

СИТЕМАТИКА И ПЕТРОГЕНЕЗИС ПОРОД КОНЦЕНТРИЧЕСКИ-ЗОНАЛЬНЫХ УЛЬТРАОСНОВНЫХ МАССИВОВ (КЗУМ)

© 2011 г. М. И. Дубровский

Геологический институт КНЦ РАН
184209, Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Ферсмана, 14
E-mail: dubr@geoksc.apatity.ru

Поступила в редакцию 26.06.2009 г.

Концентрически-зональные ультраосновные массивы образуются в различных геодинамических условиях: 1) в позднегеосинклинальной стадии развития эвгеосинклиналией – дунит-клинопироксенит-габбровая ассоциация (Урал); 2) в процессе активизации стабилизированных областей – щелочно-ультраосновные комплексы с карбонатитами (Кольская и Маймеча-Котуйская провинции). Массивы группируются в четковидные цепочки, приуроченные к зонам глубинных разломов, образуя небольшие тела концентрически-зонального строения. Относительно систематики и происхождения пород этих массивов нет единой точки зрения. Наиболее вероятной является магматическая гипотеза, которая объясняет концентрически-зональное строение массивов жидкостной дифференциацией исходного расплава.

Ключевые слова: *систематика, петрогенезис, концентрическая зональность, кристаллизационная дифференциация, жидкостная дифференциация.*

Объектом рассмотрения данного сообщения будут концентрически-зональные ультраосновные массивы (КЗУМ) вне зависимости от их возраста и породных ассоциаций, их слагающих. Интерес геологов к породам концентрически-зональных массивов вызван необычностью как их 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. Самое примечательное, что концентрически-зональные массивы образовывались в различных и разновозрастных геодинамических обстановках [9]: 1) в позднегеосинклинальной стадии развития эвгеосинклиналией – 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.

Массивы КЗУМ группируются в четковидные цепочки, приуроченные к зонам глубинных разломов, образуя небольшие тела концентрически-зонального строения. В литературе обращается внимание на расположение цепочек массивов относительно геологической структуры вмещающих пород: цепочки массивов ДКГ-ассоциации Урала, как и массивы Райненчоррского комплекса (Кольский полуостров), ориентированы согласно общему плану строения вмещающих пород, в то время

как цепочки массивов ЩУК Кольского полуострова пересекают структуру вмещающих пород под разными углами.

Касательно систематики и происхождения пород КЗУМ нет единой точки зрения. На Урале, на протяжении векового изучения ДКГ ассоциации, ее объем и состав менялись, из-за чего форма и размеры массивов также менялись [6]. В настоящее время, в рамках Платиноносного пояса выделено четыре серии, каждая из которых включает в себя габброиды [12]: 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? – М.Д.*) 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 рис. 1 приведена геологическая карта Конжаковского массива, представителя ДКГ-ассоциации. Массив в плане имеет округло-треугольную форму размером 8 × 11 км и сложен дунитами, клинопироксенитами и габброидами – тылаитами и конжакитами. На востоке массив срезается дупироксеновыми габброидами, на севере и юге окружен полукольцевой габбровой интрузией и кытлымитами.

На Кольском полуострове эта ассоциация представлена в несколько ущербном виде – ассоциация дунит–верлит–клинопироксенит–полевошпатовый клинопироксенит, изученная в десяти массивах, которые объединены в Райненчоррский комплекс Мон-

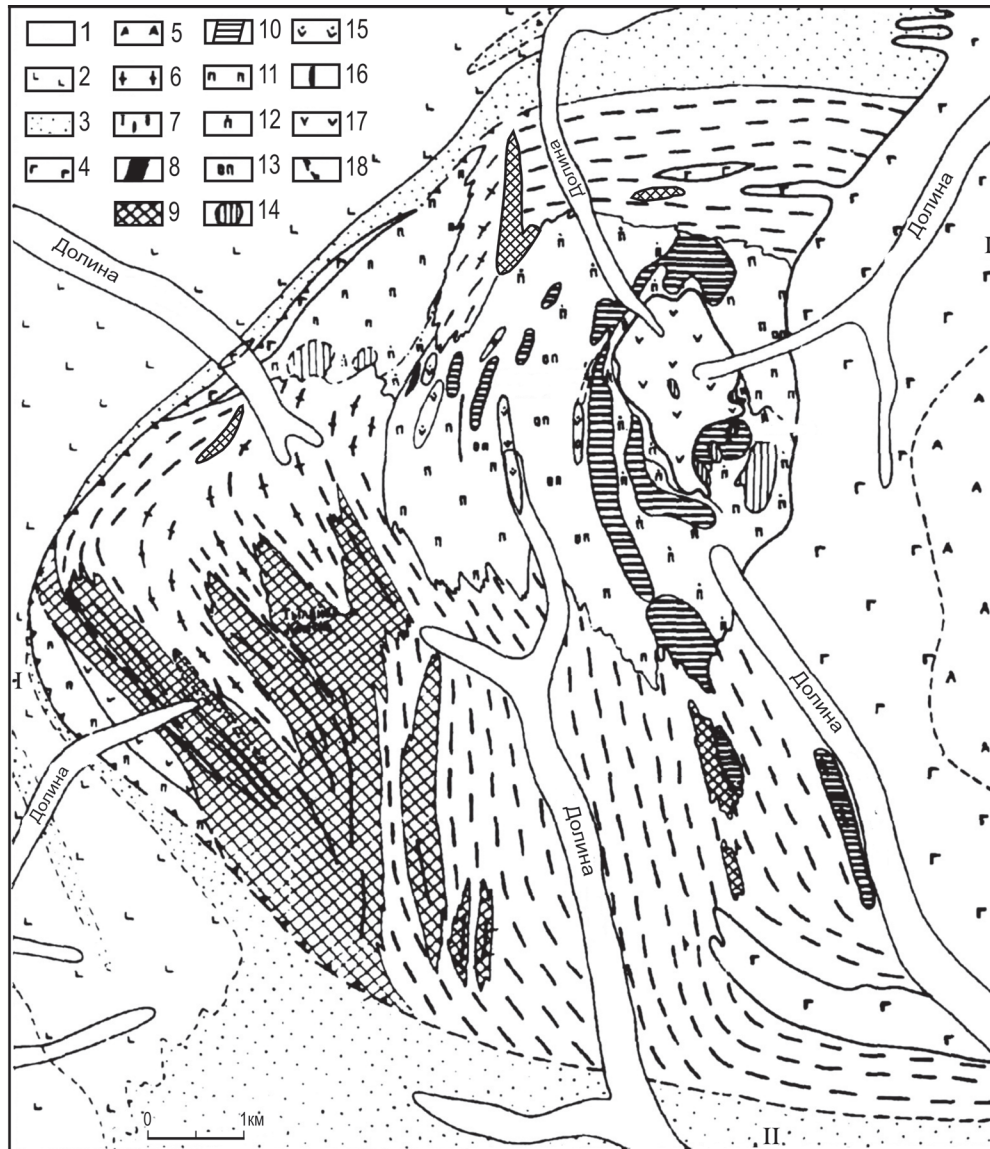


Рис. 1. Геологическая карта Конжаковского пироксенит-дунитового массива (по материалам А.А. Ефимова и Л.П. Ефимовой с дополнениями О.К. Иванова, [6]).

