

$$S = \varphi(T) = f_2(T)/f_1(T) = f_y(T)/f_x(T), \quad (4)$$

где X и Y - системы координат, по которым откладываются значения изотопных составов. По определению [5, 7] $S = 1000 \ln \alpha_2 / 1000 \ln \alpha_1 = (\delta Y_M - \delta Y_{C2}) / (\delta X_M - \delta X_{C1})$. Зная составы C₂ и C₁, можно определять T образования минералов. Полагая T_{из} = T_{эт} и подбирая состав и параметры δY_{C2} и δX_{C1} так, чтобы выполнялось равенство $S = S_{набл}$, найдем составы C₁ и C₂, которые и будут решением задачи о нахождении соединений, равновесных исследуемым минералам. Задача облегчается, если один из минералов будет эталонным (чаще всего это кварц).

На втором этапе, опираясь на эксперименты или химию изученных минералов, находим состав материнского соединения, при разложении которого образованы изученные пары соединений M_j и C_j. Это решение и определяет механизм образования минерала.

Литература

1. Коржинский Д.С. Физико-химические основы анализа парагенезисов минералов. М.: изд-во АН СССР, 1957. 184 с.
2. Лебедев В.И. Основы энергетического анализа геохимических процессов. Л.: изд-во ЛГУ, 1957. 342 с.
3. Лучицкий В.И. Петрография. Т. 2. М.-Л.: Госгеолгиздат, 1949. 438 с.
4. Магматогенная кристаллизация по данным изучения включений расплавов. Тр. Ин-та геологии и геофизики, вып. 264. Новосибирск: Наука, 1975. 232 с.
5. Макаров В.П. Способ определения температуры образования природных соединений. Авт.св.1312504. // Бюлл. изобр. отк.1987. N19. С.192.
6. Макаров В.П. Температура образования порообразующих минералов. /Всероссийская конференция «Геохимия магматических пород. Щелочной магматизм Земли». Тез. докл. М.: ГЕОХИ, 2002. С.66. URL: <http://alkaline2002.narod.ru>.
7. Макаров В.П. Изотопные геотермометры./XIII научный семинар «Система «Планета Земля»». М.: МГУ, РОО «Гармония строения Земли и планет», 2005, стр. 228- 253.
8. Макаров В.П. О механизме образования минералов в кимберлитах. 2. Природа гранатов и шпинелидов. /Всерос. конферен. «Геохимия магматических пород. Щелочной магматизм Земли». Тез. докл. М.: ГЕОХИ, 2002. С.68. URL: <http://alkaline2002.narod.ru>.

"УРАВНЕНИЯ КОМПЕНСАЦИИ"- НОВЫЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Макаров В.П.

Российский государственный геологоразведочный университет, г. Москва, litolog@msgpa.ru

В работе [4] описано применение метода «уравнение компенсации» для определения источников вещества в биотитах широкого круга геологических образований. Было установлено, что общим источником вещества биотитов всех кислых силикатных пород (гранитов, гнейсов, сланцев) являются осадочные породы. Ниже описано решение такой же проблемы для гранатов и пироксенов. Основные методические и теоретические вопросы анализа явления «компенсации» изложены в работах [1- 3]. Вся информация получена на основе материалов из литературных источников. Методика исследования и обработки анализов изложена в [1-3]. Изученные минералы на виды не разбивались. По результатам силикатных анализов минералов пробы объединялись в индивиду-альные выборки по регионам и породам. Затем строились уравнения $Эл_2 = АЭл_1 + В$ для каждой выборки, где Эл- кристаллохимический коэффициент соответствующего элемента, чаще всего для Эл₁ принималась концентрация железа Fe⁺²; А и В – постоянные. В случае выявления связей по нескольким элементам, учитывались связи, установленные по одним и тем же пробам. На конечном этапе по параметрам этих уравнений строились диаграммы в координатах (А, В).

