

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228-2018-10-1-63-80

УДК 552.321 + 551.71(470.21)

**НОВАЯ МОДЕЛЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ
ЮЖНОЙ ЗОНЫ РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКОГО
ПЕЧЕНГСКО-ВАРЗУТСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА***

П. К. Скуфьин

Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН

Аннотация

Предлагается новая модель геологического строения Южной зоны раннепротерозойского Печенгско-Варзугского зеленокаменного пояса (ПВП). В статье приводятся доводы, указывающие на то, что на заключительных стадиях эволюции ПВП в Южной зоне сформировался молодой Свекофеннийский вулканический пояс (СВП), во многом аналогичный вулканическим поясам фанерозоя. Этот новый подход к строению Печенгско-Варзугского пояса важен и с геологической, и с металлогенической точки зрения, поскольку с вулканическими поясами связаны месторождения широкого круга рудогенных элементов: Au, Ag, PGE, Sn, Bi, Sb, Pb, Zn и др. Модель базируется на результатах авторского картирования различных вулканотектонических структур этого региона. В Южно-Печенгской зоне СВП была выделена ранняя группа линейных вулканотектонических структур свекофенния и более поздняя группа субизометричных вулканоструктур вепсия. В Южно-Имандра-Варзугской зоне СВП вулканотектонические структуры свекофенния представлены раннесвекофеннийскими линейными и позднесвекофеннийскими субизометричными разновидностями.

Ключевые слова:

Печенгско-Варзугский пояс, Южная зона, Свекофеннийский вулканический пояс, вулканотектоническая структура, ранний протерозой, свекофенний, вепсий.

**A NEW MODEL OF GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE SOUTHERN ZONE
OF EARLY PROTEROZOIC PECHENGA-VARZUGA GREENSTONE BELT**

Peter K. Skuf'in

Geological Institute of the KSC of the RAS

Annotation

A new geological model has been proposed for the structure of the Southern Zone of Early Proterozoic Pechenga-Varzuga Greenstone Belt (PVB). In the article arguments are given that at the final stages of PVB evolution in the Southern Zone a young Svecofennian Volcanic Belt (SVB) was formed, in many respects analogous to the volcanic belts of the Phanerozoic. This is important from both a geological and a metallogenic point of view, since a wide range of ore elements is associated with volcanic belts: Au, Ag, PGE, Sn, Bi, Sb, Pb, Zn, etc. The model is based on the results of the author's mapping of various volcanic-tectonic structures of the region. In the Southern-Pechenga zone of SVB, an early group of linear Svecofennian volcano-tectonic structures and a later group of subisometric Vepsian volcanic structures were identified. In the Southern-Imandra-Varzuga zone of SVB, the volcano-tectonic Svecofennian structures are represented by the Early-Svecofennian linear and Late-Svecofennian subisometric varieties.

Keywords:

Pechenga-Varzuga belt, Southern Zone, Svecofennian Volcanic Belt, volcano-tectonic structure, Early Proterozoic, Svecofennian, Vepsian.

* Работа выполнена при поддержке гранта № 16-05-00026.



Введение

На северо-востоке Балтийского щита архейские и раннепротерозойские тектономагматические процессы, сформировавшие древнюю континентальную земную кору, реализовались в эволюционной истории становления зеленокаменных поясов Кольской субпровинции, в т. ч. главной геоструктуры карелид этого региона — Печенгско-Варзугского зеленокаменного пояса. Этот карельский зеленокаменный пояс, заложенный на гетерогенном архейском фундаменте и развивавшийся на протяжении почти миллиарда лет, прошел длительную и многоэтапную историю становления. Для внутреннего строения этой мегаструктуры важна система поперечных глубинных долгоживущих разломов, которые расчленяют ее на ряд фрагментов с автономным геологическим строением, среди которых крупнейшими являются Печенгская и Имандра-Варзугская структуры (рис. 1).

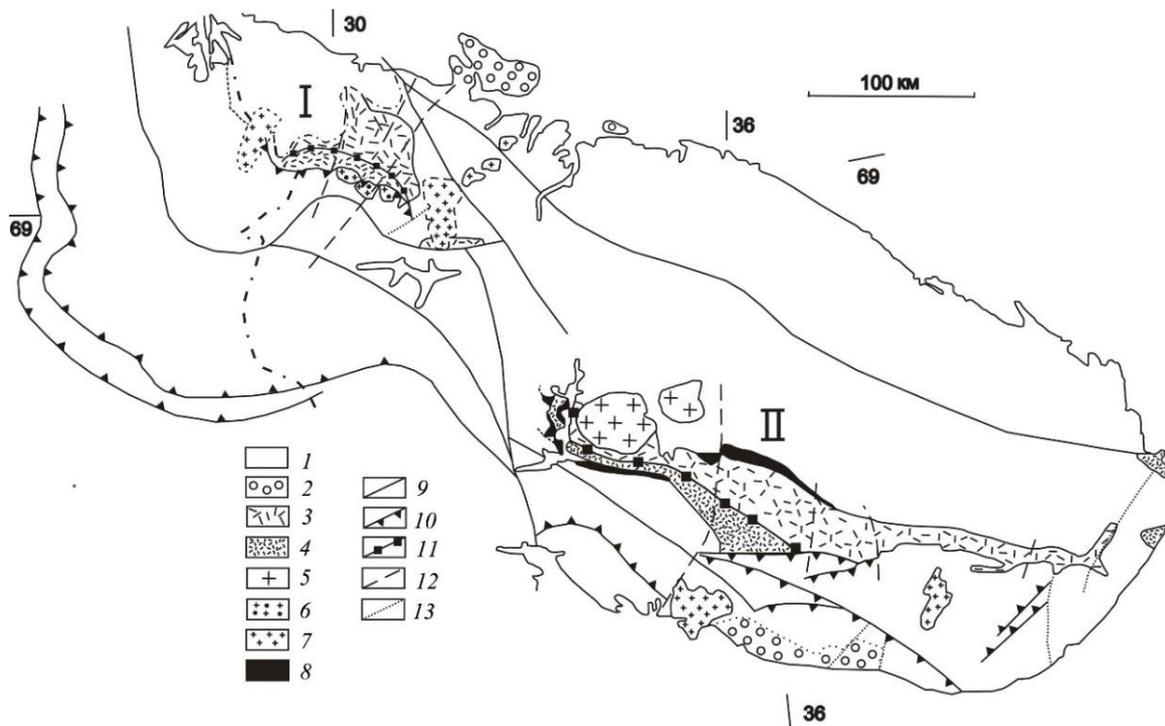


Рис. 1. Структурная блокировка восточной части Балтийского щита [1, 2].

Условные обозначения: 1 — структурно-вещественный комплекс (СВК) архея (2900–2600 млн лет); 2 — СВК позднего протерозоя (моложе 1700 млн лет); 3, 4 — СВК раннего протерозоя (карелиды), соответственно структуры Северной зоны ПВП (2550–1905 млн лет) (3) и Южной зоны ПВП (1905–1700 млн лет) (4); 5 — щелочные интрузии палеозоя; 6 — синкинематические граниты (2150–1900 млн лет); 7 — посткинематические граниты (1840–1700 млн лет); 8 — габбро-нориты; 9 — глубинные разломы; 10 — надвиги; 11 — глубокий разлом (граница Северной и Южной зон ПВП); 12 — второстепенные разломы; 13 — разломы неясного генезиса. I — Печенгская структура; II — Имандра-Варзугская структура

Fig. 1. Structural blocking of the eastern part of the Baltic Shield [1, 2].

Legend: 1 — structural-material complex (SMC) of the Archean (2900–2600 million years); 2 — SMC of the late Proterozoic (younger than 1700 million years); 3, 4 — SMC of the early Proterozoic (Karelides), structure of the Northern Zone of the Pechenga-Varzuga Belt (PVB) (2550–1905 Ma) (3) and the South zone of the PVB (1905–1700 Ma) (4); 5 — Paleozoic alkaline intrusions; 6 — synkinematic granites (2150–1900 million years); 7 — post-kinematic granites (1840–1700 million years); 8 — gabbro-norites; 9 — deep faults; 10 — thrusts; 11 — deep fault (boundary of North and South PVB zones); 12 — minor faults; 13 — faults of unknown genesis. I — Pechenga structure; II — Imandra-Varzuga structure

Тектономагматические события развивались в рамках ПВП в течение карельского эндогенного мегацикла (2550–1700 млн лет), в рамках которого выделены четыре эндогенных цикла второго порядка: сумийский (2550–2325 млн лет), сариолий-ятулийский (2325–2115 млн лет), людиковий-калевийский (2115–1940 млн лет) и свекофенно-вепсийский (1940–1700 млн лет).

Печенгская структура, изначально представлявшая собой субизометричную вулканотектоническую палеодепрессию (рис. 1, 2), сложена формациями печенгского комплекса, относящимися к трем последовательным циклам развития (сариолий-ятулийский, людиковий-калевийский и свекофенно-вепсийский), с возрастом 2325–1700 млн лет. В настоящее время эта структура, вероятно, является одной из наиболее изученных раннедокембрийских структур мира, что обусловлено наличием крупных месторождений С-Ni-руд, своеобразием ее геологического строения, а также доступностью и неплохой обнаженностью. Разрез Печенгской структуры во многом определяет стратиграфию раннего протерозоя Кольской субпровинции и является стратотипическим. Кроме того, проходка сверхглубокой скважины СГ-3, которая установила особенности глубинного строения Печенгской структуры и ее архейского фундамента, послужила основой для расшифровки глубинного строения земной коры всей субпровинции.

