

**СИСТЕМАТИКА И ПЕТРОГЕНЕЗИС ПОРОД
КОНЦЕНТРИЧЕСКИ-ЗОНАЛЬНЫХ УЛЬТРАОСНОВНЫХ МАССИВОВ (КЗУМ)**

Дубровский М.И.

*Геологический институт КНИЦ РАН, Апатиты, Россия
e-mail: dubr@geoksc.apatity.ru*

**SYSTEMATIKES AND PETROGENESIS OF THE ROCKS
OF CONCENTRICALLY-ZONAL ULTRABASIC MASSIFS**

Dubrovsky M.I.

*Geological Institute KSC RAS, Apatity, Russia
e-mail: dubr@geoksc.apatity.ru*

Concentrically-zonal ultrabasic massifs occur in various geodynamic environments: (1) in the late geosynclinal evolution stage of eugeosynclines – dunite-clinopyroxenite-gabbroic association (Urals); (2) during activation of stabilized areas – alkaline-ultrabasic complexes with carbonatite (Kola and Maimecha-Kotuy provinces). The massifs cluster in clearly-seen chains confined to zones of deep faults and form small bodies of concentrically-zonal structure. As to systematics and origin of the rocks from these massifs there is no single point of view. The most probable is a magmatic hypothesis which explains the concentrically-zonal structure of the massifs by precrystallization differentiation of the initial melt.

Объектом рассмотрения данного сообщения будут концентрически-зональные ультраосновные массивы (КЗУМ) независимо от их возраста и породных ассоциаций их слагающих. Интерес геологов к породам концентрически-зональных массивов вызван своей необычностью как формы, так и расположением зон в объеме магматических тел и их составом. Кроме научного интереса они имеют и практический – с ними связан ряд полезных ископаемых. И самое примечательное, что концентрически-зональные массивы образовывались в различных разновозрастных геодинамических обстановках [8]: (1) в позднегеосинклинальной стадии развития эвгеосинклиналей – дунит-клинопироксенит-габбровая ассоциация (ДКГ) (формация); (2) в процессе активизации стабилизированных областей – щелочно-ультраосновные комплексы (ЩУК) с карбонатитами. Установлено, что ДКГ ассоциация наиболее полно проявлена на Урале и Аляске, а ЩУК на территории РФ – на Кольском полуострове и Маймеча-Котуйской провинции. Интересующие нас проблемы будут рассмотрены на примере уральских и кольских массивов.

На Урале, на протяжении векового изучения ДКГ ассоциации, ее объем и состав менялись, из-за чего форма и размеры массивов также менялись [5]. В настоящее время, в рамках Платиноносного пояса выделено четыре серии, каждая из которых включает в себе габброиды [11]: (1) дунит-клинопироксенит-габбровая (ДКГ), в которой габброиды представлены оливин-клинопироксеновыми и амфибол-анортитовыми разновидностями; (2) габбровая, состоящая из дупироксеновых (почему тогда это не габбро-нориты? – Д.М.И.) и амфибол-анортитовых габбро; (3) лейкогаббро-анортозит-плагιοгранитная (ЛАП) серия; (4) серия жильных мелкозернистых амфиболовых габбро (МАГ). К КЗУМ относятся только массивы ДКГ ассоциации. На Кольском полуострове эта ассоциация представлена в несколько ущербленном виде – ассоциация дунит-верлит-клинопироксенит-полевошпатовый клинопироксенит, изученной в десяти массивах, которые объединены в Райненчоррский комплекс Мончегорского рудного района [12]. Щелочно-ультраосновная ассоциация на Кольском полуострове представлена около 20 массивами (комплексами). Они приурочены к глубинным разломам докембрийского фундамента и местам их пересечений, группируясь в субширотные и северо-восточные пояса [6]. ЩУК-сы Кольского полуострова по особенностям строения, последовательности формирования пород и их составу сходны между собой и с массивами Маймеча-Котуйской провинции [4], в то время как возраст первых нижнепалеозойский, а вторых – верхнепалеозойский.

