

А. И. БОГАЧЕВ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ РУДНЫХ ТИТАНОСОДЕРЖАЩИХ МАГМ ОСНОВНОГО СОСТАВА

В настоящей статье делается попытка осветить некоторые характерные особенности дифференциации рудных титаносодержащих магм основного состава как на основе собственного фактического материала, так и по литературным данным.

Из обширного круга магматических титановых и титаномагнетитовых месторождений рассмотрению подвергаются интрузивные массивы, в строении которых существенную роль играют анортозиты, лабрадориты (массивы Адирондак в Северной Америке, Волынский на Украине, Гремяха-Вырмес и Цагинский на Кольском полуострове, Елетозерский в Карелии).

Анализ фактического материала показывает, что такие массивы, несущие значительное ильменитовое и титаномагнетитовое оруденение, несмотря на наличие многочисленных особенностей, присущих только каждому массиву в отдельности, обладают целым рядом общих признаков.

1. Прежде всего, все эти массивы сформировались на значительной глубине в условиях, когда внешнее давление превышало внутреннее давление летучих компонентов, что обусловило фузивный тип ильменитовых и титаномагнетитовых месторождений.

2. Далее, в составе и строении массивов выделяется два крупных цикла магматических пород:

1) цикл ранних пород, связанных с дифференциацией рудной магмы основного состава;

2) цикл более молодых пород гранитоидного и щелочно-сиенитового рядов.

Породы сиенитового и щелочного составов обычно приурочены к центральным частям массивов, породы гранитоидного состава — к периферическим, краевым частям массивов.

Особенно четко это выражено в строении массива Гремяха-Вырмес, детально описанного в известной работе А. А. Полканова и Н. А. Елисеева (1941).

При исследовании Волынского плутона габбро-лабрадоритов А. А. Полканов (1948, стр. 72) приходит к выводу, что „...геологически комплекс габбро-лабрадоритов, комплекс гранитов коростенских, рапакиви, лезниковских (и, может быть, других) и, наконец, описанный недавно комплекс щелочных сиенитов представляет собой один естественный ряд, в понимании В. Гольдшмита, возникший в одну

длительную интрузивную деятельность... не разделяясь между собой большими геологическими перерывами".

Для Цагинского массива габбро-лабрадоритов К. О. Кратцем в 1940 г. были установлены более молодые, чем комплекс габбро-лабрадоритов, пегматоидные граниты, приуроченные к краевым частям массива (Кратц, 1941).

Для Елетозерского массива в 1955 г., в результате совместных работ Северо-Западного геологического управления и Карельского филиала Академии наук СССР, кроме комплексов основных и щелочных пород, были установлены более молодые микроклино-плагноклазовые граниты, приуроченные также к краевым частям массива (Богачев и Зак, 1958).

И, наконец, Баддингтон для Адирондакского массива выделяет кроме комплекса габбро-анортозитовых пород более молодую серию сиенито-гранитовых пород.

3. Последовательность образования в цикле ранних пород, связанных с дифференциацией основной рудной магмы, является обратной по сравнению с безрудными магмами основного состава.

Для рассматриваемых массивов устанавливается направленность хода дифференциации от лейкократовых пород (анортозитов и плагноклазитов) через габброидные породы к рудным ультраосновным породам (рудным пироксенитам, перидотитам и рудным оливинитам) и сплошным ильменитовым и ильменито-титаномагнетитовым рудам.

Баддингтон (Evard, 1949) для массива Адирондак дает следующую последовательность образования массива (от ранних к поздним):

- I — анортозитовая серия;
- II — основные (оливиновые) габбро;
- III — серия диоритовых пород (серия Росс);
- IV — серия сиенито-гранитовых пород.

I и II серии пород относятся к раннему циклу основных пород.

В I и II сериях пород кристаллизация ильменитовых и титаномагнетитовых руд следует после кристаллизации габброидных пород.

Для Цагинского массива габбро-лабрадоритов, по собственным наблюдениям автора, для серии основных пород устанавливается следующая последовательность: лабрадориты, габбро, оливиновое рудное габбро, рудные оливиниты, сплошные титаномагнетитовые руды (Богачев, 1953).