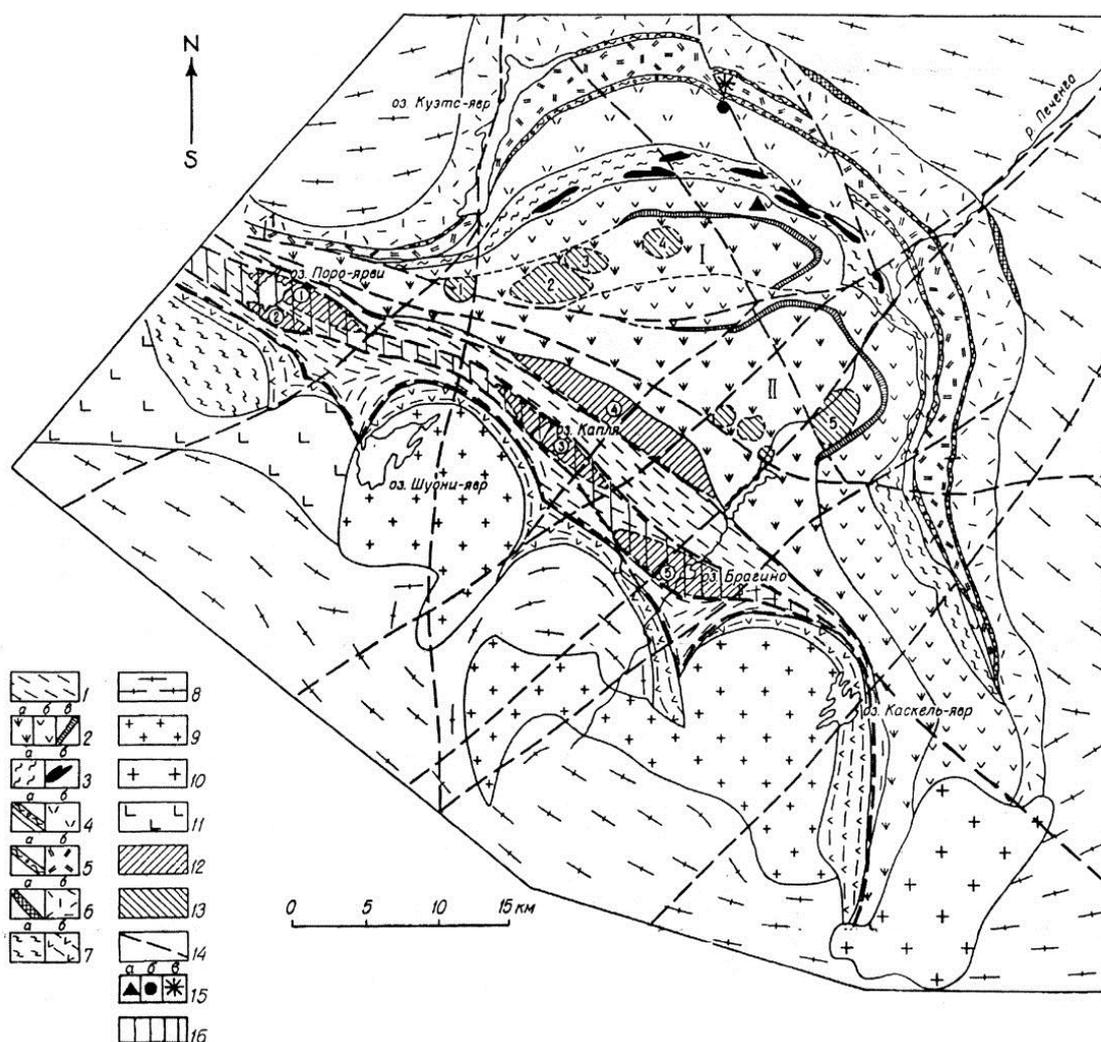


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Северо- и Южно-Печенгской зон Печенгской структуры [2]:

- 1** — вулканогенно-осадочные породы южнопеченгского подкомплекса (1940–1700 млн лет);
- 2–6** — вулканогенно-осадочные породы северопеченгского подкомплекса (2550–1940 млн лет):
- 2** — IV вулканогенная свита (ВС) (1980 ± 34 млн лет): *a* — базальты, *б* — пиллоу-лавы базальтовые, *в* — риолиты;
- 3** — IV ОС (осадочная свита): *a* — осадки, *б* — габброверлиты; **4** — III ОС и III ВС (2114 ± 52 млн лет):

a — осадки, *b* — вулканиты; **5** — II ОС и II ВС (2214 ± 54 млн лет): *a* — осадки, *b* — вулканиты; **6** — I ОС и I ВС (2324 ± 28 млн лет): *a* — осадки, *b* — вулканиты; **7** — породы неясного стратиграфического положения: *a* — гнейсосланцы, *b* — амфиболиты; **8** — гнейсогранитный архейский фундамент; **9** — плагиограниты и гранодиориты Шуонияврского и Каскельяврского гранитных куполов (1940 млн лет); **10** — микроклиновые граниты (1840 млн лет); **11** — габбро; **12** — локальные вулканотектонические структуры вепсия (вулканические центры) в Южно-Печенгской зоне: **1** — Северопороярвинская, **2** — Южнопороярвинская, **3** — Каплинская, **4** — Порьяташская, **5** — Брагинская; **13** — локальные вулканические центры в Северо-Печенгской зоне; **14** — дизъюнктивные нарушения; **15** — крупнейшие структурные скважины (треугольник — Кольская сверхглубокая скважина СГ-3); **16** — Пороярвинский вулканический пояс второго порядка, в рамках Свекофеннийского вулканического пояса контролировавший локализацию вулканотектонических структур вепсия в Южно-Печенгской зоне

Fig. 2. Schematic geological map of the North and South Pechenga zones of the Pechenga structure [2]:

1 — volcano-sedimentary rocks of the South Pechenga subcomplex (1940–1700 million years);
2–6 — volcano-sedimentary rocks of the North Pechenga subcomplex (2550–1940 Ma):
2 — IV volcanogenic suite (VS) (1980 ± 34 Ma): *a* — basalts, *b* — basaltic pillow-lavas, *v* — rhyolites;
3 — IV SS (sedimentary suite): *a* — sedimentary rocks, *b* — gabbro-verlites; **4** — III SS and III VS (2114 ± 52 Ma):
a — sedimentary rocks, *b* — volcanogenic rocks; **5** — II SS and II VS (2214 ± 54 Ma): *a* — sedimentary rocks,
b — volcanogenic rocks; **6** — I SS and I VS (2324 ± 28 Ma): *a* — sedimentary rocks, *b* — volcanogenic rocks;
7 — rocks of unclear stratigraphic position: *a* — gneiss-schists, *b* — amphibolites; **8** — gneiss-granites of Archaean basement; **9** — plagiogranites and granodiorites of the Shuoniyavrsky and Kaskelyavrsky granite domes (1940 Ma);
10 — microcline granites (1840 Ma); **11** — gabbro; **12** — local volcanic tectonic structures of the Vepsia age (volcanic centers) in the South Pechenga zone: **1** — Severoporoyarvinskaya, **2** — Yuzhnoporoyarvinskaya, **3** — Kaplinskaya, **4** — Porytashskaya, **5** — Braginskaya; **13** — local volcanic centers in the North-Pechenga zone;
14 — disjunctive disorders; **15** — the largest structural boreholes (triangle — Kola super-deep borehole SG-3);
16 — Poroyarvinsky volcanic belt of the second order which controlled the localization of volcano-tectonic structures of the Vepsia age in the South Pechenga zone, within the framework of the Svekofennian volcanic belt

Более древняя Имандра-Варзугская структура имеет форму, близкую к линейной палеодепрессии (рис. 1). В этой структуре в полном объеме представлены формации сумийского и сариолийско-ятулийского циклов (2550–2115 млн лет), в то время как формационные ряды двух последних циклов редуцированы.

Внутренняя структура ПВП однородна на всем протяжении пояса и характеризуется наличием продольных глубинных конседиментационных разломов (зона Порьяташского разлома для Печенгской структуры и Умба-Вильмуайвского — для Имандра-Варзугской). Глубинные разломы разделяют всю протяженную мегаструктуру ПВП на систему северных и южных структурно-формационных зон. Северная граница ПВП имеет характер первичного стратиграфического несогласия, когда породы карелид залегают непосредственно на докарельской коре выветривания архейского фундамента. При этом южные зоны в обеих структурах представляют собой систему линейных и субизометричных вулканотектонических структур свекофенния и вепсия. Эти структуры в рамках ПВП и сформировали молодую крупную линейную структуру — Свекофеннийский вулканический пояс (СВП). В пределах этого пояса в Печенгской структуре выделяется также приразломный Пороярвинский вулканический пояс второго порядка, ограниченный субвертикальными разломами. Пороярвинский пояс контролировал формирование целой системы молодых вулканотектонических структур (вулканочентров) вепсия, сложенных вулканитами андезит-пикритовой бимодальной ассоциации (рис. 2, 3).

Автор непосредственно принимал участие во всех крупных научно-производственных проектах изучения Южно-Печенгской и Южно-Имандра-Варзугской структурно-формационных зон, в частности, осуществлял научное руководство при проведении в 1974–1977 гг. комплексных геолого-геофизических работ в Печенгской и Имандра-Варзугской структурах, а в 1987–1995 гг. участвовал в выполнении научно-производственной программы ГДП-50 в пределах Южно-Печенгской и Южно-Имандра-Варзугской зон [2]. Изучение петрографии

протерозойской части разреза СГ-3 автор проводил начиная с 1993 г. и до закрытия проекта «Кольская сверхглубокая» в 2008 г.

