

УДК 551.14:551.71 / 72

МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ ДОКЕМБРИЯ С УЧЕТОМ ЭВОЛЮЦИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАНТИИ*

Е. В. Мартынов^{1,2}, Н. Е. Козлов^{1,2}, Н. О. Сорохтин^{1,2,3},
Т. С. Марчук¹, Е. Н. Фомина¹

¹ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН

²Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета

³Институт океанологии РАН

Аннотация

Представлен метод реконструкции геодинамических обстановок формирования комплексов горных пород в докембрии с учетом эволюции химического состава мантии. Для этого использован эволюционный параметр (относительная масса ядра), введенный В. П. Кеонджаном и А. С. Мониным в целях описания эволюции химического состава мантии Земли. Кроме того, предложен метод линейного упорядочения геологических объектов на основе заданного отношения частичного порядка, что позволило существенно расширить круг решаемых задач.

Ключевые слова:

реконструкция, геодинамические обстановки, частичный порядок, линейный порядок, докембрий, мантия.

A RECONSTRUCTION METHOD FOR GEODYNAMIC FORMATION CONDITIONS IN PRECAMBRIAN COMPLEXES CONSIDERING EVOLUTION OF THE MANTLE CHEMICAL COMPOSITION

E. V. Martynov^{1,2}, N. E. Kozlov^{1,2}, N. O. Sorokhtin^{1,2,3},
T. S. Marchuk¹, E. N. Fomina¹

¹ Geological Institute of the KSC of the RAS

² Apatity Branch of the Murmansk State Technical University

³ P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS

Abstract

The paper presents a reconstruction method for geodynamic formation conditions of rock complexes in the Precambrian, which takes into account the evolution of the mantle chemical composition. An important feature of this method is in usage of an evolutionary parameter (the relative nuclear mass), introduced by V. P. Keondzhan and A. S. Monin for the purpose of describing the evolution of the Earth's mantle chemical composition. The method is also provided for linear ordering of geological objects, based on a given partial order relation, which allows to substantially expand the range of solvable problems.

Keywords:

reconstruction, geodynamic conditions, partial order, linear order, Precambrian, mantle.

В данной работе представлен новый подход к реконструкции геодинамических обстановок формирования комплексов докембрия, основанный на геохимических данных и определяющий достаточно высокую надежность результатов этой реконструкции, а именно распознавание геодинамических обстановок с учетом эволюции химического состава мантии. Использование этого метода имеет ограничение: он достаточно надежно работает

*Работа выполнена в ФГБУН Геологическом институте Кольского научного центра РАН по государственному заказу № 0231-2015-0007.

при реконструкции режимов на объектах протерозоя (для объектов архея требуются дополнительные исследования). Метод предполагает использование эволюционного параметра (относительную массу ядра), введенного В. П. Кеонджаном и А. С. Мониным [1] для описания эволюции химического состава мантии Земли, а именно:

$$x = M_c / (C_0 * M),$$

где $M = 5.977 * 10^{27} \text{ г}$ — масса Земли; $C_0 = 0.376$ суммарная концентрация «ядерного» вещества в Земле ($\text{Fe} + \text{FeO} + \text{FeS} + \text{Ni}$) и M_c — масса ядра.

Определить значение эволюционного параметра для фанерозоя и протерозоя можно из уравнения: $dx / dt = 1 / \mu * (C_0 * (1-x) / (1 - C_0 * x) - C^*) * x$. Здесь C^* — значение предельной концентрации насыщения окислами железа (в пересчете на Fe_2O) твердых силикатных растворов на подошве мантии, а $\mu = K_c / 4\pi * \gamma$, где K_c — коэффициент, характеризующий скорость поступления ядерного вещества из мантии в ядро при бародиффузионном механизме дифференциации земного вещества.

В результате исследований авторов настоящей статьи выяснилось, что решение этого уравнения можно аппроксимировать квадратичной функцией (рис. 1) с индикатором адекватности $R^2 = 0.9999$:

