

8. Puchtel I.S., Hofman A.W., Mezger A.W., et al. Oceanic plateau model for continental crustal growth in the Archaean: A case study from the Kostomuksha greenstone belt, NW Baltic Shield // *Earth Plan. Sci. Lett.* 1998. V. 155. P. 57–74.
9. Puchtel I.S., Hofman A.W., Amelin Yu.V., et al. Combined mantle plume-island arc model for the formation of the 2.9 Ga Sumozero-Kenozero greenstone belt, SE Baltic Shield: isotope and trace element constraints. // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1999. V. 63. № 21. P. 3579–3595.
10. Лобач-Жученко С.Б., Чекулаев В.П., Арестова Н.А., и др. Архейские террейны Карелии: их геологическое и изотопно-геохимическое обоснование. // *Геотектоника.* 2000. № 6. С.26–42.
11. Арестова Н.А. Эволюция базит-ультрабазитового магматизма Балтийского щита интервала 3.4 - 2.4 млрд лет. Автореферат докт. дисс. С.-Петербург. ИГГД. 2004. 45 с.
12. Лобач-Жученко С.Б., Арестова Н.А., Коваленко А.В., Крылов И.Н. Карельская гранит-зеленокаменная область. Водлозерский домен. Ранний докембрий Балтийского щита (ред. В.А.Глебовицкий) СПб. Наука. 2005. С. 288–343.
13. Лобач-Жученко С.Б., Арестова Н.А., Коваленко А.В., Чекулаев В.П. Карельская гранит-зеленокаменная область. Западно-Карельский домен // Ранний докембрий Балтийского щита (ред. В.А.Глебовицкий) СПб. Наука. 2005. С. 343–395.
14. Чекулаев В.П., Арестова Н.А., Коваленко А.В., Слабунов А.И. Карельская гранит-зеленокаменная область. Центрально-Карельский домен // Ранний докембрий Балтийского щита (ред. В.А.Глебовицкий) СПб. Наука. 2005. С. 395–471.

Палеомагнетизм позднеархейских интрузий санукитоидов и его значение для геодинамических реконструкций Балтийского щита в раннем докембрии

Арестова Н.А.¹, Гуськова Е.Г.², Храмов А.Н.³, Иосифиди А.Г.³

1. Институт геологии и геохронологии докембрия, г. Санкт-Петербург e-mail: narestova@mail.ru
2. Санкт-Петербургский филиал Института Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, г. Санкт-Петербург
3. Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт, МПР, РАН, г. Санкт-Петербург

В настоящее время большинством исследователей позднеархейский период (2.75-2.60 млрд лет) считается переломным в развитии Земли. На основе анализа характера и объемов мантийного магматизма в пределах планеты этот период связывают с формированием первых суперплюмов, приводивших к растяжению и разрыву первичных континентов [1,2]. Современные представления о геодинамической обстановке формирования коры Балтийского щита в позднем архее являются противоречивыми. Ряд исследователей считает, что в период 2.75-2.60 млрд лет на Балтийском щите преобладали процессы сжатия – аккреционные и коллизионные процессы и противопоставляют его этапу растяжения 2.4-2.5 млрд лет [3,4]. Наши исследования позволяют считать, что в позднем архее на Балтийском щите преобладал внутриконтинентальный рифтогенез с растяжением ранее сформированной коры [5,6]. Характерной особенностью магматизма этого периода является появление первых субщелочных мантийных пород, получивших название санукитоидов, и базитов, обогащенных легкими редкоземельными элементами, связанных с плюмовым магматизмом.

Наряду с исследованием характера магматизма, важная роль в решении геодинамических задач принадлежит палеомагнитным методам исследований, которые позволяют дать количественную оценку взаимных перемещений отдельных тектонических блоков внутри плиты и возможных перемещений плиты. Имеющиеся до начала наших работ палеомагнитные данные для докембрийских пород Балтийского щита [7,8,9 и др.] позволили дать верхнюю оценку масштаба и возраста подобных движений и получить представление о дрейфе всего щита в протерозое. В течение последних лет проводились попытки реконструкции положения позднеархейского кратона и отдельных его блоков [10,11]. Проведенные реконструкции позволяют предположить, что к концу архея был сформирован архейский континент, включавший Карельскую, Кольскую и Супериор провинции и уже с позднего архея началось его растяжение и разрыв [12].