Проанализируем, насколько Свекофеннийский вулканический пояс, локализованный в Южной структурно-формационной зоне ПВП, соответствует по своим морфологическим особенностям и деталям строения классическим аналогам — современным и древним орогенным вулканическим поясам. В последние десятилетия прошлого века в нашей стране было разработано учение об орогенных вулканических поясах как закономерных мегаструктурах глобального порядка, формирующих при горообразовательных процессах континентальную земную кору. Само понятие «вулканический пояс» было введено в 1959 г. Е. К. Устиевым [3] для обозначения протяженной, но в общем локальной орогенной периокеанической структуры на Дальнем Востоке. За считанные годы это понятие стало употребляться при описании глобальных структур континентального масштаба и было поставлено в ряд с такими геоструктурами, как геосинклинали [3–6]. Системный анализ эволюции вулканических орогенных поясов позволил выяснить их сложное строение, наметить иерархию вулканотектонических структур, которые их формируют. По краткому выражению В. Ф. Белого [7], «вулканический пояс в целом — система слившихся воедино вулканотектонических структур».

В настоящее время известны тысячи вулканотектонических структур, изолированных или формирующих громадные по протяженности системы — орогенные вулканические пояса. Некоторые исследователи считают, что на вулканотектонические структуры приходится главная масса энергомассопотока в современных и древних орогенных областях. В отношении вопроса о времени формирования вулканотектонических кольцевых структур большинство исследователей считает, что они формировались почти во все периоды геологической истории Земли [5, 6]. Не описаны лишь структуры древнее 2 млрд лет, что может объясняться инфантильным состоянием нижнепротерозойской земной коры, а также трудностью реконструкции столь древних образований. Продолжительность формирования вулканотектонических структур в собственно орогенных геоантиклинальных зонах соизмерима с продолжительностью жизни отдельных вулканов центрального типа.

В орогенных поясах она уже определяется длительностью формирования единой вулканоплутонической ассоциации, а в пределах платформенных рифтовых зон время становления таких структур растягивается на многие миллионы и десятки миллионов лет. Состав магматических пород в структурах орогенных зон варьирует в узких пределах и представлен в основном магматическими комплексами фельзических пород, платформенные же (рифтовые) структуры обычно сложены породами широкого спектра составов — от ультраосновных до ультракислых и щелочных. Это объясняется различной глубиной генерации магматического материала, различной степенью его плавления и последующей дифференциации, а также взаимодействием глубинных расплавов с материалом земной коры. Общепризнанную классификацию вулканотектонических структур в пределах орогенных вулканических поясов предложил В. Ф. Белый [7].

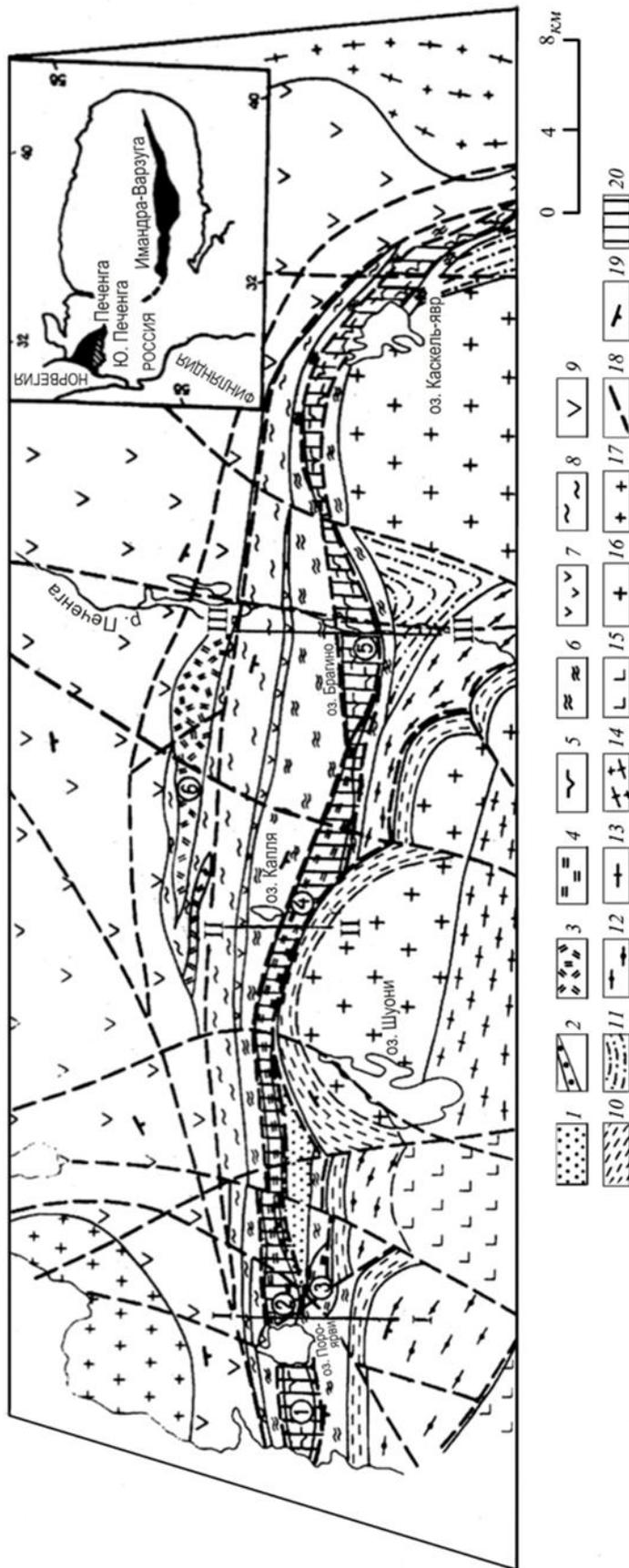


Рис. 3. Схематическая геологическая карта Южно-Печенгской структурно-формационной зоны. Условные обозначения. 1-7 – породы свеккофенния-вепсия южнопеченгского подкомплекса (1940-1700 млн. лет): 1-2 – кассейковская свита; 3 – вулканические базальты; 4 – породообразования; 5 – породообразования; 6 – породообразования; 7 – породообразования; 8 – породообразования; 9 – породообразования; 10 – породообразования; 11, 12 – гнейсо-сланцы неясного стратиграфического положения; 13 – архейский фундамент; 14 – базиты материнской свиты калевиа; 15 – сланцеватые амфиболиты; 16 – гранодиориты Каскельярского комплекса (1940 млн. лет); 17 – микроклин-плагиоклазовые граниты (2720 млн. лет); 18 – разрывные нарушения; 19 – залегание пород; 20 – Пороярвинский вулканический пояс второго порядка, контролировавший локализацию вулканотрофов вепсия: 1 – Пасвикский; 2 – Северопороярвинский; 3 – Южнопороярвинский; 4 – Каплинский; 5 – Брагинский вулканотрофов.

Fig. 3. Schematic geological map of the South Pechenga structural-formation zone. Legend. 1-7 — Svekofennian -Vepsia rocks of the South Pechenga subcomplex (1940-1700 my); 1, 2, 4, 5 — Vepsia rocks: 1-2 — Kasseyskaya suite (1), tuff (2), medium-acid volcanic rocks of the Caplinskaya suite (4), volcanic basic rocks of the Mennelskaya suite (5); 3 — medium-acid subvolcanic rocks of the Poryatashsky svekofennic complex (1904 ± 7 million years); 6-7 — rocks of the Braghinskaya suite: tuffaceous-sedimentary rocks (6), basalts (7); 8, 9 — the rocks of the North Pechenga subcomplex (2550-1940 my); tuffs of the Callojarvian kaledonian suite (8); basites of the Matert suite of kaledonian (9); 10 — schistose amphibolites; 11, 12 — gneiss-schists of an unclear stratigraphic position; 13 — archaean basement; 14 — microcline granites (1840 million years); 15 — gabbro; 16 — granodiorites of the Kaskelyarvsky complex (1940 million years); 17 — microcline-plagioclase granites (2720 million years); 18 — breaking disorders; 19 — rocks bedding; 20 — Poroyarvinsky second-order volcanic belt, which controlled the localization of Vepsian volcanoes (numbers in circles): 1 — Pasvik; 2 — Severoporoyarvinsky; 3 — Yuzhporoyarvinsky; 4 — Kaplinsky; 5 — Braginsky; 6 — Poryatashsky volcanic centers

На основании изучения большого количества подобных структур в Охотско-Чукотском вулканическом поясе он считает целесообразным выделять:

1) собственно вулканотектонические структуры — это такие совокупности отдельных вулканоструктур, пространственное сонахождение и форма которых определяются прежде всего тектоническими нарушениями. Вулканотектонические структуры чаще имеют линейную или близкую к линейной форму, обусловленную наличием систем продольных разломов глубинного заложения;

2) вулканоструктуры — преобладают изометричные и субизометричные разновидности. Главными элементами вулканотектоники в подобных вулканоструктурах являются радиальные, а также кольцевые и полукольцевые в плане разломы, обычно зафиксированные внедрением серий интрузивных субвулканических тел. Собственно вулканотектонические линейные структуры являются образованиями более высокого порядка, по отношению к ним изометричные вулканоструктуры второй группы являются наложенными.

Резюмируя изложенное, можно констатировать, что линейные и изометричные вулканотектонические структуры возникают на определенных стадиях эволюции орогенных вулканических поясов. Эти структуры могут быть вулканическими и вулканоплутоническими. Вулканотектонические структуры слагаются различными по составу магматическими породами, имеют более или менее сложное строение и широкий диапазон времени формирования.