1 – аллювий; 2 – основные вулканы, O_3-S_1 ; 3 – кыльмиты и роговики; 4 – габбро пироксеновое, амфиболовое и оливинное; 5 – амфибол-анортитовое габбро; 6 – тылаиты; 7 – конжакиты и габбро-конжакиты; 8 – милонитизированные клинопироксениты и конжакиты; 9 – порфировидные милонитизированные клинопироксениты; 10–13 – клинопироксениты: 10 – магнетитовые, 11 – мономинеральные среднезернистые, 12 – оливинсодержащие, 13 – оливинные; 14 – верлиты; 15 – дуниты диопсидовые; 16 – силы и дайки дунитов, оливинитов и верлитов; 17 – дуниты; 18 – зона надвига.

чегорского рудного района [13]. Выполненное в последнее время определение содержания ЭПГ в минерализованных (сульфидная вкрапленность) зонах пород этого комплекса показало повышенную их платиноносность (до 1.56 ppm Pt + Pd).

Щелочно-ультраосновная ассоциация на Кольском полуострове представлена приблизительно двумя десятками массивов (комплексов). Они приурочены к глубинным разломам докембрийского фундамента и местам их пересечений и группируются в субширотные и северо-восточные пояса [7].

По особенностям строения, последовательности формирования пород и их составу комплексы сходны между собой и с массивами Маймеча-Котуйской провинции [5], в то время как возраст первых – нижнепалеозойский, а вторых – верхнепалеозойский. На рис. 2, в качестве примера представителя ЩУК, приведена схематическая карта Ковдорского массива, который находится в юго-западной части Кольского полуострова, в бассейне реки Ковдор – левого притока реки Ена. Массив в плане имеет овальную форму с размерами 8×4.5 км,

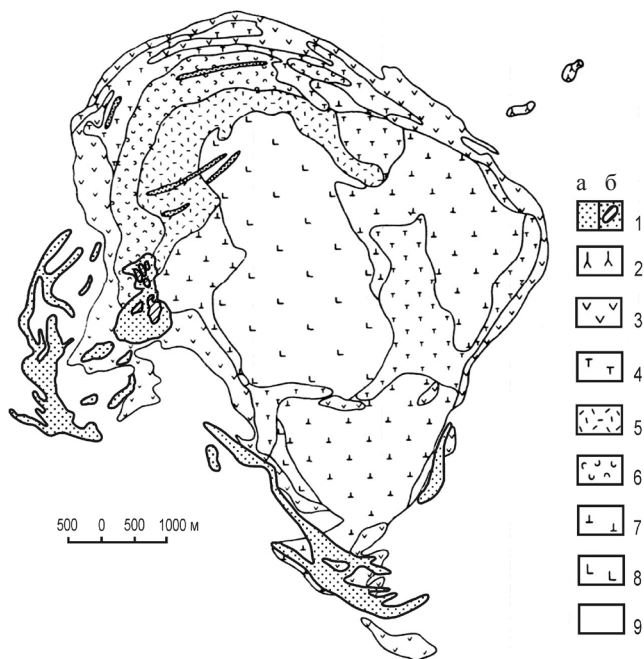


Рис. 2 Геологическая карта Ковдорского массива ([14], по материалам В.И. Тернового и Б.И. Сулимова).

1 – карбонатиты (а) и кальцитовые магнетиты (б), 2 – нефелиновые сиениты, 3 – ийолиты, 4 – турьяиты, 5 – флогопит-диопсид-оливиновые породы, 6 – мелилит- и монтichelлит-содержащие апооливиныты, 7 – пироксениты, 8 – перидотиты, 9 – фенитизированные гнейсы.

общей площадью около 37 км² и представляет собой сложный и, по данным [7], многофазный интрузив концентрически-зонального строения, начиная с центра: оливиниты, клинопироксениты, меллитовые породы и ийолит-мельтейгиты. В массиве имеются два штока: карбанатитов и фоскоритов, а также жилы нефелиновых сиенитов. Внешние контакты круто наклонены внутрь массива. Он находится в толще биотитовых и биотит-амфиболовых гнейсов, гранитогнейсов и амфиболитов беломорской серии архея, которые в контактах с массивом подвержены фенитизации в зоне мощностью от 350–500 м до 3,5–4 км.

СИСТЕМАТИКА

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, конжакииты и габбро, а в ЩУК – оливиновые кли-

нопироксениты, нефелиновые клинопироксениты, меллитовые породы и мельтейгит-ийолитовые породы. Несмотря на то, что все породы КЗУМ детально изучены в отношении геологического положения, взаимоотношений, формы, минерального и химического состава, тем не менее, до настоящего времени существуют разногласия по их диагностике, номенклатуре и генетическим типам; для систематики пород практически не используется химический состав. Поскольку автор является сторонником магматического происхождения главных породных представителей КЗУМ, то для их систематики используется комплексная классификация магматических горных пород [2], в которой систематика пород до родового уровня осуществляется по химическому составу, выраженному в нормативных миналах. Для петрохимической систематики пород КЗУМ их химический состав заимствован из следующих литературных источников: по породам ДКГ ассоциации – из [6], по породам Аляски – из [8], по породам Кольского полуострова – из [13, 14].

В отличие от известково-щелочных пород, породы КЗУМ, согласно авторской классификации [2], характеризуются низкой степенью насыщенности кремнеземом (от оливиннормативной до периклазнормативной группы) (рис. 3) 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 (рис. 3). В связи с породным разнообразием КЗУМ, однозначность их систематики и номенклатуры на родовом и индивидуальном уровне приобретает особую важность в решении генетических проблем. Более сложная ситуация имеет место в связи с систематикой и номенклатурой пород Уральских КЗУМ. До сих пор здесь нет единой точки зрения относительно смысла местных названий пород, таких как тылаиты, конжакииты, косьвиты, кыштымиты и кытлымиты [6]. 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 конжакииты – как правило, нефелин-нормативные (рис. 3). Поэтому при магматической точке зрения возникает проблема генетической связи пород КЗУМ, поскольку кристаллизационной дифференциацией из единого расплава не получить серию дунит–верлит–клинопироксенит–тылаит–конжакиит, так как при давлении формирования пород между оливиннормативной и нефелиннормативной системами