Для решения задач геодинамики Балтийского щита в позднем архее и раннем протерозое проведено палеомагнитное исследование сиенитов и санукитоидов массивов Хижъярви, Нюк Центрально-Карельского домена Карельского мегаблока и санукитоидов Туломского массива Кольского мегаблока.

Измерения проводились по стандартным методикам в палеомагнитной лаборатории ВНИГРИ на рок-магнитометрах JR-4, аstaticеских магнитометрах LAM-24 (Брно, Чехия) и системы ВНИГРИ; часть образцов измерялась в лаборатории магнитных свойств СПбФИЗМИРАН на аstaticеском магнитометре МА-21; Ступенчатое терморазмагничивание ориентированных кубиков проводилось на термоустановке системы ВНИГРИ; ее пятислойный пермаллоевый экран обеспечивает экранировку земного магнитного поля не хуже, чем до 15 нТл. Часть кубиков в качестве дубликатов размагничивались переменным магнитным полем также в лаборатории ВНИГРИ.

Хижъярвинский массив $\varphi=64,3^\circ$ с.ш. и $\lambda=32,7^\circ$ в.д. имеет форму уплощенной линзы 3×7 км, вытянутой в северо-западном направлении с пологим наклоном на северо-восток. Породы массива характеризуются наличием магматической расслоенности и представлены меланосиенитами с тонкими (до 0,5 м) прослоями пироксенитов вдоль западного контакта массива и лейкосиенитами. Возраст сиенитов и пироксенитов массива, полученный U-Th-Pb изотопным методом по цирконам (SHRIMP) составляет 2744 ± 4 млн лет [13]. Палеомагнитное изучение проведено для 28 образцов сиенитов и пироксенитов. В процессе терморазмагничивания в исследованных образцах выделяются две и более компонент с различными спектрами блокирующих температур. Анализ распределения направлений компонент намагниченности позволяет выделить для сиенитов интрузии Хижъярви 5 групп направлений. Для определения возраста выделенных компонент использованы изотопные определения возраста пород и полевые данные о соотношениях пород в обнажениях, учитывалось время метаморфизма пород и сохранности магнитных минералов. Компоненте А со средним направлением $D=1,2^\circ$, $J=30,7^\circ$, $K=25,7$, $\alpha_{95}=10,4$ ($N=9$) соответствует палеополус с координатами $\Phi=42,2^\circ$ с.ш. и $\Lambda=211,0^\circ$ в.д. Палеополус компоненты А располагается в области «сфекофеннской» части кривой кажущейся миграции палеополуса для Балтийского щита; «магнитный» возраст, приписываемый компоненте А, составляет 1850 млн. лет. Компоненте С со средним направлением $D=133,8^\circ$, $J=4,5^\circ$, $K=39,9$, $\alpha_{95}=10,7$ ($N=6$) соответствует палеополус с координатами $\Phi=15,3^\circ$ с.ш., $\Lambda=261,0^\circ$ в.д. Возраст этой компоненты оценивается в >2500 млн. лет и может отражать время кристаллизации пород Хижъярвинской интрузии. Компоненте D со средним направлением $D=104,4^\circ$, $J=56,6^\circ$, $K=21,0^\circ$, $\alpha_{95}=15,0^\circ$ ($N=6$) соответствует палеополус с координатами $\varphi=27,3^\circ$ ю.ш., $\lambda=272,9^\circ$ в.д. «Магнитный» возраст компоненты оценивается в 2450 млн. лет. Компоненте F со средним направлением $D=243,4^\circ$, $J=42,9^\circ$, $K=21,5^\circ$, $\alpha_{95}=10,1^\circ$ ($N=11$) соответствует палеополус с координатами $\Phi=11,7^\circ$ с.ш., $\Lambda=336,7^\circ$ в.д. Тогда «магнитный» возраст этой компоненты оценивается в 2200 млн. лет или, в случае «переворота координат палеополуса», в 1200 млн. лет. Компоненте A1 со средним направлением $D=278,8^\circ$, $J=70,9^\circ$, $K=45,6^\circ$, $\alpha_{95}=7,7^\circ$ ($N=9$) соответствует палеополус с координатами $\Phi=51,1^\circ$ с.ш., $\Lambda=328,9^\circ$ в.д. На современном этапе палеомагнитных исследований трудно приписать этой компоненте какой-либо «магнитный» возраст.