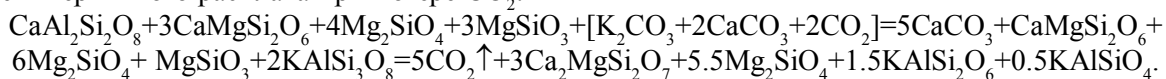
При внешней схожести массивов ДКГ и ЩУК (форма, небольшие размеры и концентрически-зональное строение), имеются различия вещественного состава зон. Практически во всех

массивах обеих формаций в центре располагается дунитовое (ДКГ) или оливинитовое (ЩУК) ядро, затем – верлитовая и клинопироксенитовая зоны, а остальные зоны в различных массивах имеют иные составы: в ДКГ ассоциации это тылаиты, конжакиты и габбро, а в ЩУК – оливинитовые клинопироксениты, нефелиновые клинопироксениты, мелелитовые породы и мельтейгит-ийолитовые породы. В отличие от известково-щелочных пород породы КЗУМ характеризуются низкой степенью насыщенности кремнеземом (от оливиннормативной до периклазнормативной группы) и повышенным содержанием кальция, из-за чего даже оливиннормативные породы КЗУМ характеризуются пониженным содержанием ортопироксена. По степени же насыщенности глиноземом большинство из них находятся в ряду нормальной щелочности и только отдельные разновидности дунитов попадают в ряд низкой щелочности, а отдельные разновидности ийолит-мельтейгитов – в щелочной ряд кальциевого отряда. В связи с породным разнообразием КЗУМ, однозначность их систематики и номенклатуры приобретает особую важность в решении генетических проблем. Так, в начале исследований Кольских ЩУК [6] оливинитовые и клинопироксенитовые породы сопоставлялись со сходными породами известково-щелочных формаций и рассматривались как ранние самостоятельные интрузивные фазы, ничего не имеющие со щелочными породами мельтейгит-ийолит-уртитовой серии. Проведенная автором систематика пород по [1] показала четкое различие так называемых гипербазитов ЩУК и гипербазитов известково-щелочных комплексов. Гипербазиты ЩУК попадают в одно минеральное семейство с мелелитовыми и ийолит-уртитовыми породами, что подтверждает их генетическое родство и позволяет рассматривать как дифференциаты единой исходной магмы [3, 7]. Более сложное положение сложилось с систематикой и номенклатурой пород Уральских КЗУМ. До сих пор здесь нет единой точки зрения относительно смысла местных названий пород таких как тылаиты, конжакиты, косьвиты, кыштымиты и кытлымиты [5]. Одни исследователи считают их продуктами фельдшпатизации дунитов или клинопироксенитов, т.е. метасоматическими, либо – контактово-реакционными; другие – первично магматическими образованиями. И самое примечательное, что дуниты, верлиты и клинопироксениты оливиннормативные, а тылаиты и конжакиты – как правило, нефелиннормативные. Поэтому при магматической точке зрения возникает проблема генетической связи пород КЗУМ, так как кристаллизационной дифференциацией из единого расплава не получить серию дунит-верлит-клинопироксенит-тылаит-конжакит поскольку при давлении формирования пород между оливиннормативной и нефелиннормативной системами существует термальный барьер.

При таком разногласии в систематике и диагностике породных ассоциаций и их формационной принадлежности естественно существование разнообразных генетических моделей для ДКГ ассоциации, детальный разбор (анализ) которых приведен в [5]. До настоящего времени нет единой общепризнанной гипотезы образования этих пород, поскольку ни одна из гипотез не располагает достаточно доказательными фактами, которые не опровергались бы противниками. Из магматических гипотез, по мнению Иванова О.К., наиболее интересной является гипотеза М. Уолтена о формировании КЗУМ в результате интрузии верлитовой магмы и ее термодиффузной дифференциации в современной камере с миграцией кальция к периферической части массивов. Проблематичность процесса термодиффузии, резкие контакты дунитов и клинопироксенитов и другие признаки ставят под сомнение возможность ее использования для объяснения генезиса КЗУМ. По мнению Иванова О.К., нет достаточной аргументации в пользу магматического образования уральских клинопироксенитов. В 1999 г. Г.Б. Ферштатер и др. [11] с не меньшей уверенностью доказывают, что все породы дунит-клинопироксенит-габбровой ассоциации образованы из магматического расплава, как считали первые исследователи этих пород. Аналогичное положение сложилось с генетическими проблемами и у исследователей ЩУК Кольского полуострова и Маймеч-Котуйской провинции [4, 6]. Автор считает себя сторонником магматической гипотезы образования всех КЗУМ. Но, мало признать какую-то гипотезу наиболее приемлемой, надо предложить убедительные доводы в ее пользу. Особенность вещественного состава пород и необычность расположения их в объеме массивов требуют рассмотрения двух аспектов данной проблемы: (1) генерация исходных расплавов; (2) P-T-X условия формирования пород из этих расплавов.

