

УДК (234.852):550.93:552.321(234.851)

DOI: 10.24930/1681-9004-2025-25-6-1350-1364

## Геохимические особенности и условия формирования позднедокембрийских вулканитов южной части Ляпинской тектонической зоны (Северный Урал)

Г. А. Петров

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, 620110, г. Екатеринбург,  
ул. Академика Вонсовского, 15, e-mail: Georg\_Petrov@mail.ru

Поступила в редакцию 24.02.2025 г., принята в печать 13.04.2025 г.

*Объект исследования.* Вулканогенные породы, относимые к саблегорской свите верхнего рифея – венда в южной части Ляпинской тектонической зоны (Северный Урал). *Цель.* Реконструкция этапов и палеообстановок формирования вулканических пород. *Методы и материалы.* Выполнены геохимические исследования и интерпретация геохимических параметров с привлечением геологических и изотопно-геохронологических данных. *Результаты.* Геохимические особенности вулканогенных пород, относимых к саблегорской свите, указывают на неоднородность их состава, что может указывать на присутствие нескольких групп пород, формировавшихся в разных условиях. Радиологические определения возраста пород имеют диапазон более 100 млн лет, от позднего рифея до позднего кембрия, что также не противоречит представлениям о нескольких импульсах магматической активности. Можно предположить пространственное совмещение в пределах Ляпинской тектонической зоны вулканогенных образований нескольких разновозрастных палеообстановок – докембрийской надсубдукционной и раннепалеозойской рифтогенной. *Выводы.* Сделано предположение, что вулканогенные породы, в настоящее время относимые к саблегорской свите RF<sub>3</sub>-V, формировались в тылу позднедокембрийской активной континентальной окраины и на ранней стадии континентального рифтогенеза в раннем палеозое.

**Ключевые слова:** Северный Урал, Ляпинская тектоническая зона, вулканогенные образования, саблегорская свита

### Источник финансирования

Исследования проведены в соответствии с темой государственного задания ИГГ УрО РАН (№ госрегистрации 123011800013-6) с использованием оборудования ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН

## Geochemical features and formation conditions of Late Precambrian volcanics in the southern part of the Lyapin tectonic zone (Northern Urals)

Georg A. Petrov

A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg 620110, Russia,  
e-mail: Georg\_Petrov@mail.ru

Received 24.02.2025, accepted 13.04.2025

*Research subject.* Volcanogenic rocks belonging to the Sablegorskaya formation of the Upper Riphean–Vendian in the southern part of the Lyapin tectonic zone (Northern Urals). *Aim.* Reconstruction of the stages and paleo-environments of volcanic rock formation. *Methods and materials.* Geochemical studies and interpretation of geochemical parameters were performed using geological and isotope-geochronological data. *Results.* Geochemical features of volcanogenic rocks belonging to the Sablegorskaya formation indicate heterogeneity of their compositions, which may indicate the presence of several rock groups formed under different conditions. Radiological determinations of the age of rocks have a range of more than 100 million years, from the Ediacaran to the Late Cambrian (Furongian). This finding does not contradict the idea of the action of several pulses of magmatic activity. An assumption can be made about a spatial combination of volcanogenic formations of several paleoenvironments of different ages – Precambrian suprasubduction and Early Paleozoic rifting – within the Lyapin tectonic zone. *Conclusions.* An assumption is made that the volcanogenic rocks currently attributed to

**Для цитирования:** Петров Г.А. (2025) Геохимические особенности и условия формирования позднедокембрийских вулканитов южной части Ляпинской тектонической зоны (Северный Урал). *Литосфера*, 25(6), 1350–1364. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-6-1350-1364>. EDN: OYUGZC

**For citation:** Petrov G.A. (2025) Geochemical features and formation conditions of Late Precambrian volcanics in the southern part of the Lyapin tectonic zone (Northern Urals). *Lithosphere (Russia)*, 25(6), 1350–1364. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-6-1350-1364>. EDN: OYUGZC

© Г.А. Петров, 2025

the RF<sub>3</sub>-V Sablegorskaya formation were formed in the rear of the Late Precambrian active continental margin at an early stage of continental rifting in the Early Paleozoic.

**Keywords:** Northern Urals, Lyapin tectonic zone, volcanogenic formations, Sablegorskaya formation

#### Funding information

The studies are carried out as a part of the IGG UB RAS state assignment (state registration No. 123011800013-6) using the "Geoanalitik" shared research facilities of the IGG UB RAS

## ВВЕДЕНИЕ

Вопросы геологического строения, состава и возраста вулканогенных образований, распространенных среди докембрийских комплексов Северного и Приполярного Урала, рассмотрены во многих публикациях (Голдин и др., 1973; Голдин, Калинин, 1980; Червяковский и др., 1988, 2000 и др.; Душин, 1997; Андреичев, 1999 и др.; Соболева, 2004, 2020 и др.; Пучков, 2005, 2010; Кузнецов и др., 2006; Холоднов и др., 2022; и др.). Большая часть исследователей (Голдин, Калинин, 1980; Бочкарев, Язева, 2000; Волчек, 2004; и др.) рассматривала докембрийские вулканиты севера Урала в рамках модели континентального рифтогенеза и проводила корреляции с хорошо изученными рифтогенными магматическими образованиями Южного Урала. Позднее появились данные о принадлежности докембрийских блоков северной части Урала не к Восточно-Европейскому палеоконтиненту (Балтике), а к древнему композитному континенту Арктиде, который был аккретирован к окраине Балтики в конце венда – начале кембрия (Кузнецов и др., 2005, 2006; и др.). Интересные материалы получены при изучении состава и возраста магматических пород фундамента Печорской плиты и корреляции их с аналогичными образованиями западного склона северной части Урала (Фундамент..., 2008; Андреичев, 2010; и др.). Выяснилось, что часть докембрийских габброидов и гранитоидов имеет сходство составов с таковыми островодужных магматических образований, что позволяет по-новому взглянуть на возможный генезис гранитоидов I-типа, хорошо известных на севере Урала, и предположить формирование их в надсубдукционной и последующей орогенной обстановках (Соболева, 2004; Кузнецов и др., 2006; Пучков, 2010; Удоратина и др., 2022; и др.). В связи с наличием разных точек зрения на обстановки формирования докембрийских вулканогенных образований Северного и Приполярного Урала выполнено изучение геохимических особенностей магматических пород на основе авторских материалов с привлечением данных геолого-съёмочных работ.

Подавляющая часть предшествующих исследований доордовикских вулканитов выполнена на

Приполярном Урале, в северной части Ляпинского антиклинория, или Ляпинской тектонической зоны, по (Тектонический..., 2016). Нами изучена южная часть Ляпинской зоны, информация по которой весьма скудна. Распространенные здесь вулканогенные образования ранее не имели современной геохимической характеристики и обоснования возраста; обстановка формирования вулканитов также не была определена. Предлагаемая статья призвана восполнить этот пробел.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной статье использованы результаты геологического картирования м-ба 1:200 000 (Ильсова и др., 2017; Государственная..., 2018). Силикатные химические анализы (РФА) и анализы методом ICP-MS выполнены с использованием оборудования ЦКП "Геоаналитик" ИГГ УрО РАН. Типовой силикатный анализ (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, п. п. п.) проведен на установках СРМ-18 и EDX-900HS. Масс-спектрометр квадрупольный с индуктивно связанной плазмой ELAN 9000 привлекался для микроанализа проб методом ICP-MS на редкие (14 редкоземельных элементов) и рассеянные элементы.

## КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ РАЙОНА, СОСТАВЕ И ВОЗРАСТЕ ПОРОД САБЛЕГОРСКОЙ СВИТЫ

Ляпинская тектоническая зона (по (Тектонический..., 2016)) расположена в осевой части Приполярного и Северного Урала и соответствует тектоническому блоку докембрийских пород в обрамлении комплексов палеозойской пассивной окраины Восточно-Европейского палеоконтинента (Пучков, 2010; и др.). Ляпинская структура (по терминологии различных авторов, антиклинорий или мегантиклинорий) включает несколько блоков (или антиклинориев) – северный Кожимский, южнее расположен Маньхамбовский блок (антиклинорий), и южная часть входит в состав Выдерьяинского аллохтона (Соболева, 2004; Кузнецов и др., 2005; Го-

сударственная..., 2006; Холоднов и др., 2022; и др.). Докембрийские образования Ляпинской тектонической зоны объединяются в составе одноименной структурно-формационной зоны, северная часть которой представлена Хобеизско-Маньхамбовской, а южная – Выдербинско-Ниолсовской подзонами. Ранее предполагалось (Государственная..., 2006; Жданов, 2009), что стратоны Выдербинско-Ниолсовской подзоны имеют существенные отличия от распространенных севернее латеральных аналогов, но проведение геологосъемочных работ и создание комплектов Госгеолкарты-200/2 в этом районе (Ильясова и др., 2017; Государственная..., 2018) показали, что выделение двух подзон в составе Ляпинской структурно-формационной зоны вызвано недостаточной изученностью, а стратификация позднедокембрийских толщ, состав и возраст интрузивных и субвулканических образований могут быть прослежены на всем ее протяжении. В южной части (район верховьев рр. Печора и Вишера) Ляпинская структура имеет облик крупной тектонической пластины, ограниченной надвигами (рис. 1). В ее строении здесь участвуют верхнерифейские последовательности хобеинской и мороинской свит, а также верхнерифейско-вендские образования саблегорской свиты, прорываемые интрузиями габбро верхнерифейско-вендского парнукского и гранитов венд-кембрийского сальнерско-маньхамбовского комплексов (Ильясова и др., 2017; Государственная..., 2018).

*Хобеинская свита* распространена в ядрах антиклиналей и представлена кварцитопесчаниками, аркозовыми и известковистыми метапесчаниками, полосчатыми парасланцами с линзами метаморфизованных гравелитов и мелкогалечных конгломератов. Согласно перекрывающая ее *мороинская свита* включает темно-серые и серо-зеленые сланцы серицит-хлорит-альбит-кварцевого состава с различными соотношениями компонентов, иногда с примесью углеродистого материала, филлитовидные сланцы. Биостратиграфическое или изотопно-геохронологическое обоснование возраста данных стратонов в исследуемом районе отсутствует. Выше по разрезу, выполняя палеодепрессии, залегают преимущественно вулканогенные образования, с долей условности отнесенные к *саблегорской свите*.