Для Елетозерского массива, по данным как предыдущих исследователей: Неуструева (1936), Ожинского (1938) и Романова (1952), так и совместного детального изучения массива, проведенного старшим геологом Елетозерской партии СЗГУ Зак С. И. и автором настоящей статьи в 1954—1956 гг., для раннего цикла основных пород, сформировавшегося в одну интрузивную фазу, устанавливается сходная последовательность эволюции: безрудное крупнозернистое габбро, частью лейкократовое, плагноклазиты и полосчатое безрудное габбро, рудное оливиновое габбро, рудные перидотиты.

4. Указанная выше последовательность эволюции от плагноклазитов к рудным ультраосновным породам через габброидные породы отражает только одну сторону процесса.

Одновременно и несколько позже образования рудных ультраосновных пород происходит процесс возникновения пород сиенитового и монцонитового типов.

Это обстоятельство хорошо отражено в исследованиях Р. Болка по массиву адирондакских анортозитов, А. А. Полканова и Н. А. Елисеева по массиву Гремяха-Вырмес.

А. А. Полканов (1948) выделяет для раннего комплекса габбро-сиенитов две большие группы-серии (ряды):

А — группу-серию перидотита — анортозита;

Б — группу-серию перидотита — олигоклазового габбро — пуласкита.

Аналогичная картина наблюдается и на Елетозерском массиве, где последними дифференциатами рудной основной магмы являются различные разновидности ортоклазового габбро (монцониты, оливиновые монцониты, эссекситы). Нередко оливиновое ортоклазовое габбро значительно обогащено рудными минералами — ильменитом и титаномagnetитом.

Происходят ли эти два процесса одновременно не только во времени, но и в пространстве, зависит от специфических черт каждого массива. Так, например, А. А. Полканов для плутона Гремяха-Вырмес отмечает намечающееся распределение групп-серий перидотита — анортозита и перидотита — пуласкита на площади плутона.

В Елетозерском массиве эти два процесса развиваются, в основном, одновременно как во времени, так и в пространстве.

Для Цагинского массива габбро-лабрадоритов наблюдается приуроченность рудных ультраосновных пород к центральному частям массива, монцонитов — к периферии серии основных пород.

При изучении Цагинского и Елетозерского массивов автором наблюдались следующие петрографические особенности раннего цикла основных пород:

а) Как уже указывалось выше, по своему типу ильменитовое и титаномagnetитовое оруденение, связанные с рассматриваемыми массивами, относятся к фузивному типу. Рудные минералы кристаллизуются позже силикатов.

б) Обогащение летучими и рудными компонентами постепенно нарастает по ходу процесса дифференциации, и рудный остаточный расплав насыщен ими в наибольшей степени.

в) В наиболее ранних безрудных породах в некоторых случаях наблюдаются зерна оливина, включенные внутри зерен пироксена, что может служить указанием на наличие реакционных взаимоотношений между оливином и пироксеном на ранних стадиях кристаллизации основной магмы (см. рис. 1).

г) В габброидных породах, переходных между плагиоклазитами и рудными ультраосновными породами, которые содержат умеренное количество рудных и летучих компонентов, не наблюдается реакционных взаимоотношений между оливином и пироксеном. Оливин и пироксен в данном случае обладают взаимным ксеноморфизмом, зерна их всегда соприкасаются друг с другом. Нередко наблюдается даже более позднее развитие оливина по отношению к пироксену.

Взаимоотношения оливина и пироксена, с одной стороны, и плагиоклаза, с другой стороны, указывают как на более раннюю кристаллизацию пла-

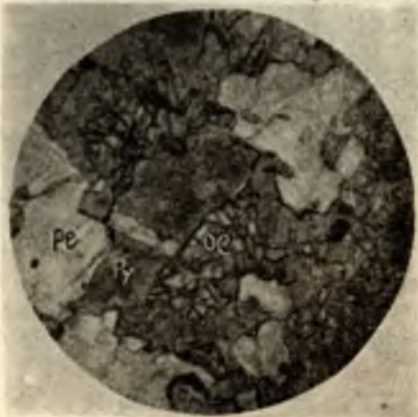


Рис. 1. Безрудное оливиновое габбро. Зерна оливина, включенные в зерна пироксена.

Увеличение 20, николи 11

гиоклаза, так и на частичную одновременную кристаллизацию этих трех минералов.

Более раннее выделение части кристаллов плагиоклаза по отношению к оливину видно на рис. 2.