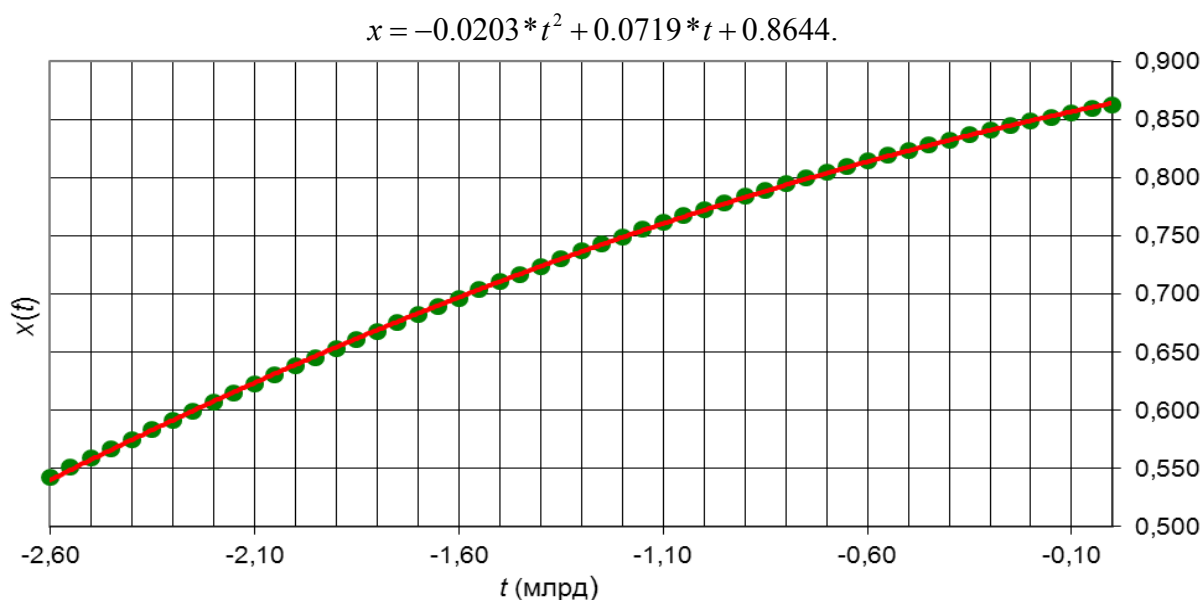


Рис. 1. Результат аппроксимации квадратичной функцией (отсчет времени идет от современности, т. е. от 0)

Коротко метод можно описать следующим образом. Исследуемый объект: $X^* = \{x_i + \beta * v\}$ ($i = 1, \dots, n$), где v — вектор «смещения» химического состава мантии во времени; β — некоторый коэффициент, который характеризует отличия по химизму состава мантии от пород основного состава в выбранный момент времени.

Так как β зависит от времени, его значение на данном этапе знаний предлагается выявлять в интерактивном режиме. Принцип определения значения β : постепенное увеличение (уменьшение) его значения, пока не произойдет «скачок» при выборе решения.

В качестве иллюстрации приведем пример результата (табл.) реконструкции геодинамической обстановки формирования протолитов пород Северной Печенги и гранулитовых поясов Евразии. Отчетливо видно, что для породных ассоциаций Северной Печенги он ближе к рифтовому режиму (проторифтогенная природа) и отличается от островодужных обстановок (юные дуги), в то время как для гранулитовых ассоциаций Евразии картина обратная. При этом различие расстояний от Северной Печенги и гранулитов Евразии до юных дуг и рифтов, соответственно, статистически значимо.

Необходимо подчеркнуть, что полученный результат аналогичен выводам об обстановках дометаморфического формирования данных структур, сделанным с использованием независимых геолого-петрогеохимических методов [2, 3].

Таблица

Средние расстояния от метабазальтов Северной Печенги и гранулитовых поясов Евразии до базальтов-эталонов и значения критерия Пури — Сена — Тамуры для различных уровней значимости

Уровни значимости	Структуры (эталоны)	Северная Печенга	Гранулитовые пояса	Значение критерия Пури — Сена — Тамуры
$\alpha = 0.01$	Рифты	2.16		6.88
	Юные дуги		2.71	
$\alpha = 0.05$	Рифты	2.18		6.32
	Юные дуги		2.71	
$\alpha = 0.1$	Рифты	2.21		8.46
	Юные дуги		2.78	

Примечание. Средние расстояния указаны только до ближайшего эталона; сравнение средних для соответствующего уровня значимости проводилось с использованием критерия Пури — Сена — Тамуры.