*Саблегорская свита* первоначально выделена В.Н. Малашевским в 1961 г. в районе хр. Сабля на Приполярном Урале; несколько позднее в состав свиты включены вулканогенные образования, представленные эффузивами основного состава и их туфами, ранее относившиеся к мороинской свите. Саблегорские вулканы слагают разобщенные блоки с тектоническими ограничениями. На отдельных участках они со стратиграфическим и угловым несогласием перекрываются грубозернистыми осадками раннеордовикской тельпосской

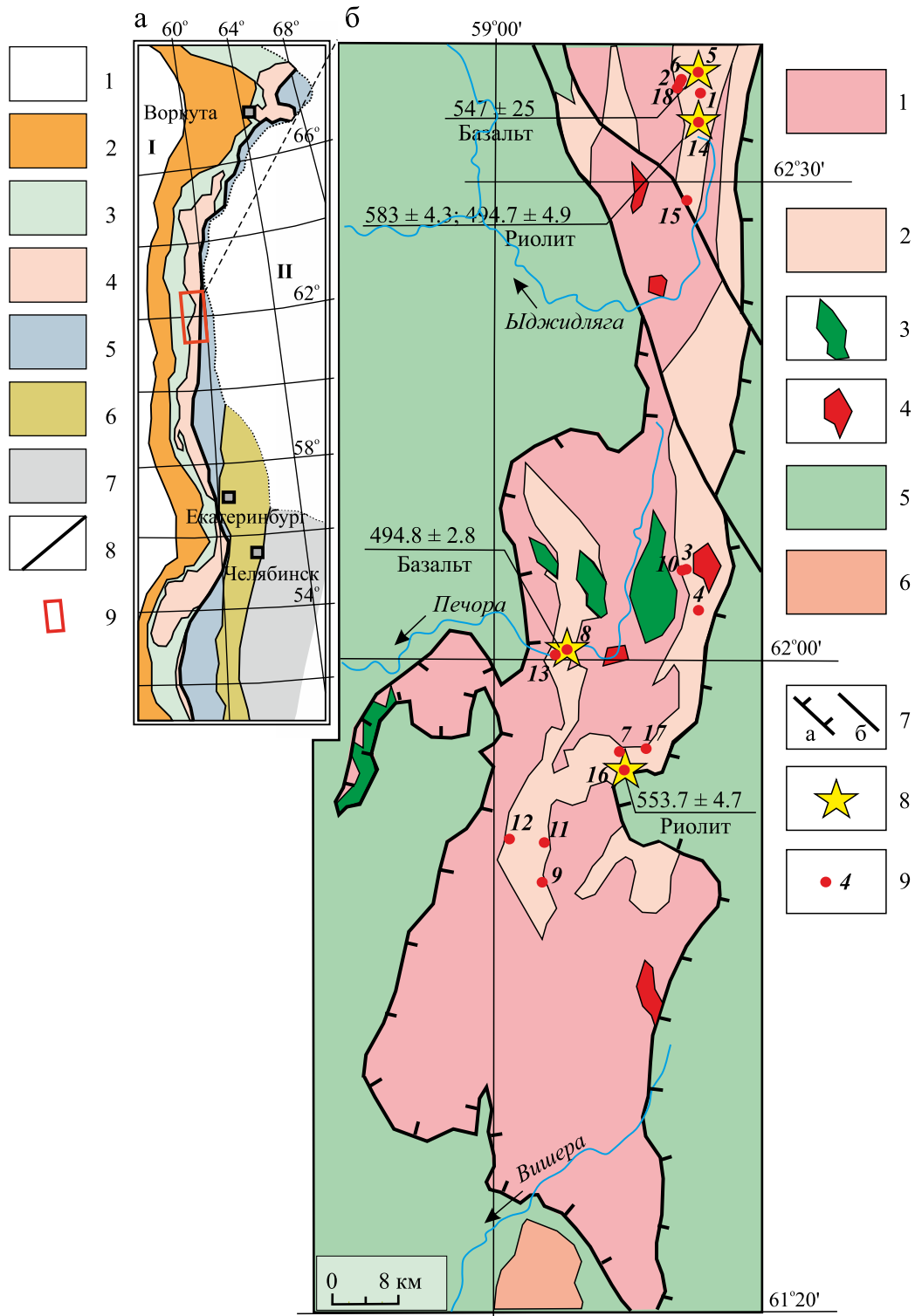
свиты. Саблегорские образования представлены терригенно-базальт-риолитовой ассоциацией. В ее составе преобладают метаморфизованные базальты, андезитобазальты, андезиты, риодациты, риолиты, трахириолиты, значительно реже встречаются грахибазальты, дациты, метаморфизованные туфы, туфопесчаники, кластолавы. Отмечаются прослои серицит-кварцевых сланцев.

Типы разрезов в северной и южной частях рассматриваемой территории существенно различны. В северной части (район верховьев р. Ыджидляга) они контрастные по составу: среди метабазальтов присутствует значительное количество метаморфизованных риолитов, вероятно, как лавовой, так и субвулканической фаций, другие типы пород присутствуют в резко подчиненном количестве. В южных разрезах (бассейн р. Печора) состав пород более разнообразен, кроме метаморфизованных базальтов и риолитов, отмечается значительное количество андезитов, дацитов, туфов разного состава.

Метаморфизованные риолиты – породы сланцеватой текстуры, афировой и бластопорфировой структуры – состоят из тонкозернистого агрегата кварца и альбита с тонкочешуйчатым серицитом или хлоритом, реже калиевым полевым шпатом, часто с примесью магнетита (до 5%), иногда стильномелана; вкрапленники представлены кислым плагиоклазом и кварцем. Метабазальты имеют бластопорфировую структуру с вкрапленниками альбитизированного плагиоклаза размером до 1 мм (до 10%), иногда сохраняются элементы миндакаменной и (или) порфировой структуры. Основная ткань лепидогранобластовой и нематолепидогранобластовой структуры состоит из альбита, хлорита, эпидота, актинолита, нередко присутствуют серицит, магнетит, карбонат, вторичный кварц. Карбонат часто образует прожилки, субпараллельные сланцеватости.

Метаморфизованные андезиты по структурно-текстурным особенностям сходны с метабазальтами, вкрапленники альбитизированного плагиоклаза размером до 1.5 мм составляют 10–15%, основная масса состоит из альбита, эпидота, хлорита, кварца, актинолита. Метаморфизованные туфы кислого состава обладают кристаллокластической структурой. Угловатые обломки представлены кварцем и плагиоклазом (20–40%), цемент лепидогранобластовой микроструктуры состоит из округлых и угловатых зерен кварца (до 60%), альбита (до 20%), серицита, иногда присутствуют карбонат и хлорит.

Метаморфизм образований саблегорской свиты не превышает уровень зеленосланцевой ступени. Гидротермально-метасоматические изменения проявлены в процессах окварцевания, серицитизации, эпидотизации, пиритизации. Докембрийские стратоны прорваны интрузиями габбро позднерифейско-ранневендского парнукского и грани-



**Рис. 1.** Схема расположения главных структур Урала и его обрамления, по (Пучков, 2010) с изменениями (а), и схематическая геологическая карта исследуемого района, составленная по материалам геолого-съёмочных работ АО “УГСЭ” и ЗАО “МИРЕКО” (б).

а. 1 – осадочный чехол платформ: Восточно-Европейской (I) и Западно-Сибирской (II); 2–4 – “палеоконтинентальный” сектор Урала: 2 – Предуральский краевой прогиб, 3 – Западно-Уральская мегазона (палеозойские комплексы пассивной континентальной окраины и континентального склона), 4 – Центрально-Уральская мегазона (докембрийские образования); 5–7 – “палеоокеанический” сектор Урала: 5 – Магнитогорская, Тагильская и Войкаро-Щучинская мегазоны (палеозойские преимущественно островодужные образования), 6, 7 – Восточно-Уральская и Зауральская мегазоны (коллаж блоков и пластин палеозойских и докембрийских комплексов); 8 – Главный Уральский разлом; 9 – исследуемая территория.

б. 1–4 – докембрийские комплексы Ляпинской тектонической зоны: 1 – метаморфизованные терригенные образования хобеинской и мороинской свит  $RF_3$ , 2 – метавулканиды саблегорской свиты  $RF_3-V_1$ , 3 – габбро и долериты парнукского комплекса  $RF_3-V_1$ , 4 – граниты сальнерско-маньхамбовского комплекса  $V_2-2_1$ ; 5 – палеозойские толщи пассивной континентальной окраины; 6 – докембрийские образования Малопечорско-Выдербинско-Ишеримской (по (Тектонический..., 2016)) тектонической зоны; 7 – разрывные нарушения: а – надвиги и взбросы, б – сложной и неустановленной кинематики; 8 – точки определения U-Pb радиологического возраста по цирконам; 9 – точки отбора геохимических проб, номера соответствуют таковым в табл. 1.

**Fig. 1.** The layout of the main structures of the Urals according to (Puchkov, 2010) with changes (a), and a schematic geological map of the area under study, compiled based on the materials of geological survey work by JSC UGSE and CJSC MIREKO (б).

а. 1 – sedimentary cover of platforms: East European (I) and West Siberian (II); 2–4 – the “Paleocontinental” sector of the Urals: 2 – the Pre-Ural regional trough, 3 – the West Ural megazone (Paleozoic complexes of the passive continental margin and continental slope), 4 – the Central Ural megazone (Precambrian formations); 5–7 – the Paleocenic sector of the Urals: 5 – Magnitogorsk, Tagil and Voykaro-Shchuchinskaya megazones (Paleozoic mainly island-arc formations), 6, 7 – East Ural and Trans-Ural megazones (collage of blocks and plates of Paleozoic and Precambrian complexes); 8 – The Main Ural fault; 9 – the studied area.