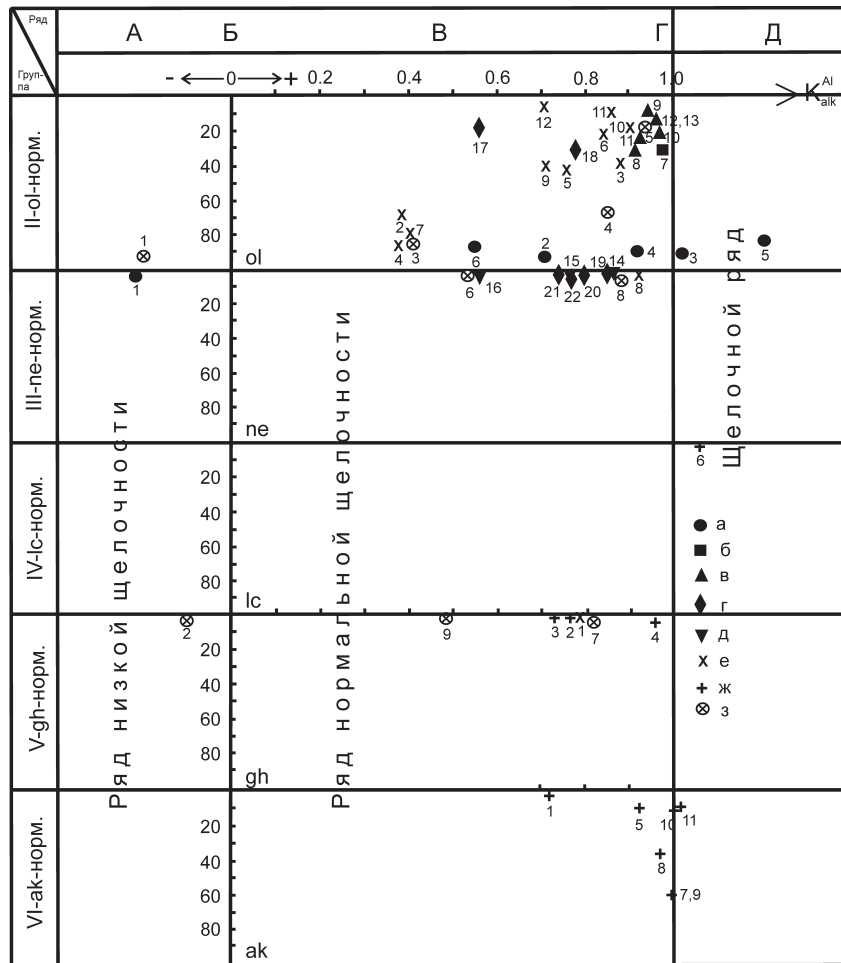


Рис. 3. Систематика пород КЗУМ до уровня семейств [2].

Урал: а – дуниты, б – верлиты, в – клинопироксениты, г – тылаиты, д – конжакиты; Кольский п-ов: е – породы Керкчоррского массива, ж – породы Ковдорского массива; з – породы Аляски. По вертикальной оси показаны содержания в вес. % минералов оливина (ol), нефелина (ne), лейцита (lc), геленита (gl), акерманита (ak). Здесь и на остальных классификационных диаграммах каждая проба представлена одним знаком и одним номером.

существует термальный барьер. На родовом уровне дуниты и клинопироксениты попадают в одноименные роды классификационной диаграммы (рис. 4), а тылаиты и конжакиты – в род нефелин-нормативных (щелочных) габброидов (рис. 5).

Подобные проблемы возникли и на Кольском полуострове. В начале исследований ЩУК [7] оливиновые и клинопироксеновые породы сопоставлялись со сходными породами известково-щелочных формаций и рассматривались как ранние самостоятельные интрузивные фазы, ничего общего не имеющие со щелочными породами мельтейгит-ийолит-уртитовой серии. Проведенная автором систематика пород [2] показала четкое различие так называемых гипербазитов ЩУК и гипербазитов известково-щелочных комплексов. Гипербазиты ЩУК попадают в одно минеральное семейство с мелилитовыми и ийолит-уртитовыми породами, что подтверждает их генетическое родство и позволяет рассматривать как дифференциаты единой исходной

магмы [4, 8] (рис. 3). Номенклатура пород кольских ЩУК на родовом уровне петрохимической классификации (рис. 6), как правило, совпадает с номенклатурой, данной по минеральному составу.

Очень важную информацию можно получить из сопоставления петрохимических параметров пород, значения которых отражает степень кристаллизационной дифференциации магматических расплавов – это общая железистость ($F_{ат}$), нормативный номер плагиоклаза ($p^{I_{ан}}$) и содержание кремнезема (рис. 7). Как видно из рисунка 7, для пород ДКГ-ассоциации Урала и Кольского полуострова изменение данных параметров не подтверждает четкой зависимости от кристаллизационной дифференциации, которую мы наблюдаем в породах нормальной щелочности оливиннормативной группы [1]. Так в дунитах, верлитах и клинопироксенитах, при постоянном значении $F_{ат}$, нормативный номер плагиоклаза изменяется от 0 до 100, а в габброидных породах корреляция указанных на диаграм-

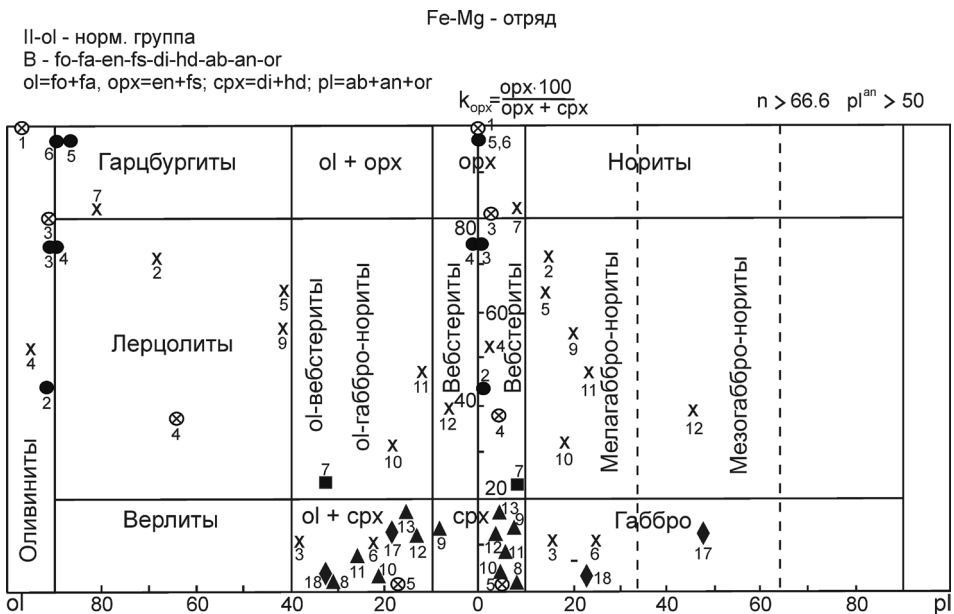


Рис. 4. Петрохимическая систематика пород оливиннормативной группы КЗУМ до родового уровня [2].

