

УДК 551.82:552.42:552.11(571)

## АРХЕЙСКАЯ РАННЯЯ СИАЛИЧЕСКАЯ КОРА СИБИРСКОГО КРАТОНА: ЕЕ СОСТАВ И ГЕНЕЗИС МАГМАТИЧЕСКИХ ПРОТОЛИТОВ

© 2009 г. Г. М. Вовна, М. А. Мишкин, член-корреспондент РАН В. Г. Сахно, Н. В. Зарубина

Поступило 19.05.2009 г.

Под ранней сиалической корой обычно понимают первые блоки сиала, сформировавшиеся на поверхности Земли за счет плавления первичной коматиит-базальтовой коры. Считается, что ранняя сиалическая кора входит в состав нижней части континентальной коры (нижняя кора) архейских кратонов и обрамляющих их складчатых областей. При общей мощности континентальной коры 40–70 км в платформенных и складчатых областях нижняя кора составляет нижние 25–30 км коры и представлена гранулитовыми комплексами, метаморфизованными в глубинных условиях. Установлено, что верхняя сиалическая часть нижней коры представлена гранулитами среднего и кислого составов, а нижняя мафическая — гранулитами основного состава. Сведения о вещественном составе сиалической части нижней коры можно получить при изучении глубинных гранулитовых комплексов, перемещенных в верхние горизонты земной коры. Сведения о мафическом основании нижней земной коры дает изучение ксенолитов из кимберлитов и базальтовых лав [1, 2 и др.]. В настоящей работе речь пойдет только о верхней, сиалической части нижней континентальной коры.

Архейская ранняя сиалическая кора Сибирского кратона доступна изучению в выходящих на поверхность глубинных блоках фундамента Анабарского, Алданского щитов и Шарыжалгайского поднятия (рис. 1), породы которых претерпели метаморфизм в условиях гранулитовой фации при  $T = 850\text{--}950^\circ\text{C}$  и  $P = 9\text{--}11$  кбар [4–6].

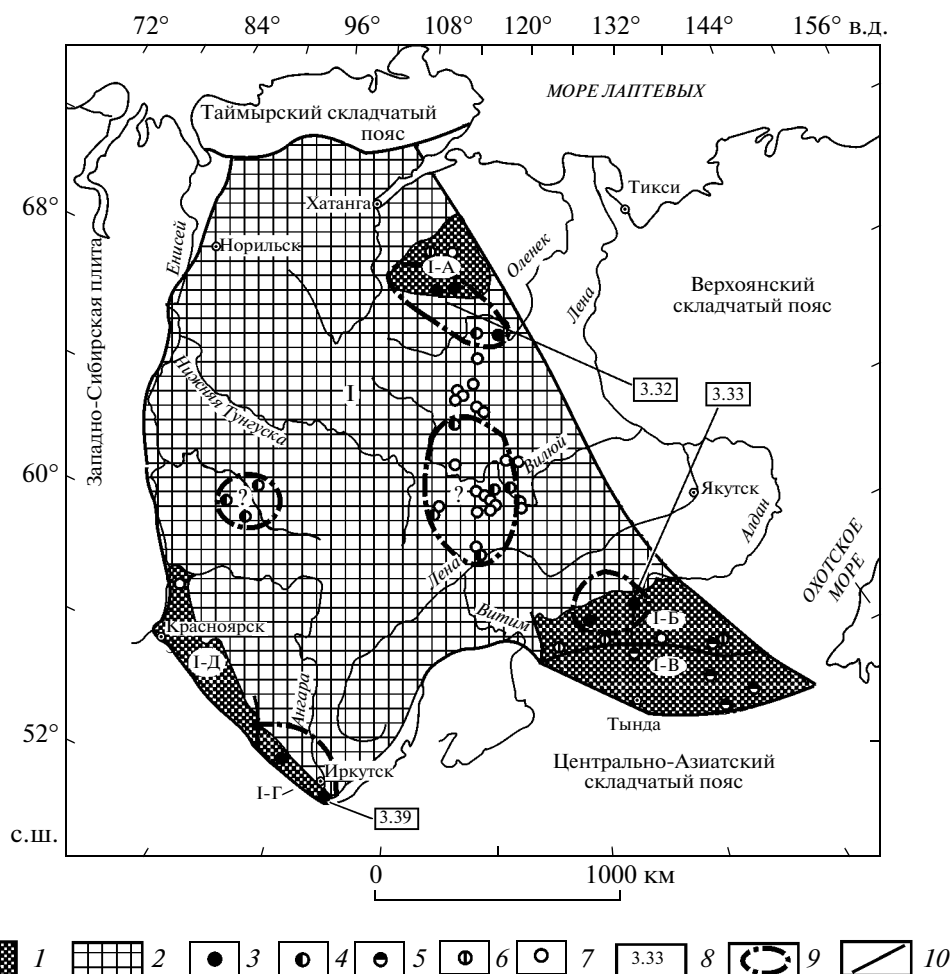
Собственные исследования авторов и литературные материалы свидетельствуют о том, что основание разрезов глубинных гранулитовых комплексов указанных выше структур сложено породами метабазит-эндербитовой ассоциации. Основным объемом пород этой ассоциации представлен гиперстеновыми плагиогнейсами — эндербитами. Толща эндербитов содержит отдельные прослои (от 1 м до нескольких десятков метров мощности), линзы, будины сланцев основного (двупироксеновые,