Нюкозерский массив $\varphi = 64,4^\circ$ с.ш., $\lambda = 31,5^\circ$ в.д. является наиболее крупным из массивов подобного состава на Балтийском щите, имея площадь не менее 100 км^2 . имеет неоднородное строение и сложен породами, варьирующими по составу от кварцевого диорита до субщелочного гранита. Возраст пород массива составляет 2732 ± 10 млн лет [14]. Из пород массива измерено 40 образцов. Анализ распределения измеренных значений естественной остаточной намагниченности J_n и магнитной восприимчивости K , образцов Нюкозерской интрузии, показал, что они являются, в основном, слабомагнитными: 60% значений J_n расположены в интервале (0.1-5.0) мА/м, 80% значений K – в интервале $(0.1-1.0) \times 10^{-3}$ ед. СИ. В процессе палеомагнитных исследований 40 образцов Нюкозерской интрузии в них были выделены 3 компоненты намагниченности А, D, F. Компоненте А со средним направлением $D=322,5^\circ$, $J=39,3^\circ$, $K=11,4$, $\alpha_{95}=11,2$ ($N=9$) соответствует палеополус с координатами $\Phi=42,4^\circ$ с.ш. и $\Lambda=260,9^\circ$ в.д. «Магнитный» возраст, приписываемый компоненте А, составляет 1970 млн. лет. Компоненте D со средним направлением $D=115,8^\circ$, $J=60,7^\circ$, $K=23,2^\circ$, $\alpha_{95}=3,2^\circ$ ($N=6$) соответствует палеополус с координатами $\varphi=28,6^\circ$ ю.ш., $\lambda=258,6^\circ$ в.д. «Магнитный» возраст

компоненты оценивается в 2450 млн. лет. Компоненте F со средним направлением $D=239.6^\circ$, $J=35.3^\circ$, $K=23.35^\circ$, $\alpha_{95}=12.8^\circ$ ($N=5$) соответствует палеополюс с координатами $\Phi=5.9^\circ$ с.ш., $\Lambda=327.6^\circ$ в.д. Тогда «магнитный» возраст этой компоненты оценивается в 2200 млн. лет.

Туломский массив $\varphi = 68.8^\circ$ с.ш., $\lambda = 32.8^\circ$ в.д. расположен в Центрально-Кольском блоке на берегу р. Тулома. представляет собой вытянутое в ССЗ направлении тело площадью 1.5х4.0 км. Интрузия залегает согласно с направлением складчатости ССВ простирается в Кольских гнейсах. Порода интрузии представлены гиперстеновыми монцодиоритами с включениями монцогаббро и прорывається жилами кварцевых монцонитов. Внедрение интрузии происходило одновременно с метаморфизмом гнейсов Кольской серии. Время кристаллизации санукитоидов интрузии Тулома 2728 ± 10 млн лет [15].

Было исследовано 44 образца. В процессе магнитной чистки наблюдалось три типа кривых терморазмагничивания. Анализ распределения высоко- и среднетемпературных компонент намагниченности J_n после чистки позволяет выделить три компоненты намагниченности A, D, F. Компоненте A1 со средним направлением $D=347.8^\circ$, $J=69.8^\circ$, $K=34.6$, $\alpha_{95}=5.8$ ($N=11$) соответствует палеополюс с координатами $\Phi=73.8^\circ$ с.ш. и $\Lambda=239.5^\circ$ в.д.. Компоненте D со средним направлением $D=96.5^\circ$, $J=56.6$, $K=33.3^\circ$, $\alpha_{95}=3.2$ ($N=8$) соответствует палеополюс с координатами $\Phi=28.6^\circ$ ю.ш., $\Lambda=258.6^\circ$ в.д. «Магнитный» возраст компоненты оценивается в 2450 млн. лет. Компоненте F с направлением $D=259.7^\circ$, $J=57.9^\circ$, $K=46.9$, $\alpha_{95}=8.9$ ($N=8$) соответствует палеополюс с координатами $\Phi=32.0^\circ$ с.ш., $\Lambda=327.6^\circ$ в.д., «магнитный» возраст компоненты оценивается в 2200 млн. лет.

