

УДК 551.2+551.5(470.5+470.13)

ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД СУХОЛОЖСКОЙ ЗОНЫ (ВОСТОЧНЫЙ СЕГМЕНТ СРЕДНЕГО УРАЛА) И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ

© 2012 г. Е. Н. Волчек, В. М. Нечеухин

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7
E-mail: Volchek@igg.uran.ru*

Поступила в редакцию 13.02.2012 г.

По петрохимическим данным и материалам геохимических исследований, полученных с использованием современных методов, установлена принадлежность вулканитов Сухоложской зоны Среднего Урала к комплексам краевых поясов активных континентальных окраин. Вместе с продолжающей ее Теченской зоной она образует Сухоложско-Теченский краевой пояс – южный фрагмент вулканоплутонических ассоциаций восточной периферии Урала

Ключевые слова: андезиты, базальты, Сухоложская зона, активные континентальные окраины.

Сухоложская вулканическая зона вместе с продолжающей ее в южном направлении Теченской вулкано-интрузивной зоной слагают периферию Восточного сегмента Среднего Урала. Центральная часть сегмента сложена преимущественно комплексами вулканогенных пород в ассоциации с ультрабазит-габбровыми и ультрабазитовыми массивами (рис. 1). По материалам ранних тектонических схем выделенный сегмент рассматривался либо как северная часть Восточноуральского прогиба, либо как северо-восточное продолжение Магнитогорского мегасинклинария [2, 6].

С развитием в применении к Уральскому региону исследований, которые относились к его геодинамической реконструкции с позиций плитотектонической парадигмы, рассматриваемая структура получила другую тектоническую трактовку. В основу были положены данные о покровно-надвиговом ее строении и участии в сложении структуры ассоциаций разных геодинамических обстановок, прежде всего океанической коры и островных палеодуг. Особенно кардинальный характер носили представления о локализации всех геодинамических ассоциаций структуры в составе крупного покрова [11].

Вместе с этим, исследования по геодинамике регионального характера позволили установить, что покровно-надвиговое строение относится в основном к образованиям центральной части сегмента, сложенной массивами ультрабазитов и островодужными ассоциациями. Имеется основание выделить эту часть в составе Алапаевско-Режевской покровно-надвиговой зоны. В свою очередь, расположенные восточнее вулканогенно-интрузивные ассоциации образуют поясовую структуру, которая

выделяется в Сухоложско-Теченскую зону. По своему геологическому строению, а также формационным и фациальным особенностям слагающих ассоциаций эта зона сопоставима с краевыми вулканоинтрузивными поясами активных континентальных окраин [1, 8]. Однако формационных и фациальных критериев, а также петрохимических данных, приведенных в ряде публикаций [4, 7 и др.] недостаточно, чтобы сделать обоснованный вывод о принадлежности выделенной зоны к типу краевого пояса активной континентальной окраины. Одно из решающих значений для этого должны иметь геохимические исследования, особенно исследования с использованием комплекса современных тонких методов, которые были выполнены в Институте геологии и геохимии УрО РАН и проанализированы авторами данного сообщения. Основная часть этих исследований базируется на материале Сухоложской зоны и лишь частично – на материале самой северной части Теченской зоны.

Особенность геологического положения Сухоложской зоны, слагающей северную часть Сухоложско-Теченского пояса, заключается в том, что она с запада граничит с Алапаевско-Режевской зоной, в составе которой присутствуют ультрабазит-габбровые массивы офиолитовой ассоциации и вулканиты островодужного типа. По восточной периферии ассоциации этой зоны постепенно сменяются вулканогенными и осадочными образованиями, а последние – вулканогенно-терригенными отложениями и известняками, частично входящими, по видимому, в образования осадочного чехла, перекрытого отложениями кайнозоя Красногвардейского террейна. Все это осложняет установление чет-

ких ограничений пояса, как и его геодинамическую реконструкцию. Особенно это характеризует часть зоны, которая изучалась нами по обнажениям рек Исети и Ирбита.