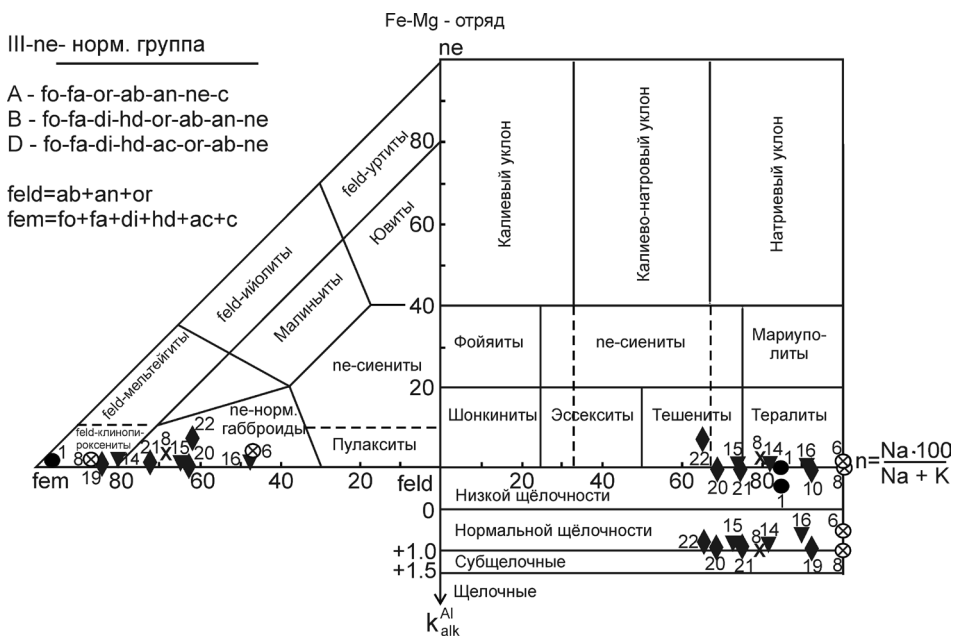


Рис. 5. Петрохимическая систематика пород нефелиннормативной группы КЗУМ до родового уровня [2].

ме параметров лишь слабо намечается. Не в соответствии с кристаллизационной дифференциацией изменяется и содержание кремнезема. Особенно это несоответствие характерно для ДКГ ассоциации. При такой контрастной породной дифференциации обязательно должна была проявиться и скрытая расслоенность (состав минералов), если бы эта породная ассоциация была продуктом кристаллизационной дифференциации. Кристаллизационная дифференциация слабо проявилась и в отдельно взятых зонах.

ПЕТРОГЕНЕЗИС

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 [6]. До настоящего времени нет единой общепризнанной гипотезы образования этих пород, поскольку ни одна из гипотез не располагает достаточно доказательными фактами, которые не опро-

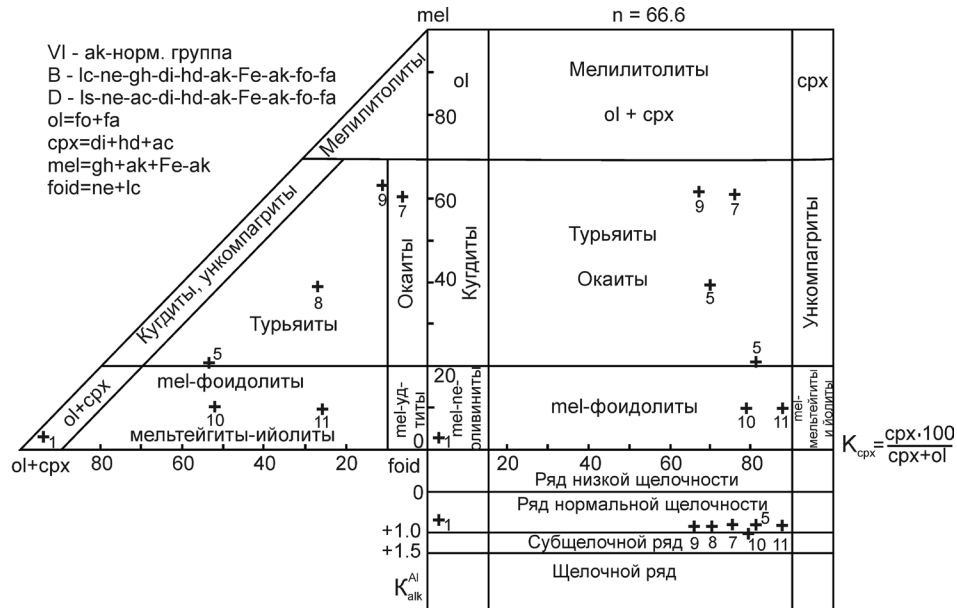


Рис. 6. Петрохимическая систематика пород акерманитнормативной группы КЗУМ до родового уровня [2].

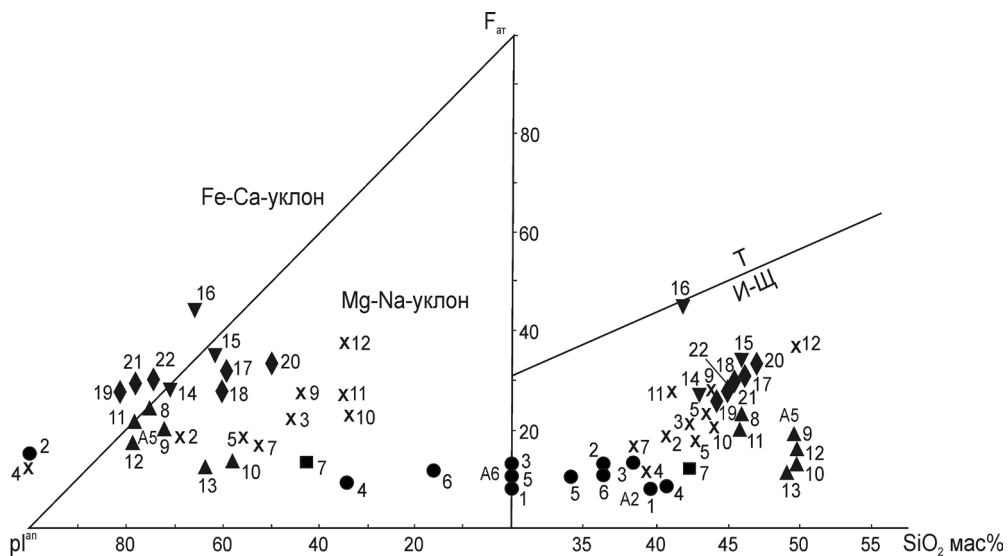


Рис. 7. Соотношение pI^{an} – $F_{ат}$ – SiO_2 в породах КЗУМ.

