Таким образом, металлогеническая специализация архейских комплексов БП находит обяснение в рамках геодинамической модели, предусматривающей их формирование в условиях океанических, субдукционных, аккреционных, коллизионных обстановок.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 06-05-64876)

Литература

1. *Березин А.В.* Новые перспективы минерагенического районирования БПП // Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минерагения. Матер. научн. конф. и путеводитель экск. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2005. С.108–110.

2. *Бибикова Е.В., Слабунов А.И., Богданова С.В., Шельд Т.* Тектоно-термальная эволюция земной коры Карельской и Беломорской провинций Балтийского щита в раннем докембрии по данным уран-свинцового изотопного исследования сфенов // Геохимия. 1999. №8. С.842–857.

3. *Володичев О.И.* Беломорский комплекс Карелии (геология и петрология). Л.: Наука, 1990. 248 с.

4. *Володичев О.И., Слабунов А.И., Бибикова Е.В. и др.* Архейские эклогиты Беломорского подвижного пояса, Балтийский щит // Петрология. 2004. Т.12. №6. С.609–631.

5. *Глебовицкий В.А., Миллер Ю.В., Другова Г.М и др.* Структура и метаморфизм Беломоро-Лапландской коллизионной зоны // Геотектоника. 1996. №1. С.63–75.

6. *Кожевников В.Н.* Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2000. 223 с.

7. *Кулешевич Л.В.* Металлогения Беломорского складчатого пояса и Северо-Карельских зеленокаменных структур // Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минерагения. Матер. научн. конф. и путеводитель экск. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2005. С.207–211.

8. *Ручьев А.М.* Благородные металлы в гнейсах чупинской свиты (Беломорский комплекс, Северная Карелия) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск. №5. 2002. С.47–58.

9. *Рыбаков С.И.* Колчеданное рудообразование в раннем докембрии Балтийского щита. Л. Наука. 1987. 269 с.

10. *Слабунов А.И.* Геология и геодинамика Беломорского подвижного пояса Феноскандинавского щита. Автореф. докт. дисс. М: ГИН РАН. 2005. 46 с.

11. *Слабунов А.И., Лобач-Жученко С.Б., Бибикова Е.В., Балаганский В.В. и др.* Архей Балтийского щита: геология, геохронология, геодинамические обстановки // Геотектоника. №6. 2006. С.1-29

12. *Слабунов А.И., Степанова А.В., Бибикова Е.В. и др*. Неоархейские габброиды Беломорского подвижного пояса: U-Pb геохронология по цирконам и геодинамические следствия // Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма. Матер. конф. М.: ГЕОС. 2006. С.286–290.

13. *Слюсарев В.Д*., Кулешевич Л.В., Гришин А.С. Металлогенические особенности района озер кереть – Верхнее Кумозеро // Геология и рудогенез докембрия Карелии. Петрозаводск, 1991. С. 33–38.

14. *Степанов В.С., Слабунов А.И.* Амфиболиты и ранние базит-ультрабазиты докембрия Северной Карелии. Л: Наука. 1989. 175 с.

15. *Щипцов В.В.* Особенности минерагенической специализации Западного Беломорья (оценка и доступность запасов и ресурсов) // Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минерагения. Матер. научн. конф. и путеводитель экск. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2005. С.327-329

16. *Slabunov A.I., Lobach-Zhuchenko S.B., Bibikova E.V., Sorjonen-Ward P. et al.* The Archaean nucleus of the Fennoscandian (Baltic) Shield // European Lithosphere Dynamics. 2006. Gee D.G. & Stephenson R.A. (eds) Memoirs, 32. London: Geological Society. P.627–644.

О формулах ассоциаций

Смирнова Н.Л.

Московский государственный университет, г. Москва, e-mail: snl194@mail.ru

Образование ассоциаций – явление универсальное и имеет место во всех системах. Синонимами и полусинонимами понятия ассоциация являются комплекс, парагенезис, совокупность, набор, кластер, агрегат и многие другие. Ассоциации представляют собой совокупности элементов (составляющих, модулей и т.д.), рассматриваемых в системе как целое. В частности элементами могут быть структурные единицы. Ассоциации имеют качественный состав из разных элементов и количественный, который представляется коэффициентами при элементах. Ассоциации могут быть простыми, если состоят из идентичных элементов и сложными, если элементы различны. Элементы

могут образовывать качественные последовательности с коэффициентами. Ассоциации могут быть представлены в виде совокупностей названий, цифр, букв, таблиц и рисунков в частности *n*-гонов (тайлов). Ассоциации химических элементов в природе изучают науки минералогия и геохимия, ассоциации минералов –парагенезисы изучает наука геология. Виды поверхностей кристаллов (простые формы и их ассоциации –внешние формы) изучает кристаллография. Согласно учению о системах организация элементов в ассоциациях определяется общими закономерностями. Закономерности, легко устанавливаемые в одних системах, можно использовать в других системах, где их сложно выявить.