| | Гранаты | | Пироксены | |
|-----------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| N | 1232 | | 1070 | |
| N _c | 675 | | 598 | |
| j = N _c /N | 0,55 | | 0,56 | |
| Связи | пробы | выборки | пробы | выборки |
| Fe ⁺² -Mg | 395/40,68 | 83/43,23 | 403/60,24 | 93/38,75 |
| Fe ⁺² -Ca | 190/19,57 | 44/22,92 | 299/44,69 | 67/27,92 |
| Fe ⁺² -Na | 0 | 0 | 86/12,86 | 13/5,42 |
| Fe ⁺² -Mn | 76/7,83 | 16/8,33 | 36/5,38 | 6/2,50 |
| Fe ⁺² -Cr | 60,62 | 1/0,52 | 3/0,45 | 1/0,42 |
| Fe ⁺² -К | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mg- Ca | 173/17,82 | 32/16,67 | 141/21,08 | 31/12,92 |
| Al-Fe ⁺³ | 50/5,15 | 9/4,69 | 30/4,48 | 11/4,58 |
| Al- Ca | 0 | 0 | 23/3,44 | 6/2,50 |
| Al- Mg | 0 | 0 | 18/2,69 | 3/1,25 |
| Al- Fe ⁺² | 0 | 0 | 12/1,79 | 3/1,25 |
| Al-Na | 0 | 0 | 11/1,64 | 3/1,25 |
| Al-Cr | 81/8,34 | 7/3,65 | 5/0,75 | 1/0,42 |
| Ca-Na | 0 | 0 | 5/0,75 | 2/0,83 |
| S | 971/100 | 192/100 | 669/100 | 240/100 |

В табл. приведены данные по распространенности выявленных связей в этих минералах. Отношение j характеризует относительную связность минерала. В графах «пробы», «выборки» в числителе приведены количество проб (общее) в выборках или выборках, в которых выявлена данная связь; в знаменателе – величина j в процентах. Ноль означает, что данный вид связи не установлен. Обращает внимание относительно низкое количество (j ≤ 50%) проб и выборок, по которым удалось выявить связи между элементами, приведенные в графе «Связи».

БИОТИТ. Большой материал изучен в кислых силикатных породах, куда входят гранитоиды, гнейсы, сланцы, диориты, сиениты и др. для всего земного шара. На рис. 1 приведена компенсационная диаграмма для связи Mg = A(Fe⁺²) + B; на рис. 2 - для Ca.

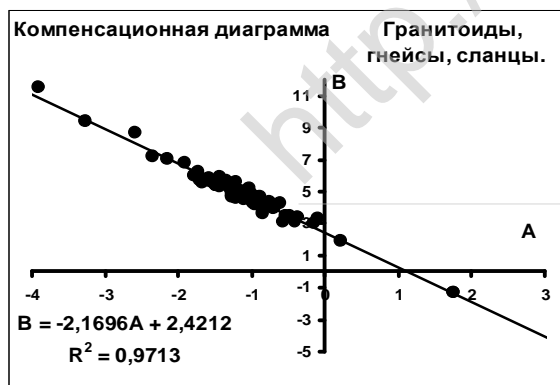


Рис. 1. Компенсационная диаграмма для связи Mg = A(Fe⁺²) + B в биотитах.

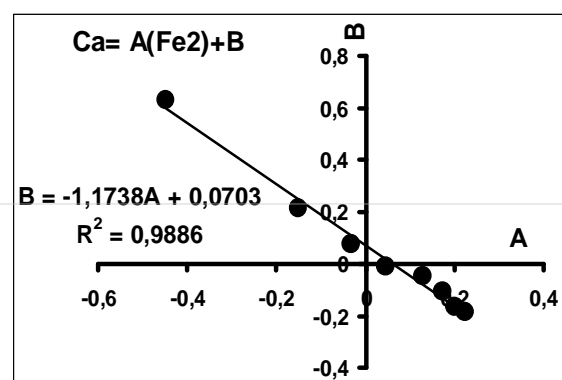


Рис. 2. Компенсационная диаграмма для кальция в биотитах.

ГРАНАТЫ пироксенитов, перидотитов, кимберлитов, лерцолитов, эклогитов, гранитов, гнейсов, гранитогнейсов, сланцев и др. пород из различных регионов мира. Установлены корреляционные зависимости вида Эл = A(Fe⁺²) + B, где Эл- Mg, Ca и Mn. На рис. 3, 4 приведены некоторые диаграммы для связи Mg = A(Fe⁺²) + B; на рис.5 - Ca = A(Fe⁺²) + B а на рис.6- Mn = A(Fe⁺²) + B в различных породах. Рисунки 5 и 6 отличаются от предыдущих, построенных для гомовыборок, наличием на диаграмме нескольких видов пород (гетеровыборок).

