотовый диорит из Восточной Сибири. Тр. Петр. инст. 1936, вып. 7—8, 105—112.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Проблемы магмы. Учен. зап. Ленингр. гос. унив., 1937, № 17, 191—200.
- Островский И. А. Тяжелые минералы гранитов Средней Азии. Тр. Таджик. Памир. экспед. 1935 г. Изд. Акад. Наук, 1937, 163—181.
- Сморчков И. Е. Характерные особенности оловоносных гранитов Зеренского района (Восточное Забайкалье). Тр. Инст. геол. наук Акад. Наук, петр. сер., 1940, вып. 25, 1—6.
- Трофимов В. С. О классификации месторождений олова сульфидно-касситеритовой формации. Сов. геол., 1938, № 12, 14—26.
- Armstrong P. Zircon as a Criterion of Igneous or Sedimentary Metamorphics. Amer. Journ. Sci., Ser. 5, 1922, № 204, 391.
- Berthois L. Etude de métamorphisme de contact à l'aide des minéraux lourds. C. R. Acad. Sci., Paris, 1933, 196, 493—495.
- Boos M. F. Some Heavy Minerals of the Front Range Granites. Journ. Geol., 1935, 43, № 8, 1033—1048.
- Boos M. F., Boos C. M. Granites of the Front Range: the Longs Peak—St. Vrain Batholith. Bull. Amer. Geol. Soc., 1933, 44, 72—73.
- Brammal A. J. Dartmoor Detritals. A Study in Provenance. Proc. Geol. Ass., London, 1926, 39, 27—48.
- Brammal A. The Dartmoor Granite. Proc. Ass., London, 1926, 37, 251—277.
- Brammal A. J. 3. Gold and Silver in the Dartmoor Granite. Min. Mag., 1926, 21, 14—20.
- Brammal A. a. Harwood H. F. 1. The Dartmoor Granite: its Mineralogy, Structure and Petrology. Min. Mag. 123, 20, 37—53.
- Brammal A. a. Harwood H. F. 2. The Occurrence of Rutile, Brookite, and Anatase on Dartmoor, Min. Mag. 1923, 20, 20—26.
- Brammal A. a. Harwood H. F. 3. Occurrences of Zircon in the Dartmoor Granite. Min. Mag., 1923, 20, 27—31.
- Brammal A. a. Harwood H. F. The Occurrence of a Gold-bearing Pegmatite on Dartmoor, Min. Mag. 1924, 20, 201—211.
- Brammal A. a. Harwood H. F. Turmalinization in the Dartmoor Granite, Min. Mag., 1925, 20, 319—330.
- Brammal A. a. Harwood H. F. The Temperature Range of Formation for Turmaline, Rutile, Brookite and Anatase in the Dartmoor Granite, Min. Mag., 1927, 21, 205—220.
- Bruce E. L., Jewitt, W. Heavy Accessories of Certain Pre-Cambrian Intrusives of the Canadian Shield, Geol. Mag., 1936, 73, № 863, 193—212.
- Chatterjee M. The accessory Mineral Assemblage of the Bodmin Moor Granite (Cornwall). Proc. Geol. Ass. London, 1929, 40, 147—152.
- Chrustschoff K. von. Beitrag zur Kenntniss der Zirkone in Gesteinen. Min. Petr. Mitt., neue Folge, 1886, 7, 423—442.
- Claus G. Schwermineralien aus kristallinen Gesteinen des Gebiets zwischen Passau und Cham. Neues Jb., Abt. A., 1936, B. 71, H. 1, 1—58.
- Dapples E. C. The Distribution of Heavy Accessory Minerals in a Laccolith. Amer. Journ. Sci., 1940, 238, № 6, 439—450.
- Davison E. H. The Age of the Lundy Island Granite. Geol. Mag., 1932, 69, № 812, 76—77.
- De Lury J. C. Origin and Movements of Magma in a Strong Earth. Amer. Journ. Sci., 5. ser., 1937, 34, № 201, 222—234.