д) В рудных перидотитах обычно наблюдается более поздняя кристаллизация оливина по отношению к пироксену (см. рис. 3).

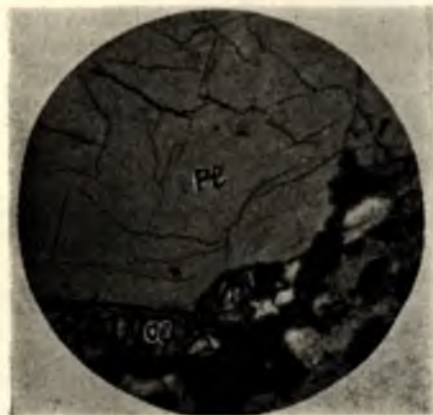


Рис. 2. Рудное оливиновое габбро. Раннее выделение плагиоклаза по отношению к оливину. Увеличение 20, николи 11



Рис. 3. Характер кристаллизации оливина и пироксена в рудном перидотите. Увеличение 20, николи 11

Нередко в рудных перидотитах пироксен представлен относительно крупными идиоморфными порфировыми вкрапленниками. Зерна оливина находятся в основной массе вместе с рудными минералами и кристаллами апатита. Данные взаимоотношения видны на рис. 4.



Рис. 4. Рудный перидотит. Порфировые вкрапленники пироксена. Видно развитие оливина вместе с кристаллами апатита (светлое) и рудой в основной массе. Увеличение 20, николи 11



Рис. 5. Контакт жилки рудного оливина в лабрадорите. На контакте видна келефитовая оторочка из актинолита. Увеличение 20, николи 11

е) В рудных жилах и шлирах, кроме ильменита и титаномагнетита, присутствуют оливин и пироксен, зерна которых никогда не несут следов катаклаза. В то же время зерна плагиоклаза во вмещаю-

щих рудные жилы породах и спорадические зерна плагиоклаза в самих рудах нередко раздроблены и изогнуты. Это служит указанием на то, что оливин и пироксен кристаллизовались из остаточного рудного расплава, но несколько раньше рудных минералов (рис. 5).

Аналогичные взаимоотношения между оливином, пироксеном и плагиоклазом описаны ранее А. А. Полкановым для плутона Гремяха-Вырмес.

А. А. Полканов выделяет для габбровой магмы пять этапов кристаллизации:

- I этап — кристаллизация плагиоклаза и керсутита;
- II этап — кристаллизация плагиоклаза и пироксена;
- III этап — кристаллизация пироксена и гортонолита;
- IV этап — кристаллизация пироксена, гортонолита, руды и апатита;
- V этап — кристаллизация руды и апатита.

Интересно отметить, что под воздействием летучих компонентов в остаточный рудный расплав может перейти оливин с резко различным соотношением форстеритовой и фаялитовой молекул.

Так, например, для массива Гремяха-Вырмес, по данным А. А. Полканова и Н. А. Елисеева, оливин представлен гортонолитом с содержанием от 46 до 58% фаялитовой молекулы ($2V = \text{от } -61^\circ \text{ до } -72^\circ$), для Цагинского и Елетозерского массивов оливин представлен хризолитом с 12% содержанием фаялитовой молекулы ($2V = \pm 90^\circ$).

Все вышеизложенное позволило автору прийти к следующим представлениям о причинах обратной против обычной последовательности дифференциации для рудных основных магм.

Условия кристаллизации (внешнее давление, длительность остывания и т. д.) были таковы, что летучие компоненты на всем протяжении процесса дифференциации оставались в пределах массива, переходя по большей части в остаточный расплав. Длительность же самого процесса была достаточно велика, чтобы могла произойти наиболее полная дифференциация, потенциально заложенная в исходном составе магмы.

К. О. Кратц (1950), разбирая систему силикат—магнетит—летучие, показал принципиальную возможность с физико-химической точки зрения, при условии величины внешнего давления выше максимального внутреннего давления магмы, кристаллизации рудного компонента из жидкой среды при постепенном и непрерывном изменении последней от расплава до сжатых жидких растворов с изменением эвтектических отношений силиката и магнетита от значительного преобладания силиката в начале процесса до исключительного преобладания рудного компонента к концу процесса.

Однако взаимоотношения между силикатными компонентами, рудой и летучими являются значительно более сложными.