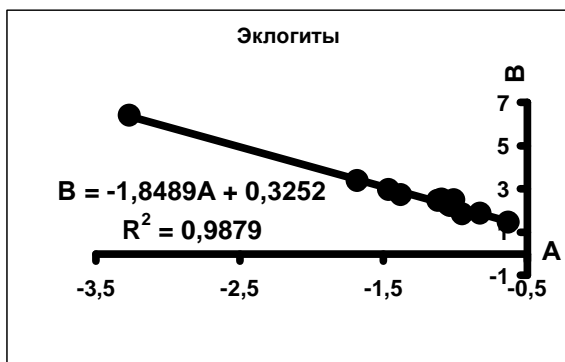


Рис.3. Компенсационные диаграммы для связи $Mg = A(Fe^{+2}) + B$ в гранатах

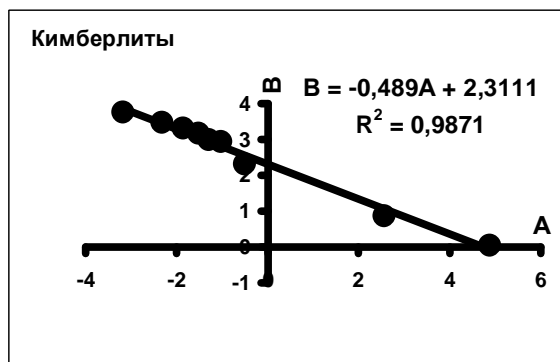


Рис.4. Компенсационные диаграммы для связи $Mg = A(Fe^{+2}) + B$ в гранатах

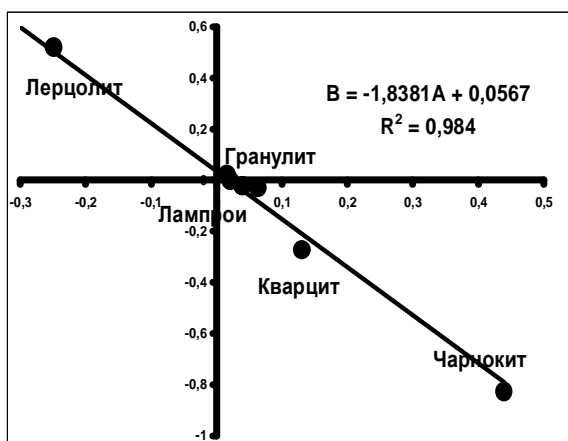


Рис. 5. Компенсационные диаграммы для связи $Ca = A(Fe^{+2}) + B$ в гранатах



Рис. 6. Компенсационная диаграмма для связи $Mn = A(Fe^{+2}) + B$ в гранатах

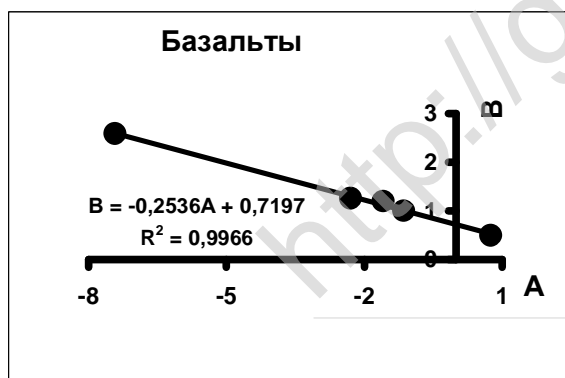


Рис.7. Компенсационная диаграмма для связи $Mg = A(Fe^{+2}) + B$ в пироксенах

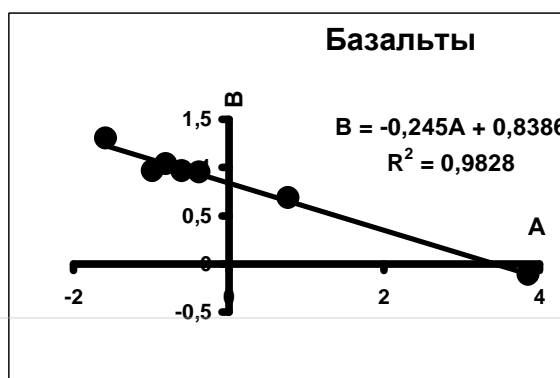


Рис.8. Компенсационная диаграмма для связи $Ca = A(Fe^{+2}) + B$ в пироксенах

ПИРОКСЕНЫ отбирались из эклогитов, сиенитов, пироксенитов, перидотитов, толеитов, габбро, мрамора, гнейсов, скарна и др. Выделено 48 выборок, из них 6 выборок по ортопироксенам, остальные - из клинопироксенов. Выявлены связи вида Эл = $A(Fe^{+2}) + B$, где Эл- Mg, Ca, Mn, Na. На рис. 7- 10 приведены компенсационные диаграммы для них.

ОЛИВИН из основных и ультраосновных пород (базальты, перцолиты, перидотиты, серпентиниты, дуниты, габбро) и метеоритов. Всего создано 11 выборок, в которых выявлена только связь $Mg = A(Fe^{+2}) + B$.