Наиболее полный разрез вулканогенных образований Сухоложской зоны изучен нами в долине реки Исеть. Здесь выделяется серия преимущественно мелководных разнофациальных осадочных отложений верхнего девона и сменяющие их к востоку толщи каменноугольного возраста. Верхнедевонские отложения являются кремнисто-сланцевыми, а в составе каменноугольных толщ, среди переслаивающихся аргиллитов, алевролитов, песчаников и известняков присутствуют горизонты вулканогенно-обломочных и вулканогенно-осадочных пород, которые в восточном направлении сменяются континентальными угленосными [7].

Вулканические породы образуют здесь протяженную (2 км и более) непрерывную полосу, ширина которой колеблется от 3 до 6 км. Они представлены лавами и лавовыми брекчиями андезибазальтового, андезитового, реже андезидацитового состава. Лавовые потоки обладают параллелепипедальной и пластовой отдельностью. Их ширина в некоторых местах достигает нескольких десятков метров. Лавовые брекчии образуют краевые части потоков, поверхностные корки. Значительные объемы лавовых фаций, их расположение, наличие пирокластиков и другие признаки позволили наметить здесь центр андезитового вулканизма и реконструировать вулканическую постройку [4]. Ранее эти образования были выделены в андезитовую формацию раннего карбона, в более поздних работах [7] они были включены в состав бекленищевского базальт-андезит-дацит-риолитового комплекса визейского возраста. Возраст вулканогенных пород определен как ранний карбон на основании их согласного залегания под карбонатно-терригенными отложениями, в прослоях известняковых песчаников которых описана фауна фораминифер верхнего визе *Archaediscus convexus* Grozd. et Leb., *Endothyra* sp. *Howchinia gibba* Moell., *Loeblichia* ex gr. *pseudoukrainica* Vdov., *Archaediscus nodosus* (Brazhn.), *Ammarchaediscus* sp. [5]. Андезиты, слагающие лавовые потоки, по составу вкрапленников являются пироксен-плагиоклазовыми. Плагиоклаз в них представлен зональным андезином, пироксен – авгитом. Вкрапленники плагиоклаза частично прениитизированы или неравномерно сосюритизированы. Пироксен иногда слабо хлоритизирован.

Изученные нами на севере зоны, в береговых обнажениях р. Ирбит, вулканогенные породы представлены порфиоровыми и афировыми базальтовыми эффузивами и долеритами субвулканической фации. Ранее эти образования были отнесены к осадочно-вулканогенной формации раннего карбона [4]. Здесь получили развитие базальтовые лавы, имеющие шаровую отдельность. Шары, диаметром