- De Lury J. C. Primordial Segregation of Metals. *Journ. Geol.*, 1938, **46**, № 5, 756—763.
- Derby O. A. On the Occurrence of Xenotim as an Accessory Element in Rocks. *Amer. Journ. Sci.*, 3 Ser., 1891, **41**, № 241—246, 303—311.
- Doelter, C. *Handbuch der Mineralchemie*, B. 3—1. 1913, 149—150.
- Dollar A. T. I. Age problems of the Lundy Island Granites. *Geol. Mag.*, 1932, **69**, № 816, 265—268.
- Dryden A. L. Accuracy in Percentage Representation of Heavy Mineral Frequencies. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 1931, **17**, № 5.
- Dryden A. L. Statistical Method for Comparison of Heavy Mineral Suites. *Amer. Journ. Sci.*, 1935, **29**, 393—408.
- Dudley P. H. Geology of a Portion of the Perris Block, Southern California. *Calif. Journ. Min. Geol.*, 1931, **31**, № 5.
- Edelman. C. N. Ueber Umwandlungserscheinungen an detritischen Staurolith und anderen Mineralien. *Min. Petr. Mitt.*, neue Folge, 1934, **45**, 225.
- Ewing, C. J. C. A Comparison of the Methods of Heavy Mineral Separation. *Geol. Mag.*, 1931, **68**, 136—140.
- Ferguson H. G. a. Bateman A. M. Geologic Features of the Tin Deposits. *Econ. Geol.*, 1912, **7**, № 3, 209—262.
- Fleet W. F. a. Smithson F. On the Occurrence of Dark Apatite in Some British Rocks. *Geol. Mag.*, 1928, **65**, № 1, 6+8.
- Friedel a. Grandjean. Rutile stannifère de Vaux (Rhône). *Bull. Soc. Fr. Min.* 1909, **32**, 52—54.
- Ghosh P. K. Petrology of the Bodmin Moor Granite (Eastern Part), Cornwall. *Min. Mag.*, 1927, **21**, 285—309.
- Ghosh P. K. The Mineral Assemblage of the Falmouth Granite. *Proc. Geol. Ass.*, 1928, **39**.
- Grantham D. K. The Petrology of the Shap Granit. *Proc. Geol. Ass.*, 1928, **39**, 304—307.
- Groves A. W. 1. The Heavy Minerals of the Plutonic Rocks of the Channel Islands 1. Jersey. *Geol. Mag.*, 1927, **64**, 241—251.
- Groves A. W. 2. The Heavy Minerals of the Plutonic Rocks of the Channel Islands. 2. Guernsey, Sark, and Alderney. *Geol. Mag.*, 1927, **64**, 457—473.
- Groves A. W. The Heavy Mineral Suites and Correlations of the Granites of Northern Britany, the Channel Islands and the Cotentin. *Geol. Mag.*, 1930, **67**, 218—240.
- Groves A. W. 1. The Heavy Mineral Correlation of Igneous Rocks. *Geol. Mag.*, 1931, **68**, 526—527.
- Groves A. W. 2. The Unroofing of the Dartmoor Granite and the Distribution of its Detritus in the Sediments of Southern England. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 1931, **87**, p. 1, 62—96.
- Groves A. W. Petrology. The Heavy Minerals Suites of the Uganda Granites. *Geol. Surv. Uganda. Ann. Rep.* 1929, 1932, 8—39.
- Groves A. W., Maurant A. E. Inclusions in the Apatites of Some Igneous Rocks. *Min. Mag.*, 1929, **22**, 92—99.
- Harcourt G. A. The Minor Chemical Constitutents of Some Igneous Rocks. *Journ. Geol.*, 1934, **42**, № 6, 585—601.
- Hills E. S. Andalusite and Sillimanite in Uncontaminated Igneous Rocks. *Geol. Mag.*, 1938, **75**, № 889, 206—304.
- Hobbs W. H. New Occurences of Parallel Intergrowth of the Minerals Allanite and Epidote. *Amer. Geol.*, 1893, **12**, № 4, 218—219.
- Holmes A. The Nomenclature of Petrology. 1920.
- Jenks W. F. Heavy Minerals in the Syenites of Pleasant Mountain, Maine. *Amer. Min.*, 1934, **19**, 476—479.
- Johansen A. A. Descriptive Petrography of the Igneous Rocks. 1931.
- Keyes C. R. Epidote as a Primary Component of Eruptive Rocks. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1893, **4**, 305—312.
- Lamey C. A. The Intrusive Relations of the Republic Granite. *Journ. Geol.*, 1933, **41**, 487—500.
- Langford G. B. a. Hancox E. G. Hypogene Anhydrite from the Mc Intyre Mine, Porcupine District, Ontario. *Econ. Geol.* 1936, **31**, № 6, 600—609.
- Larsen E. E. Irving J., Gonyer F. A. a. Larsen E. Petrologic Results of a Study of the Minerals from the Tertiary Volcanic Rocks of the San Juan Region, California. *Amer. Min.*, 1938, **23**, № 7, 417—429.
- Leech J. G. C. St. Austell Detritals. *Proc. Geol. Ass.*, London, 1929, **40**, 139—146.
- Litcoln F. Ch. Certain Natural Associations of Gold. *Econ. Geol.*, 1911, **6**, 247—302.
- Mackie W. The Heavier Accessory Minerals in the Granite of Scottlann. *Trans. Edinb. Geol. Soc.*, 1928, **12**, 22—40.
- Mackie W. The Heavy Minerals in the Torridon Sandstone and Metamorphic Rocks of Scotland and Their Bearing on the Relative Ages of These Rocks. *Trans. Edinb. Geol. Soc.*, 1928, **12**, 181—182.
- Mc Adams R. E. Accessory Minerals of the Wolf Mountain Granite, Llano County, Texas. *Amer. Min.*, 1936, **21**, № 2, 128—135.
- Mc Donald G. G. a. Merriam R. Andalusite in Pegmatite from Fresno County, California. *Amer. Min.*, 1938, **23**, № 9, 588—94.