ШПИНЕЛИ кимберлитов, пикритов, пироксенитов, ультрабазитов, базальтов преимущественно из трубок взрыва Якутии (Мир. Удачная, Айхал и др.). Выявлены связи

Fe^{2-} Mg, Al- Fe^3 , Cr- Fe^3 ; в качестве экзотических - $Fe^3 = A(Cr+Al) + B$, $(Fe^3 + Cr) = A(Al) + B$ и $Fe^3 = A(Al) + B$. На рис. 11 и 12 приведены примеры компенсационных диаграмм.

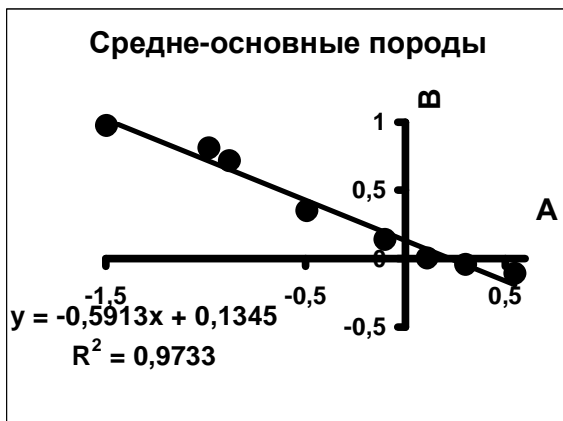


Рис. 9. Компенсационная диаграмма для связи $Na = A(Fe^{+2}) + B$ в пироксенах.

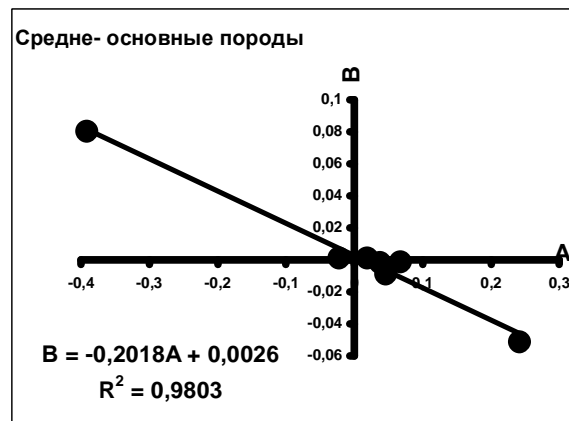


Рис.10. Компенсационная диаграмма для связи $Mn = A(Fe^{+2}) + B$ в пироксенах.

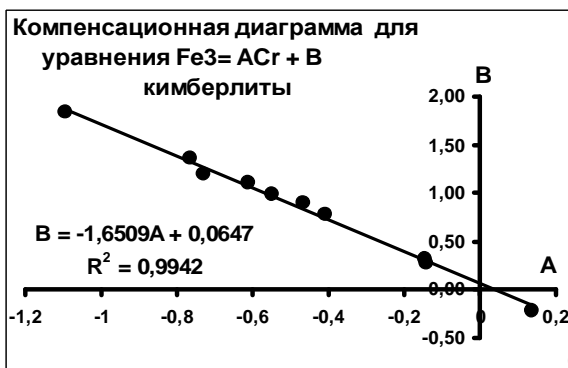


Рис. 11. Компенсационная диаграмма в шпинелях кимберлитов.

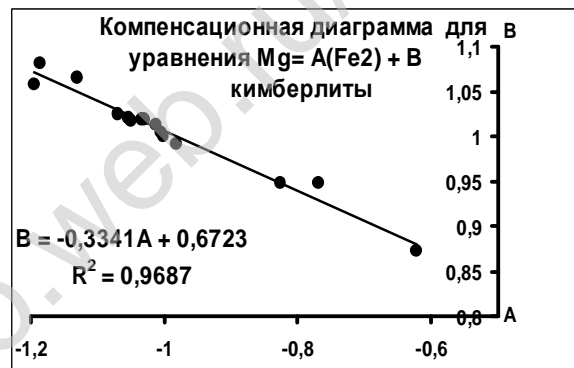


Рис. 12. Компенсационная диаграмма в шпинелях кимберлитов.

Приведенные данные показывают широкое распространение явления компенсации в минералах в широком круге пород. Связь между прямыми и их компенсационными преобразованиями известна давно [5]. Если прямые $Y = A_k X + B_k$ пересекаются в одной точке с параметрами (X_0, Y_0) , т.е. они образуют пучок прямых, то параметры A_k и B_k этих прямых описываются уравнением прямой линии вида $B_k = g A_k + G$, где $g = X_0$, $G = Y_0$. Параметры X_0 и Y_0 являются координатами (тангенциальными, или плюккеровыми [5]) этой точки пересечения. В теории диффузии это уравнение называется компенсационным уравнением, а точка пересечения пучка прямых - точкой кроссовера.