двупироксен-амфиболовые) и ультраосновного (оливин-двупироксеновые) составов и амфиболитов, содержание которых в общем объеме пород не превышает 10–15%. Отмечаются единичные маломощные прослои кварцитов и гранатосодержащих плагиогнейсов. На Анабарском щите метабазит-эндербитовой ассоциации соответствует далдынская серия [4], на Алданском щите — эндербитовая толща Нимнырского блока [7, 8] и нижняя (эндербитовая) толща гранулитового комплекса Сутамского блока [6], на Шарыжалгайском поднятии — нижняя эндербитовая толща шарыжалгайского комплекса Иркутного блока [5, 9].

Химические составы главных разновидностей пород метабазит-эндербитовой ассоциации указанных структур приведены на классификационной диаграмме  $\text{Al}-(\text{Fe} + \text{Ti})-\text{Mg}$  (рис. 2), а средний состав эндербитов в табл. 1. Петрохимические особенности пород свидетельствуют о том, что протолиты гранулитов метабазит-эндербитовой ассоциации представлены вулканитами известково-щелочной и коматиит-толеитовой серий. Среди исходных вулканитов известково-щелочной серии преобладают андезиты и дациты (гиперстеновые плагиогнейсы). Величины  $\varepsilon_{\text{Nd}}(T)$  эндербитов метабазит-эндербитовой ассоциации раннего и позднего архея имеют положительные значения, что свидетельствует об ювенильном происхождении их протолитов. Вулканиты коматиит-толеитовой серии представлены коматиитами, коматиитовыми и толеитовыми базальтами (двупироксен-оливиновые, двупироксеновые, двупироксен-амфиболовые сланцы, амфиболиты) (рис. 2). Замечательной особенностью установленного исходного состава нижней части разрезов глубинных гранулитовых комплексов является переслаивание исходных вулканитов андезит-дацитовой ассоциации известково-щелочной серии и коматиит-толеитовой серии. Эта особенность исходного разреза имеет важное значение для выбора геотектонической модели формирования вулканических комплексов ранних стадий становления сиалической земной коры.

Авторы полагают, что указанные выше особенности исходного состава нижних частей разрезов глубинных гранулитовых комплексов могут быть

Дальневосточный геологический институт  
Дальневосточного отделения  
Российской Академии наук, Владивосток