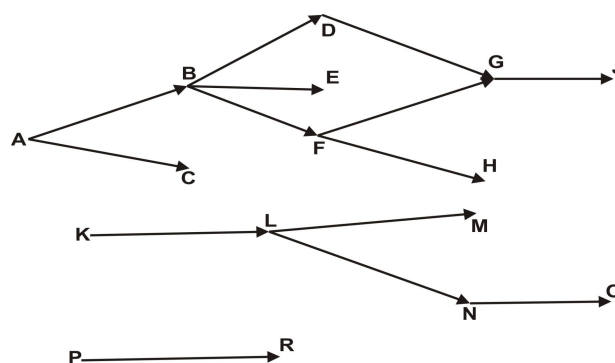


Рис. 2. Пример орграфа, реализующего частичный порядок ($A \rightarrow B$, $A \rightarrow C$, $B \rightarrow E$, $B \rightarrow D$, $B \rightarrow F$, $D \rightarrow G$, $F \rightarrow H$, $G \rightarrow J$, $K \rightarrow L$, $L \rightarrow M$, $L \rightarrow N$, $N \rightarrow O$, $P \rightarrow R$; здесь знак \rightarrow означает отношение предшествования первой структуры второй)

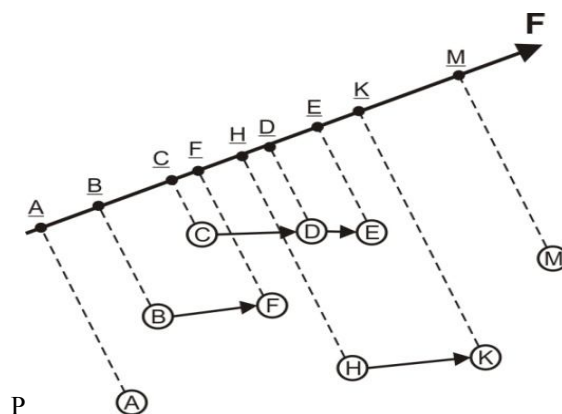


Рис. 3. Поиск линейного тренда на основе заданного частичного порядка для совокупности исследуемых геологических объектов

Другой проблемой, часто стоящей перед исследователями раннедокембрийских комплексов, является поиск линейного упорядочения геологических объектов (например, по времени формирования протолитов слагающих их пород) на основе заданного отношения частичного порядка. Ее решение позволяет существенно расширить круг поставленных задач и облегчается тем, что в ряде случаев есть возможность задать на множестве геологических структур (A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N, O, P, R) отношение частичного порядка (рис. 2). При этом каждая структура охарактеризована выборкой химических составов слагающих ее горных пород.

Чтобы перейти от частичного порядка к линейному, был предложен следующий метод: находится линейный тренд F (рис. 3) из условия наилучшего (статистически значимого относительно рангового критерия Пури — Сена — Тамуры) разделения совокупностей проекций химических составов пород изучаемых структур (многомерных величин) на этот тренд.

Указанный метод использован нами ранее при решении конкретной геологической задачи поиска возможного тренда изменения состава архейских пород от более молодых к более древним структурам Кольского п-ова [4]. Для лучшего понимания возможностей предложенной методики вкратце приведем результаты тех исследований. Исходя из геологической ситуации, были приняты следующие граничные условия.

1. Пояс Ура-губа — Колмозеро — Воронья более молодой по отношению к Мурманскому и Кольско-Норвежскому доменам, поскольку его породные ассоциации на дометаморфическом этапе формировались в результате взаимодействия последних на границе между ними [5].

2. Лапландский гранулитовый пояс более молодой по отношению к Лоттинскому домену и Беломорскому подвижному поясу, в результате взаимодействия которых и происходило его заложение как вулканогенно-осадочного комплекса [2].

3. Породы древнейших комплексов Карелии, Канады и Гренландии, исходя из имеющихся датировок, сформированы, в сравнении с архейскими метаморфитами Кольского региона, на более раннем этапе развития Земли.

В результате исследований авторов был найден тренд F_1 , характеризующий изменения состава метабазитов, при котором одновременно выполняются сформулированные выше условия, причем отличия пород для каждой пары расположенных рядом структур должны быть статистически значимыми при 5 %-м уровне значимости (рис. 4).

Следует подчеркнуть, что поиск тренда F_1 базировался на информации о составе лишь тех объектов, относительный возраст которых, исходя из геологических данных, устанавливается достаточно определенно. Взаимное расположение на нем комплексов, перечисленных в различных условиях задачи, а также других структур, не задавалось.