Известно, что из мантийного субстрата вытекают магмы с орх/срх отношением близким к единице, а все породы КЗУМ обогащены кальцием и обеднены кремнеземом относительно состава мантийного субстрата и поэтому возникает проблема генерации исходных расплавов

этих пород. Из экспериментальных данных известно, что из примитивной мантии невозможно выплавить такие расплавы. Автором разработана модель генерации магм, недосыщенных кремнеземом и обогащенных кальцием и щелочами [2]. Суть модели можно показать на одном варианте изменения составов мантийного субстрата при добавлении к нему карбонатов и CO_2 , а также – первичного расплава при потере CO_2 :



На оставшийся после удаления CO_2 кальций системе приходится тратить кремнезем, что и приводит к снижению его степени насыщенности. Разные варианты привноса карбонатов и образование первичных карбонатно-алюмосиликатных магм, возможные процессы ликвации на карбонатные и алюмосиликатные расплавы или диссоциация карбонатов при перемещении этих магм к поверхности Земли, приводят к появлению огромного разнообразия вторичных магм [2, табл. 5, 6, 7]. Из этого разнообразия можно подобрать состав исходной магмы, соответствующий изучаемой породной ассоциации. К уральским КЗУМ вполне подходят вторичные магмы образованные из пикробазальтового или пикритового составов при добавлении к ним небольшого количества CaCO_3 и CO_2 . В минальном выражении они могут быть представлены следующими составами (масс.%): (1) $or=1.78$, $pl^{53.2}=17.75$, $ne=0.76$, $cpx=22.33$, $ol^{10}=57.48$; (2) $or=2.8$, $pl^{76.5}=29.82$, $opx=8.49$, $cpx=27.29$, $ol^{13.73}=31.6$; (3) $or=2.72$, $pl^{91}=23.29$, $ne=3.04$, $cpx=38.54$, $ol^{13}=32.41$, но вероятнее всего, что для каждого массива был свой исходный расплав. Все три состава имеют большое сходство с тылаитами и конжакаитами. Если же их сопоставить с эффузивными породами, то состав (1) соответствует нефелиннормативному («щелочному») пикриту, состав (2) – карбонатизированному пикробазальту, состав (3) – нефелиннормативному («щелочному») пикритобазальту, т.е. эти составы приурочены к граничной системе между оливиннормативной и нефелиннормативной. К каждому кольскому КЗУМ-у также можно подобрать исходный расплав, но все они будут близко соответствовать оливиновому турьяиту или оливин-мелилитовому меланефелиниту с приблизительно одинаковым содержанием миналов нефелина, клинопироксена, оливина и мелилита. Следует особо обратить внимание на многофакторную зависимость составов и количества расплавов КЗУМ. Экспериментально доказано, что состав и количество известково-щелочных магм зависит от состава субстрата и давления (глубины), а появление необычных магм КЗУМ связано с мантийным карбонатно-щелочным метасоматозом и дальнейшим изменением их состава и свойств в процессе перемещения к поверхности Земли [2].

Совершенно очевидно, что признание магматического происхождения породных ассоциаций ДКГ и ЩУК и выбором (обоснованием, оценкой) их исходных расплавов, проблема петрогенезиса еще не решается. Требуется детальное рассмотрение и выбор P-T-X условий, которые привели к появлению нескольких одно- и двуминеральных породных зон, располагающихся концентрически обратно положению относительно времени их образования и контактов. Автор поддерживает мнение, что эти условия должны быть сходными как для ДКГ так и для ЩУК. Прослеживание теоретических трендов кристаллизационной дифференциации с использованием выбранных исходных расплавов и соответствующих диаграмм состояния и сопоставление их с реальными разрезами КЗУМ выявили явное их не совпадение, в том числе и наличие в сингенетической серии пород разных минальных систем разделенных термальными барьерами, что и вызвало необходимость выбора альтернативной модели. В литературе уже известны три варианта такой альтернативной модели: (1) самостоятельные интрузивные фазы разного состава; (2) кристаллизация движущего расплава и концентрация кристаллизата в центре потока; (3) жидкостная (докристаллизационная) дифференциация расплава в своей камере. Ни один из этих вариантов не является общепризнанным. Против варианта (1) выдвигается возражение из-за отсутствия в природе магм, соответствующих дунитам и оливинитам. Вариант (2), с некоторыми модификациями, находит поддержку в [10, 11]. Согласно [11] главные разновидности пород ДКГ-ассоциации являются продуктами динамического фракционирования в процессе внедрения вдоль протяженного канала, при котором ранние дунитовые кумулаты концентрируются в центральной части магматической колонны и окружаются более поздними породами – верлитами и оливиновыми клинопироксенитами. Возражение против этого варианта модели заключается в том, что выбранные авторами условия процесса возможного перемещения расплава от места генера-