Результаты исследования

Отметим, что Свекофеннийский вулканический пояс является уникальным для раннего докембрия результатом геологической эволюции крупнейшей рифтогенной структуры Кольского региона — Печенгско-Варзугского зеленокаменного пояса. Одна из поздних стадий эволюции ПВП, явившаяся отраженной формой геодинамических событий в Свекофеннийской провинции Финляндии, реализовала себя в южных зонах ПВП при формировании Свекофеннийского вулканического пояса. Именно в эту заключительную стадию в южных зонах Печенгской и Имандра-Варзугской структур сформировалась система вулканотектонических структур свекофенния и вепсия в виде составных элементов СВП, который представляет собой своего рода мозаику слившихся воедино вулканотектонических структур, линейных и изометричных.

Стратиграфическая шкала карельского среднепротерозойского комплекса Кольской субпровинции включает следующие надгоризонты (снизу вверх): сумий (2550–2325 млн лет); сариолий (2325–2215 млн лет); нижний ятулий и верхний ятулий (2215–2115 млн лет); людиковий (2115–2000 млн лет); калевий (2000–1940 млн лет); свекофенний (1940–1830 млн лет); вепсий (1830–1700 млн лет).

Выделяя свекофеннийский надгоризонт, мы опираемся на общепризнанный термин «свекофенниды» [8], который имеет двоякий — и стратиграфический, и тектонический — смысл. В стратиграфическом смысле свекофенниды — это раннепротерозойский комплекс пород, сформировавшийся в свекофеннии в центральной и юго-восточной частях Балтийского щита, в диапазоне 1950–1770 млн лет. В тектоническом смысле свекофенниды — это раннепротерозойский комплекс пород, сформировавшийся в течение свекофеннийского орогенеза; при этом в Финляндии в рамках одноактного орогенического процесса выделяются: доорогенные вулканические и магматические комплексы (1950–1900 млн лет), син- (1890–1860 млн лет), поздне- (1840–1800 млн лет) и посторогенные (1800–1770 млн лет). В то же время на юге Швеции существуют складчато-деформированные комплексы с возрастом 1790–1770 млн лет, структурная позиция которых «выпадает» из классической схемы одноактного орогенеза свекофеннид. При этом свекофенниды

рассматриваются как орогенный пояс, представляющий собой мозаично-блоковый коллаж, состоящий из отдельных вулканотектонических и тектоно-метаморфических структур [8].

С этих позиций в тектоническом смысле Южная зона Печенгско-Варзугского пояса представляет собой раннепротерозойский орогенный пояс свекофеннид с возрастом 1940–1700 млн лет, возникший в результате двух мощных стадий орогенеза — Лапландско-Кольской (1940–1830 млн лет) и собственно Свекофеннийской (1830–1700 млн лет) [2].

Свекофенниды Лапландско-Кольской стадии формируют всю Южную зону ПВП. Структурно-вещественные комплексы пород этой стадии слагают Свекофеннийский вулканический пояс (СВП) и имеют свекофеннийский возраст (1940 ± 5 млн лет — возраст эпизональных гранитов ПВТС; 1907 ± 18 млн лет — возраст субвулканических трахиандезитов ПВТС; 1883 ± 26 млн лет — возраст риолитов самингской свиты ПВТС; 1904 ± 7 млн лет — возраст субвулканических андезидацитов Порьешского комплекса) [2].

Свекофенниды собственно Свекофеннийской стадии формируют в рамках СВП молодой локальный Пороярвинский вулканический пояс второго порядка (рис. 2, 3), секущий более древние свекофеннийские структуры, и имеют вепсийский возраст (1711 ± 12 млн лет — возраст субвулканических керсантитов меннельской свиты) [2].

Таким образом, в Свекофеннийской провинции Финляндии свекофенниды сформировались в свекофеннии (1940–1700 млн лет) в течение, как предполагалось, одноактной стадии орогенеза. Однако в Южной Швеции более молодые комплексы свекофеннид с возрастом 1790–1770 млн лет относятся уже ко второй, более молодой стадии орогенеза, со своими более молодыми магматическими и вулканическими образованиями.

Мы считаем, что в Печенгско-Варзугском зеленокаменном поясе в стратиграфическом смысле свекофенний (свекофеннийский надгоризонт) также имеет более сложное строение:

1) нижняя его часть сформирована Лапландско-Кольскими орогенными событиями (осадочно-вулканогенные комплексы пород Свекофеннийского вулканического пояса (СВП));

2) верхняя же часть сформирована свекофеннийскими орогенными событиями (осадочно-вулканогенные комплексы пород Пороярвинского вулканического пояса второго порядка).

Поэтому хорошо устоявшийся термин «свекофенний» (свекофеннийский надгоризонт) целесообразно соотнести с более древними комплексами пород южных зон Печенгско-Варзугского пояса, имеющими классический возраст свекофеннид (свекофенниды ПВТС и Порьешского комплекса), а более молодые комплексы пород Южнопеченгской зоны (субвулканические вулканиды меннельской свиты) соотнести с вепсием (вепсийский надгоризонт). Вводить же в стратиграфическую шкалу южных зон Печенгско-Варзугского пояса термин «ливвий» нецелесообразно, поскольку, в отличие от терминов «свекофенний» и «вепсий», он не имеет жесткой однозначной связи с тектономагматическими событиями разных стадий орогенеза — Лапландско-Кольской и собственно Свекофеннийской.

Рассмотрим формирование вулканотектонических структур свекофеннид в Южно-Печенгской и Южно-Имадра-Варзугской зонах СВП. В Южно-Печенгской зоне СВП сформировалась ранняя группа линейных вулканотектонических структур свекофенния и поздняя группа субизометричных вулканоструктур вепсия. Видимо, начало вепсийского времени зафиксировано в Печенгской структуре возрастом заложения молодого Пороярвинского пояса (1865–1855 млн лет).

Вулканотектонические структуры свекофенния Южно-Печенгской зоны СВП

Фрагменты тектонизированных линейных вулканоструктур Южно-Печенгской зоны сложены вулканогенно-осадочными породами брагинской свиты раннего свекофенния, а также представлены субвулканическими телами Порьешского комплекса позднего свекофенния (рис. 2, 3). Геологической границей Северо- и Южнопеченгской структурно-формационных зон является зона

влияния Порьиташского глубинного разлома. К югу от этого разлома залегают уже южнопеченгские породы брагинской свиты, перекрывающие осадки северопеченгской каллоярвской свиты. В разрезе брагинской свиты широко представлены туффиты, с существенной примесью пирокластики андезитового, базальтового и пикробазальтового составов. В нижней части разреза отмечена толща вулканитов базальтового и пикробазальтового составов. Тела среднекислых пород Порьиташского комплекса, приуроченные к этой контактной зоне, протягиваются в виде серии крупных линзовидных интрузий, достигающих максимальной мощности 1,5 км (рис. 3). U-Pb-возраст порьиташских андезидацитов по цирконам составляет 1904 ± 7 млн лет. Проявления вулканической активности, с излиянием лав основного и среднекислого состава проявлялись в раннем и позднем свекофении на протяжении всего периода формирования разреза пород брагинской свиты, являясь как бы первым сигналом начала мощных вулканических событий вепсия, когда в Южнопеченгской зоне был сформирован молодой Пороярвинский вулканический пояс.

Вулканотектонические структуры вепсия Южно-Печенгской зоны СВП

Верхняя часть разреза пород южнопеченгского подкомплекса представлена вулканитами двух субизохронных формаций вепсийского возраста — пикрит-пикробазальт-базальтовой (меннельская свита) и базальт-андезит-дацит-риолитовой (каплинская свита). При этом толеитовые вулканиты меннельской свиты сосуществуют с фельзическими лавами каплинской свиты, относящимися уже к известково-щелочному сериальному типу. Возрастные соотношения пород меннельской и каплинской свит не определены, поскольку вулканиты обеих формаций залегают в пределах одного узкого приразломного Пороярвинского вулканического пояса второго порядка (рис. 2, 3), который залегают несогласно по отношению к более ранним структурам свекофении, наискосок срезая их по простиранию. Эта троговая структура включает в себя ряд крупных автономных эруптивных центров (вулканотектонических структур), с преимущественным развитием в каждом вулканцентре пород или андезитовой/пикритовой ветвей бимодального вулканизма. С запада на восток в пределах Пороярвинского пояса можно выделить: Пасвикский вулканцентр (ПВЦ) — меннельская свита; Северопороярвинский ВЦ (СПВЦ) — каплинская свита; Южнопороярвинский ВЦ (ЮПВЦ) — каплинская свита; Каплинский ВЦ (КВЦ) — каплинская свита; Брагинский ВЦ (БВЦ) — меннельская свита.

Вулканоструктуры меннельской свиты сложены мощной толщей базит-гипербазитовых вулканитов. В плане и в разрезе эти породы формируют сложную систему лавовых, пирокластических, жерлово-экструзивных и субвулканических генетических типов вулканитов, переслаивающихся с туфогенно-осадочными породами. Разрез сложен покровами пиллоу-лав пикрит-пикробазальтового состава, а также пикритовыми туфами и туфолавами. Форма шаровых фрагментов подушковидная (рис. 4, а), сохранилась реликтовая система синвулканической трещиноватости — концентрической и радиальной. В ряде случаев центр шаровых образований сложен вариолитовыми лавами (рис. 4, в). Лавобрекчии и туфолавы обладают реликтовой атакситовой текстурой и составляют до 60 % от общего разреза свиты. Обломки имеют угловатую, овоидальную и линзовидную форму, а цемент представлен мелкообломочной туфолавой (рис. 4, б). Базиты меннельской свиты представляют собой породы, умеренно обогащенные титаном и железом, они близки породам толеитового генетического типа и формируют пикрит-пикробазальт-базальтовую формацию.