- Marsden R. W. Discussion of the Paper "Heavy Minerals in the Syenites of Pleasant Mountain, Maine". *Amer. Min.*, 1935, **20**, № 2, 132—135.
- Murdoch J. Andalusite in Pegmatite. *Amer. Min.*, 1936, **21**, № 1, 68—69.
- Newhouse W. H. 1. Opaque Oxides and Sulphides in Common Igneous Rocks. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1936, **47**, № 1, 1—52.
- Newhouse W. H. 2. A Zonal Gold Mineralisation in Nova Scotia. *Econ. Geol.*, 1936, **31**, № 8, 805—831.
- Osann A. (Rosenbusch H. Elemente der Gesteinslehre. 1923, 17—18).
- Ottoman J. Untersuchungen zur Verteilung von Spurenelementen insbesondere Zinn, in Tiefengesteinen und einigen gesteinsbild. *Miner. d. Harzes. Zt. ang. Min.* 1940, 3, H. 2, 142—169.
- Pabst A. Heavy Minerals in the Granitic Rocks of the Yosemite Region. *Amer. Min.*, 1938, **23**, № 1, 46—53.
- Rastall R. H. a. Wilcockson W. H. The Accessory Minerals of the Granitic Rocks of the English Lake District. *Journ. Geol. Soc.*, London, 1915, **71**, 592—622.
- Reed J. C. The Study of Accessory Minerals in Igneous and Metamorphic Rocks. *Amer. Min.*, 1937, **22**, № 2, 73—84.
- Reed J. C. a. Gilluly J. Heavy Minerals Assemblages of Some of the Plutonic Rocks of Eastern Oregon. *Amer. Min.* 1932, **17**, № 6, 201—220.
- Riley L. B. Ore Body Zoning. *Econ. Geol.*, 1936, **31**, № 2, 170—184.
- Simmons W. C. Second Postscript. *Combe A. D. The Geology of SW Ankola. Geol. Surv. Uganda, Ann. Rep.* 1929, 1932.
- Singewald Q. D. Alteration as an End Phase of Igneous Intrusion in Sills on Loveland Mountain Park County, Colo. *Journ. Geol.*, 1932, **40**, 16—20.
- Smithson F. Geological Studies in the Dublin District. 1. The Heavy Minerals of the Granite and the Contiguous Rocks in the Ballycorus District. *Geol. Mag.*, 1928, **65**, 12—25.
- Smithson F. Reliability of Frequency Estimations of Heavy Mineral Suites. *Geol. Mag.* 1930, 134.
- Smithson F. The Petrography of the Northern Portion of the Leinster Granite. *Geol. Mag.*, 1932, **69**, 465—477.
- Sollas W. J. Contribution to the Knowledge of the Granites of Leinster. *Trans. Irish Acad.* 1891, **20**, 434—435.
- Stancin V. Ein neuer Apparat für die Trennung von Mineralien. *Rev. Muz. Geol. Min. Univ. Cluj*, 1937, **6**, 1—2, 207—208.
- Stark J. T. Heavy Minerals in the Tertiary Intrusives of Central Colorado. *Amer. Min.*, 1934, **19**, December, 583—592.
- Stark J. T. a. Barnes F. E. The Correlation of Precambrian Granites by Means of Heavy Mineral Analysis. *Geol. Mag.*, 1935, **72**, № 854, 341—350.
- Taylor G. D. Pre-Cambrian Granites of the Black Hills. *Amer. Journ. Sci.*, 5 ser., 1935, **29**, 278—291.
- Taylor J. H. A Contribution to the Study of Accessory Minerals of Igneous Rocks. *Amer. Min.*, 1937, **22**, № 5, 686—700.
- Thürach H. Ueber das Vorkommen mikroskopischer Zirkone and Titan Mineralien in den Gesteine. *Phys. med. Ges. Würzburg Verh.*, neue Folge, 1884, **18**, № 10, 1—82.
- Tolman C. a. Koch H. L. Accessory Mineral Suites in the Granites of Missouri. (abstract). *Amer. Min.*, 1935, **20**, 208.
- Trueman J. D. The Value of Certain Criteria for the Determination of the Origin of Foliated Crystalline Rocks. *Journ. Geol.*, 1912, **20**, 248.
- Wang C. C. A Petrographic Study of Heavy Minerals of Wisconsin Igneous Rocks. *U. S. A. Bull. Geol. Soc.*, China, 1932, **11**, 425—459.
- Wells A. K. The Heavy Mineral Correlation of the Intrusive Igneous Rocks. *Geol. Mag.*, 1931, **68**, 255—262.
- Wilson R. W. Heavy Accessory Minerals of the Val Verde Tonalite. *Amer. Min.* 1937, **22**, № 2, 122—132.
- Winchell A. C. Mining Districts on the Dillon Quadrangle, Montana, and Adjacent Areas. *U. S. Geol. Surv. Bull.* 1914, 574.
- Winchell A. N. Report of the Committee on Accessory Minerals of Crystalline Rocks. for 1934—1935 *Nat. Res. Counc. Div. Geol., Geogr. An. Rep.* 1935, *Append. F.*, p. 1, 1935, April 27.
- Winchell a. others. Accessory Minerals of Crystalline Rocks. *Bull. Nat. Res. Counc.* 1932, 89, 142.
- Wright J. F. Accessory Minerals in the Study of Granite Batholiths. *Trans. R. Soc. Canada Sect. N.*, 1932, **26**, 215—265.
- Zerndt J. Mikroskopische Zirkone als Leitmineralien. *Bull. Int. Acad. Polon. Sci.*, 1927, 363.