Т – толеитовые серии, И-Щ – известково-щелочные серии.

вергались бы противниками. Из магматических гипотез, по мнению О.К. Иванова, 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. Однако, проблематичность процесса термодиффузии, резкие контакты дунитов и клинопироксенитов и другие признаки ставят под сомнение возможность ее использования для объяснения генезиса КЗУМ. По мнению О.К. Иванова, нет достаточной аргу-

ментации и в пользу магматического образования уральских клинопироксенитов. В [12] с не меньшей уверенностью доказывается, что все породы дунит-клинопироксенит-габбровой ассоциации образованы из магматического расплава, как считали их первые исследователи. Аналогичное положение сложилось с генетическими проблемами и у исследователей ЩУК Кольского полуострова и Маймеч-Котуйской провинции [5, 7]. Автор считает себя сторонником магматической гипотезы образования всех КЗУМ. Однако мало признать какую-то гипотезу наиболее приемлемой,

Таблица 1. Минальный состав CIPWD [2] первичных и вторичных магм, образованных из пикритового и пикробазальтового составов при карбонатном метасоматозе и диссоциации карбонатов (мас. %)

Миналы	Пикрит – П	П + 5CO ₂ + 5сс	П1 – 7.2CO ₂	Пикробазальт-ПБ	ПБ + 10сс	ПБ1 – 9.7CO ₂
	П	П1	П2	ПБ	ПБ1	ПБ2
<i>or</i>	1.73	1.60	1.68	2.88	2.60	2.72
<i>p^k</i>	19.7 ⁵⁰	8.90	17.75	30.63	27.70	23.29
<i>ne</i>	0.0	0.0	0.76	0.0	0.0	3.04
<i>als</i>	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>срх</i>	12.40	0.0	22.33	17.43	13.80	38.54
<i>орх</i>	12.50	39.20	0.0	23.77	24.50	0.0
<i>ol^k</i>	54.60 ¹³	29.70	57.48	25.30	21.70	32.41
<i>сс</i>	0.0	15.30	0.0	0.0	9.7	0.0
гр.-ряд	II-B	II-A	III-B	II-B	II-B	III-B
K_{alk}^{Al}	0.61	-10 000	0.74	0.49	0.46	0.69

Примечание. Соответствующие эффузивные породы: П1 – *car-ab-орх* пикрит; П2 – *ne*-норм. пикрит; ПБ1 – *car* пикробазальт; ПБ2 – *ne*-норм. пикробазальт. *p^k* – плагиоклазовый минал и его номер; *ol^k* – оливиновый минал и его железистость. *Car* – карбонат, *als* – альсилит (Al₂O₃), *сс* – кальциевый карбонат.

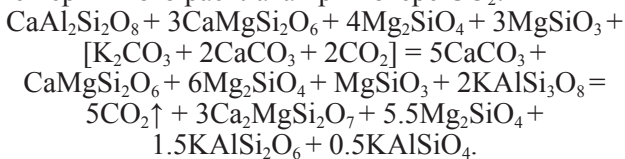
надо предложить убедительные доводы в ее пользу. Особенность вещественного состава пород и необычность расположения их в объеме массивов требуют рассмотрения двух аспектов данной проблемы: 1) генерация исходных расплавов; 2) *P-T-X* условия формирования пород из этих расплавов.

В работах уральских коллег [6, 12] не дается строгого обоснования состава исходного расплава (или расплавов) для ДКГ ассоциации. Так в [12] отмечается, что надежных геологических данных для решения этой проблемы нет и поэтому, на основе особенностей структуры и минерального состава плагиоклаз-оливиновых пироксенитов – тылаитов, можно лишь предполагать, что именно они, в первом приближении, и представляют собой такой расплав. По мнению автора, более обоснованное предположение о тылаитовом исходном расплаве дается с использованием диаграммы CaO–Al₂O₃–MgO [12, рис. 3]. В рассматриваемой работе (что характерно для абсолютного большинства работ “современной” петрологии) практически не используются главные пороодообразующие компоненты ни для диагностики пород, ни для решения петрологических проблем, очевидно из-за того, что в оксидном выражении они для этого не применимы. Попытка улучшить ситуацию с применением содержания и распределений РЭ и РЗЭ оказалась, по моему мнению, мало удачной, хотя авторы считают, что данные по геохимии позволили им на новом уровне вернуться к вопросам петрологии и петрогенезису Платиноносного Пояса Урала. К большому сожалению, автор статьи не усмотрел какого-либо решения петрологических проблем с помощью РЭ и РЗЭ, поскольку геохимическими данными и методами не могут решаться петрологические задачи. Попробуем коротко обосновать эту посылку (утверждение). Вероятно, все согласятся с тем, что содержание и распределение всех элементов в изучаемой породе есть следствие химии и минералогии субстра-

та, условий генерации расплава и различных процессов дифференциации. Но нам всегда приходится решать обратную задачу. По твердому убеждению автора, грамотно и корректно решить эту задачу можно только в том случае, если вы знаете прямой ход событий: как, и при каких условиях, происходит генерация различных магм, как они ведут себя при перемещении к поверхности Земли и, наконец, как они кристаллизуются, образуя разнообразные горные породы. И особенно важно знать причины и условия процессов дифференциации магм: ликвации (концентрационной и термической), кристаллизационной и кристаллизационно-кумулятивной дифференциации, в результате которых образуются различные виды расслоенности (одноритмичная, многоритмичная и скрытая) и такситовых текстур пород. Наиболее наглядно прямой ход событий можно представить и проследить на диаграммах состояния, отражающих зависимость фазовых превращений в соответствующих минальных системах от физико-химических условий. Только сопоставление конечных модельных результатов с реальными продуктами кристаллизации магм позволяет с определенной долей вероятности восстановить ход процессов и физико-химические параметры образования магм и пород. И следует особо подчеркнуть, что применение какого-либо компонента для решения обратной задачи возможно только тогда, когда он образует свою кристаллическую фазу и имеется диаграмма состояния с его участием. Последнее условие не всегда соблюдается, поскольку в имеющихся диаграммах состояния участвуют не все даже пороодообразующие компоненты, не говоря уже о РЭ и РЗЭ. По этой причине, содержание и распределение РЗЭ и соотношение радиоактивных изотопов в породах не представляется возможным применять для решения даже элементарных петрологических проблем. Эта информация может использоваться для выявления обогащенных

и обедненных РЭ и РЗЭ разновидностей породных индивидов, выделенных (диагностированных) по пороодообразующим минералам и миналам, а также оценки степени метасоматической подготовки субстрата, из которого выплавлялась магма. Выяснение причин, приводящих к сходству и различию пород по РЭ и РЗЭ, является самостоятельной и сложной задачей. Соотношениями некоторых изотопов пытаются решать проблемы места относительно условных резервуаров и времени генерации магматических расплавов, что также не однозначно. Даже с применением главных пороодообразующих компонентов не всегда получается однозначное решение той или иной петрологической задачи.