б. 1–4 – Precambrian complexes of the Lyapin tectonic zone: 1 – metamorphosed terrigenous formations of the Hobeinskaya and Moroininskaya formations  $RF_3$ , 2 – metavolcanites of the Sablegorskaya formation  $RF_3-V_1$ , 3 – gabbro and dolerites of the Parnuk complex  $RF_3-V_1$ , 4 – granites of the Salner-Mankhambo complex  $V_2-2_1$ ; 5 – Paleozoic strata of the passive continental margin; 6 – Precambrian formations of the Malopetchorsko-Vyderinsko-Isherimskaya (by (Tectonicheskii..., 2016)) tectonic zone; 7 – faults: а – thrusts, б – unidentified kinematics; 8 – points of determination of U-Pb radiological age by zircons; points of the geochemical probes sampling, numbers are the same with Table 1.

тов поздневендско-раннекембрийского сальнерско-маньхамбовского комплексов.

Возраст образований саблегорской свиты, установленный различными радиологическими методами, существенно различается. Выделяется несколько возрастных групп вулканидов. В стратотипическом районе Приполярного Урала (северная часть Ляпинской тектонической зоны, Кожимский блок) получены следующие результаты. Для риолитов хр. Малдынырд Rb-Sr изохронным методом определены возрасты  $586 \pm 21$  (Червяковский и др., 2000),  $603 \pm 8$  (Червяковский и др., 1988),  $535 \pm 10$  (Соболева, Андреичев, 1997) млн лет. Л.Т. Белякова (1972) приводит для риолитов U-Pb датировку 550 млн лет. Методом термоионной эмиссии В.Л. Андреичевым установлен Pb-Pb возраст субвулканических риолитов хр. Малды-Нырды  $516 \pm 19$  и  $519 \pm 17$  млн лет (Андреичев, 1999). А.А. Соболевой (2020) также по цирконам из риолитов методом U-Pb (SIMS) на установке SHRIMP-RG получена датировка  $495 \pm 4$  млн лет. Приводятся данные о возрасте (SRIMP) цирконов из риолитов субвулканической фации –  $623 \pm 3.3$  млн лет (Государственная..., 2005), вулканидов кислого состава U-Pb методом –  $695 \pm 6$  и  $642$  млн лет (Иванов и др., 2013). Таким образом, диапазон возрастов вулканидов колеблется от позднего рифея до позднего кембрия, составляя более 100 млн лет. Формирование всех разновозрастных вулканидов, относимых к саблегорской свите, в рамках одного геотектонического процесса представляется маловероятным; скорее всего, в петротипическом районе Приполярного Урала пространственно совмещены вулкано-генные образования, сформированные в различное время и разных палеообстановках.

На исследуемой территории методом LA-ICP-MS по фракциям цирконов из вулканидов саблегор-

ской свиты также получены различные датировки (см. рис. 1) (Петров и др., 2017, 2018). Так, при изучении цирконов из метариолитов в северной части площади обнаружены два кластера значений возраста –  $583 \pm 4.3$  млн лет ( $n = 5$ , СКВО = 0.55) и  $494.7 \pm 4.9$  млн лет ( $n = 3$ , СКВО = 1.07). Значения U-Pb изотопных отношений в цирконах из метабазальтов при построении линии дискордии дали датировку  $547 \pm 25$  млн лет ( $n = 12$ , СКВО = 0.75). В центральной части площади методом LA-ICPMS проанализированы цирконы из метабазальта, полученные значения изотопных отношений образуют один кластер с датировкой  $494.8 \pm 2.8$  млн лет ( $n = 33$ , СКВО = 1.2). Для цирконов из метариолитов получено значение возраста  $553.7 \pm 4.7$  млн лет ( $n = 17$ , СКВО = 1.2). Так же, как и в петротипическом районе, для вулканидов южной части Ляпинской тектонической зоны намечаются два возрастных кластера – позднепротерозойский (в данном случае вендский) и раннепалеозойский (позднекембрийский). Можно предположить, что в составе вулкано-генных образований также могут быть обнаружены признаки формирования в разных палеообстановках.

#### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНИДОВ САБЛЕГОРСКОЙ СВИТЫ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЛЯПИНСКОЙ ЗОНЫ

Представительные анализы вулкано-генных пород саблегорской свиты приведены в табл. 1. На классификационной диаграмме (рис. 2а) точки составов пород образуют ряд от базальтов до риолитов с максимумами в областях содержания кремнезема 46–57 и 69–75 мас. %. Большая часть вулканидов относится к известково-щелочной серии (рис. 2б). Базальты саблегорской свиты – это в основном

**Таблица 1.** Представительные анализы петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в вулканитах саблегорской свиты

**Table 1.** Representative analyses of petrogenic (wt %) and rare (g/t) elements in volcanic rocks of the Sablegorskaya series

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2058-5	5062	5157	5154-5	5058	5061	2259-2	2269-1	2288-1
SiO <sub>2</sub>	47.40	48.40	48.43	47.99	49.49	50.31	50.41	49.67	52.31
TiO <sub>2</sub>	2.04	2.95	2.24	2.27	1.83	1.76	1.56	1.95	1.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.80	14.64	14.26	14.87	13.39	12.15	13.20	12.52	13.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	8.95	8.46	11.60	6.85	8.85
FeO	13.52*	13.87*	14.82*	15.73*	3.60	4.10	3.50	7.00	4.30
MnO	0.18	0.20	0.22	0.20	0.18	0.21	0.20	0.17	0.18
MgO	4.06	3.80	5.33	5.64	7.06	7.92	4.93	7.80	6.11
CaO	9.96	8.30	7.76	6.47	8.77	9.00	8.02	7.11	5.61
Na <sub>2</sub> O	2.49	2.64	2.39	3.49	3.40	2.44	2.36	3.38	5.31
K <sub>2</sub> O	0.95	1.57	0.03	0.03	0.33	0.95	0.61	0.08	0.15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.36	0.24	0.15	0.33	0.26	0.47	0.25	0.25
П. п. п.	2.46	1.99	3.40	2.88	2.89	2.73	3.37	3.62	2.37
Сумма	99.03	98.72	99.12	99.72	100.26	100.34	100.24	100.44	100.40
Rb	23.37	35.06	0.05	0.08	7.01	15.40	20.52	1.18	2.38
Sr	351.73	363.60	278.06	254.24	318.18	134.02	496.84	96.26	116.35
Y	16.04	28.34	28.61	24.74	18.73	30.00	32.32	26.51	19.58
Zr	33.47	49.38	32.13	49.77	101.65	112.78	89.77	77.73	63.03
Nb	13.96	31.40	8.42	2.51	24.19	13.63	14.77	14.56	13.81
Hf	1.17	1.24	1.00	1.45	2.59	2.97	1.87	2.26	1.56
Ba	197.70	635.91	26.83	8.95	111.90	330.08	206.50	20.56	24.08
V	235.70	460.96	339.36	448.71	247.60	314.91	353.49	309.89	225.59
Cr	75.67	15.47	71.25	8.18	31.72	84.29	16.81	38.53	47.57
Co	51.63	37.76	45.24	40.04	37.38	37.96	36.02	44.47	34.10
Ni	93.76	14.68	39.75	16.33	35.56	124.92	23.43	60.68	81.76
Ta	0.98	1.99	0.53	0.17	1.61	0.83	0.66	0.88	0.86
Th	1.81	3.90	1.27	0.55	1.87	0.95	3.09	1.32	0.76
Pb	5.47	5.78	8.33	9.70	2.40	1.38	6.07	2.22	1.41
La	14.46	29.27	11.22	5.15	18.42	15.39	31.96	12.18	11.81
Ce	34.40	63.56	28.84	14.27	39.85	33.38	67.79	27.19	26.39
Pr	4.37	7.67	3.95	2.22	4.95	4.31	8.00	3.55	3.37
Nd	18.39	31.60	18.33	11.51	21.83	19.15	30.83	15.69	14.77
Sm	4.37	6.80	4.95	3.65	4.68	4.61	6.19	3.92	3.41
Eu	1.59	2.47	1.65	1.39	1.52	1.48	1.75	1.17	0.88
Gd	4.59	7.65	5.65	4.69	4.38	5.28	5.53	4.51	3.54
Tb	0.65	1.03	0.93	0.78	0.66	0.87	0.83	0.76	0.59
Dy	3.78	6.27	5.84	4.91	4.08	5.81	5.31	4.97	3.82
Ho	0.76	1.18	1.21	1.06	0.78	1.23	1.10	1.05	0.78
Er	2.05	3.35	3.46	3.04	2.12	3.63	3.11	3.07	2.28
Tm	0.26	0.45	0.48	0.43	0.29	0.52	0.41	0.43	0.31
Yb	1.74	2.71	2.96	2.72	1.73	3.23	2.44	2.66	1.85
Lu	0.22	0.34	0.36	0.39	0.23	0.45	0.29	0.35	0.23
Компонент	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	2134-8	5039	7767	7777	2060	2081	2258	5035	5063
SiO <sub>2</sub>	61.79	55.00	63.17	63.02	75.67	77.33	69.95	69.95	76.68
TiO <sub>2</sub>	0.56	0.99	0.72	0.84	0.19	0.16	0.65	0.68	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.87	15.82	14.21	11.25	11.60	10.83	13.33	12.95	11.94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	6.37	4.77	10.36	—	—	4.42	3.18	2.23
FeO	6.75*	4.60	3.10	2.10	3.11*	1.55*	1.10	2.30	0.40
MnO	0.13	0.18	0.11	0.24	0.01	0.01	0.08	0.08	0.04
MgO	2.11	7.08	1.97	1.63	0.09	0.07	2.58	1.89	0.40
CaO	5.49	1.81	3.94	3.58	0.02	0.01	1.45	1.87	0.91
Na <sub>2</sub> O	3.02	2.97	4.13	2.86	3.53	0.77	2.09	3.39	6.47
K <sub>2</sub> O	1.90	1.28	2.38	1.07	4.65	7.84	1.71	1.50	0.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.10	0.29	0.33	0.03	0.03	0.13	0.16	0.01
П. п. п.	1.48	4.05	1.33	2.87	0.28	0.27	2.48	2.21	0.63
Сумма	99.21	100.29	100.13	100.16	99.15	98.84	99.98	100.19	99.99