По мере того, как в остаточном расплаве накапливалось все более и более летучих компонентов, их роль и воздействие на ход кристаллизации возрастает в прогрессирующей степени.

Как известно, летучие компоненты и минерализаторы понижают температуру кристаллизации минералов, снижают вязкость силикатных и рудных расплавов.

Для оливина Боуэном и Тутлом (1950) экспериментально доказана возможность кристаллизации оливина в присутствии паров воды до температуры $400\text{--}450^\circ$ при давлении около 2000 атм.

Сам характер кристаллизации минералов тоже меняется. Например, Боуэном и Шерером (1950) при экспериментальном исследовании

системы анортит — лейцит — кремнезем установлено, что в присутствии достаточного количества паров воды ортоклаз плавится конгруэнтно, т. е. кристаллизуется непосредственно из расплава. Они пишут: „При давлении около 2600 атм. (!) в расплаве ортоклаза растворяется около 6% воды и из этой жидкости легко кристаллизуется ортоклаз. Другими словами, присутствие воды создает конгруэнтное плавление ортоклаза“ (стр. 73).

Учитывая характер кристаллизации оливина и пироксена в рудной основной магме и экспериментальные данные физической химии, можно прийти к выводу о том, что летучие компоненты в процессе кристаллизации оказывают дифференцированное воздействие на снижение температуры кристаллизации отдельных минералов.

В наименьшей степени это воздействие сказывается на плагиоклазах (во всяком случае, основного состава), в промежуточной на пироксенах и в наибольшей степени на оливине и рудных минералах.

Возможно, что одной из причин такого дифференцированного воздействия летучих является различная взаимная растворимость летучих с различными минералами в условиях внешнего давления, превышающего внутреннее давление летучих компонентов.

Кроме того, при достижении определенной концентрации летучих компонентов оливин не проходит точку инконгруэнтного плавления, т. е. кристаллизуется непосредственно из расплава без последующих реакционных взаимоотношений с пироксеном. При этом имеет место одновременная параллельная, раздельная кристаллизация пироксена и оливина, а затем кристаллизация оливина продолжается некоторое время после прекращения кристаллизации пироксена.

В исчезновении реакционных взаимоотношений между оливином и пироксеном при достижении определенной концентрации летучих компонентов, в дифференцированном воздействии летучих на понижение температуры кристаллизации отдельных минеральных компонентов лежит одна из основных причин обратного против обычного порядка дифференциации рудных магм основного состава.

Как уже указывалось раньше, этот процесс отражает только одну сторону хода эволюции, показывает, какие видоизменения вносит воздействие летучих в прерывистую, фемическую ветвь реакционного ряда Боуэна.

Одновременно с этим процессом идет эволюция полевошпатовых компонентов непрерывной ветви ряда Боуэна, на которых воздействие летучих сказывается в значительно меньшей степени.

Эта эволюция приводит к образованию пород сиенито-монцонитового типов.

Таким образом, можно прийти к заключению, что в ходе дифференциации рудной магмы основного состава проявляются две тенденции:

1. Рудно-гипербазитовая.
2. Сиенито-монцонитовая.

Первая тенденция полностью или почти полностью раскрывает свои потенциальные возможности в первой половине эволюции магмы, вторая тенденция при этом проявляется в зачаточном состоянии в конце первого цикла магматической деятельности и раскрывается в ходе дальнейшей эволюции, т. е. в последующих интрузивных фазах.

Рудно-гипербазитовая и сиенито-монцонитовая тенденции дифференциации магмы, несмотря на известную самостоятельность развития каждой тенденции в отдельности, взаимно связаны между собой.

В связи с этим уместно привести важное указание А. А. Полканова: „Необходимо здесь только еще раз подчеркнуть, что в настоящем случае мы имеем дело с тем типом дифференциации основной магмы, который приводит к образованию остаточной жидкости не гранитного состава, а состава щелочного сиенита (трахита). Причину, обусловившую такое направление дифференциации основной магмы нашего плутона, следует видеть в том, что кристаллизация основной магмы нашего плутона (Гремяха-Вырмес) началась не с оливина, а с пироксена, а также, вероятно, и в том, что остаточный расплав всегда был богат избыточной закисью железа“ (А. А. Полканов, 1948, стр. 208), т. е. поздняя кристаллизация оливина и переход последнего в остаточную жидкость не создавали условий для фракционирования ранее выделившихся кристаллов оливина и образования остаточной жидкости, обогащенной SiO_2 .