ции к поверхности Земли вряд ли могут иметь место в природе. В природе реализуются различные соотношения скоростей потери тепла и скорости интрузии расплава, которые и определяют его поведение. Когда скорость перемещения расплава настолько большая, что интрузия происходит без обмена веществом и потери тепла, то такое перемещение называется адиабатическим. В этом случае, из-за большой разницы термических градиентов ликвидуса ($4.5^{\circ}\text{C}/\text{км}$) и адиабаты ($0.6^{\circ}\text{C}/\text{км}$), расплав при перемещении будет «перегреваться» относительно своего ликвидуса и если в нем находились реститы того же оливина, то они будут плавиться, а не кристаллизоваться. Если скорость подъема магмы будет близка к скорости потери тепла, то только тогда тренд перемещения магмы в координатах Р-Т будет приближаться или сравняется с расположением ликвидуса данной системы. В этом случае будет происходить перемещение очага магмообразования без перемещения расплава. Такой процесс называется зонным плавлением, когда состав расплава стремится к равновесию с Р-Т условиями, сбрасывая надкотектические фазы. Поэтому в рассматриваемом варианте выделявшийся первым оливин не мог перемещаться в верхние зоны Земли. И, наконец, если потери тепла превышают количество тепла поступающего в ранее образованный расплав, то этот расплав начнет кристаллизоваться на месте генерации. Второй вариант магматической модели [10] также рассматривает медленное перемещение, и даже с остановками, «каши» – верлитовый расплав с реститами оливина. Этот вариант еще менее обоснован, из-за чего возникает ряд вопросов и неясностей, которые не позволяют признать его приемлемым.

С аналогичными проблемами столкнулись исследователи КЗУМ Кольского полуострова и Маймеча-Котуйской провинции, также предлагавшие различные варианты гипотез формирования концентрических зон. Занимаясь этой проблемой на примере Ковдорского массива, автор пришел к выводу, что наиболее приемлемой является гипотеза, объясняющая зональное строение малых массивов докристаллизационной жидкостной дифференциацией расплава в температурном градиенте – эффект Соре [3]. Процессы разделения различных растворов на составляющие ингредиенты известны давно из практики очищения спиртного (ректификация) и разделение углеводородов (крекинг нефти). Возможность разделения магматических расплавов в температурном градиенте подтверждена экспериментами [9,13] и использовалась для объяснения образования зональных пород отдельных интрузивных фаз: верлитов-клинопироксенитов [14], ультрабазитов [6] и ийолит-уртитов [4]. В подтверждение такой возможности был произведен расчет молекулярных количеств нормативных минералов каждой зоны двух массивов: Ковдорского, представителя ЩУК (Кольский полуостров) и Конжаковского, представителя ДКГ (Урал). Получены следующие результаты по Ковдорскому массиву: оливиниты – 600 мол. кол./ед. вес., клинопироксениты – 550 мол. кол./ед. вес., окаиты – 500 мол. кол./ед. вес., ийолиты – 450 мол. кол./ед. вес.; по Конжаковскому массиву: дуниты – 630 мол. кол./ед. вес., клинопироксениты – 500 мол. кол./ед. вес., тылаиты – 480 мол. кол./ед. вес., конжакиты – 400 мол. кол./ед. вес., т.е. зоны располагаются в строгом соответствии ректификационной колонне. Как отмечалось в работе [3], жидкостная дифференциация принципиально отличается от кристаллизационной и особенно важно, что ее продукты могут иметь составы разных минеральных систем. Поэтому, при дальнейшей потере тепла каждая жидкая зона кристаллизуется как самостоятельная система, из-за чего теоретический тренд исходного расплава не совпадает с реальным трендом всего массива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровский М.И. Комплексная классификация магматических горных пород. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 234 с.
2. Дубровский М.И. Генерация карбонатно-алюмосиликатных магм // ЗВМО. 2004. № 6. С. 8-29.
3. Дубровский М.И. Фазовая диаграмма системы *q-ne-fo-to-aq* – часть расширенного «базальтового» тетраэдра при $P_{H_2O}=0-6$ кбар // ЗРМО. 2007. № 3. С. 36-60.
4. Егоров ЛС. Мелилитовые породы Маймеча-Котуйской провинции // Тр. НИИГА. 1969. Вып. 159. 248 с.
5. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала (минералогия, петрология, генезис). Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1997. 327 с.
6. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии (под ред. А. А. Кухоренко). М.: Недра, 1965. 773 с.
7. Магматические горные породы. Щелочные породы (отв. ред. В.А. Кононова). М.: Наука, 1984. 416 с.