Нами проводилось исследование закономерностей образования ассоциаций в разных системах: установлены наборы –формулы из *s*, *f*, *d*, *p* катионов и анионов, химических элементов, связностей структурных единиц в кристаллических структурах минералов. Нами проводилось также изучение ассоциаций *n*-гонов в координационных сферах (коронах) вершин, граней кристаллов, полициклах органических молекул, поверхностей организмов, на гипсометрической карте тургайского прогиба из *n*-гонов, на поверхности мелкозернистого агрегата и т.д. [1]. Было установлено, что значение *n* лежит в пределах 30, причем в кристаллах *n* не превышает 18. В организмах значение *n* более 10 встречено только у пор. Наибольшая частота встречаемости в косной и живой природе у значения *n*=5, 6. В косной природе также широко распространены значения *n*=3, 4. В отличие от косной, в живой природе *n*=3 встречено нами крайне редко, а *n*=4 хотя и более часто, но несравнимо реже, чем в косной. Частота *n*=7 во всех системах невелика, но достаточно стабильна. Частота *n*=8 меньше, но все еще стабильно наблюдается почти у каждой поверхности или сечения организма, а частота *n*=9 и более встречаются от случая к случаю. Частота связности вершин (общая валентность, ОВ=1-4) в косной и (3, 4) в живой природе наиболее велика, ОВ=5 и более встречаются значительно реже. В состав ассоциаций входят 1-7 разных элементов, причем в короны вершин лишь 1-4. Ассоциации из 6, 7 разных элементов редки.

На рис. 1 (*а*, *б*, *в*, *г*) представлены поверхности 4 организмов. Форма *n*-гонов разная: с прямыми ребрами (1*а*), слегка искривленными (1*б*), дугообразными (1*в*, 1*г*). Значение *n* равны 3-6 (1*а*), 3-5 (1*б*), 3-9 (1*в*) и 3-10 (1*г*). Связность вершин ОВ равна 3 (1*г*), 3-4 (1*а*, 1*в*), 3-10 (1*б*). Таким образом, все поверхности состоят из восьми разных видов *n*-гонов и восьми разных видов вершин. Нами были определены формулы координационных сфер-корон вершин (формула Вг последовательности *n*-гонов примыкающих к вершине и формула Вв последовательности вершин в координационной сфере вершины на рис. 1*б*), а также установлены формулы координационных сфер *n*-гонов (формула Гр последовательности *n*-гонов, примыкающих к ребрам *n*-гона и формула Гв последовательности вершин, примыкающих к *n*-гону, рис. 1*б*). В формулах в прямых скобках приводятся значения *n* ассоциаций, а также формулы ассоциаций букв, соответствующих *n*. В уголках находятся формулы ассоциаций коэффициентов. Например, ассоциации 555 соответствует формула |a|, <3>|5|, где |5| означает 5-гон, <3> - коэффициент, т.е. последовательность из трех 5-гонов, а буква |a| отображение 5-гона буквой. Ассоциации букв соответствует последовательность *n*.

1*а* - **Вг** - |a|, <3>|5|, <4>|4|, |ab|, <21>|45, 54, 56, 64, 65|, <31>|43, 45, 46, 54|, <22>|45|, |abc|, <111>|345, 356, 456|, <211>|456, 546|, |abab|, <1111>|4545|, |abac|, <1111>|4546|, |abcd|, <1111>|3546|, **Гр** - |a|, <4>|4, 5|, |ab|<31>|45, 56|, <22>|45, 46|, <41>|43, 45|, <42>|54|, |abc|<211>|456|, <221>|456|, <411>|546|, |abab|, <2111>|4545|, |ababc|, <11111>|45456|, <21111>|45456, 54543|,