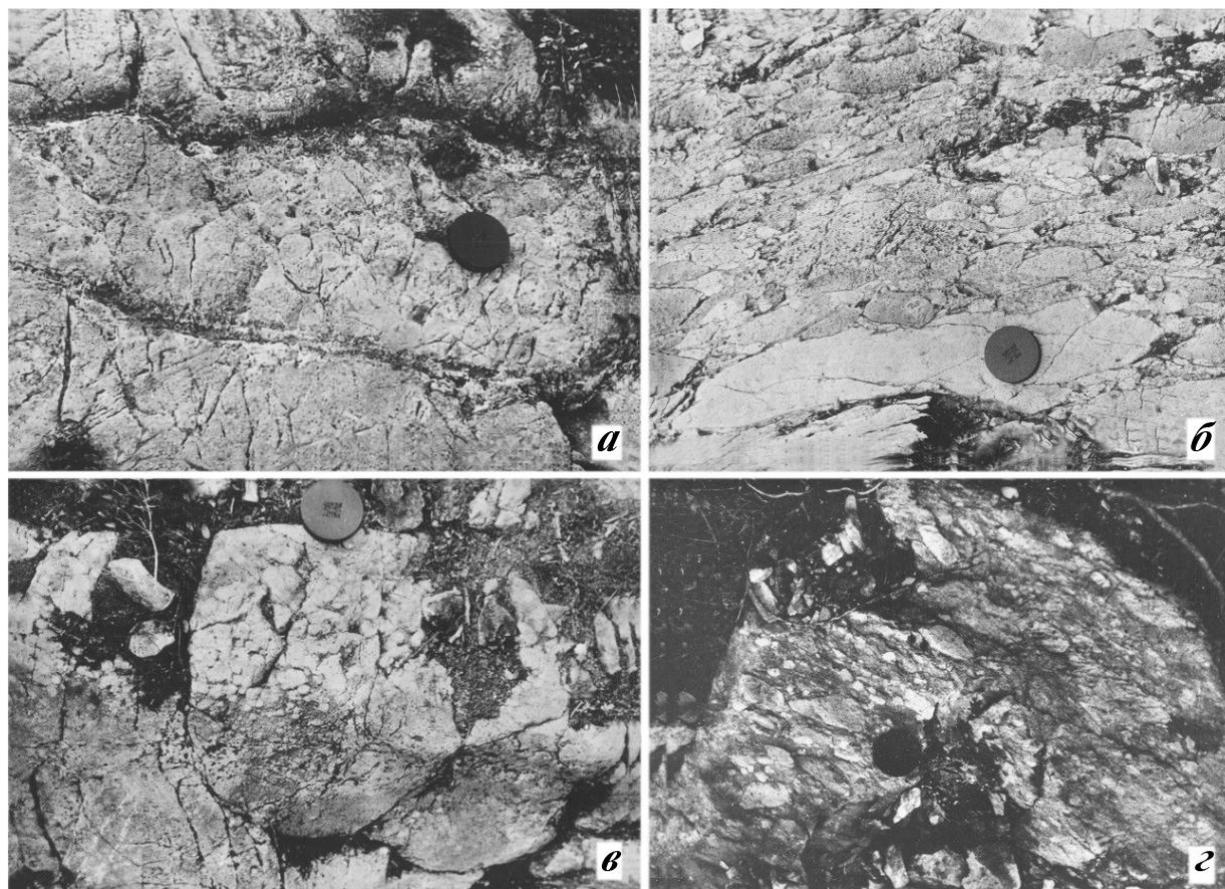


Рис. 4. Вулканиды меннельской (а-в) и каплинской (г) свит вепсия.

Фотоснимки обнажений: а, в — пиллоу-лавы пикробазальтового состава (Брагинский вулканцентр): реликтовая текстура пиллоу-лав (а), сферолитовые агрегаты в центре фрагмента пиллоу-лавы (в); б — туфолава пикритового состава; г — туфоагломерат трахиандезитового состава (каплинская свита, Северопороярвинский вулканцентр)

Fig. 4. Volcanic rocks of the Mennelskaya (а-в) and Kaplinskaya (г) suites of Vepsia.

Photographs of outcrops: а, в — pillow-lava picro-basalt (Braginsky volcanic center): relict texture of pillow-lavas (а), globular aggregates in the center of the pillow-lava fragment (в); б — picrite tuff-lava; г — tuff-agglomerate of trachyandesite (Kaplinskaya suite, Severoproyarvinsky volcanic center)

Вулканоструктуры каплинской свиты в рамках Пороярвинского прогиба представлены: Северопороярвинским вулканцентром (СПВЦ), разрез которого сложен среднекислыми вулканидами; Южнопороярвинским вулканцентром (ЮПВЦ), сложенным субщелочными базальтами, магнезиальными андезибазальтами и андезитами; Каплинским вулканцентром (КВЦ), сложенным пирокластолитами и экструзивными туфолавами андезибазальтового и андезитового состава.

Северопороярвинский вулканцентр (СПВЦ) представляет собой фрагмент вулканической постройки в виде клиновидного тела с тектоническими контактами, протягивающегося от оз. Пороярви почти на 8 км в юго-восточном направлении (рис. 5). Массивные экструзивные лавы слагают субизометричный купол концентрического строения, западная часть которого срезана системой нарушений северо-восточного простирания. Для разреза экструзии характерны также туфолавы атакситовой текстуры, с андезитовым матриксом и обломками более кислого состава (рис. 6).

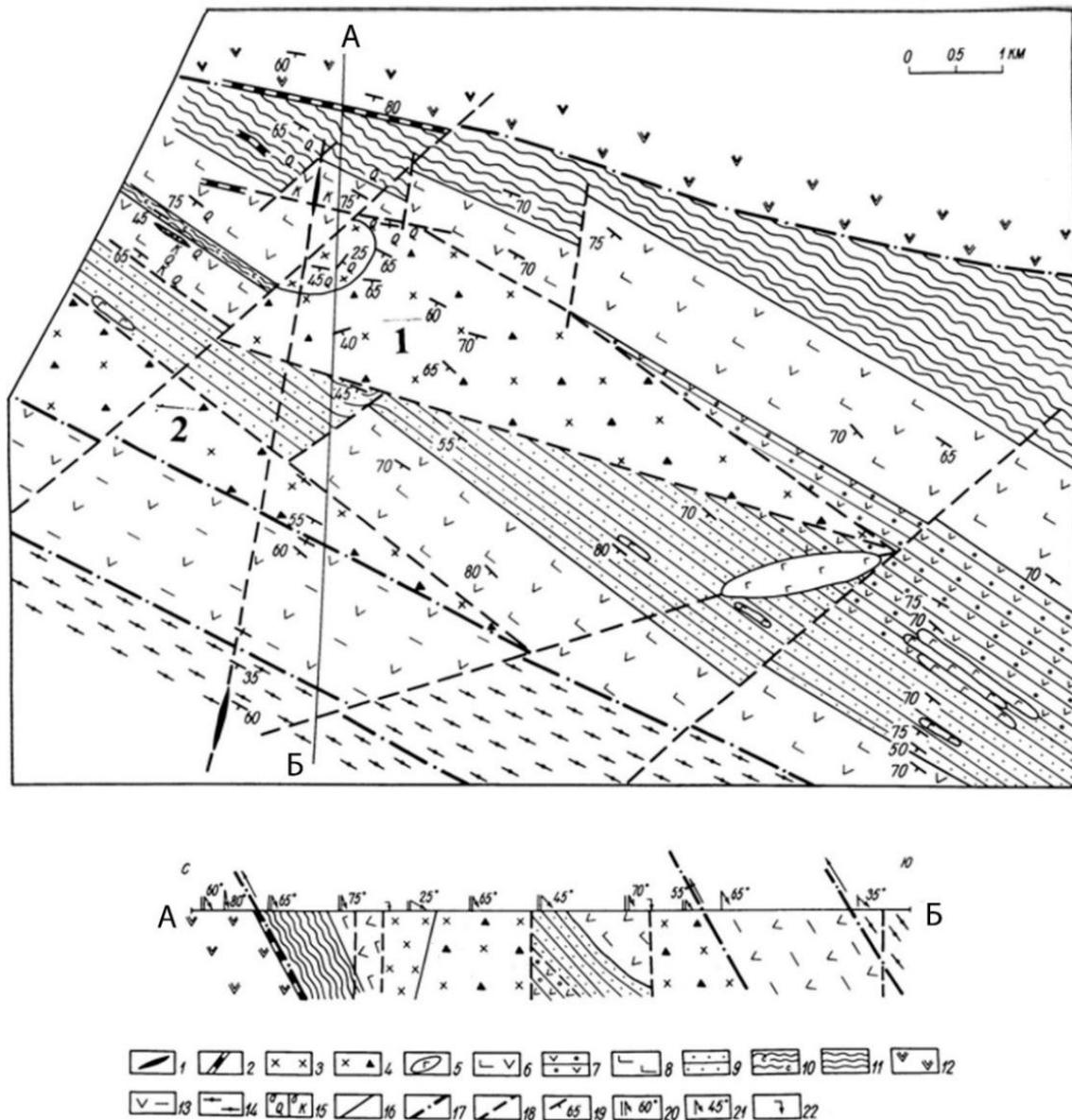


Рис. 5. Схематическая геологическая карта Северопороярвинского (1) и Южнопороярвинского (2) ВЦ. Условные обозначения: 1 — дайки долеритов; 2–4 — породы каплинской свиты вепсия: дайки андезидацитов (2), трахиандезиты экструзивного купола (3), туфолавы и туфы среднекислого состава (4); 5 — долериты; 6, 7 — породы брагинской свиты свекофенния; 8 — пикробазальты меннельской свиты вепсия; 9 — туффитые песчаники кассейюкской свиты вепсия; 10 — кварц-углеродистые метасоматиты; 11 — филлиты каллоярвской свиты калевиа; 12 — базальты заполярнинской свиты; 13 — сланцеватые амфиболиты; 14 — кристаллосланцы; 15 — вторичные изменения (а — окварцевание, б — карбонатизация); 16 — геологические границы; 17 — взбросо-надвиги; 18 — разломы; 19 — залегание пород; 20 — слоистость; 21 — сланцеватость; 22 — вертикальная сланцеватость