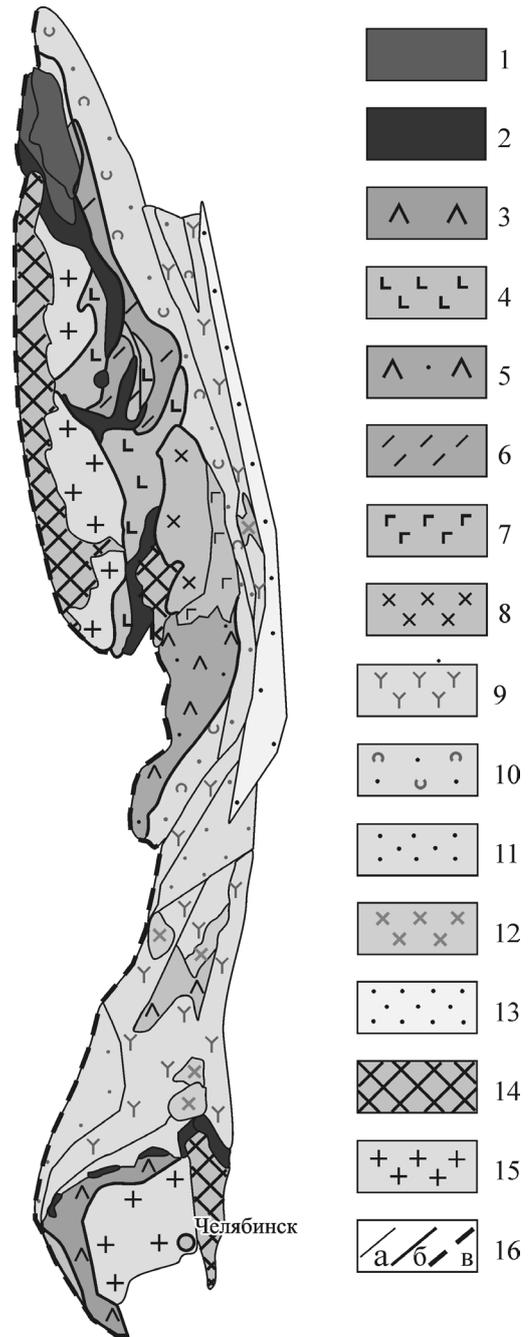


Рис. 1. Схема строения Восточного сегмента Среднего Урала (по [1]).

Комплексы Алапаевско-Режевской зоны. 1 – габбро-ультрабазитовые, 2 – ультрабазитовые, 3 – океанических базальтов; 4–7 – островодужные: 4 – андезит-дацит-риолитовые, 5 – андезит-вулканогенно-осадочные, 6 – кремнисто-сланцевые; 7 – габбро, габбро-долеритовые, 8 – гранодиориты. Комплексы Сухоложско-Теченской зоны. 9 – андезит-дацитовые, 10 – андезит-туфогенно-сланцевые, 11 – терригенно-сланцевые, 12 – гранодиорит-диоритовые, 13 – карбонатно-терригенно-сланцевые. 14 – гнейсы, мигматиты, амфиболиты основания континентальных террейнов, 15 – интратеррейновые гранитоиды. 16 – границы комплексов (а), покровов (б), коллизионный шов западного ограничения сегмента (в).

от нескольких сантиметров до двух метров, имеют концентрически-скорлуповатое строение с плотной центральной частью и миндалекаменной периферической зоной. Наблюдаются также потоки афировых базальтов, состоящие из мелкообломочной брекчии, перекрытые слоями туфов, в которых кроме материала базальтового состава содержится примесь чужеродных обломков [4].

С вулканогенными породами ассоциируют многочисленные дайки и субвулканические тела долеритов и габбро-долеритов. Дайки в большинстве случаев расположены линейно и ориентированы в северо-восточном направлении, согласно с простиранием крупных разрывных нарушений. По простиранию они прослеживаются на расстояние до 30–40 м при мощности от 5 до 15 м. Маломощные тела долеритов характеризуются равномерной зернистостью во всех участках, в более мощных телах наблюдается смена мелкозернистых разностей крупнозернистыми от периферии к центру. Возраст этих образований принят как раннекаменноугольный, моложе жуковского горизонта (C_1V_2Z), на основании находок в известняках редких брахиопод *Globosoproductus* sp. и фораминифер *Endothyra similis* Raus. et Reitl., *E. prisca* Raus. et Reitl., *Planoarchaediscus spirillinoides* (Raus.), *Glomodiscus cf. nodosus* Brazhn., *Paraarchaediscus* sp. *P. koktjubensis* (Raus.), *Archaediscus karreri spira* Conil et Lys, *A. spiroides* (Pop.), *Valvulinella lata* Grozd. et Leb. усть-греховского горизонта – нижнего и жуковского горизонта верхнего визе [5].

Макроскопически габбро-долериты представляют собой зеленовато-серые или темно-серые массивные полнокристаллические среднезернистые породы. Под микроскопом они обнаруживают бластофитовую структуру, пироксен в различной степени замещен хлоритом, плагиоклаз свежий или сосюритизированный, присутствует вкрапленность рудного минерала (титаномагнетит).