Вопрос о соотношении раннего цикла магматической деятельности с последующим грано-сиенитовым остается в настоящее время наименее изученным.

В этой связи можно высказать только несколько предположений.

При изучении Елетозерского массива намечается генетическая преемственность между последними членами магматической дифференциации первого этапа, представленными различного рода разнородными ортоклазового габбро и щелочными и нефелиновыми сиенитами позднего этапа. Это обстоятельство подтверждается и тем фактом, что внедрению щелочных и нефелиновых сиенитов предшествовали дайки диабазов, микрогаббро, спессартитов и вогезитов (Богачев и Зак, 1958).

То же можно сказать и о плутоне Гремяха-Вырмес.

А. А. Полкановым отмечается, что „геологические данные и исследование процессов дифференциации и образование нефелиновых пород *in situ* — в камере плутона — показали нам, что часть якупирангитов — мельтейгитов, нефелиновых пуласкитов и шонкинитового типа сиенитов образовались в связи с комплексом олигоклазового габбро-акерита“ (А. А. Полканов, 1948, стр. 208).

Приуроченность пород сиенитового и щелочного типов к центральным частям массивов может служить указанием на возникновение последних в процессе глубинной дифференциации без участия факторов воздействия внешней среды или, говоря иначе, они появились в результате тенденции развития, внутренне присущей данному типу магм, так сказать „чистой“ линии дифференциации.

Для пород гранитной серии не устанавливается непосредственной генетической связи с последними членами дифференциации раннего цикла основных пород.

Приуроченность же гранитоидных пород к краевым частям массивов говорит, вероятнее всего, о том, что они возникли при глубинных процессах взаимодействия между магмой и вмещающими кислыми породами, за счет эволюции некой гибридной магмы или каких-либо других процессов взаимодействия (гранитизации и др.).

Соотношение во времени образования пород гранитного и щелочно-сиенитового типов достоверно не устанавливается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для массивов со значительным ильменитовым и титаномagnetитовым оруденением, в строении которых значительную роль играют анортозиты и плагиоклазиты, можно выделить два крупных цикла пород:

а) более ранний, связанный с дифференциацией рудной магмы основного состава;

б) более поздний цикл пород гранитоидного и щелочно-сиенитового типов.

2. Для первого цикла пород устанавливается две тенденции эволюции:

а) рудно-гипербазитовая, приводящая к образованию поздних членов дифференциации, представленных рудными ультраосновными породами и сплошными ильменитовыми и титаномagnetитовыми рудами;

б) сиенито-монцонитовая.

3. Обратный, против обычного, порядок дифференциации для рудных магм основного состава объясняется в значительной степени все возрастающей в ходе кристаллизации ролью летучих компонентов, выражающейся в исчезновении реакционных взаимоотношений между оливином и пироксеном при достижении определенной концентрации летучих и в дифференцированном воздействии последних на понижение температуры кристаллизации отдельных минеральных компонентов.

4. Рудно-гипербазитовая и сиенито-монцонитовая тенденции эволюции магмы являются естественными, внутренне присущими для основных рудных магм. Гранитная ветвь эволюции является приобретенной за счет глубинных процессов взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

Богачев А. И., Зак С. И. 1958. Новые данные по геологии Елетозерского рудоносного массива в северной Карелии (печатается в настоящем выпуске).

Боуэн Н. Л. и Туттл О. Ф. 1950. Система $MgO - SiO_2 - H_2O$. Вопросы физико-химии в минералогии и петрографии. Изд-во иностранной литературы.

Полканов А. А. 1948. Плутон габбро-лабрадоритов Воьлины УССР. Изд. Лен. гос. ун-та.

Полканов А. А. и Елисеев Н. А. 1941. Петрология плутона Гремяха-Вырмес. Изд. Лен. гос. ун-та.

Шерер И. Ф. и Боуэн Н. Л. 1950. Система анортит — лейцит — кремнезем. Вопросы физико-химии в минералогии и петрографии. Изд-во иностранной литературы.

Evard Pierre. 1949. The Differentiation of Titaniferous Magmas. *Economic Geology*, № 3, t. 44.