Таблица 1. Окончание

Table 1. Ending

Компонент	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	2134-8	5039	7767	7777	2060	2081	2258	5035	5063
Rb	61.57	22.61	37.51	28.67	77.86	183.18	64.48	43.41	0.75
Sr	287.10	69.74	368.94	259.18	2.12	1.96	110.76	76.58	34.67
Y	26.00	15.99	43.63	118.94	23.82	44.91	25.89	23.58	16.43
Zr	41.80	56.01	106.70	249.88	424.25	855.66	87.90	68.34	99.26
Nb	4.97	4.79	6.65	42.80	74.95	96.59	12.24	14.04	66.66
Hf	1.55	1.84	4.26	9.30	18.11	18.72	2.41	2.12	4.50
Ba	613.22	113.61	562.43	646.83	50.35	184.26	225.64	293.27	22.82
V	135.28	178.69	83.32	41.33	2.14	8.58	98.07	86.78	9.00
Cr	37.75	30.91	40.26	36.48	7.24	92.52	91.12	32.90	3.07
Co	13.95	26.17	15.80	9.23	0.54	1.52	15.55	10.71	2.17
Ni	5.77	45.91	7.24	12.16	1.53	2.44	41.66	17.11	4.30
Ta	0.31	0.38	0.55	3.37	5.08	6.17	0.80	1.12	4.43
Th	8.69	2.14	2.46	5.47	7.38	8.96	7.30	11.73	5.67
Pb	7.40	3.61	7.22	5.11	11.45	10.88	10.28	2.07	2.27
La	23.76	7.45	20.13	62.25	41.30	10.94	17.11	35.28	3.82
Ce	51.32	17.28	47.74	136.45	72.10	32.97	37.32	78.96	9.39
Pr	6.08	2.28	6.99	17.55	9.39	3.79	5.20	8.37	1.71
Nd	24.18	10.16	28.49	65.46	32.12	16.49	24.39	32.20	8.52
Sm	5.19	2.66	7.52	17.18	5.64	4.76	5.41	5.92	2.93
Eu	1.19	0.80	1.68	4.40	0.36	0.42	1.49	1.35	0.36
Gd	5.65	2.91	7.41	19.51	4.65	5.86	6.55	4.76	3.44
Tb	0.73	0.50	1.06	3.15	0.72	1.14	0.80	0.75	0.67
Dy	4.61	3.29	6.89	21.57	4.42	8.03	5.22	4.60	4.52
Ho	0.99	0.68	1.45	4.44	0.93	1.69	1.06	0.95	0.96
Er	3.08	2.05	4.36	12.12	2.80	5.15	3.08	2.77	3.00
Tm	0.44	0.29	0.63	1.53	0.40	0.72	0.44	0.39	0.45
Yb	2.87	1.89	4.00	8.38	2.50	4.28	2.70	2.51	3.01
Lu	0.44	0.25	0.63	1.09	0.37	0.64	0.39	0.34	0.41

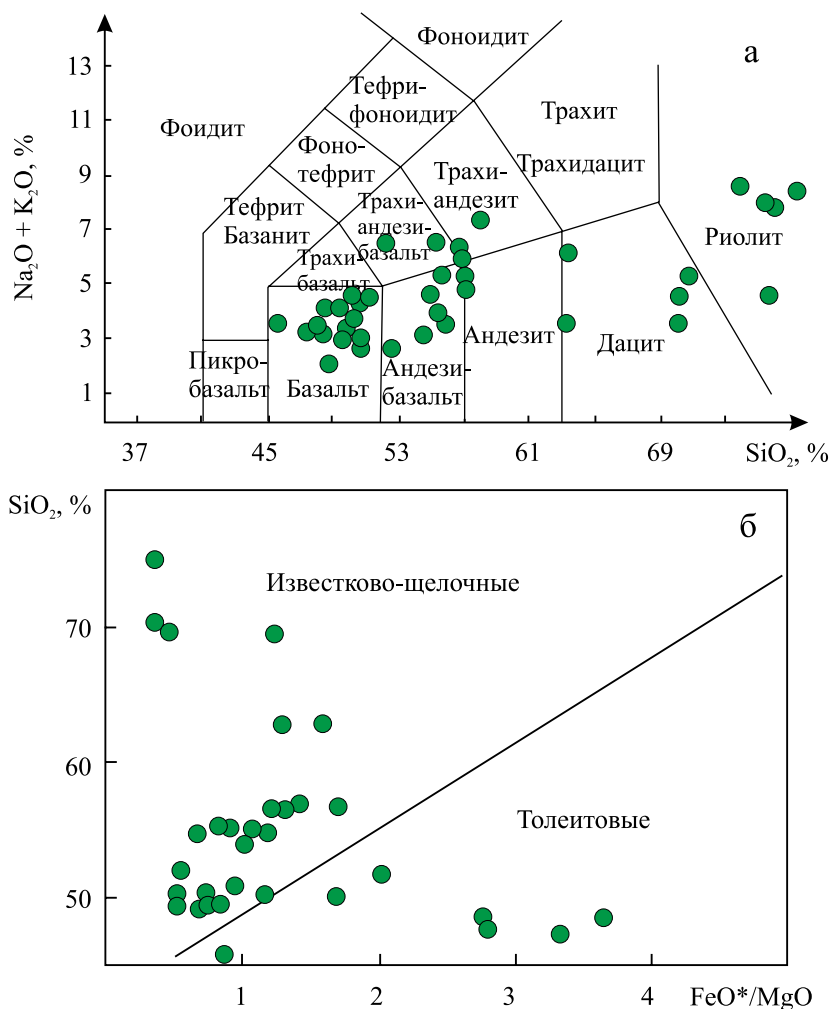
Примечание. 1–9 – базальты, 10–13 – андезибазальты и андезиты, 14–18 – дациты и риолиты. \*Общее определение окислов железа. 6.75\* – суммарное содержание окислов железа.

Note. 1–9 – basalts, 10–13 – basaltic andesites and andesites, 14–18 – dacites and rhyolites. \*General definition of iron oxides. 6.75\* – total content of iron oxides.

высокотитанистые ( $\text{TiO}_2$  – 1.09–2.95 мас. %, в среднем 1.84 мас. %), умеренно-магнезиальные ( $\text{MgO}$  – 3.8–8.48 мас. %, в среднем 5.89 мас. %) породы преимущественно с нормальной щелочностью при преобладании Na ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 6.39$ ). Для них характерны высокие содержания V (225–461 г/т, в среднем 26 г/т), низкие – Cr (8–84 г/т, в среднем 41 г/т), крайне неравномерные – щелочных и щелочноземельных металлов (Rb – 0.05–35.06 г/т, в среднем 9.58 г/т; Ba – 6.25–635.91 г/т, в среднем 143.98 г/т; Sr – 96.26–496.84 г/т, в среднем 265.49 г/т). Сумма содержаний редкоземельных элементов (РЗЭ) составляет в среднем 95.41 г/т (56.21–165.23 г/т), отношение суммы легких редкоземельных элементов (ЛРЗЭ) к сумме тяжелых (ТРЗЭ) равно 4.36 (2.12–7.70). Содержание Y составляет в среднем 25.38 (16.04–32.32) г/т, Zr – 59.30 (12.80–112.78), Nb – 13.47 (2.51–24.19) г/т. Для андезитов характерны более высокие содержания Rb (22.61–61.56 г/т, в среднем 37.59 г/т), Y (15.99–118.94 г/т, в среднем

51.12 г/т), Zr (41.80–249.88 г/т, в среднем 113.60 г/т), Ba (113.61–646.83 г/т, в среднем 484.02 г/т), суммы РЗЭ (52.49–375.05 г/т, в среднем 174.27 г/т). При этом средние содержания Sr, Nb и значение отношения ЛРЗЭ/ТРЗЭ остаются на том же уровне.

Для более детального рассмотрения геохимических особенностей саблегорских вулканитов и сравнения их с базальтами эталонных обстановок использованы графики нормирования содержаний петрологически информативных элементов на эталон N-MORB (“нормальный” базальт срединно-океанических хребтов) (рис. 3). Прежде всего, обращает на себя внимание присутствие двух групп пород – обогащенных и обедненных элементами с большим ионным радиусом (K, Rb, Ba), а также графиков с выраженной отрицательной Ta-Nb аномалией и без нее. Если различия содержаний щелочных металлов можно было бы объяснить их высокой подвижностью при аллохимическом метаморфизме, то наличие двух групп пород с колеба-



**Рис. 2.** Положение точек составов пород саблегорской свиты на диаграммах  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{--SiO}_2$  (a) (Le Bas et al., 1986) и  $\text{SiO}_2\text{--FeO}^*/\text{MgO}$  (б) (Miyashiro, 1974).