Fig. 5. Schematic geological map of Severoporoyarvinsky (1) and Yuzhnoporoyarvinsky (2) volcanic centers. Legend: 1 — dolerite dykes; 2–4 — rocks of the Kaplinskaya formation of the Vepsia: dikes of andesito-dacites (2), trachyandesites of the extrusive dome (3), medium-acid tuff-lava and tuffs (4); 5 — dolerites; 6, 7 — Svecofennian rocks of the Braghinskaya suite; 8 — Vepsia picro-basalts of Mennelskaya suite; 9 — Vepsia tuffite sandstones of the Kaseslyokskaya suite; 10 — quartz-carbonate metasomatites; 11 — phyllites of the Calloyarvinskaya suite of Kalevia; 12 — basalts of the Zapolyarinisky suite; 13 — schistose amphibolites; 14 — crystal schist; 15 — secondary changes (a — silicification, b — carbonatization); 16 — geological boundaries; 17 — uplifting thrusts; 18 — faults; 19 — rocks bedding; 20 — lamination; 21 — schistosity; 22 — vertical schistosity

Вулканиды каплинской свиты из разных вулканоцентров, характеризуются родственными особенностями составов, в то же время обладают специфическими для каждого вулканоцентра химическими особенностями. Так, вулканиды СПВЦ сложены щелочными породами — трахибазальтами, трахиандезитами и трахидацитами. Базитовые и среднекислые вулканиды ЮПВЦ представлены магнезиальными и магнезиально-железистыми разновидностями. В разрезе андезитовых вулканидов КВЦ широко представлены экструзивные генетические типы среднекислых лав полосчатой текстуры. По своим петрохимическим особенностям вулканиды свиты относятся к породам дифференцированного известково-щелочного генетического типа, формируя базальт-андезит-дацит-риолитовую формацию.

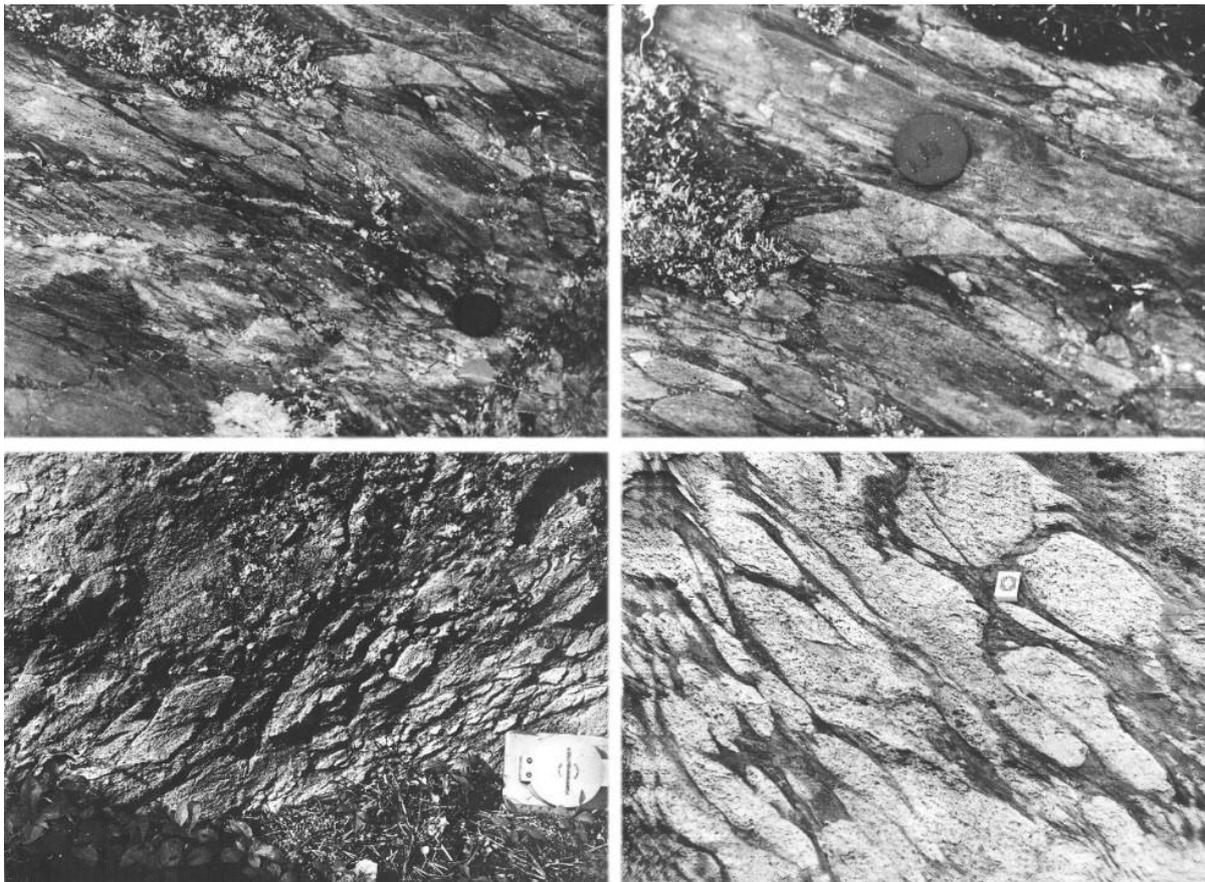


Рис. 6. Вулканиды каплинской свиты (Северопороярвинский вулканоцентр). Фотоснимки обнажений.

Экструзивные туфолавы андезидацитового состава. Светлое — обособления дацитового состава, темно-серое — трахиандезитовый матрикс

Fig. 6. Volcanic rocks of the Kaplinskaya suite (Severoporoyarvinsky volcanic center). Photographs of outcrops.

Extrusive tuff-lavas of andesite-dacite composition. Light — dacite clusters, dark gray — trachyandesite matrix

Вулкано тектонические структуры свекофенния Южно-Имандра-Варзугской зоны СВП

В Имандра-Варзугской структуре структурно-вещественный комплекс вепся редуцирован, а более древние породы свекофенния распространены лишь в ее западной и центральной частях. Здесь в Южно-Имандра-Варзугской зоне СВП вулканоструктуры свекофенния представлены раннесвекофеннийскими линейными и позднесвекофеннийскими субизометричными разновидностями.

Вулканоструктуры раннего свекофенния сформированы вулканитами ильмозерской свиты, суммарной мощностью до 600 м. Эти породы достоверно установлены прежде всего в центральной части Имандра-Варзугской структуры, где закартированы в виде линейной вулканотектонической структуры протяженностью около 50 км. На восточном фланге структуры ильмозерские вулканиты формируют центриклинальное замыкание так называемой Томингской брахисинклинали, слагая ее периферическую часть, в то время как в ядерной части сформировалась молодая позднесвекофеннийская Панареченская вулканоструктура, несогласная по отношению к СВК более древней ильмозерской свиты. Разрез пород ильмозерской свиты сложен покровами среднекислых вулканитов — андезибазальтов, реже андезитов, с признаками субаэральных условий излияния. В целом вулканиты свиты формируют коматиитовую андезибазальт-андезит-дацитовую формацию.

Панареченская вулканотектоническая структура позднего свекофенния.

Вулканоструктуры позднего свекофенния в Южно-Имандра-Варзугской зоне представлены, прежде всего, уникальной Панареченской вулканотектонической кальдероподобной структурой (ПВТС) многоэтажного строения. Данная структура была закартирована автором в процессе детальных геолого-геофизических работ в центральной части Имандра-Варзугской структуры, в бассейне р. Паны [2]. В строении фундамента ПВТС участвуют смятые в складки осадочно-вулканогенные толщи имандра-варзугского комплекса, представленные породами нижнего ятулия (умбинская свита), людиковия (миттриярвинская свита), а также низов свекофенния (ильмозерская свита).

В плане ПВТС представляет собой овальное геологическое тело размером 15×8 км, вытянутое в северо-западном направлении и автономное по отношению к вмещающим породам ильмозерской и миттриярвинской свит (рис. 7). Юго-западное крыло структуры срезано крупным глубинным разломом, так называемым Томингским надвигом. Структура с периферии сложена осадочно-вулканогенными породами панареченской свиты с центриклинальным концентрическим залеганием под углом 25-45°. В основании разреза — осадки нижнепанареченской подсвиты с прослоями углеродистых сланцев. Осадочные породы перекрыты покровами базальтов и пикробазальтов верхнепанареченской подсвиты. Ядерная часть ПВТС сложена риолитами самингской свиты, формирующими «плато» палеоигнимбритов, прорванное штоком эпизональных гранитов. Покровы риолитов имеют пологое, местами субгоризонтальное залегание. По периметру ПВТС зафиксирован кольцевой циркумструктурный разлом с отвесным падением, в зоне влияния которого внедрились многочисленные линзовидные и серповидные тела субвулканических трахиандезитов и относительно глубинных эпизональных монцонитов.