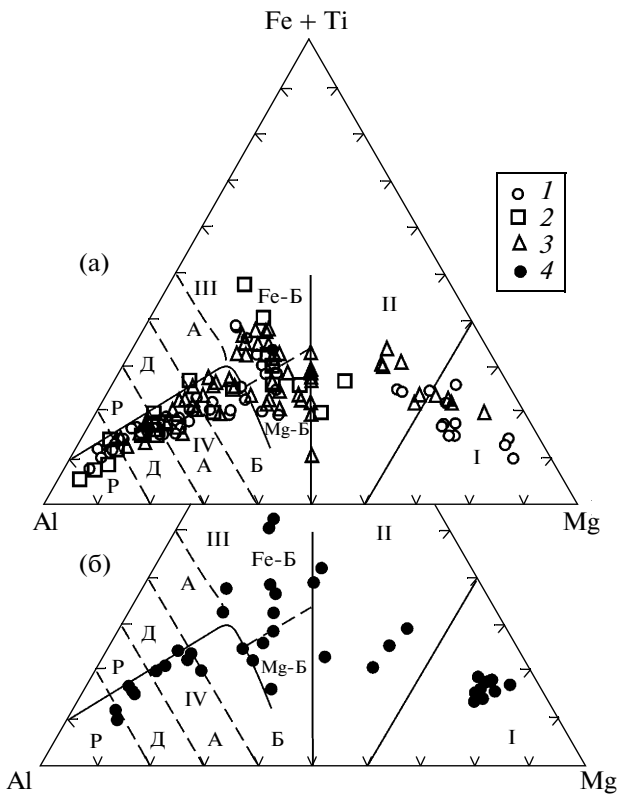


**Рис. 1.** Схема распространения архейской ранней сиалической коры Сибирского кратона, составлена по [3] с изменениями. 1 – архейская кора, вскрытая на щитах и поднятиях; 2 – архейская кора, перекрытая платформенным чехлом; 3–7 – архейские изотопные датировки возраста магматических протолитов метаморфических комплексов: 3, 4 – раннеархейские (3 – U–Pb-метод, 4 – Sm–Nd-метод, модельные датировки), 5–7 – позднеархейские (5 – U–Pb-метод, 6 – Sm–Nd-изохронный метод, 7 – Sm–Nd-метод, модельные датировки), 8 – древнейшие раннеархейские изотопные датировки протолитов метабазит-эндербитовой ассоциации (метод SHRIMP, млрд. лет); 9 – предполагаемые области распространения раннеархейской сиалической коры; 10 – линии разломов. Области фундамента, вскрытые на поверхности: 1-А, 1-Б – Анабарский и Алданский щиты соответственно, 1-В – Становая складчатая область, 1-Г, 1-Д – Шарыжалгайское и Канско-Бирюсинское поднятия соответственно.

удовлетворительно объяснены на основе концепции мантийных плюмов, ведущая роль которых в архейских тектоно-магматических процессах развития Земли подчеркивалась ранее многими исследователями [11 и др.]. В работе [6] представлена плюмовая модель формирования ранней сиалической коры на основе детального исследования петрохимических и геохимических особенностей пород глубинного гранулитового комплекса юга Алданского щита.

Представленная петрологическая модель формирования ранней сиалической коры включает две стадии. Первая стадия связывается с началом подъема мантийного плюма и его декомпрессионного плавления при варьирующих условиях  $P$ ,  $T$  и степеней плавления. В эту стадию происходи-

ло отделение коматиитовых расплавов от плюма. Источником плюма служила деплетированная верхняя мантия. Во вторую стадию формировались вулканы андезит-дацитовой ассоциации в результате частичного плавления первичной базальтовой коры. Метаандезиты и метадациты изученных глубинных гранулитовых комплексов обеднены тяжелыми РЗЭ. Это требует присутствия в составе рестита граната, равновесного с исходным расплавом. Последнее означает, что процессы формирования андезитовых и дацитовых магм должны были происходить при давлении не менее 10 кбар, т.е. при мощности первичной базальтовой коры как минимум 25 км. Согласно имеющимся расчетам, теплогенерация в раннем архее была примерно в три раза выше со-