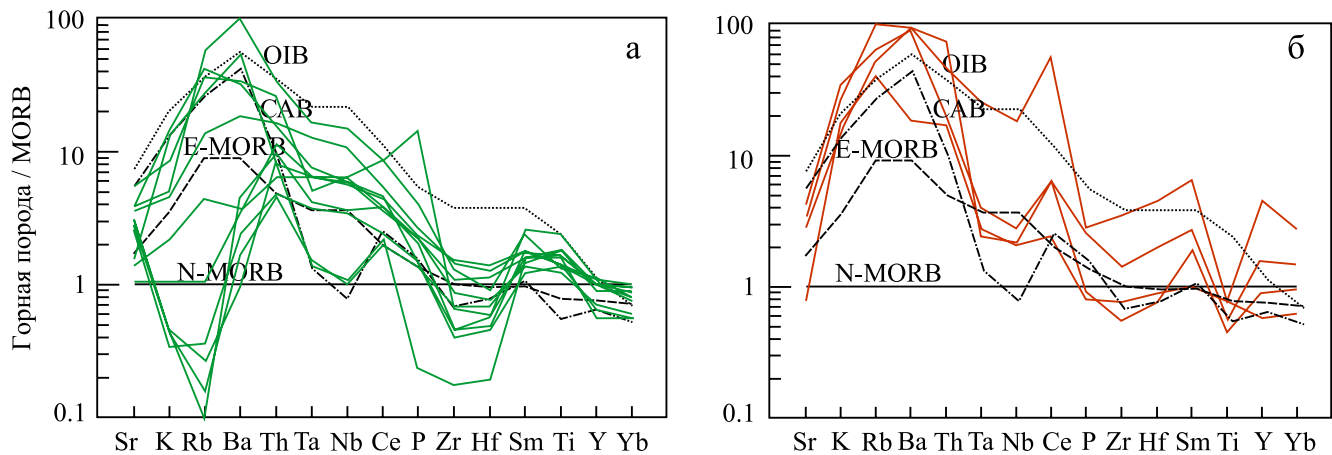
**Fig. 2.** The position of the rock composition points of the Sablegorskaya formation in the diagrams  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{--SiO}_2$  (a) (Le Bas et al., 1986) and  $\text{SiO}_2\text{--FeO}^*/\text{MgO}$  (б) (Miyashiro, 1974).

ниями содержаний Ta и Nb почти на порядок вряд ли можно связать с метаморфическими процессами. Скорее, можно предположить наличие вулканогенных пород с разными магматическими источниками. Общей характерной особенностью является наличие негативной аномалии Zr и Hf, что, как и Ta-Nb аномалия, сближает исследуемые базальты с островодужными вулканитами. На графиках составы андезитов (см. рис. 3б) демонстрируют обогащение пород литофильными элементами и негативные аномалии Ta, Nb, Zr и Hf. Общими для базальтов и андезитов являются высокие содержания Th и Ce, что может быть связано с контаминацией мантийных расплавов континентальной корой (Фролова, Бурикова, 1997). Неоднородность составов базальтов и андезитов иллюстрируется также диаграммой Th/Yb–Ta/Yb (рис. 4). Часть точек составов базальтов располагается на мантий-

ном тренде между эталонами E-MORB и WPB, другая часть точек базальтов и андезитов попала в поле надсубдукционных образований.

Сходные результаты дает и диаграмма Th/Nb–TiO<sub>2</sub>/Yb (рис. 5). Большая часть точек составов базальтов лежит в поле вулканитов – производных “обогащенного” мантийного источника, но несколько точек базальтов и все точки андезитов характеризуются высокими значениями Th/Nb и низкими TiO<sub>2</sub>/Yb, что позволяет предполагать в их составе существенную долю субдуцированного и (или) контаминированного корового вещества (Pearce et al., 2021).

Для уточнения обстановок формирования вулканитов рассмотрим некоторые индикаторные геохимические параметры базальтов и андезитов (табл. 2). Так, низкие значения Nb/Ta указывают на значительную переработку надсубдукционного

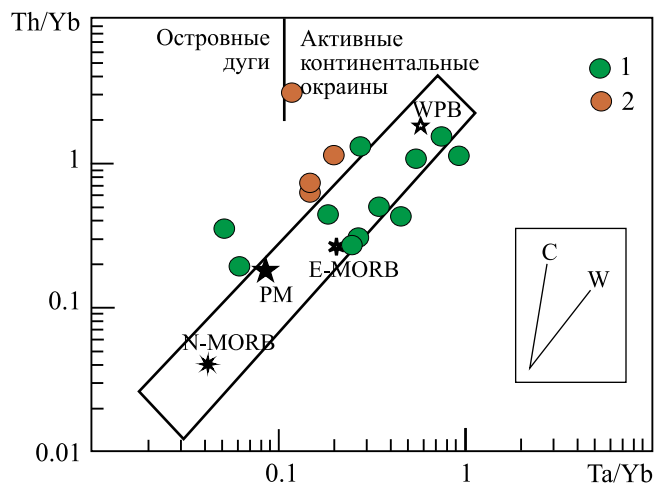


**Рис. 3.** Спайдер-диаграммы для базальтов (а) и андезитов (б) саблегорской свиты.

Составы пород нормированы по эталону N-MORB – по (Sun, McDonough, 1989). Эталоны E-MORB (“обогащенный” базальт срединно-океанических хребтов) и OIB (базальт океанических островов) – по (Sun, McDonough, 1989), CAB (известково-щелочной базальт Ново-Гэбридской островной дуги) – по (Kelemen et al., 2004).

**Fig. 3.** Spider diagrams for basalts (a) and andesites (b) of the Sablegorskaya formation.

Rock compositions are normalized to the N-MORB standard according to (Sun, McDonough, 1989). The standards are E-MORB (“enriched” basalt of mid-oceanic ridges) and OIB (basalt of oceanic islands) according to (Sun, McDonough, 1989), CAB (calcareous-alkaline basalt of the New Hebridean island arc) according to (Kelemen et al., 2004).



**Рис. 4.** Положение точек составов базальтов (1) и андезитов (2) саблегорской свиты на диаграмме Th/Yb–Ta/Yb (Pearce, 1983).

Средние составы: N-MORB и E-MORB – по (Sun, McDonough, 1989), PM (примитивной мантии) – по (Taylor, McLennan, 1985) и WPB (базальтов внутриплитных обстановок) – по (Barberi et al., 1975). Тренды составов магматических серий, обусловленные коровой контаминацией (C) и дифференциацией мантийных магм (W), – по (Фролова, Бурикова, 1997).

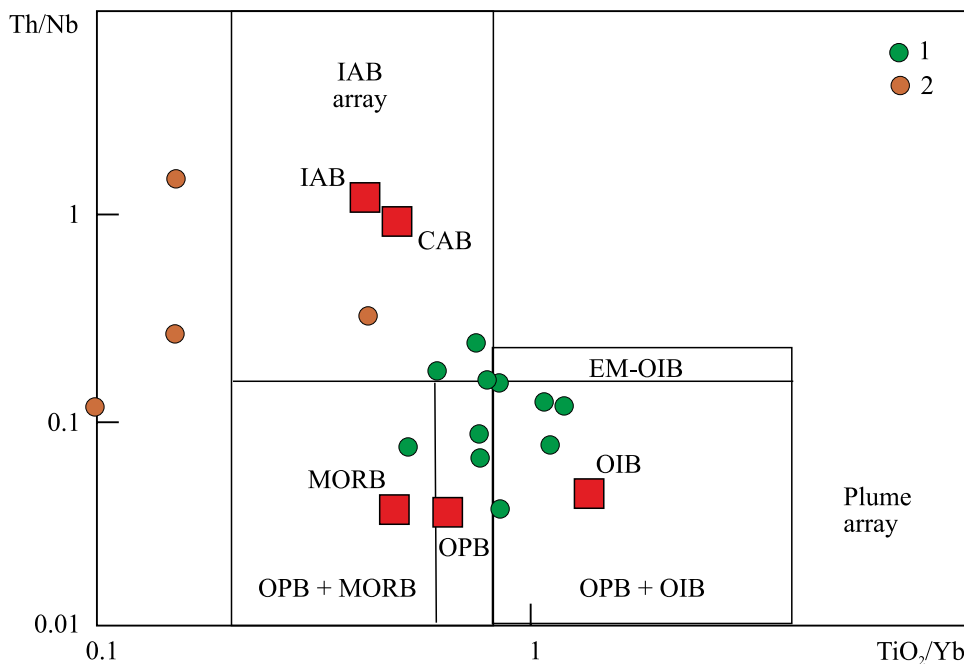
**Fig. 4.** The position of the points of the basalts (1) and andesites (2) of the Sablegorskaya formation in the Th/Yb–Ta/Yb diagram (Pearce, 1983).

The average compositions are N-MORB and E-MORB according to (Sun, McDonough, 1989), PM (primitive mantle) according to (Taylor, McLennan, 1985), and WPB

(basalts of intraplate environments) according to (Barberi et al., 1975). Trends in the compositions of magmatic series caused by crustal contamination (C) and differentiation of mantle magmas (W) according to (Frolova, Burikova, 1997).

мантийного клина при участии водного флюида перед частичным плавлением (Munker, 1998; Наркисова, 2005). Для океанических базальтов и вулканитов континентальных рифтов характерны величины Nb/Ta от 15 до 19, что близко к хондритовому уровню (Kamber, Collerson, 2000). Значения параметра Nb/Ta для большей части базальтов более 15, но для двух проб базальтов и трех андезитов оно ниже значений, характерных для пород дивергентных обстановок. Это позволяет предполагать в составе последних наличие вещества гидратированного надсубдукционного клина.

Для оценки роли флюидов, отделяющихся при дегидратации осадков и измененных базальтов, используются отношения Ba/Nb и Pb/Y (Brenan et al., 1995; Plank, Langmuir, 1998; Kent, Elliot, 2002). В базальтах срединно-океанических хребтов (COX) величины этих отношений составляют 2.7 и 0.01 соответственно, в вулканитах континентальных рифтов – 5–27 и 0.07–0.4 (Наркисова, 2005). Значение параметра Ba/Nb в большей части исследуемых пород не превышает “мантийный” диапазон, оно часто даже ниже, чем в базальтах COX, и только в двух образцах андезитов данное отношение значительно выше “мантийного” уровня, что позволяет предполагать участие субдукционных флюидов.



**Рис. 5.** Положение точек составов базальтов и андезитов саблегорской свиты на диаграмме Th/Nb–TiO<sub>2</sub>/Yb.

Условные обозначения – см. рис. 4. Поля составов пород – по (Pearce et al., 2021): IAB array – островодужных базальтов; OPB + MORB – базальтов океанических плато и срединно-океанических хребтов; OPB + OIB – базальтов океанических островов; EM – “обогащенная” мантия; Plume array – плюмовые источники расплавов. Квадратами показаны средние составы базальтов эталонных обстановок: IAB – островодужных толеитовых, CAB – известково-щелочных, MORB – срединно-океанических хребтов, OPB – океанических плато, OIB – океанических островов.

**Fig. 5.** The position of the points of the compositions of basalts and andesites of the Sablegorskaya formation in the diagram Th/Nb–TiO<sub>2</sub>/Yb.