Известно, что из мантийного субстрата выплавляются 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 также известно, что из примитивной мантии невозможно выплавить такие расплавы. Автором разработана модель генерации магм, недосыщенных кремнеземом и обогащенных кальцием и щелочами. В этой модели большая роль отводится CO_2 [3]. Суть ее 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 [3, 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 (мас. %):

- 1) $or = 1.78$, $pl^{5.2} = 17.75$, $ne = 0.76$, $cpx = 22.33$, $ol^{10} = 57.48$;
- 2) $or = 2.8$, $pl^{6.5} = 29.82$, $орх = 8.49$, $cpx = 27.29$, $ol^{13.73} = 31.6$;
- 3) $or = 2.72$, $pl^{9.1} = 23.29$, $ne = 3.04$, $cpx = 38.54$, $ol^{13} = 32.41$.

Вероятнее всего для каждого массива был свой исходный расплав. Все три состава имеют большое сходство с составами тылаитов и конжакитов. 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. Для примера, в табл. 1 показан прием (способ) расчета составов первичных магм при карбонатном метасоматозе и генерации расплава, а вторичных магм – при перемещении расплава к поверхности Земли и потере CO_2 при диссоциации карбоната.

К каждому кольскому КЗУМ 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 при перемещении к поверхности Земли [3].

Совершенно очевидно, что признанием 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, обратное положение относительно времени их образования и контактов. Автор поддерживает мнение, что эти условия должны быть сходными как для ДКГ ассоциации, 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 несовпадение, в том числе и наличие в сингенетической серии пород разных минальных и минеральных групп, разделенных термальными барьерами. Так, на изобарах и проекционных поверхностях рис. 8 показано положение предполагаемых исходных расплавов и породных представителей из Конжаковского массива, позволяющее подобрать наиболее подходящие для последующей интерпретации. Поскольку составы 1 и 3 на проекционной поверхности ($ol + орх$)– pl – cpx попадают в треугольник, в вершинах которого находятся фигуративные точки конжакитов, клинопироксенитов и дунитов, то их можно признать пригодными для исходных расплавов, поскольку в таком случае будет соблюдаться баланс масс. Состав 2 не отвечает этим условиям. Су-

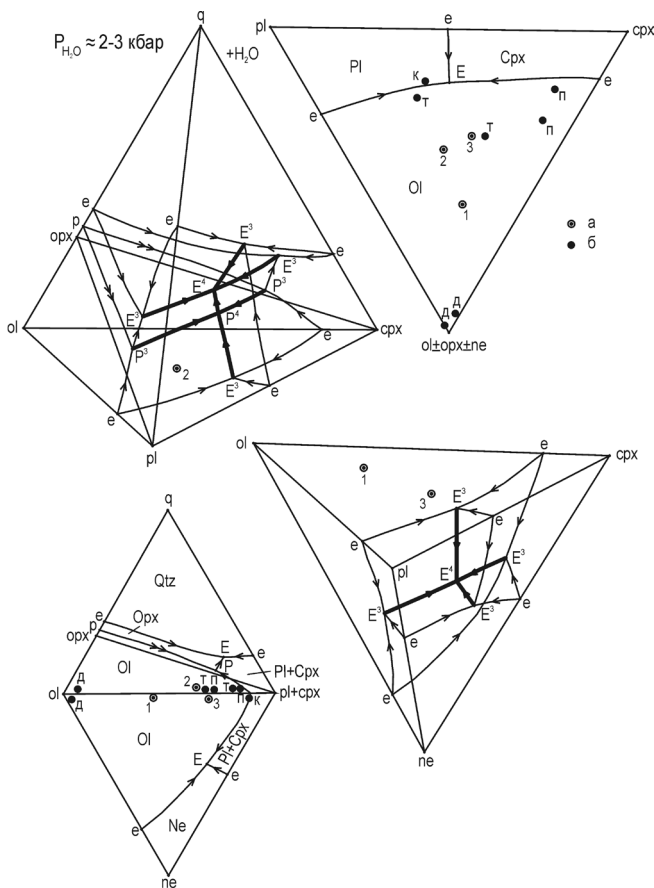
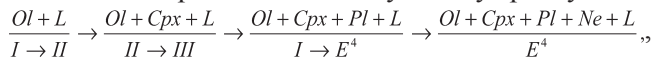


Рис. 8. Положение пород и исходных расплавов Конжаковского массива на изобарах и проекционных поверхностях соответствующих систем.

а – исходные расплавы, б – породы; д – дуниты, п – пироксениты, т – тылаиты, к – конжакиты. Пояснения в тексте. Принципы построения диаграмм состояния и проекционных поверхностей изложены в [1, 2].

дя по положению фигуративных точек 1 и 3 относительно топологических элементов изобары, диаграммы состояния системы $ol^x-cpx-pl^x-ne$, процесс кристаллизационно-кумулятивной дифференциации должен был проходить по следующему тренду:



но с разным количественным соотношением кристаллизатов для разных исходных составов. Все продукты кристаллизации в этом случае должны находиться в III-ne-нормативной группе, а конечный эвтектический кристаллизат – содержать до 25 мас. % нефелина. Реальные же породы довольно значительно отличаются от модельных: дуниты, верлиты и клинопироксениты оливиннормативные, а тылаиты и конжакиты – нефелиннормативные с небольшим содержанием минального и модалного нефелина (см. выше). В Конжаковском массиве имеются оливиннормативные тылаиты, состав которых также можно принять за состав исходного расплава. Но при кристаллизационной дифферен-

циации такого расплава мы не получим нефелин-нормативных конжакитов, которые имеются в Конжаковском массиве. Указанные несоответствия модельных продуктов кристаллизационной дифференциации с реальными породами КЗУМ и вызвали необходимость выбора альтернативной модели. В литературе уже известны три варианта такой альтернативной модели: 1) самостоятельные интрузивные фазы разного состава; 2) кристаллизация движущегося 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 [11, 12]. Согласно [12], главные разновидности пород ДКГ ассоциации являются продуктами динамического фракционирования кристаллов вдоль протяженного канала в процессе внедрения расплава. 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 генерации к поверхности Земли вряд ли могут иметь место в природе. В природе реализуются различные соотношения скорости потери тепла и скорости интрузии расплава, которые и определяют его поведение (рис. 9). 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 ($4.5^\circ C/km$) и адиабаты ($0.6^\circ C/km$), расплав при перемещении будет “перегреваться” относительно своего ликвидуса, и если в нем находились релиты 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 $P-T$ 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 $P-T$ 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 [11] также рассма-