1*б* **Вв** |a|, <3>|5|, |ab|, <21>|35, 56, 57, 65|, <41>|65|, <33>|65|, |abc|, <111>|345, 347, 567, 578|, <211>|567, 58.10, 756, 845|, <311>|468, 647|, |abac|, <1111>|585.10, 6768, 8485|, <1112>|5453, 6367, 8586|, <2111>|5858, 8485|, |abcd|, <2111>|3548, 6758, 7586, 8576|, <2121>|5863, 6568|, <3111>|6748, 7483|, <2211> |4573|, |ababc|<11111>|34347, 36364|, <12111>|56567|, <21111>|65657|, |abacd|, <11111>|4.10.4.3.8, 64635|, <21121>|56547|, <11221>|64657|, |abcde|, <11111>|3684.10|, |ababac|, <212111> |565658|, |abacad|, <111111>|565758|, |abacbc|, <311111>|646545|, |abcade|, <111112>|674683|, |abacade|, <1111111>|5653547|, <1121111>|5658534|, |abacbde|, <1111111>|7675634|, **Вг** - |a|, <4>|3|, <5>|3|, <6>|3|, <7>|3|, <8>|3|, |ab|, <21>|34, 43|, <31>|34|, <22>|34|, <41>|34, 43|, <32>|34|, <51>|34, 35|, <61>|34|, <71>|34|, |abc|, <111>|345|, <311>|345|, |abab|, <2111>|4343|, <2112>|4343|, |ababc|, <31111>|34345|, **Гв** - |a|, <3>|6|, |ab|, <21>|48, 53, 56, 57, 58, 5.10, 65, 68, 73, 74, 75, 76, 85|, <31>|53|, <22>|34|, <32>|43|, |abc|, <111>|345, 348, 356, 357, 358, 367, 378, 456, 457, 458, 45.10, 467, 468, 48.10, 568|, <211>|356, 357, 635|, |abac|, <1111>|3437, 4647, 5356, 5456,

6635, 8384|, |abcd|, <1111>|34.10.5, 3546, 3547, 3586, 3678|, <2111>|3567|, **Гр** |a|, <3>|3, 4|, <4>|3|, |ab|, <21>|34, 35, 43|, <31>|34, 35|, <22>|34|, <32>|43|, |abc|, <111>|345|, <211>|345|, |abab|, <1111>|3434|, |abac|, <1111>|4345|,

1*в*, **Вг** - |a|, <3>|6|, |ab|, <21>|45, 54, 56, 57, 58, 5.10, 63, 64, 65, 67, 68, 6.10, 74, 75, 76|, |abc|, <111>|456, 457, 458, 45.10, 567, 568, 56.10, 678, 67.10|, **Гр** - |a|, <4>|6|, <6>|6|, |ab|<21>, |6.10|, <31>, |57, 76|, <42>, |67|, |abc|, <211>|756|, <311>|658|, <411>|657|, <321>|647|, |abab|, <2111>|6565, 6767|, |abac|, <1111>|5458|, <2111>|6568, 676.10|, <3111>|5657, 6465|, <2211>|5658|, <3131>|5457|, |abcd|, <1111>|576.10|, <2111>|5458, 74.10.5|, <3111>|5678, 6354, 6385|, <2211>|657.10|, <3121>|5764|, |ababc|, <21111>|6565.10|, |abacd|, <11111>|5756.10|, |ababcd|, <111111>|57574|, |abacbd|, <111111>|747548|, |abacad|, <211111>|656467|, |abacdc|, <111112>|474686|, |abacde|, <112111>|585647|, |abababc|, <1111111>|5656564|, |abacbade|, <21112111>|65645637|,

1*г* - **Вг** - |a|, <3>|4, 5, 6|, |ab|, <21>|45, 46, 47, 54, 56, 57, 56, 57,58, 63, 64, 65, 67, 68, 73, 74, 75, 76, 78, 87|, <31>|45, 56|, <22>|45, 47|, |abc|, <111>|357, 378, 379, 456, 457, 458, 459, 467, 468, 479, 567, 568, 578, 579, 678, 679|, |abac|, <1111>|4346, 5456|, |abcd|, <1111>|3457, 3467, 4567, 4657, 4697|, **Гр** - |a|, <4>|5|, |ab|, <21>|47, 79|, <31>|46, 63, 76|, <22>|67|, <32>|57|, |abc|, <211>|567, 657, 758|, <311>|457, 578, 658|, <411>|456|, |abc|, <321>|548|, |abac|, <1111>|7576|, <2111>|5658, 5754|, <1124>|7875|, |abcd|, <1111>|+3546|, <2111>|5647, 6457, 7546|, <2121>|5468|, |abacd|, <11111>|45467, 65678, 68657|, <21111>|54578|, <11112>|57586, 74786, 79746|, <12111>|76745|, |abcde|, <31111>|53647, 65739|, |ababcd|, <111121>|474786|, <121111>|545464|, |abacad|, <111111>|646567|, |abacbc|, <111111>|454656, 474676|, |abcabd|, <121112>|754756|, |abcade|, <121111>|457496, 865847|, |abacade|, <1111121>|7874756|, |abacdef|, <1111111>|7576834|, |ababacade|, <111111111>|767673745|.