8. Магматические горные породы. Том 6. Эволюция магматизма в истории Земли (отв. ред. В.И. Коваленко). М.: Наука, 1987. 438 с.
9. *Маракушев А. А., Безмен Н. И., Бокина С. С. и др.* К проблеме генезиса мономинеральных магм // Очерки физико-химической петрологии. М, 1978. вып. 7. С. 83-91.
10. *Попов В. С.* Дунит-верлит-клинопироксенитовая ассоциация: возможные источники и механизм подъема и дифференциации расплавов // ЗРМО. 2005. № 6. С. 1-18.
11. *Ферштатер Г. Б., Беа Ф., Пушкарев Е. В. и др.* Новые данные по геохимии Платиноносного пояса Урала: вклад в понимание петрогенезиса // Геохимия. 1999. № 4. С. 352-370.
12. *Чащин В. В.* Райненчоррский клинопироксенит-верлитовый комплекс // Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района. Часть 1. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. С. 133-153.
13. *Leshner C.E., Wolker D.* Thermal diffusion in petrology // Diffusion, atomic ordering, and mass transport selected topics in Geochemistry. Advances in Physical Geochemistry (ed. Ganguly J.). New York: Springer, 1991. P. 396-451.
14. *Walton M. S.* The Blashke Island ultrabasic complex: with notes on related areas in southeastern Alaska // N. Y. Akad. Sci. Trans. 1951. V. 13. P. 320-323.

ВУЛКАНОГЕННЫЕ КОЛЧЕДАННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ОФИОЛИТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ

Еремин Н.И., Дергачев А.Л., Сергеева Н.Е.

*Геологический факультет Московского государственного университета, Москва, Россия
e-mail: eremin@geol.msu.ru*

VOLCANOGENIC MASSIVE SULFIDE DEPOSITS IN OPHIOLITE COMPLEXES

Eremin N.I., Dergachev A.L., Sergeeva N.E.

*Faculty of Geology, Moscow State University, Moscow, Russia
e-mail: eremin@geol.msu.ru*

Volcanogenic massive sulfide deposits in ophiolite complexes are usually attributed to the Cyprus type. They associate with basaltic volcanics formed in mid-ocean or back-arc spreading centers and much less frequently in intra-plate settings. The deposits are characterized by copper or copper-zinc ores enriched in Ni, Co and in places Mn and As but are very poor in Pb and demonstrate low to moderate content of Ag and Au. Typically the deposits are small to very small in ore and metal reserves. Cyprus-type deposits are irregularly distributed in geological time. The most ancient of them were formed in the Neoproterozoic while the bulk of deposits are Ordovician or Cretaceous in age. Their possible Paleoproterozoic analogues can be found in Svecofennian belt (Outokumpu ore district) while modern ones are confined to the Explorer and Endeavour Ridges and southern segment of the Juan de Fuca Ridge.

Среди разнообразных типов месторождений полезных ископаемых, связанных с ультрабазит-базитовыми комплексами, особое место занимают вулканогенные колчеданные месторождения в офиолитовых комплексах, рассматриваемых как фрагменты древней океанической коры. В существующей литературе последние подразделяются на несколько типов [6]. В настоящей работе авторами рассматриваются лишь месторождения, на которых устанавливаются более или менее полные разрезы офиолитовых комплексов, включающие (снизу вверх) тектонизированные дуниты и пироксениты, сменяющиеся выше зоной массивных и расслоенных габбро, затем – зоной щитовых диабазовых даек, подушечными лавами и лавобрекчиями базальтов с прослоями яшмы, охры, умбры и глубоководными тонкозернистыми осадочными породами. Мощность обнаженной части колчеданосных офиолитовых комплексов может превышать 4 км [18].

Классическими для этой группы являются месторождения Центрального Ньюфаундленда (Тилт-Ков, Уэйлсбек и другие), Омана (Аарджа, Ласаиль, Байда), Кипра (Мавровуни, Агрокипия