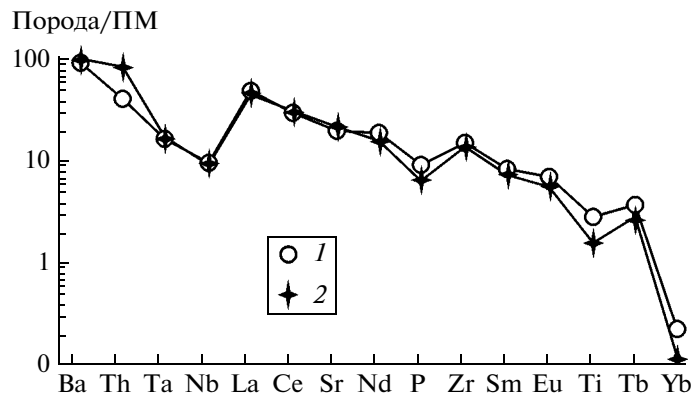


**Рис. 2.** Классификационная диаграмма Al–(Fe + Ti)–Mg (ат. %). Составы гранулитов метабазит-эндербитовой ассоциации: а – раннего архея Анабарского (1), Алданского (2) щитов и Шарыжалгайского поднятия (3), б – позднего архея юга Алданского щита (4). I – коматииты, II – коматиитовые и высокомагнезиальные базальты, III, IV – вулканиты толеитовой (III) и известково-щелочной (IV) серий; P – риолиты, Д – дациты, А – андезиты, Б – базальты (Fe-Б, Mg-Б – высокожелезистые и магнезиальные соответственно).

ной мощности первичной базальтовой коры вполне могли реализоваться требуемые условия по давлению при выплавлении расплавов среднего и кислого составов. Метаморфизм амфиболитовой фации, а затем частичное плавление первичной базальтовой коры происходили под влиянием тепла поднимающихся мантийных плюмов и отделявшихся от них магм. Мантийные плюмы сопровождалась ореолами восстановленного флюида (H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>), который по мере подъема охлаждался с постепенным трансформированием в углекисло-водный, что способствовало понижению температуры плавления первичной базальтовой коры. Излияниями на поверхность андезитов и дацитов – производных частичного плавления первичной базальтовой коры, а также коматиитов и базальтов – производных частичного плавления мантийных плюмов, были сформированы протолиты метабазит-эндербитовой ассоциации. Указанный выше комплекс вулканитов формировал на поверхности архипелага вулканических островов, которые, разрастаясь при дальнейшем функционировании магматической деятельности плюмов, превращались в первые сиалические микропротоcontiненты.

Существующие в настоящее время изотопные датировки возраста протолитов архейских метаморфических комплексов Сибирского кратона позволяют сделать следующие выводы. В раннем архее 3.3–3.4 млрд. лет назад на месте Сибирского кратона (в современных географических координатах) существовало, по крайней мере, три области проявления древнего сиалического магматизма, где формировались первые микропротоcontiненты будущего Сибирского кратона. Одна область располагалась в пределах юга нынешнего Анабарского щита, где возраст протолитов метабазит-эндербитовой ассоциации составляет 3.32 млрд. лет (метод SHRIMP) [4]. Вторая область соответствовала Нимнырскому блоку нынешнего Алданского

временной, что способствовало формированию мощной первичной базальтовой коры, толщина которой могла достигать 60 км [12]. При подоб-



**Рис. 3.** Мультиэлементная диаграмма для архейских эндербитов метабазит-эндербитовой ассоциации Сибирского кратона. 1 – архейские эндербиты Сибирского кратона; 2 – состав архейских серых гнейсов фундамента платформ [10]. Нормировано по составу примитивной мантии (ПМ).

**Таблица 1.** Средний химический состав архейских эндербитов метабазит-эндербитовой ассоциации Сибирского кратона

Компонент	1	2
SiO <sub>2</sub>	65.23	69.79
TiO <sub>2</sub>	0.61	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.88	15.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.71	3.12*
FeO	2.69	
MnO	0.07	0.05
MgO	2.47	1.18
CaO	4.51	3.19
Na <sub>2</sub> O	4.01	4.88
K <sub>2</sub> O	1.63	1.76
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.13
Ba	637	690
Th	3.34	6.9
Ta	0.67	0.71
Nb	6.67	6.4
La	34.23	32
Ce	54.18	56
Sr	410	454
Nd	25.75	21.4
Zr	169	152
Sm	3.63	3.3
Eu	1.15	0.92
Tb	0.41	0.31
Yb	1.02	0.55

Пимечание. Оксиды – мас. %, элементы-примеси – г/т. Все анализы приведены к сумме главных петрогенных оксидов 100%. 1 – средний химический состав архейских эндербитов метабазит-эндербитовой ассоциации Сибирского кратона; 2 – средний состав архейских серых гнейсов фундамента платформ [10].