Все буквенные формулы, их коэффициенты, а также буквенные формулы с коэффициентами за исключением считанных единиц входят в установленные нами ранее списки. Лишь одна формула состоит из 6 разных букв, а остальные из 1-5, хотя число всех букв формулы достигает десяти. Максимальный коэффициент равен 8, но подавляющее большинство равно 1-4. Распределены разные вершины и *n*-гоны по поверхности неравномерно. Независимо от частоты встречаемости они могут быть изолированы, образовывать пары, тройки. При повышении частоты встречаемости идентичные вершины и *n*-гоны образуют небольшие скопления, ленты шириной в 2-3 *n*-гона, часто с ветвями.

При рассмотрении изоморфных примесей в минералах в таких случаях говорят о доменном (аномальном) изоморфизме. И возникает вопрос, а может ли быть не доменный изоморфизм? Могут ли зерна, вкрапления, прожилки в породах быть распределены статистически, и что под этим понимать? Совершенно очевиден ближний порядок, зависящий от концентрации.

Отдельные участки поверхностей соответствуют сеткам Кеплера-Шубникова из 4-гонов (рис.1*а*), из 3-гонов (рис. 1*б*). Но если в кристаллах 3-гоны, 4-гоны и другие *n*-гоны имеют идентичные координационные сферы, в рассмотренных нами поверхностях природа допускает больше разнообразия. Конечно, оно возможно и в кристаллах, кристаллических структурах минералов, но там оно ограничено, и его можно просчитать [2]. Но можно ли найти принципы, которые позволили бы рассчитать нерегулярные поверхности?

Хотя размер ребер *n*-гонов не превышает некоторую величину, минимальная их величина может быть сколь угодно мала, т.е. вырождена, что недопустимо для межатомных расстояний. Когда общее ребро двух *n*-гонов мало, то возникает вопрос, не нужно ли рассматривать данное ребро, как вершину. В последнем случае значение *n* каждого из двух *n*-гонов уменьшается на единицу, а в противоположном случае увеличивается на единицу. Таким образом, 4-связная вершина преобразуется в две трехсвязные и наоборот. При 4-связной вершине возможно 2 варианта, так как в этой вершине сходятся две пары крест накрест расположенных *n*-гонов. Ребро может образоваться либо у первой, либо у второй пары. Образование двух пар приводит к образованию нового *n*-гона. Возникает возможность маневра. При уменьшении *n*-гонов вершины ребер сближаются, и возникает россыпь 5-гонов и 4-гонов. Проследить подобные явления в процессе представляет немалый интерес. Вершины с большой связностью, например, 8 (1*б*) фактически занимают некоторую область, в пределах которой разделены на части, а части слегка раздвинуты. Таким образом, создается система достаточно подвижных связей. Вместе с тем появляется проблема определения значения *n*, так как оно не всегда однозначно. Должен быть критерий, определяющий с какого момента считать ребро точкой, или точку ребром.