Symbols see Fig. 4. Rock composition fields according to (Pearce et al., 2021): IAB array – island-arc basalts; OPB + MORB – basalts of oceanic plateaus and mid-oceanic ridges; OPB + OIB – basalts of oceanic islands; EM – “enriched” mantle; Plume array – plume sources of melts. The basalt composition points of the reference settings are: IAB – island-arc tholeiitic, CAB – calcareous-alkaline, MORB – mid-oceanic ridges, OPB – oceanic plateaus, OIB – oceanic islands.

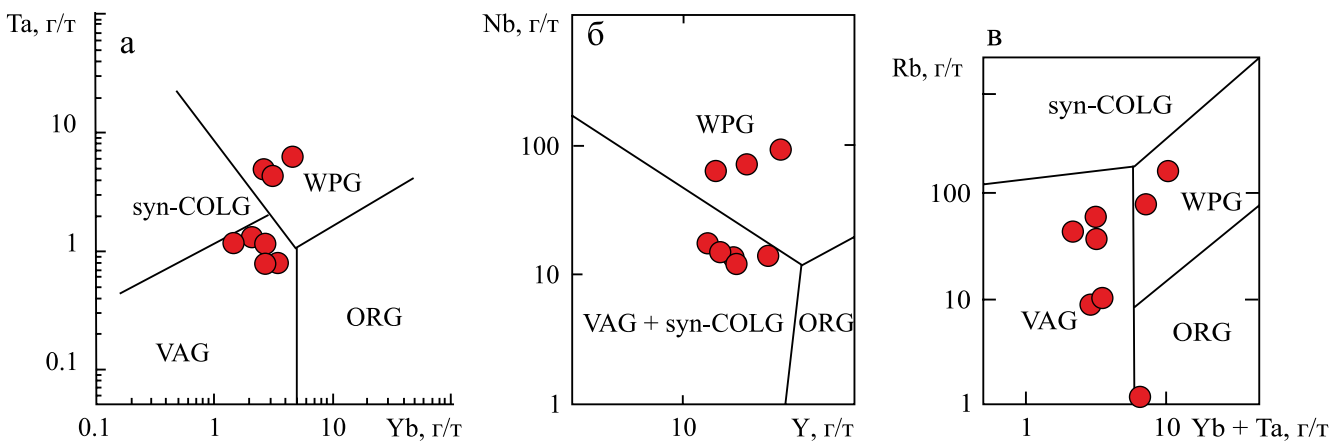
дов. Значения параметра Rb/Yb находятся в пределах “мантийного” диапазона.

Отношение Nb/Th можно использовать для приблизительной оценки количества флюидного компонента, поступавшего в мантийный источник. Снижение значения данного параметра в надсубдукционных обстановках связывается с процессами метасоматического обогащения мантийного субстрата очагов плавления субдукционными флюидами, равновесными с эклогитовой ассоциацией, содержащей рутил (Brenan et al., 1995). Для базальтов СОХ характерны значения Nb/Th в интервале 15–20 (Наркисова, 2005), снижение данной величины указывает на возрастание количества флюидов, поступающих из зоны субдукции в мантийных источник. Почти все исследованные образцы вулканитов саблегорской свиты характеризуются низкими значениями данного параметра, что может свидетельствовать об участии в генерации магм вещества надсубдукционной метасоматически переработанной мантии.

Кислые вулканиты (см. табл. 1) демонстрируют значительное разнообразие составов. Так, содержание Rb в них варьируется от 0.75 до 183.18 г/т, составляя в среднем 55.28 г/т, Sr – 1.96–175.44 г/т, в среднем 70.85 г/т, Y – 14.80–44.91 г/т, в среднем 25.28 г/т, Zr – 60.72–424.25 г/т, в среднем 248.20 г/т, Nb – 12.24–96.59 г/т, в среднем 39.67 г/т. Сумма содержаний РЗЭ составляет в среднем 134.21 (43.20–179.28) г/т, отношение суммы ЛРЗЭ к сумме ТРЗЭ равно 7.77 (1.62–18.13). Вариации величин индикаторных отношений многих химических элементов в кислых вулканитах (см. табл. 2) весьма существенны, что также подчеркивает неоднородность выборки и может указывать на присутствие в ее составе нескольких генетических групп горных пород. Существование по меньшей мере двух дискретных групп риолитов демонстрируется на дискриминационных диаграммах (рис. 6), где точки составов пород попадают в поля внутриплитных и островодужных вулканитов.

**Таблица 2.** Индикаторные отношения химических элементов в базальтах и андезитах саблегорской свиты**Table 2.** Indicator ratios of chemical elements in basalts and andesites of the Sablegorskaya series

№ обр.	Nb/Th	Ba/Nb	Pb/Y	Nb/Ta	ЛРЗЭ/ ТРЗЭ	Географические координаты	
						Долгота (ВД)	Широта (СШ)
2058-5	7.73	14.16	0.34	14.30	5.53	59.45896	62.59370
5062	8.04	20.25	0.20	15.81	6.15	59.40677	62.60320
5157	6.64	3.19	0.29	15.85	3.30	59.44434	62.05410
5154-5	4.52	3.57	0.39	14.35	2.12	59.41494	62.09541
5058	12.95	4.63	0.13	15.02	6.40	59.26300	61.80645
5061	14.30	24.21	0.05	16.47	3.73	59.25540	61.79955
2259-2	4.77	13.98	0.19	22.28	7.70	59.25833	61.90837
2269-1	11.05	1.41	0.08	16.45	3.57	59.10964	61.78464
2288-1	18.17	1.74	0.07	16.15	4.52	59.19960	61.63589
2134-8	0.57	123.37	0.28	15.98	5.94	59.41582	62.09554
5039	2.24	23.74	0.23	12.64	3.42	59.27673	61.97791
7767	2.70	84.62	0.17	12.14	4.26	59.03144	61.81775
7777	7.83	15.11	0.04	12.69	4.23	59.10926	61.81367
2060	10.16	0.67	0.48	14.74	9.58	59.45123	62.57477
2081	10.78	1.91	0.24	15.65	2.52	59.41460	62.47803
2258	1.68	18.44	0.40	15.32	4.50	59.23167	61.91942
5035	1.20	20.90	0.09	12.49	9.50	59.31747	61.91823
5063	11.76	0.34	0.14	15.03	1.62	59.26046	61.81845

**Рис. 6.** Положение точек составов риолитов саблегорской свиты на диаграммах Дж.А. Пирса (Pearce et al., 1984).

а – Ta–Yb, б – Nb–Y, в – Rb–(Yb + Ta). Поля составов гранитоидов различных обстановок: syn-COLG – коллизионных, WPG – внутриплитных, VAG – островодужных, ORG – срединно-океанических хребтов.

**Fig. 6.** The position of the points of the rhyolite compositions of the Sablegorskaya formation on the diagrams of J.A. Pearce (Pearce et al., 1984).

а – Ta–Yb, б – Nb–Y, в – Rb–(Yb + Ta). Fields of granitoid compositions of various settings: syn-COLG – collisional, WPG – intraplate, VAG – island arc, ORG – mid-oceanic ridges.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Приведенные выше геохронологические и геохимические данные позволяют предполагать, что вулканогенные породы, относимые в настоящее время к верхнепротерозойской саблегорской свите, сформированы в течение как минимум двух тектоно-магматических событий.

Первое из них, вероятно, проявилось в поздне-рифейско-вендское время (в исследуемом районе это диапазон 583–547 млн лет), на это указывает наличие в составе пород “надсубдукционных маркеров” (отрицательная Ta-Nb аномалия, высокие значения Th/Nb, Th/Yb, низкие – (Yb + Ta) и др.). При этом часть параметров (Nb/Ta, Ba/Nb, Pb/Y) соответствуют значениям, характерным для магматиче-

ских пород дивергентных и внутриплитных обстановок. Указанные особенности можно объяснить формированием вулканитов в тылу активной континентальной окраины. В.В. Холоднов с соавторами (2022) интерпретируют данную обстановку как трансформную. Можно согласиться с такой возможностью, но для ее подтверждения необходимо выполнить структурные исследования, показывающие приуроченность верхнепротерозойских вулканогенных палеодепрессий к крупным сдвиговым системам. Наличие в позднерифейское и вендское время палеозон субдукции, погружающихся в сторону Тиманской и Уральской окраин Балтики, реконструируется в палеотектонических построениях (Metelkin et al., 2015); геологические комплексы позднедокембрийской активной континентальной окраины описаны, в частности, на Южном Урале (Самыгин и др., 2007; Рязанцев, 2018; Рязанцев и др., 2023). На других позднедокембрийских палеорекострукциях зона субдукции погружается в сторону Гондванских террейнов, но также располагается в относительной близости от Уральской окраины Балтики (Cocks, Torsvik, 2006; и др.); в процессе эволюции океаническая кора вблизи континента поглощается и происходит коллизия Балтики с Гондванскими блоками (Кузнецов и др., 2012; Кузнецов, Романюк, 2021; и др.). В этом случае также можно допустить существование фрагментов надсубдукционных комплексов в составе экстернид позднедокембрийского Тиманского орогена (Пучков, 2010).

Второе тектономагматическое событие, по всей видимости, соответствует начальной стадии континентального рифтогенеза, проявившегося в кембрийское время (495–494 млн лет). Для раннепалеозойских вулканитов характерны “внутриплитные” геохимические характеристики.