Результаты палеомагнитных исследований трех интрузий санукитоидов – Хижъярви, Нюкозеро, в Центральной Карелии и интрузии Тулома на Кольском полуострове, были сопоставлены между собой и с положениями кривой кажущейся миграции палеополюса (AWP).

Для интрузий Хижъярви и Нюкозеро Карелии и интрузии Тулома Кольского полуострова наблюдается почти полное совпадение положения палеополюсов, и следовательно, магнитного возраста для компонент намагниченности D и F между собой и с кривой AWP. Магнитный возраст палеополюса D оценивается в 2450 млн лет. Аналогичное положение палеополюса D получено нами ранее для раннпротерозойских расслоенных интрузий Федорова Тундра, Генеральская, Имандровский лапполит, Мончегорский плутон Кольского блока Кивака Центрально-Карельского домена [7, 16,17], Авдеевской дайки Бураковской интрузии [8,12], изотопный возраст которых оценивается в 2.50-2.45 млрд лет. Помимо собственно раннепротерозойских пород компонента D выделяется в базальтах, андезитах и габбро архейского возраста из зеленокаменных поясов северной и западной окраин Водлозерского домена [16.] Следовательно, термальное событие 2,5- 2,45 было достаточно сильным, и вызвало частичное или полное переманчивание более древних архейских пород.

Более древняя (позднеархейская?) компонента C выявлена нами лишь в Хижъярвинском массиве. Положение компоненты C для Хижъярвинского массива сиенитов приближается к положению полюса C, полученного для мощной габброноритовой дайки пос Шальский, Водлозерский блок [8,12]. Изотопный возраст дайки в настоящее время определен Sm-Nd методом и составляет 2608 ± 50 млн лет (12). Поскольку Водлозерский блок, особенно центральная его часть, практически не испытал воздействия наложенных свекофенских процессов, то возраст палеополюса, полученного для дайки габброноритов, скорее всего соответствует его изотопному возрасту.

Проведенное палеомагнитное исследование трех санукитоидных массивов, расположенных в различных блоках Балтийского щита, позволяет сделать следующие выводы.

1. Наиболее древняя из выделенных, предположительно позднеархейская, компонента намагниченности C сохранилась лишь в одной из трехисследованных интрузий санукитоидов Балтийского щита. Полученное положение позднеархейского палеополюса для санукитоидных интрузий на данном этапе исследований может быть использовано для геодинамических реконструкций в позднем архее (2,7-2,6 млрд лет) лишь в совокупности с данными, полученными для позднеархейских базитовых интрузий и даек.

2. Раннепротерозойская компонента D выделена в трех изученных массивах расположенных в различных блоковых структурах Балтийского щита: Центрально-Кольском и Центрально-Карельском доменах совпадает в пределах кругов доверия и с положением полюса 2,45 млрд лет на AWP. Эти ре-

зультаты свидетельствуют, что на этапе 2.45 Карельский и Кольский домены находились в составе единого континента и не испытывали существенных раздвижений. Таким образом, установленный с помощью различных методов исследования режим растяжения не привел к разрыву щита.