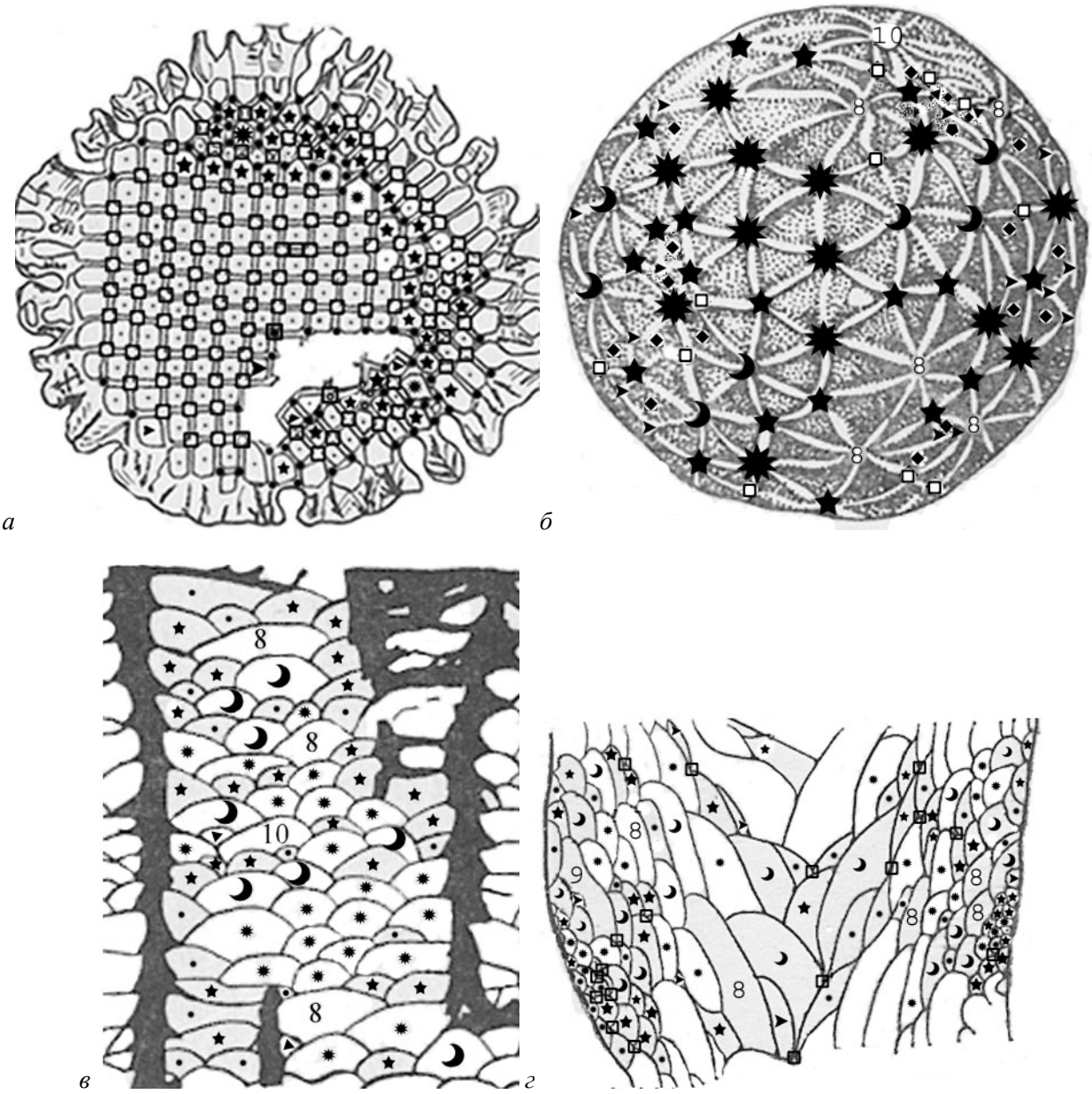

Рис. Поверхности организмов. Обозначения связностей *n*-гонов и вершин: Треугольник – 3, ромб (*б*), точка (*а*, *в*, *г*), квадрат – 4, звезда – 5, солнце – 6, месяц – 7, цифры – 8, 9, 10

Формулы корон составлены из ассоциаций фундаментальных модулей (выделены полужирно) и более сложных ассоциаций состоящих из фундаментальных модулей (в квадратных и других скобках): a, [ab], [**abab**], /[abab]c/, [abab]d, [abab]cd, /[abab][abc]/, /[ab{ab]ac}/, [**abac**], [abac]ad, [abac]bc, [abac]bd, [abac]dc, [abac]de, /[abac][ade]/, [abac]bde, [abac]def, [abac]b[ade], [ab/{ab]ac}[ade]/, [**abc**], [abc]d, [abc]de, [abc]abd, [abc][ade],

Для сравнения буквенные формулы последовательностей слоев в цеолитах представляем в виде ассоциаций модулей. Звездочкой помечены модули и их ассоциации, установленные в формулах корон: [ab]*, [abac]*, [ababac]*, 8-[ababac]*ac, 10-[abac]*[abc]*[abc]*, 12-[ababac]*b[ababc]*, 14-[ababac]*bacac[abc]*, [ab]*[ababac]*d/[abab][abc]/*.