Общими особенностями вулканогенных пород основного состава являются негативные аномалии Zr и Hf (см. рис. 3), а также низкие значения отношения Nb/Th, что может быть связано с метасоматической переработкой мантийного клина над докембрийской зоной субдукции. Более поздние (раннепалеозойские) поступления расплавов из “обогащенных” мантийных источников, вероятно, загрязнили фрагменты метасоматически переработанной мантии, что отразилось в геохимических параметрах вулканитов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреичев В.Л. (1999) Изотопная геохронология доуральид Приполярного Урала. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 48 с.  
 Андреичев В.Л. (2010) Эволюция фундамента Печорской плиты по изотопно-геохронологическим данным. Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. Екатеринбург: УрО РАН, 47 с.  
 Белякова Л.Т. (1972) Геосинклинальный рифей севера

Урала. Автореф. ... дисс. канд. геол.-мин. наук. М., 26 с.  
 Бочкарев В.В., Язева Р.Г. (2000) Субщелочной магматизм Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 255 с.  
 Волчек Е.Н. (2004) Геодинамические обстановки кислотного вулканизма западного сектора севера Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 144 с.  
 Голдин Б.А., Калинин Е.П. (1980) Доордовикский магматизм севера Урала. *Доордовикская история Урала. 5. Доордовикский магматизм*. Препринт. Свердловск: УНЦ АН СССР, 3-30.  
 Голдин Б.А., Фишман М.В., Давыдов В.П., Калинин Е.П. (1973) Вулканические комплексы рифея и нижнего палеозоя Севера Урала. Л.: Наука, 212 с.  
 Государственная геологическая карта Российской Федерации. (2005) М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист Q-41 (Воркута). Объяснит. записка. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 335 с.  
 Государственная геологическая карта Российской Федерации. (2006) М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист Р-40 (Североуральск). Объяснит. записка. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 332 с.  
 Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. (2018) Изд-е второе. Сер. Средне-Уральская. Лист Р-40-XXIV (Чистоп). Объяснит. записка. СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 371 с.  
 Душин В.А. (1997) Магматизм и геодинамика палеоконтинентального сектора севера Урала. М.: Недра, 213 с.  
 Жданов А.В. (2009) Легенда Уральской серии листов Госгеолкарты-1000/3 (актуализированная версия). СПб.: ВСЕГЕИ, 381 с.  
 Иванов В.Н., Жаркова Т.Б., Курзанов И.Ю. (2013) Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200 000. Сер. Северо-Уральская. Лист Q-41-XXV. Объяснит. записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 259 с.  
 Ильясова Г.А., Останин С.Ю., Михалева Е.Н. и др. (2017) Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200 000. Изд-е второе. Сер. Северо-Уральская. Лист Р-40-XXVIII (Лопсия). Объяснит. записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 148 с.  
 Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В. (2021) Пери-гондванские блоки в структуре южного и юго-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. *Геотектоника*, (4), 3-40.  
 Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шацилло А.В., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Меерт Дж. (2012) Возраст детритных цирконов из ашинской серии Южного Урала – подтверждение пространственной сопряженности Уральского края Балтики и Квинслендского края Австралии в Родинии (“Australia Upside Down conception”). *Литосфера*, (4), 59-77.  
 Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоратина О.В. (2006) Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Ст. 1. Протоуральиды, Тиманиды и Доордовикские гранитоидные вулканоплутонические ассоциации севера Урала и Тимано-Печорского региона. *Литосфера*, (4), 3-22.  
 Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоратина О.В., Герцева М.В. (2005) Доордовикские гранитоиды Тимано-

- Уральского региона и эволюция протоуралитид-тиманид. Сыктывкар: Геопринт, 100 с.
- Наркисова В.В. (2005) Петрохимия позднеордовикских–раннедевонских базальтоидов южной части Тагильской зоны Среднего Урала (по данным Уральской сверхглубокой скважины и околоскважинного пространства). Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 167 с.
- Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Гердес А., Маслов А.В. (2018) Кембрийский магматизм на Северном Урале: новые данные о возрасте и условиях формирования. *Докл. РАН*, **481**(5), 513-516.
- Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Гердес А., Маслов А.В. (2017) Новые данные о возрасте и специфике магматизма тиманид южной части Ляпинской структуры (Северный Урал). *Докл. РАН*, **476**(4), 426-430.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Пучков В.Н. (2005) Эволюция литосферы: от Печорского океана к Тиманскому орогену, от Палеоуральского океана к Уральскому орогену. *Проблемы тектоники Центральной Азии*. М.: ГЕОС, 309-342.
- Рязанцев А.В. (2018) Вендский надсубдукционный магматизм на Южном Урале. *Докл. РАН*, **482**(3), 311-314.
- Рязанцев А.В., Разумовский А.А., Голионко Б.Г., Каньгина Н.А. (2023) Комплексы активной позднекембрийской–кембрийской континентальной окраины на Южном Урале и в Мугоджарах. *Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы – 2023*. Мат-лы LIV Тектонич. совещ. Т. 2. М.: ГЕОС, 159-163.
- Самыгин С.Г., Федотова А.А., Бибикина Е.В., Карякин Ю.В. (2007) Вендский надсубдукционный вулканизм в Уралтаусской зоне (Южный Урал). *Докл. РАН*, **416**(1), 81-85.
- Соболева А.А. (2004) Вулканиды и ассоциирующие с ними гранитоиды Приполярного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 147 с.
- Соболева А.А. (2020) Результаты U-Pb (SIMS) датирования циркона из гранитов и риолитов хр. Малдындырд, Приполярный Урал. *Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения, 2020)*. Мат-лы минералогического семинара с междунар. участием. Сыктывкар, 63-65.
- Соболева А.А., Андреев В.Л. (1997) Вулкано-плутоническая ассоциация габбро-тоналит-гранодиорит-гранитного состава на Приполярном Урале. *Гранитоидные вулкано-плутонические ассоциации*. Тез. докл. Всерос. совещ. Сыктывкар, 38-39.
- Тектонический кодекс России. (2016) М.: Геокарт: ГЕОС, 240 с.
- Удоротина О.В., Куликова К.В., Шуйский А.С., Соболева А.А., Андреев В.Л., Голубева И.И., Капитанова В.А. (2022) Гранитоиды севера Урала: геохронология, эволюция, источники. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 120 с.
- Фролова Т.И., Бурикова И.А. (1997) Магматические формации современных геодинамических обстановок. М.: Изд-во МГУ, 320 с.
- Фундамент Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна. (2008) Киров: Обл. типография, 288 с.
- Холоднов В.В., Шардакова Г.Ю., Душин В.А., Коровко А.В., Шагалов Е.С. (2022) Рифей-венд-кембрийский магматизм Маньхембовского блока (Приполярный Урал): геохимическая типизация, корректировка геодинамических представлений, роль плюм-литосферного взаимодействия. *Петрология*, **30**(4), 404-431.
- Червяковский С.Г., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Волчек Е.Н. (2000) Rb-Sr изотопное датирование кислых вулканитов хребта Малды-Нырды. *Тр. ИГГ УрО РАН*, вып. 147, 272-276.
- Червяковский С.Г., Сазонов В.Н., Малюгин А.А. (1988) Особенности металлогении рифтогенных формаций Урала. *Эволюция металлогении Урала в процессе формирования земной коры*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 226-228.
- Barberi F., Ferrara G., Santacroce R., Treuil M., Varet J. (1975) A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallisation, the Boina centre (Afar rift, Ethiopia). *J. Petrol.*, (16), 22-56.
- Brenan J.M., Shaw H.F., Ryerson F.J., Phinney D.L. (1995) Mineral-aqueous fluid partitioning of trace elements at 900°C and 2.0 GPa: Constraints on the trace element chemistry of mantle and deep crustal fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**(16), 3331-3350.
- Cocks L.R.M., Torsvik T.H. (2006) European geography in a global context from the Vendian to the end of the Palaeozoic. *Europ. Lithosphere Dynamics. Geol. Soc., Lond., Memoirs*, **32**, 83-95.
- Kamber B.S., Collerson K.D. (2000) Role of 'hidden' deeply subducted slabs in mantle depletion. *Chem. Geol.*, **166**(3-4), 241-254.
- Kelemen P., Hanghoi K., Green A.R. (2004) One View of the Geochemistry of Subduction-related Magmatic Arcs, with an Emphasis on Primitive Andesite and Lower Crust. *Treatise on Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 593-659.
- Kent A.J., Elliott T.R. (2002) Melt inclusion from Marianas arc lavas: implications for the composition and formation of island arc magmas. *Chem. Geol.*, **183**, 263-286.
- Le Bas M.J., Le Matre R.W., Streckeisen A., Zanettin B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, **27**(3), 745-750.
- Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Matushkin N.Yu. (2015) Arctida between Rodinia and Pangea. *Precambrian Res.*, **259**, 114-129.
- Miyashiro A. (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Amer. J. Sci.*, **274**, 321-343.
- Munker C. (1998) Nb/Ta fractionation in a Cambrian arc/back arc system, New Zealand: source constraints and application of refined ICPMS techniques. *Chem. Geol.*, **144**(1-2), 23-45.
- Pearce J.A. (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva Publishing Ltd., Cambridge, Mass., 230-249.
- Pearce J.A., Ernst R.E., Peate D.W., Rogers C. (2021) LIP printing: Use of immobile element proxies to characterize Large Igneous Provinces in the geologic record. *Lithos*, **392-393**, 106068.
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpreta-

tion of granitic rocks. *J. Petrol.*, **25**, 956-983.

- Plank T., Langmuir C.H. (1998) The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *Chem. Geol.*, **145**(3-4), 325-394.
- Sun S.-S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ.*, Lond., 313-345.
- Taylor S.R., McLennan S.M. (1985) The continental crust; its composition and evolution. Blackwell, Cambridge, Mass, 312 p.