Литература

1. Isley, A.E., Abbott, D.H. Plume-related mafic volcanism and the deposition of banded iron formation // J. Geophys. Res. 1999. V.104. № B7. P. 15461-15477.
2. Condie K.C. Mantle Plumes and their Record in Earth History. Cambridge University Press, 2001. 306 p.
3. Минц М.В., Глазнев В.Н., Конилов А.Н. и др. Ранний докембрий северо-востока Балтийского щита: палеогеодинамика строения и эволюция континентальной коры. Труды ГИН. Вып. 503. 1996. 276 с.
4. Слабунов А.И. Геология и геодинамика Беломорского подвижного пояса Фенноскандинавского щита в архее. Автореферат докт. дисс. Москва. 2005. 45 с.
5. Арестова Н.А. Эволюция базит-ультрабазитового магматизма Балтийского щита интервала 3.4–2.4 млрд лет. Автореферат докт. дисс. С.-Петербург. ИГГД. 2004. 45 с.
6. Лобач-Жученко С.Б. 2700 млн лет – важнейший рубеж в истории архея. Петрология и геодинамика архея. Материалы I Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики архея. С.-Петербург. 2005. С. 231–235.
7. Храмов А.Н., Федотова М.А., Писакин Б.Н., Прияткин А.А. Палеомагнетизм раннепротерозойских интрузий и связанных с ними пород Карелии и Кольского полуострова: вклад в разработку модели докембрийской эволюции Русско-Балтийского кратона // Физика Земли. 1997. № 6. С. 24–41.
8. Краснова А.Ф., Гуськова Е.Г. О геодинамике развития Водлозерского блока Карелии в свете палеомагнитных данных // Изв. АН СССР. Физика Земли, 1990. № 1 С. 103–110.
9. Mertanen S., Pesonen L. J., Huhma H., Leino M.A.N. Palaeomagnetism of Early Proterozoic layered intrusions, northern Finland. // Geol. Surv. Finland Bull., 1989. № 374. P. 1–40.
10. Храмов А.Н., Арестова Н.А., Гуськова Е.Г., Иосифиди А.Г. Палеомагнитные исследования. // В: Ред. А.Ф. Морозов, Н.И. Павленкова. Строение и динамика литосферы Восточной Европы: результаты исследований по программе ЕВРОПРОБЫ. М.: Геос. 2006. С. 182–188.
11. Mertanen S., Pesonen L. J. Drift history of the Fennoscandian Shield – palaeomagnetic evidences. In: Lehtinen M., Nurmi P.A., Ramo O.T. (Eds) Precambrian geology of Finland – Key to the evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier sci.B.V. Amsterdam 2006
12. Mertanen S., Vuollo J.I., Huhma H., и др. Early Paleoproterozoic-Archean dykes and gneisses in Russian Karelia of the Fennoscandian Shield – new paleomagnetic, isotope age and geochemical investigation. // Precambrian Res. 2006. V. 144. P. 239–260.
13. Библикова Е.В., Арестова Н.А., Иваников В.В. и др. Изотопная геохронология посттектонической ассоциации санукитоидов, сиенитов и гранитоидов в архее Центральной Карелии. // Петрология. 2006
14. Чекулаев В.П., Т.Б. Баянова, Н.А. Арестова, и др. О возрасте высоко-Mg гранитоидов Нюкзерского массива, Карелия // Докл. РАН. 2004. Т. 394. № 1. С. 101–104.
15. Levchenkov O.A., Levsky L.K., Nordgulen O. et al. U-Pb zircon ages from Sorvaranger, Norway, and western part of the Kola peninsula, Russia. In: (Ed.) Roberts D., Nordgulen O. Geology of the eastern Finnmark – western Kola peninsula region. Proceeding of the 1st international Barents Symposium. 1995. P. 29–47.
16. Арестова Н.А., Гуськова Е.Г., Краснова А.Ф. Палеомагнетизм пород Шилоской структуры Южно-выгозерского зеленокаменного пояса, Восточная Карелия. Физика Земли. 2000 № 5. С. 70–75.
17. Печерский Д.М., Бураков К.С., Захаров В.С., Шарков Е.В. Поведение направления геомагнитного поля в течении остывания Мончегорского плутона // Физика Земли. 2004. № 3. С. 64–85.

Редкометалльная минерализация щелочных интрузий Кольской провинции: петрологический аспект

Арзамасцева Л.В., Арзамасцев А.А.

Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: arzamas@geoksc.apatity.ru

Главной особенностью щелочных пород Кольской провинции являются высокие концентрации Zr, Hf, Nb, Ta, редкоземельных элементов (REE), Y, Sr и Th, которые в ряде массивов достигают промышленных значений и представляют значительный экономический интерес. Основными