Определены формулы составов для всех установленных формул корон. Цифры размещены от большей к меньшей. Звездочкой помечены наборы, которых нет в списке формул коэффициентов букв последовательностей: |a|{3, 4, 5, 6, 7, 8}, |ab|{21, 31, 22, 41, 32, 51, 42, 33, 61, 71}, |abc|{111, 211,

311, 221, 411, 321, 222*, 421*, 611*, 521*, 431*, 422*, 331*}, |abcd|{1111, 2111, 3111, 4111*, 2211, 3211, 2221*, 3221*}, |abcde|{11111, 21111, 31111, 22111, 41111*, 32111, 42111, 43111}, |abcdef|{211111}. Приводим для сравнения составы буквенных формул цеолитов {11*, 211, 321, 422, 433*, 552*, 644*, 7621*}. Звездочкой помечены формулы составов, отсутствующие в списке формул составов корон. Список формул коэффициентов букв последовательностей (от большей цифры к меньшей), отличается от списка составов мало, но принципиально. В списке полужирно выделены суммы коэффициентов (общая валентность). Звездочкой помечены ассоциации отсутствующие в списке составов корон: **3** - <3, 21, 111>, **4** - <4, 31, 22, 211, 1111>, **5** –<5, 41, 32, 311, 221, 2111, 11111>, **6** –<6, 51, 42, 33, 411, 321, 3111, 2211, 21111, 111111*>, **7** –<7, 61, 3211, 31111, 22111, 211111, 1111111*>, **8** –<8, 71, 4211*, 3311*, 311111*, 221111*, 2111111*>, **9** –<111111111*>, **10** –<22111111*>. Коэффициенты последовательностей слоев цеолитов состоят из 2*, 4, 6, 8*, 10*, 12*, 14*, 16* единиц. Помеченные звездочкой последовательности отсутствуют в приведенном списке коэффициентов корон.

Итак, несмотря на многообразие определенных нами формул ассоциаций, все они закономерно вкладываются в ранее установленную систему формул. Это обусловлено тем, что возможности локальной координации жестко ограничены числом разных элементов координационной сферы, которое равно 1-5 и крайне редко 6, 7. Модель применима к последовательностям парагенезисов, слоев в колонках и других элементов.

Литература

1. *Смирнова Н.Л.* / Stable sequences in crystallography. // Система. Планета Земля. Матер. XIII научного семинара. М., РОО «Гармония в строении Земли и планет», 2005. С. 63–73.

2. *Степенщиков Д.Г.* Общий подход к исследованию реальных форм кристаллов на примере альмандина Западных Кейв. // Геология и минерагения Кольского региона. Труды Всероссийской научной конференции. Апатиты. 2007. С. 194–197.

Проблемы происхождения расслоенных интрузий палеопротерозоя по данным изотопных исследований

Смолькин В.Ф.[1], Тессалина С.П.[2]

[1] Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва, vsmolkin@sgm.ru
[2] Laboratoire de Géochimie et Cosmochimie, IPG de Paris, France

1. Расслоенные интрузии Кольско-Лапландско-Карельской провинции Балтийского щита характеризуются высокой степенью геолого-геофизической изученности, в то же время многие вопросы их происхождения остаются нерешенными или дискуссионными. Это такие вопросы, как составы мантийного субстрата и первичных магм, процессы их взаимодействия с веществом мантии и коры, характер генетических взаимоотношений расслоенных интрузий с одновозрастными вулканитами и многие другие.

2. На основе обобщения геолого-петрологических данных, результатов U-Pb анализа циркона и Sm-Nd анализа пород и породообразующих минералов выделяются две группы расслоенных интрузий и комагматических им даек: более ранняя (2530–2470 млн. лет) Кольская, и более поздняя (2450–2430 млн. лет) Финско-Карельская. Синхронно со второй группой были сформированы бескорневые интрузии так называемого “друзитового комплекса” Западного Беломорья –2460–2434 млн. лет. Крупные массивы габбро-анортозитов, для которых изотопные данные предполагают генетическую связь с расслоенными интрузиями, также являются разновозрастными, сформированными в пределах 2505–2467 млн. лет (Главный хребет) и 2462–2444 млн. лет (Лапландско-Колвицкий гранулитовый пояс).

3. Формирование расслоенных интрузий можно связать с подъемом, как минимум, двух мантийных плюмов или суперплюмов, разделенных интервалом в 20–30 млн. лет. На сегодня отсутствуют прямые доказательства существования этих плюмов в пределах провинции в течение раннего палеопротерозоя на изотопном или геохимическом уровне, поэтому плюмовая модель остается до настоящего времени гипо-