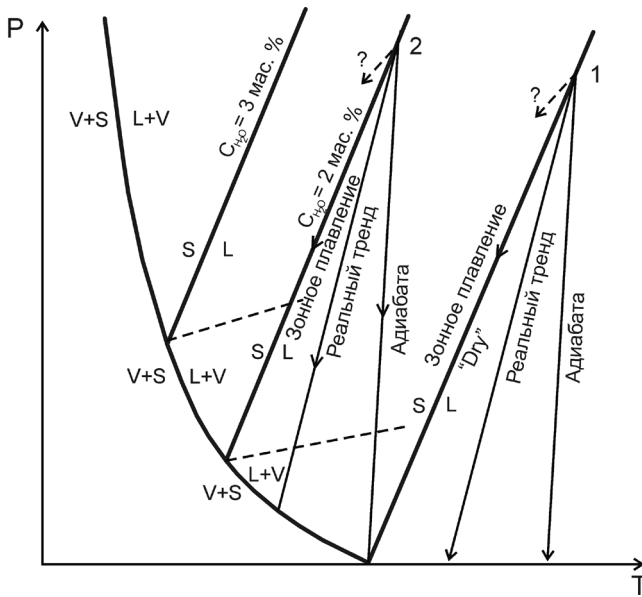
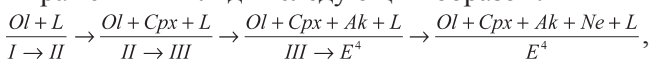


Рис. 9. Варианты перемещения расплавов от места генерации к поверхности Земли в зависимости от водосодержания и потери энергии.

тривает медленное перемещение, и даже с остановками, “каши” – верлитового расплава 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 и здесь состав зон не соответствует модельному тренду кристаллизационной дифференциации, оцененному по исходному расплаву, и это можно показать с применением соответствующей диаграммы состояния. На изобарическом сечении ($P_{H_2O} = 2-3$ кбар) subsystemы $ne-cpx-ol^k-ak$ [4], представленное на рис. 10, нанесены фигуративные точки Ковдорского массива, а также состав исходного расплава и его тренд кристаллизационной дифференциации, который в аналитическом выражении выглядит следующим образом:



а в породном выражении: оливиниты → оливиновые клинопироксениты → ункомпагриты → оливин-мелилитовые ийолиты. Реальный же тренд такой: оливиниты → оливиновые клинопироксениты → трьяиты → окаиты → ийолиты, который, судя по расположению фигуративных точек относительно топологических элементов диаграммы, не смог бы образоваться при кристаллизационной дифференциации.

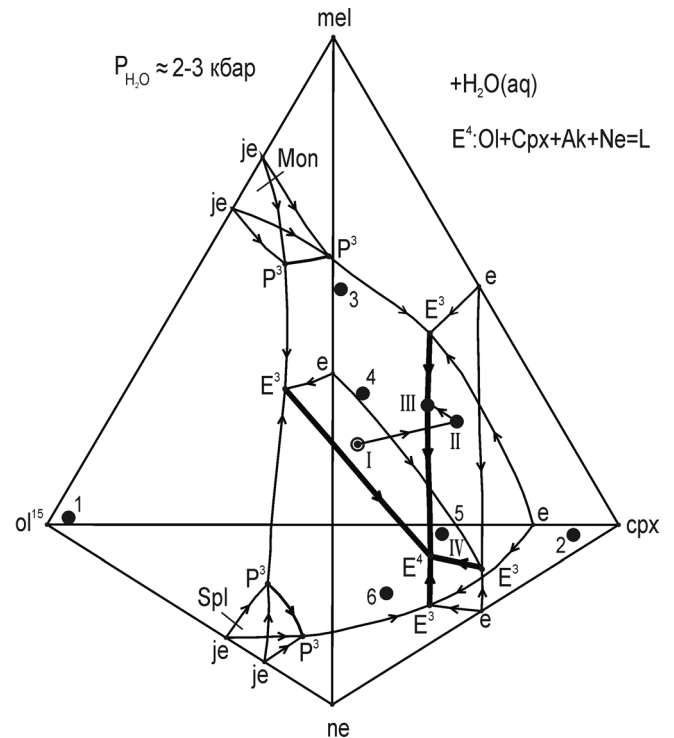


Рис. 10. Положение пород и тренда кристаллизационной дифференциации исходного расплава Ковдорского массива на изобаре системы $ak-ol-cpx-ne-aq$.

mel – мелилитовый минал, je – сечение эвтектики. Пояснения в тексте.

Таким образом, наиболее приемлемой является гипотеза, объясняющая зональное строение малых массивов докристаллизационной жидкостной дифференциацией расплава в температурном градиенте, как реализация эффекта Соре. Процессы разделения различных растворов на составляющие ингредиенты известны давно из практики очищения спирта (ректификация) и разделения углеводородов (крекинг нефти). Возможность разделения магматических расплавов в температурном градиенте подтверждена экспериментами [10, 15] и использовалась для объяснения образования зональных пород отдельных интрузивных фаз: верлитов-клинопироксенитов [16], ультрабазитов [7] и ийолит-уртитов [5]. В подтверждение такой возможности был произведен расчет молекулярных количеств нормативных миналов каждой зоны двух массивов: Ковдорского, представителя ЩУК (Кольский полуостров) и Конжаковского, представителя ДКГ (Урал). Зоны располагаются в строгом соответствии ректификационной колонне (рис. 11). Как отмечалось в работе [4], жидкостная дифференциация принципиально отличается от кристаллизационной дифференциации, и особенно важно, что ее продукты могут иметь составы разных минальных систем.