J. A. PREOBRAZHENSKY

ACCESSERY MINERALS IN IGNEOUS ROCKS

Summary

From the study of the literature of „accessory minerals“ in igneous rocks the following conclusions are obtained:

1. The conception of „accessory mineral“ is not quite a definite one. The principal feature of accessory minerals is their low content in the rock. It seems that this feature is the only distinguishing one for accessory minerals.

2. A classification of accessory minerals from the genetic standpoint is admissible; it is necessary to advance the question as to the primary or secondary nature for each of the accessory minerals in each particular case, since this feature, which is of the greatest importance, may not be the same for the same mineral in different rocks.

3. The methods of investigation of accessory minerals have numerous and substantial defects. A specimen of rock for the study of accessory minerals should represent a sample of this rock taken by the same methods as those used when taking samples for analyses of ores with a low metal content. It is necessary to organize works on the determination of the relative amounts of minerals passing into flour upon grinding of the rock. The methods of concentration of accessory minerals give results with large errors; it is essential that these errors should be determined and taken into consideration; it is desirable to find more precise methods of concentration. The quantities of accessory minerals obtained by weighing or calculating the mineral grains must be expressed in percentage of the whole rock. To compare these quantities the method of curves should be used. The results of calculations must be discussed in detail, taking into consideration the deviations in individual specimens. A number of errors made in the handling of accessory minerals depreciate the results of work.

4. The question as to the suitability of the method of accessory minerals for the correlation of igneous rocks and for elucidating the modes of their formation cannot be considered as settled; the significance of accessory minerals for a characteristic of rocks is not sufficiently known.

As long as the nature of the distribution of accessory minerals in the same rock and the influence of contamination and different post-magmatic alterations in the rock upon the composition, quantity and quality of accessory minerals remain uncertain, the method of accessory minerals cannot be employed.