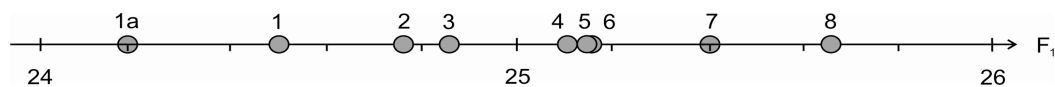


Рис. 4. Положение точек составов архейских метабазитов Кольского региона в сравнении с образованиями Карелии, Канады, Гренландии на временном тренде $F_1 = 0.34\text{SiO}_2 - 0.46\text{TiO}_2 + 0.25\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.19\text{Fe} + 0.19\text{MnO} - 0.07\text{MgO} + 0.38\text{CaO} - 0.24\text{Na}_2\text{O} - 0.57\text{K}_2\text{O}$: 1a — древнейшие образования Карелии, Канады, Гренландии; 1–8 — домены Кольского региона: 1 — Кейвский, 2 — Лоттинский (аллареченский и нотозерский комплексы), 3 — Чапомский, Терский и частично Умбинский, 4 — Кольско-Норвежский, 5 — Мурманский, 6 — Беломорский подвижный пояс; 7–8 — архейские пояса Кольского региона: 7 — Лапландско-Колвицкий, 8 — Титовско-Колмозерский

Таким образом, решив данную задачу, имеем возможность в дальнейшем найти на выявленном тренде место для любого объекта, который ранее не использовался в качестве основы для его поиска.

Предложенные методы расширяют возможности использования данных о вещественном составе метаморфитов раннедокембрийских комплексов для познания древнейшей истории Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кеонджян В. П., Монин А. С. Расчет эволюции недр планет // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1976. № 4. С. 3–13.
2. Козлов Н. Е. Вещественный состав метаморфических комплексов высокобарных гранулитовых поясов и проблема формирования их протолитов (на примере лапландских гранулитов): автореф. дис. ... д. г.-м. н. Спб., 1995. 36 с.
3. Магматизм, седиментогенез и геодинамика Печенгской палеорифтогенной структуры / В. Ф. Смолькин [и др.]. Апатиты, 1995. 256 с.
4. Некоторые черты петрогеохимической эволюции архейских метабазитов Кольского региона / Н. Е. Козлов [и др.]. // Материалы междунар. науч.-технич. конф. «Наука и образование-2014» (Мурманск, 24–28 марта 2014 г.). Мурманск: МГТУ, 2014. С. 848–852.
5. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС: в 2 т. + комплект цветных приложений. М.: ГЕОКАРТ : ГЕОС, 2010. Т. 1. 408 с. + 48 цв. вкл.; Т. 2. 400 с. + 32 цв. вкл. (РОСНЕДРА, РАН, ГЕОКАРТ).

Сведения об авторах

Мартынов Евгений Васильевич — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН, доцент АФ МГТУ

E-mail: mart@geoksc.apatity.ru

Козлов Николай Евгеньевич — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией геологии и геодинамики Арктики Геологического института КНЦ РАН, директор АФ МГТУ

E-mail: kozlovne@afmgtu.apatity.ru

Сорокhtин Николай Олегович — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института океанологии РАН, ведущий научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН

E-mail: nsorokhtin@mail.ru

Марчук Татьяна Сергеевна — инженер 1-й категории Геологического института КНЦ РАН

E-mail: marchuk@geoksc.apatity.ru

Фомина Екатерина Николаевна — младший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН, аспирант

E-mail: mart@geoksc.apatity.ru

Author Affiliation

Eugene V. Martynov — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS, Associate Professor at the Apatity Branch of the Murmansk State Technical University

E-mail: mart@geoksc.apatity.ru

Nicholas E. Kozlov — Dr. Sci. (Geology & Mineralogy), Professor, Head of Laboratory at the Geological Institute of the KSC of the RAS, Director of the Apatity Branch of the Murmansk State Technical University

E-mail: kozlovne@afmgtu.apatity.ru

Nicholas O. Sorokhtin — Dr. Sci. (Geology & Mineralogy), Chief Researcher of the P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Leading Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: nsorokhtin@mail.ru

Tatyana S. Marchuk — Senior Engineer of the Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: marchuk@geoksc.apatity.ru

Ekaterina N. Fomina — Junior Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS, Postgraduate

E-mail: mart@geoksc.apatity.ru

Библиографическое описание статьи

Метод реконструкции геодинамических обстановок формирования комплексов горных пород докембрия с учетом эволюции химического состава мантии / *Е. В. Мартынов [и др.]* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 3 (26). — С. 22–26.

Reference

Martynov Eugene V., Kozlov Nicholas E., Sorokhtin Nicholas O., Marchuk Tatyana S., Fomina Ekaterina N. A Reconstruction Method for Geodynamic Formation Conditions in Precambrian Complexes Considering Evolution of the Mantle Chemical Composition. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 3 (26), pp. 22–26. (In Russ.).