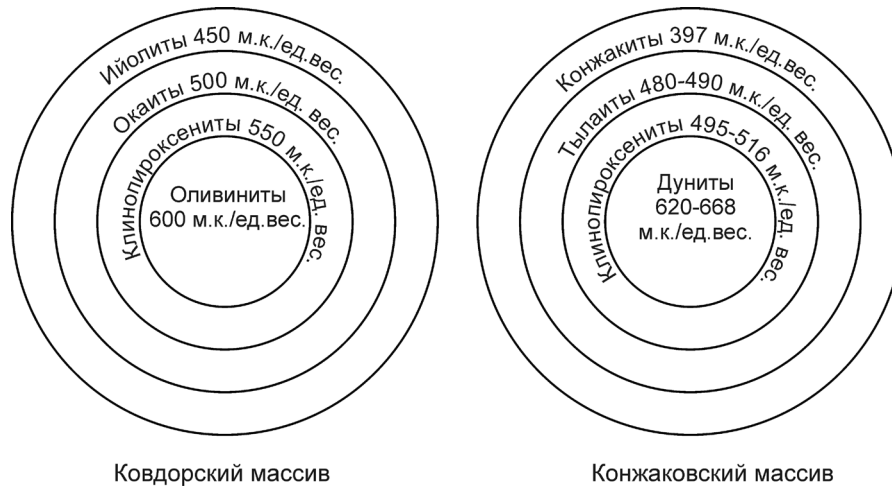


Рис. 11. Распределение пород в объеме магматического тела в соответствии с молекулярным количеством нормативных миналов.

М.к./ед. вес. – молекулярное количество на единицу массы, в данном случае – на 100 мас. %.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под сокращением КЗУМ в данной работе понимаются породные ассоциации одного уровня основности (ультраосновная группа), сходного строения (концентрически-зональные), образующие массивы небольших размеров (до 10 км в диаметре), которые встречаются в разных геодинамических обстановках и существенно отличаются по вещественному составу. В России представители КЗУМ известны на Урале, Кольском полуострове и Маймече-Котуйской провинции. На Урале они объединены в дунит-клинопироксенит-габбровую (ДКГ) ассоциацию [12], а на Кольском полуострове и в Маймече-Котуйской провинции – в щелочно-ультраосновные комплексы (ЩУК) с карбонатами [5, 7]. Детально изучены геология, химизм и минералогия этих породных ассоциаций, но, тем не менее, до настоящего времени имеются (остаются) непримиримые разногласия по систематике, диагностике и петрогенезису горных пород.

На основе авторской классификации [4] произведена петрохимическая систематика главных породных представителей КЗУМ, которые, согласно классификации Петрокомитета, по содержанию SiO_2 попадают в одну ультраосновную группу, но различаются по степени насыщенности этим компонентом: оливиниты, верлиты, клинопироксениты и часть тылаитов ДКГ ассоциации находятся в оливиннормативной группе, а

большая часть тылаитов и конжакиты – нефелин-нормативные, в то время как главная масса пород ЩУК акерманит-нормативная, в том числе оливиниты и клинопироксениты, которые раньше рассматривались как самостоятельные фазы, генетически не связанные с меллитовыми и ийолитовыми породами. Уточнено положение в авторской классификации тылаитов и конжакитов: на родовом (по петрохимии) и индивидуальном (по минералогии) уровне они соответствуют нефелин-нормативным и нефелин-модальным мелагабброидам.

В соответствии с представлениями автора о магматическом происхождении главных породных представителей КЗУМ, выбраны варианты составов исходных расплавов с учетом их площадных соотношений. Но при этом возникает проблема генетической связи разнотипных пород, поскольку из предполагаемых исходных расплавов при кристаллизационной дифференциации не получить ассоциацию дунит-верлит-клинопироксенит-тылаит-конжакит, или оливинит-клинопироксенит-турьит-окаит-ийолит. Несовпадение теоретических трендов кристаллизационно-кумулятивной дифференциации исходных расплавов с реальными разрезами привело к выбору альтернативной модели – дифференциация (разделение) гомогенного расплава до кристаллизации на зоны разного состава согласно термическому градиенту и молекулярным весам миналов (эффект Core). Жидкостная дифференциация принципиально отличается от кристаллизационной дифференциации, и, что особенно важно, ее продукты могут иметь составы разных минальных систем. Поэтому, при дальнейшей потере тепла, каждая жидкая зона кристаллизуется как самостоятельная система.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубровский М.И. Тренды дифференциации оливиннормативных магм нормальной щелочности и соответствующие им породные серии. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 1998. 336 с.
2. Дубровский М.И. Комплексная классификация магматических горных пород. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 2002. 234 с.
3. Дубровский М.И. Генерация карбонатно алюмосиликатных магм // Записки ВМО. 2004. № 6. С. 8–29.
4. Дубровский М.И. Фазовая диаграмма системы *q-nephelino-aq* – часть расширенного “базальтового” тетраэдра при $P_{H_2O} = 0-6$ кбар // Записки РМО. 2007. № 3. С. 36–60.
5. Егоров Л.С. Мелилитовые породы Маймеча-Котуйской провинции // Тр. НИИГА. 1969. Вып. 159. 248 с.
6. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала (минералогия, петрология, генезис). Екатеринбург: УрГУ, 1997. 327 с.
7. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии / Под ред. А.А. Кухаренко. М.: Недра, 1965. 773 с.
8. Магматические горные породы. Т. 2. Щелочные породы / Отв. ред. В.А. Кононова. М.: Наука, 1984. 416 с.
9. Магматические горные породы. Т. 5. Ультраосновные породы / Отв. ред. Е.Е. Лазько, Е.В. Шарков. М.: Наука, 1988. 381 с.
10. Маракушев А.А., Безмен Н.И., Бокина С.С. и др. К проблеме генезиса мономинеральных магм // Очерки физико-химической петрологии. 1978. В. 7. С. 83–91.
11. Попов В.С. Дунит-верлит-клинопироксенитовая ассоциация: возможные источники и механизм подъема и дифференциации расплавов // Записки РМО. 2005. № 6. С. 1–18.
12. 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.
13. Чащин В.В. Райненчоррский клинопироксенит-верлитовый комплекс // Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района. Ч. 1. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 2004. С. 133–153.
14. Arzamastsev A.A. Unique Paleozoic intrusions of the Kola Peninsula. Apatity: Kola Science Centre RAS, 1994. 79 p.
15. Leshner C.E., Wolker D. Thermal diffusion in petrology // Diffusion, atomic ordering, and mass transport selected topics in Geochemistry. Advances in Physical Geochemistry / Ed. J. Ganguly. New York: Springer. 1991. P. 396–451.
16. Walton M.S. The Blashke Island ultrabasic complex: with notes on related areas in southeastern Alaska // New York. Akad. Sci. Trans. 1951. V. 13. P. 320–323.

Рецензенты Г.Б. Ферштатер, Н.М. Чернышов

Systematics and petrogenesis of the rocks of concentrically-zonal ultrabasic massifs

M. I. Dubrovsky

Geological Institute, Kola Science Centre of RAS

Concentrically-zonal ultrabasic massifs occur in various geodynamic environments: (1) in the late geosynclinal evolution stage – 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. There is no single point of view to systematics and origin of the rocks from these massifs. The most probable is a magmatic hypothesis which explains the concentrically-zonal structure of the massifs by precrystallization differentiation of the initial melt.

Key words: *systematics, petrogenesis, concentrically zoning, crystallization differentiation, precrystal differentiation.*