5. The application of the method of accessory minerals in order to elucidate the correlations between these and the concentrations of the ore minerals is made difficult by the same causes as its use for correlation. Besides, it is necessary to establish the causal relationship between a given metal and an association of accessory minerals. It is possible that the places of occurrence of ore accumulations may be indicated by the distribution of „accessory elements“ rather than by that of accessory minerals in the rock.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Введение	1
II. Определение понятия «акцессорный минерал»	1
III. Классификация акцессорных минералов	3
IV. Цели работ по акцессорным минералам	5
V. Методы исследования акцессорных минералов	6
VI. Акцессорные минералы как коррелятивные признаки	8
VII. Акцессорные минералы как определители форм интрузий	10
VIII. Ассоциации акцессорных минералов с рудными скоплениями	10
IX. Выводы	11
X. Критический обзор литературы	12
1. Описания акцессорных минералов	12
2. Корреляция по акцессорным минералам и критика метода	15
3. Связь акцессорных минералов с рудами.	38
Литература	45
Summary	47

Ответственный редактор издательства Б. М. Куплетский. Подписано к печати 29. III 1941 г.
Рисо № 1633—729. Кол. печ. зн. в 1 печ. л. 61444. А-36482. Объем 3 печ. л. 4,5 уч.-изд. л.
Тираж 750 экз. Цена книги 3 руб. 50 коп.

Типо-литография Изд-ва Академии Наук. СССР. Ленинград, В. О. 9 линия, 12. Заказ № 154

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Вып. 36 (№ 11). 1940.

И. А. Островский и В. П. Петров. Материалы по связи оптики и химического состава магнезиально-железистых слюд. В. П. Еремеев и Р. П. Петров. Петрографическая характеристика неонинтрузии г. Квиран. В. П. Еремеев. Петрографическое исследование цеолитового габбро из района с. Гвердзанети в Грузии. В. В. Лапин. К минералогии основных мартеповских шлаков рудного процесса.

Вып. 40 (№ 13). 1940. Стр. 55. Ц. 3 р. 80 к.

Д. С. Белянкин. Современные успехи советской технической петрографии — основа дальнейших ее перспектив. Н. А. Сирип. Гранитные интрузии Приполярного Урала. В. В. Лапин. О составе фаялитового силиката в шлаке медного штейна. Б. В. Иванов. Петрографический анализ импортного доломитового кирпича. В. И. Лучицкий. К вопросу о диагностике кордиерита в метаморфических и магматических породах. И. А. Преображенский. Об автигенных минералах и минерало-образовании.

Вып. 44 (№ 14). 1940. Стр. 50. Ц. 4 р.

Н. Ф. Шония. Сакарская неонинтрузия в верхней Раче. Г. М. Заридзе и К. И. Чичинадзе. Эцерская неонинтрузия на Кавказе. И. В. Борисевич. К минералогии карбонатных марганцовых руд Мазульского месторождения. М. К. Бельштерли и А. А. Турцев. Термомагнитные исследования биотита.

Вып. 50 (№ 15). (В печати).

С. Г. Саркисян. Петрография рыхлых касситеритсодержащих отложений Забайкалья.

Вып. 55 (№ 16). (В печати).

И. Е. Сморгчов. Кислые интрузии Зеренского района (Восточное Забайкалье) в связи с их оловоносностью.

Вып. 57 (№ 18). (В печати).

В. И. Лучицкий и М. И. Ожегова. Генетические взаимоотношения глубинных и интрузивно-эффузивных пород северо-запада Украинского кристаллического массива. В. П. Еремеев. Некоторые строительные материалы и нерудные ископаемые Дигории.

Вып. 58 (№ 19). (В печати).

Д. С. Белянкин и В. В. Лапин. Новые данные по минералогии шлаков Зеставонского завода. В. В. Лапин. О шлаках Карсаклайского медеплавильного завода: нормальном и базальтоидном. Б. В. Залеский, А. И. Корсунский и В. В. Лапин. К вопросу о долговечности разностей карбонатных пород Самарской Луки.

Вып. 59 (№ 20). (В печати).

И. А. Преображенский. Граниты Мань-Хамбо, Приполярный Урал. С. Г. Саркисян и М. К. Житкова. Петрография рыхлых отложений бассейна рр. Народа, Манья и Шокурья Приполярного Урала. Д. С. Белянкин, В. П. Еремеев и Р. П. Петров. К изучению неонинтрузии горы Тепли. П. И. Спасибко. К вопросу о происхождении гнейсов долины р. Теберды на Северном Кавказе.

Вып. 61 (№ 21). (В печати).

Д. С. Коржинский. Закономерности ассоциации минералов в метаморфических и метасоматических породах архея Восточной Сибири.