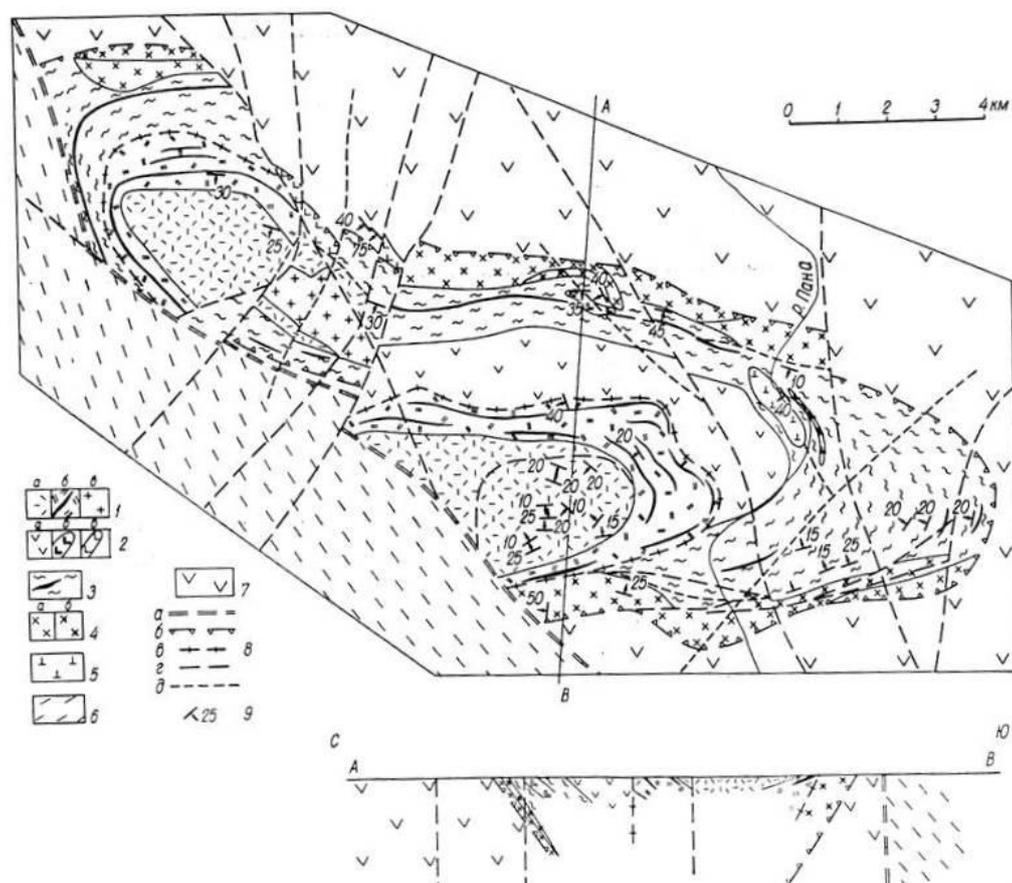


Рис. 7. Схематическая геологическая карта Панареченской вулкано-тектонической структуры (ПВТС) [1].

Условные обозначения: 1 — породы нижней (а) и верхней (б) подсвит самингской свиты — фельзические лавы с прослоями углеродистых сланцев, граниты Самингского массива в зоне поперечного поднятия (е); 2, 3 — породы панареченской свиты: 2 — вулканиды верхнепанареченской подсвиты: базальты (а), габбро-долериты (б), долериты (е); 3 — осадки нижнепанареченской подсвиты с прослоями углеродистых сланцев; 4 — эпизональные монзониты (а) и субвулканические трахиандезиты (б) зоны кольцевого разлома; 5 — ультраосновные породы Панареченского массива; б — вулканиды миттриярвинской свиты калевия; 7 — среднекислые лавы ильмозерской свиты раннего свекофенния; 8 — дизъюнктивные нарушения: Томингский надвиг (а), Панареченский кольцевой разлом (б), кольцевые разломы второго порядка (е), крупные разрывные нарушения (з), второстепенные разрывные нарушения (д); 9 — залегание пород

Fig. 7. Schematic geological map of the Panarechenskaya volcano-tectonic structure (PVTS) [1].

Legend: 1 — the rocks of the lower (a) and upper (b) subsuites of the Samingskaya suite — felsic lavas with interlayers of carbonaceous schists, granites of the Samingsky massif in the zone of transverse uplift (e); 2, 3 — the rocks of the Panarechenskaya suite: 2 — volcanic rocks of the Upper Panarechenskaya subsuite: basalts (a), gabbro-dolerites (b), dolerites (e); 3 — sediments of the Lower Panarechenskaya subsuite with interlayers of carbonaceous schists; 4 — epizonal monzonites (a) and subvolcanic trachyandesites (b) zones of the ring fault; 5 — ultrabasic rocks of the Panarechensky Massif; б — volcanoes of the Mitriyarvi suite of Kalevia; 7 — medium-acid lavas of the Ilmozersky suite of Early Svekofennian; 8 — disjunctive disorders: Tomingsky thrust (a), Panarechensky ring fault (b), ring faults of the second order (e), major disruptive disorders (z), secondary disruptive disorders (d); 9 — rocks bedding

Вулканиды монзонит-трахиандезитовой вулканоплутонической ассоциации зоны кольцевого разлома. Субвулканические трахиандезиты и эпизональные монзониты, будучи родственными образованиями, пространственно совмещенными в зоне влияния кольцевого разлома, тем не менее, оторваны друг от друга по времени образования. Лавоподобные субвулканические трахиандезиты являются более молодыми и менее глубинными, чем хорошо раскристаллизованные

монцониты. Трахиандезиты охватывают на петрохимических диаграммах, по сравнению с монцонитами, поля широкого спектра составов — от субщелочных базальтов до риолитов, однако наиболее распространены в этой группе трахиандезибазальты, трахиандезиты и трахидациты. На петрохимических диаграммах прослеживается определенное родство монцонитов с трахиандезитами. Фигуративные точки этих пород расположены закономерно на тренде дифференциации локального магматического очага андезитового состава. Отметим также, что именно с трахиандезитами связаны в пределах ПВТС зоны повышенной минерализации и потенциальной рудоносности. В целом вулканогенные породы зоны кольцевого разлома формируют известково-щелочную монцонит-трахиандезитовую формацию.

Осадочные породы нижнепанареченской подсвиты мощностью около 600 м образуют замкнутое кольцо по периферии ПВТС. Подсвета сложена аркозовыми олигомиктовыми, namного реже граувакковыми песчаниками и алевролитами. В значительной степени эти песчаники относятся к так называемым тефроидным разновидностям, в которых обломочный материал частично представлен округлыми окатанными обломками слабо измененного вулканического среднекислого стекла. Результаты лазерного микроспектрального анализа этих гранул указывают на идентичность состава этих образований, а также на близость их состава по основным характеристикам к составу плагиоклазов из гипабиссальных монцонитов и трахиандезитов. Предлагается модель образования аркозовых и граувакковых песчаников-тефроидов нижнепанареченской подсвиты за счет автономного гранитоидного источника (при синвулканическом разрушении приповерхностных экструзивных пород монцонит-трахиандезитовой ассоциации) и быстрого переотложения рыхлого материала в синвулканическом бассейне осадконакопления (кальдерное озеро).

По геофизическим данным, в разрезе нижнепанареченской подсвиты прослеживается выдержанный «горизонт» проводящих пород мощностью в 100–150 м, который представляет собой толщу переслаивания углеродистых сланцев-метасоматитов с песчаниками. В этих сланцах отмечены повышенные концентрации рудных элементов (Au, Ag, Sn, Bi, Sb, Pb, Zn, W, As). В разрезе закартированы также отдельные линзовидные и пластовые тела углеродистых сланцев-метасоматитов.

Базальты верхнепанареченской подсвиты мощностью около 400 м перекрывают осадки нижней подсвиты через зону переслаивания осадков и вулканитов, причем базальты, в отличие от подстилающих осадков, уже не образуют сплошного кольца по периферии ПВТС, а занимают эксцентричное положение, со смещением от центра структуры к югу. Толща базальтов подсвиты, лежащая выше зоны переслаивания, имеет мощность около 400 м. Она отличается однородным строением, характеризующимся чередованием покровов мелко- и среднезернистых базальтов мощностью 1–30 м, а также пластовых тел габбро-долеритов мощностью до 5–10 м. Наблюдается также ряд дискордантных интрузий меланократовых габбро-долеритов (рис. 7). Базальтоиды подсвиты формируют габбро-базальтовую вулканоплутоническую ассоциацию толеит-базальтового генетического типа.

Вулканыты самингской свиты слагают ядерную часть Панареченской вулканотектонической структуры. В верхнепанареченское время произошло изменение структурного плана развития западной и восточной частей ПВТС, проявившееся в тенденции смещения к югу бассейна осадконакопления, которая продолжалась и в дальнейшем, что привело к заложению двух более мелких вулканоструктур второго порядка — Западной и Восточной кальдер, эксцентричных по отношению к структуре ПВТС (рис. 7). Кальдеры разделены поперечным вулкано-купольным поднятием, в центре которого внедрился Самингский массив эпизональных аляскитовых гранитов микроклин-плагиоклазового состава — реликтовый останец подводящего канала древнего палеовулкана центрального типа. Западная и Восточная кальдеры выполнены дацит-риолитовыми лавами и палеоигнимбритами нижнесамингской и верхнесамингской подсвит.