\* Все железо в форме Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

щита с возрастом протолитов эндербитов 3.33 млрд. лет (метод SHRIMP) [13]. Третьей области соответствует Шарьжалгайский выступ (Иркутский блок) юго-запада Сибирского кратона, где распространена метабазит-эндербитовая ассоциация с возрастом протолитов 3.39 млрд. лет (метод SHRIMP) [14]. Кроме того, предположительно выделены еще две области проявления раннеархейского сиалического магматизма (на рис. 1 отмечены знаком ?) на основании Sm–Nd-модельных датировок пород погребенного фундамента по керну скважин [15].

Предполагается, что под этими областями в раннем архее существовали долгоживущие плюмы, с магматической деятельностью которых связаны проявления самого древнего вулканизма на востоке будущего Азиатского континента. Расте-

канием этих плюмов от их изначальных центров было обусловлено дальнейшее распространение уже в позднем архее вулканического среднего и кислого магматизма, завершившего формирование ранней сиалической коры будущего Сибирского кратона (рис. 1). Имеющиеся данные по изотопному датированию протолитов архейских метаморфических комплексов, приведенные на рис. 1, позволяют полагать, что большая часть ранней сиалической коры Сибирского кратона была сформирована в позднем архее. Примером позднеархейской метабазит-эндербитовой ассоциации является гранулитовый комплекс Сутамского глубинного блока юга Алданского щита [6]; по петрохимическим особенностям слагающих ее пород она сходна с раннеархейской метабазит-эндербитовой ассоциацией Сибирского кратона (рис. 2б).

На мультиэлементной диаграмме (рис. 3) архейские эндербиты метабазит-эндербитовой ассоциации Сибирского кратона обладают сходной топологией графика с серыми гнейсами фундамента архейских щитов [15], для которых характерны минимумы Ta, Nb, P и Ti.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 379 с.
2. *Rudnic R.L., Fountain D.M.* // *Revs Geophys.* 1995. V. 33. P. 267–309.
3. *Rosen O.M., Condie K.C., Natapov L.M., Nozhkin A.D.* *Archean Crustal Evolution.* Amsterdam: Elsevier, 1994. P. 411–459.
4. *Розен О.М., Андреев В.П., Белов А.Н. и др.* Архей Анабарского щита и проблемы ранней эволюции Земли. М.: Наука, 1988. 253 с.
5. *Кузнецова Ф.В.* Гранулитовый комплекс Юго-Западного Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1987. 182 с.
6. *Вовна Г.М.* Геохимия архейских гранулитов юга Алданского щита. М.: Наука, 2007. 107 с.
7. *Другова Г.М., Бушмин С.А., Харитонов А.М.* В кн.: Ранний докембрий Алданского массива и его обрамления. Л.: Наука, 1985. С. 35–52.
8. *Дук В.Л., Кицул В.И., Петров А.Ф. и др.* Ранний докембрий Южной Якутии. М.: Наука, 1986. 276 с.
9. *Ножкин А.Д., Туркина О.М.* Геохимия гранулитов канского и шарьжалгайского комплексов. Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1993. 219 с.
10. *Martin H.* *Archean Crustal Evolution.* Amsterdam: Elsevier, 1994. P. 205–259.
11. *Шарков Е.В., Богатиков О.А., Красивская И.С.* // *Геотектоника.* 2000. № 2. С. 3–25.
12. *Abbot D.H., Burgess L., Longhi J.* // *J. Geophys. Res.* 1994. V. 99. P. 13835–13850.
13. *Nutman A.P., Chernyshev I.V., Baadsgaard H.* // *Precamb. Res.* 1992. V. 54. P. 195–210.
14. *Poller U., Gladkochub D., Donskaya T. et al.* // *Precamb. Res.* 2005. V. 136. P. 353–368.
15. *Ковач В.П., Котов А.Б., Смелов А.П. и др.* // *Петрология.* 2000. Т. 8. № 4. С. 394–408.