## REFERENCES

- Andreichev V.L. (2010) Evolution of the Pechora Plate basement according to isotopic and geochronological data. Abstr. doct. geol.-min. sci. diss. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 47 p. (In Russ.)
- Andreichev V.L. (1999) Isotopic geochronology of the pre-uralsides of the Circumpolar Urals. Syktyvkar, Komi NTs UrO RAN Publ., 48 p. (In Russ.)
- Barberi F., Ferrara G., Santacroce R., Treuil M., Varet J. (1975) A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallisation, the Boina centre (Afar rift, Ethiopia). *J. Petrol.*, (16), 22-56.
- Belyakova L.T. (1972) Geosynclinal riphean of the north of the Urals. Abstr. cand. geol.-min. sci. diss. Moscow, 26 p. (In Russ.)
- Bochkarev V.V., Yazeva R.G. (2000) Subalkaline magmatism of the Urals. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 255 p. (In Russ.)
- Brenan J.M., Shaw H.F., Ryerson F.J., Phinney D.L. (1995) Mineral-aqueous fluid partitioning of trace elements at 900°C and 2.0 GPa: Constraints on the trace element chemistry of mantle and deep crustal fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**(16), 3331-3350.
- Chervyakovskii S.G., Ronkin Yu.L., Lepikhina O.P., Volchek E.N. (2000) Rb-Sr isotopic dating of acid volcanites of the Maldynynd ridge. *Tr. IGG UrO RAN*, vyp. 147, 272-276. (In Russ.)
- Chervyakovskii S.G., Sazonov V.N., Malyugin A.A. (1988) Features of metallogeny of rift formations of the Urals. *Evolution of metallogeny of the Urals during the formation of the Earth's crust*. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR Publ., 226-228. (In Russ.)
- Cocks L.R.M., Torsvik T.H. (2006) European geography in a global context from the Vendian to the end of the Palaeozoic. *Europ. Lithosphere Dynamics. Geol. Soc., Lond., Memoirs*, **32**, 83-95.
- Dushin V.A. (1997) Magmatism and geodynamics of the paleocontinental sector of the north of the Urals. Moscow, Nedra Publ., 213 p. (In Russ.)
- Frolova T.I., Burikova I.A. (1997) Magmatic formations of modern geodynamic environments. Moscow, MGU Publ., 320 p. (In Russ.)
- Goldin B.A., Fishman M.V., Davydov V.P., Kalinin E.P. (1973) Volcanic complexes of the Riphean and Lower Paleozoic of the North of the Urals. Leningrad, Nauka Publ., 212 p. (In Russ.)
- Goldin B.A., Kalinina E.P. (1980) Pre-Ordovician magmatism of the Northern Urals. *The Pre-Ordovician history of the Urals. 5. Pre-Ordovician magmatism*. The preprint. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 3-30. (In Russ.)
- Il'yasova G.A., Ostanin S.Yu., Mikhaleva E.N. et al. (2017) State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. Second ed. The North Ural series. Sheet R-40-XVIII (Russia). Explanatory note. Moscow, Moscow branch of FSBI VSEGEI Publ., 148 p. (In Russ.)
- Ivanov V.N., Zharkova T.B., Kurzanov I.Yu. (2013) State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. The North Ural series. Sheet Q-41-XXV. Explanatory note. Moscow, Moscow branch of FSBI VSEGEI Publ., 259 p. (In Russ.)
- Kamber B.S., Collerson K.D. (2000) Role of 'hidden' deeply subducted slabs in mantle depletion. *Chem. Geol.*, **166**(3-4), 241-254.
- Kelemen P., Hanghoi K., Green A.R. (2004) One View of the Geochemistry of Subduction-related Magmatic Arcs, with an Emphasis on Primitive Andesite and Lower Crust. *Treatise on Geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, 593-659.
- Kent A.J., Elliott T.R. (2002) Melt inclusion from Marianas arc lavas: implications for the composition and formation of island arc magmas. *Chem. Geol.*, **183**, 263-286.
- Kholodnov V.V., Shardakova G.Yu., Dushin V.A., Korovko A.V., Shagalov E.S. (2022) Riphean-Vendian-Cambrian magmatism of the Mankhambovsky block (Circumpolar Urals): Geochemical typification, correction of geodynamic representations, the role of plume-lithospheric interaction. *Petrologiya*, **30**(4), 404-431. (In Russ.)
- Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V. (2021) The Peri-Gondwanan blocks in the structure of the southern and southeastern framing of the East European Platform. *Geotectonics*, **55**, 439-472 (translated from *Geotektonika*, (4), 3-40).
- Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Shatsillo A.V., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Meert J. (2012) The age of detritic zircons from the Ashinskaya series of the Southern Urals confirms the spatial proximity of the Ural region of the Baltic and the Queensland region of Australia in Rodinia ("Australia Upside Down concept"). *Lithosphere (Russia)*, (4), 59-77. (In Russ.)
- Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V. (2006) The Pre-Ural tectonic evolution of the northeastern and eastern framing of the East European Platform. Article 1. Proto-Uralides, Timanides and Preordovik granitoid volcanoplutonic associations of the north of the Urals and the Timan-Pechora region. *Lithosphere (Russia)*, (4), 3-22. (In Russ.)
- Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V., Gertseva M.V. (2005) Preordovician granitoids of the Timan-Ural region and the evolution of Proto-Uralids-timanids. Syktyvkar, Geoprint Publ., 100 p. (In Russ.)
- Le Bas M.J., Le Matre R.W., Streckeisen A., Zanettin B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, **27**(3), 745-750.
- Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Matushkin N.Yu. (2015) Arctida between Rodinia and Pangea. *Precambrian Res.*, **259**, 114-129.
- Miyashiro A. (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Amer. J. Sci.*, **274**, 321-343.
- Munker C. (1998) Nb/Ta fractionation in a Cambrian arc/back arc system, New Zealand: source constraints and application of refined ICPMS techniques. *Chem. Geol.*, **144**(1-2), 23-45.
- Narkisova V.V. (2005) Petrochemistry of Late Ordovician-

- Early Devonian basalts of the southern part of the Tagil zone of the Middle Urals (according to the data of the Ural ultradeep borehole and the near-well space). *Cand. geol.-min. sci. diss.* Moscow, MGU Publ., 167 p. (In Russ.)
- Pearce J.A. (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva Publishing Ltd., Cambridge, Mass., 230-249.
- Pearce J.A., Ernst R.E., Peate D.W., Rogers C. (2021) LIP printing: Use of immobile element proxies to characterize Large Igneous Provinces in the geologic record. *Lithos*, **392-393**, 106068.
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, **25**, 956-983.
- Petrov G.A., Ronkin Yu.L., Gerdes A., Maslov A.V. (2018) Cambrian magmatism in the Northern Urals: new data on the age and conditions of formation. *Dokl. RAN*, **481**(5), 513-516. (In Russ.)
- Petrov G.A., Ronkin Yu.L., Gerdes A., Maslov A.V. (2017) New data on the age and specificity of timanid magmatism in the southern part of the Lyapin structure (Northern Urals). *Dokl. RAN*, **476**(4), 426-430. (In Russ.)
- Plank T., Langmuir C.H. (1998) The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *Chem. Geol.*, **145**(3-4), 325-394.
- Puchkov V.N. (2005) Evolution of the lithosphere: from the Pechora Ocean to the Timan orogen, from the Paleouralian Ocean to the Ural orogen. *Problems of Central Asian tectonics*. Moscow, GEOS Publ., 309-342. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (2010) Geology of the Urals and the Urals region (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa, Dizainpoligrafservis Publ., 280 p. (In Russ.)
- Ryazantsev A.V. (2018) Vendian suprasubduction magmatism in the Southern Urals. *Dokl. RAN*, **482**(3), 311-314. (In Russ.)
- Ryazantsev A.V., Razumovskii A.A., Golionko B.G., Kanygina N.A. (2023) Complexes of the active Late Precambrian–Cambrian continental margin in the Southern Urals and Mugodzhary. *Tectonics and geodynamics of the Earth's crust and mantle: fundamental problems-2023*. Proc. of the LIV Tectonic Conf. V. 2. Moscow, GEOS Publ., 159-163. (In Russ.)
- Samygin S.G., Fedotova A.A., Bibikova E.V., Karyakin Yu.V. (2007) Vendian suprasubduction volcanism in the Uraltaus zone (Southern Urals). *Dokl. RAN*, **416**(1), 81-85. (In Russ.)
- Soboleva A.A. (2020) Results of U-Pb (SIMS) dating of zircon from granites and rhyolites of the Maldynard region, Circumpolar Urals. *Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkin Readings, 2020)*. Proc. of a mineralogical seminar with intern. particip. Syktyvkar, 63-65. (In Russ.)
- Soboleva A.A. (2004) Volcanites and associated granitoids of the Circumpolar Urals. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 147 p. (In Russ.)
- Soboleva A.A., Andreichev V.L. (1997) Volcanic-plutonic association of gabbro-tonalite-granodiorite-granite composition in the Circumpolar Urals. *Granitoid volcano-plutonic associations*. Abstr. of reports. Syktyvkar, 38-39. (In Russ.)
- Sun S.-S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ.*, Lond., 313-345.
- Taylor S.R., McLennan S.M. (1985) The continental crust; its composition and evolution. Blackwell, Cambridge, Mass, 312 p.
- Tectonic Code of Russia. (2016) Moscow, Geokart; GEOS Publ., 240 p. (In Russ.)
- The State Geological Map of the Russian Federation. (2005) Scale 1:1,000,000 (third generation). Ural series – Sheet Q-41 (Vorkuta). An explanatory note. St.Petersburg, Publishing house of St. Petersburg cartographic factory VSEGEI, 335 p. (In Russ.)
- The State Geological Map of the Russian Federation. (2006) Scale 1:1,000,000 (third generation). Ural series – Sheet P-40 (Severouralsk). An explanatory note. St.Petersburg, Publishing house of St. Petersburg cartographic factory VSEGEI, 332 p. (In Russ.)
- The 1:200,000 scale State Geological Map of the Russian Federation. (2018) Second edition. The Middle-Uralian series. Sheet P-40-XXIV (Chistop). Explanatory Note. St.Petersburg, VSEGEI Cartographic Factory, 371 p. (In Russ.)
- Udoratina O.V., Kulikova K.V., Shuiskii A.S., Soboleva A.A., Andreichev V.L., Golubeva I.I., Kapitanova V.A. (2022) Granitoids of the North of the Urals: geochronology, evolution, sources. Syktyvkar, IG Komi NTs UrO RAN Publ., 120 p. (In Russ.)
- Volchek E.N. (2004) Geodynamic conditions of acid volcanism in the western sector of the North of the Urals. Ekaterinburg, IGG UrO RAN Publ., 144 p. (In Russ.)
- Zhdanov A.V. (2009) Legend of the Ural series of sheets of the State Geological Map-1000/3 (updated version) St.Petersburg, VSEGEI Publ., 381 p. (In Russ.)