В разрезе нижнесамингской подсвиты преобладают риолиты порфировой структуры, с идиоморфными или округло-оплавленными вкрапленниками кварц-плагиоклазового состава (рис. 8). Риолиты обычно интенсивно брекчированы и милонитизированы. Разрез вулканитов верхнесамингской подсвиты отличается крайним однообразием. Это толща риолитовых и риодацитовых лав с реликтовыми признаками игнимбритовых текстур. В общем, граница нижней и верхнесамингской подсвиты достаточно условна. Она всего лишь разграничивает кислые лавы с углеродистыми метасоматитами нижней подсвиты и лавы верхней подсвиты, практически лишенные этих образований. Граниты Самингского плутона вместе с лавами самингской свиты формируют непрерывную известково-щелочную трахиандезит-дацит-риолитовую формацию.

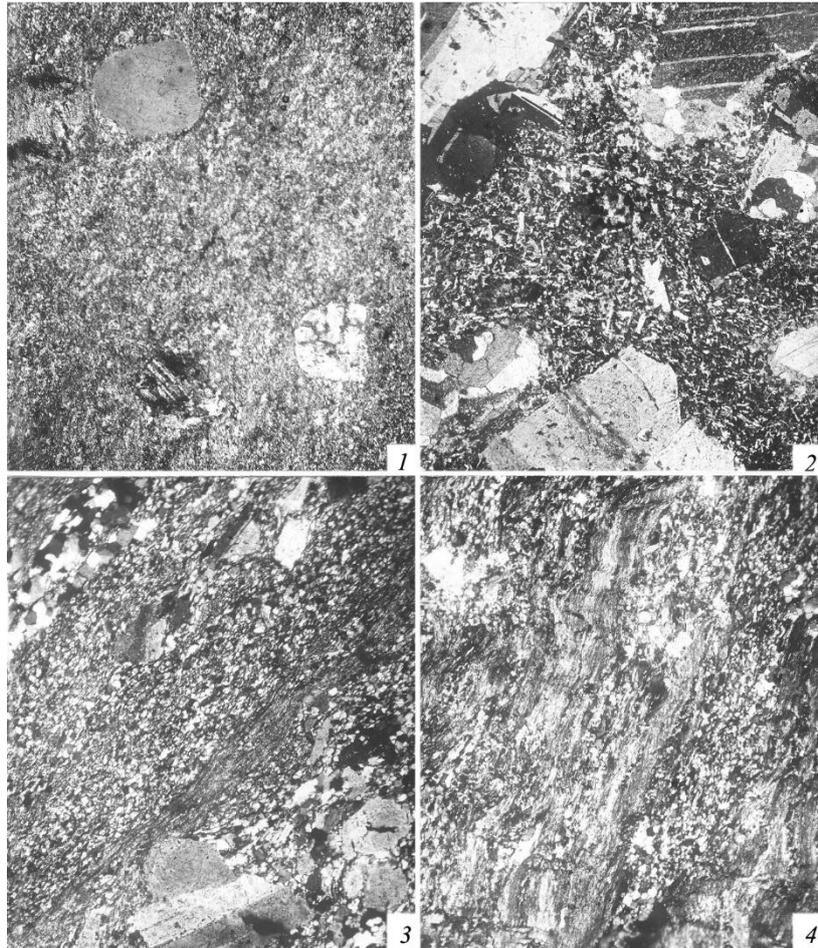


Рис. 8. Лавы кислого состава нижнесамингской подсвиты (фотоснимки прозрачных шлифов, николи скрещены): 1 — риолит; структура порфировая, основной ткани — бластокриптокристаллическая. Порфировые вrostки представлены кислым плагиоклазом и кварцем, $\times 25$; 2 — риолит, структура порфировая, основной ткани — микропризматически зернистая. Порфировые вrostки представлены кислым плагиоклазом, $\times 30$; 3 — риолит рассланцованный; структура реликтовая порфировая, основной ткани — бластомикрофельзитовая. Видны реликтовые порфировые вrostки плагиоклаза и гранулированного кварца, $\times 20$; 4 — риолит милонитизированный, наблюдаются признаки реликтовой порфировой структуры, $\times 20$

Fig. 8. Acid lavas of the Lower Sammingskaya subsuite (photos of transparent sections, nikoli crossed): 1 — rhyolite; porphyry texture, texture of matrix — blastocryptocrystalline. Porphyroblasts consist of acid plagioclase and quartz, $\times 25$; 2 — rhyolite, porphyritic texture, texture of matrix — microprismatic granular. Porphyroblasts consist of acid plagioclase, $\times 30$; 3 — schistose rhyolite; relic porphyritic texture, texture of matrix — blastomicrofelsitic. Relic porphyry spots consist of plagioclase and granular quartz, $\times 20$; 4 — mylonitic rhyolite, relic porphyry texture is observed, $\times 20$

Заключение

Таким образом, в пределах Панареченской структуры вулканиты позднего свекофенния формируют следующий формационный ряд: укороченная известково-щелочная формация зоны кольцевого разлома (монзонит-трахиандезитовая вулканоплутоническая ассоциация) — однородная толеит-базальтовая формация островодужного генетического типа (габбро-базальтовая вулканоплутоническая ассоциация верхнепанареченской подсвиты) — непрерывная известково-щелочная трахиандезит-дацит-риолитовая формация (гранит-риолитовая вулканоплутоническая ассоциация самингской свиты).

Полученные нами данные о возрасте фельзических вулканитов и интрузивных пород ПВТС позволяют предположить длительную историю формирования этой кальдерной структуры в свекофеннии [2]. Наиболее ранняя фаза магматизма ПВТС представлена массивом эпизональных плагиомикроклиновых гранитов, U-Pb-возраст которых составляет 1940 ± 5 млн лет. Трахиандезиты зоны кольцевого разлома имеют U-Pb-возраст 1907 ± 18 млн лет. Самая молодая фаза магматизма представлена риолитами самингской свиты (1883 ± 26 млн лет) [2].

Причины хорошей сохранности всех особенностей классических кальдерных структур в Панареченской вулканотектонической структуре объясняются благоприятным стечением целого ряда обстоятельств. На орогенной стадии эволюции Печенгско-Варзугского пояса в его центральной части сформировался крупный блок, сложенный свекофеннийскими породами ПВТС молодого Свекофеннийского пояса и опущенный на значительную глубину по системе поперечных разломов, оперяющих Умба-Вильмуайвский продольный глубинный разлом-линеамент. Благодаря исключительно благоприятным условиям нахождения в тектонически затененном пространстве, ПВТС сохранилась практически в «незатронутом» состоянии и не подверглась заметному воздействию последующих многочисленных и разновозрастных тектономагматических процессов. Сохранился и вулканогенно-осадочный комплекс заполнения этой структуры, и многочисленные гипабиссальные тела зоны кольцевого кальдерного разлома, и субизометричная в плане интрузия гранитов, представляющая собой подводный канал внутрикальдерного палеовулкана, и многочисленные зоны синвулканических углеродистых и кварц-углеродистых метасоматитов. Волшебным образом почти незатронутая изменениями вулканотектонической кальдерной структура с возрастом почти 2 млрд лет была перенесена из глубокой древности в наше время.

Подводя итог рассмотрению особенностей эволюции Свекофеннийского вулканического пояса в отношении его строения и состава, можно констатировать, что СВП во многом аналогичен орогенным вулканическим поясам фанерозоя и даже современным их представителям, для которых характерны ранние собственно вулканотектонические структуры, имеющие линейную форму, и более поздние субизометричные кальдероподобные образования [7]. Таким образом, геодинамические события свекофенно-вепсийского цикла (1940–1700 млн лет) в Южно-Печенгской и Южно-Имандра-Варзугской зонах можно объяснить с позиций новой геологической концепции орогенных вулканических поясов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сейсмогеологическая модель литосферы Северной Европы: Лапландско-Печенгский район / отв. ред. Н. В. Шаров. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 226 с.
2. Скуфьин П. К. Раннепротерозойские вулканогенные формации ПВП как индикаторы геодинамических режимов: автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 1998.
3. Устиев Е. К. Охотский структурный пояс и некоторые связанные с ним проблемы // Сов. геология, 1959. № 3.
4. Косыгин Ю. А. Тектоника. М.: Недра, 1969. 470 с.
5. Лучицкий В. И. Основы палеовулканологии. М.: Наука, 1971. Т. 2. 381 с.
6. Шарпенко Л. Н. Магмагенные кольцевые структуры. Л.: Недра, 1979.
7. Белый В. Ф. Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканического пояса. М.: Наука, 1977. 171 с.
8. Балтыбаев Ш. К., Левченко О. А., Левский Л. К. Свекофеннский пояс Фенноскандии: пространственно-временная корреляция раннепротерозойских эндогенных процессов. СПб.: Наука, 2009. 328 с.

Сведения об авторе

Скуфьин Петр Константинович — доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института ФИЦ КНЦ РАН

E-mail: skuf@geoksc.apatity.ru

Author Affiliation

Peter K. Skuf'in — Doctor of Sciences (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: skuf@geoksc.apatity.ru

Библиографическое описание статьи

Скуфьин, П. К. Новая модель геологического строения Южной зоны раннепротерозойского Печенгско-Варзугского зеленокаменного пояса / *П. К. Скуфьин* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 1 (10). — С. 63–80.

Reference

Skuf'in Peter K. A New Model of Geological Structure of the Southern Zone of Early Proterozoic Pechenga-Varzuga Greenstone Belt. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2018, vol. 1 (10), pp. 63–80 (In Russ.).