При анализе явления компенсации изучаются поведение связей между параметрами двух компонент. Выделяются группы параметров компенсационных уравнений:

- 1). Параметры имеют различные физические смыслы, а значит и различные размерности. Примером являются зависимости концентраций элементов от T, P и пр.
- 2). Параметры, концентрационные значения которых, откладываются по осям координат, имеют одну и ту же размерность. Сюда относятся зависимости между элементами в вещественных полях, описанные выше.

Выделяются группы исходных уравнений связи:

1. Простая форма компенсации. Изучается распределение параметров в одной и той же среде. Выделяются два подмножества исходных уравнений:

1а. Параметры имеют равную размерность. Например, в биотитах, гранатах и пироксенах можно рассматривать множества, описываемых функцией $Mg = f(Fe)$, т.е. связывают друг с другом концентрации (или кристаллохимические коэффициенты) Mg и Fe.

1б. Параметры с различными физической природой и размерностью (зависимости концентраций элементов от T , P и пр., например, уравнения диффузии, геохимических и изотопных геотермометров.

2. Сложные формы компенсации. Выделяются подмножества.

2а. Гомогенная компенсация – все параметры одинаковой размерности. Изучается их поведения в объектах (средах) одной и той же природы. Например, поведение кристаллохимических коэффициентов в моновыборках, расположенных географически в различных местах, например, кристаллохимические коэффициенты Fe и Mg в гранатах или пироксенах из различных основных, ультраосновных пород и пр.

2б. Гетерогенная компенсация - поведение элементов в разных средах, например, поведение кристаллохимических коэффициентов в гетеровыборках. Например, связь вида $Mg = f(Fe)$ можно рассматривать в минералах из разных пород (рис. 5, 6).

2в. Гипотетически возможна гетерогенная компенсация, объединяющая гомовыборки из разных минералов. Нами она не изучалась.

Приведенные примеры говорят о различных уровнях получения информации. В случае простой компенсации в вещественных полях изучаются локальные характеристики минерала в конкретных породах, при наличии гетерогенной компенсации рассматриваются характеристики, свойственные уже группе пород.

Явления компенсации хорошо интерпретируется в геохимических полях на основе представлений о смешении компонентов. Выделяются механизмы смешения

А). Механическое добавление в систему частиц вещества этой или другой природы. Источники этих веществ мы называем источниками уровня I [3]. Это – наиболее распространенный вид смешения. Примером являются смешение водных потоков или в свинцовых системах [3].

Б). Замещение частиц одного вещества частицами другого вещества. Типичный пример - изоморфное замещение. В этом случае параметры системы не изменяются; например, при замещении магния железом в минералах и отсутствии других изоморфных замещений сумма кристаллохимических коэффициентов (далее КК) не изменяется, т.е. $КК(Fe) + КК(Mg) = КК_0 = const$ (постоянная кристаллохимической ячейки КХЯ).

Проведенные ранее исследования показали, что при смешении компонентов их распределение описывается уравнением прямой линии. В свинцовых системах в связи с наличием априорно известного независимого источника свинца (радиоактивный распад) возможно определение исходных параметров источника вещества уровня 1. В вещественных полях эти параметры не определимы; в них параметр А представляет собой отношение долей изучаемых элементов в минерале.

Литература

1. Макаров В.П. Некоторые математические вопросы решения задачи о смешении при изотопных исследованиях.//IV Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Избранные доклады. М.: изд. МГГА, 1999. С.136- 142.

2.Макаров В.П. Об универсальности распространения в природе «уравнения компенсации»././ IV Междун. конф. «Новые идеи в науках о Земле». Т.1. М.: изд. МГГА, 1999. С.257 - 258.

3. Макаров В.П. Основы теоретической геохронологии. //XII научный семинар «Система «Планета Земля»». М.: МГУ, РОО «Гармония строения Земли и планет», 2004, стр. 228- 253.

4. Макаров В.П. "Уравнения компенсации"- новый метод изучения петрохимических особенностей высокотемпературных образований (на примере биотита).// Мат-лы Всероссийского совещания «Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород». Тезисы докл. Миасс, Ильменский заповедник: ИМин УрО РАН, 2006. 326 с., С.137- 139. URL: <http://meetings.miass.ru/?LinkID=35>.

5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука. 1978. 831 с.