Петрогеохимия андезитов. Проанализированные образцы содержат 57–62% SiO_2 . Для них характерна умеренная и низкая титанистость (0.9–0.7), содержание CaO в породах колеблется от 2.8 до 5.7%, коэффициент глиноземистости (al) составляет 1.05–2.18, что позволяет относить их к высокоглиноземистой группе. Это нормально-щелочные андезиты ($Na_2O + K_2O = 3.7–5.3\%$) с преобладанием Na ($K_2O/Na_2O = 0.25–0.85$). Они имеют низкое содержание MgO (1.8–4.6%), Cr (32–70 г/т) и Ni (35–86 г/т). С падением содержаний MgO возрастает содержание SiO_2 , Na_2O , уменьшается количество CaO , Cr , Ni .

Содержание Rb в андезитах определяется содержанием калия и достигает 20 г/т, Sr варьирует от 342 г/т до 541 г/т. Концентрации Zr и Y в изученных андезитах составляют 179–333 г/т и 17–27 г/т, соответственно. Значения отношения Zr/Y характеризуют их образования, развитые вблизи

континентальных окраин. Содержания и характер фракционирования РЗЭ в рассматриваемых породах свойственны надсубдукционным образованиям. Типичным является преобладание легких лантаноидов над тяжелыми редкими землями. Еу аномалия проявлена слабо. Фракционированные тренды распределения РЗЭ имеют умеренный наклон ($(La/Yb)_n = 2.8–4.2$), и располагаются выше эталонного состава E-MORB (рис. 2).

По сравнению со средними океаническими толеитами (N-MORB) андезиты обогащены крупноионными литофильными элементами Cs , Ba , Sr и обеднены высокозарядными элементами (Ti , Y). На спайдерграммах наблюдается минимум по Th и выраженный Nb минимум (рис. 3), а также Ba и Sr максимумы, что характерно для вулканитов, сформированных в пределах субдукционных зон.

Изученные андезиты по петрохимическому составу (высокому содержанию Al_2O_3 , $K_2O + Na_2O$, низкому содержанию CaO) и геохимическим параметрам (содержанию крупноионных и высокозарядных элементов) сходны с девонскими умеренно калиевыми андезитами Войкарского вулcano-плутонического пояса Севера Урала [10]. Концентрации тугоплавких (Cr , Ni , Co) и высокозарядных (Ti , Y , Zr) элементов в андезитах зоны близки к таковым для среднего состава андезита известково-щелочной серии Андского вулканического пояса [9].

По сравнению с аналогичными по кремнекислотности среднедевонскими островодужными эффузивами восточного сегмента Среднего Урала, они характеризуются более высокими содержаниями РЗЭ (рис. 2). На нормализованных многокомпонентных диаграммах в островодужных андезитах присутствует Ta и Nb минимум, более глубокий, чем в изученных вулканитах.

Петрогеохимия базальтоидов. Проанализированные вулканиты основного состава соответствуют базальтам нормального и умеренно-щелочного петрохимического ряда. Большинство анализов показывают низкие значения кремнезема (44–46%). На TAS-диаграмме (сумма щелочей–кремнезем) точки составов пород группируются вдоль границы раздела ультраосновных и основных пород. Долериты низкокальциевые ($K_2O = 0.3$), содержат значительное количество TiO_2 (1.3–2.7%, иногда 4.8%), величина железистости составляет 0.66–0.73, что позволяет относить их к толеитовой серии. В базальтах содержание K_2O варьирует в пределах от 0.3% до 1.5%. Для базальтоидов характерны умеренные содержания Al_2O_3 (12.2–15.6%) и P_2O_5 (0.1–0.3%), достаточно стабильные содержания MgO (5.4–7%), количество CaO составляет 7–10 мас. %. Содержание когерентных элементов в этих образованиях изменяется в довольно широком диапазоне (Ni – 40–160 г/т; Cr – 39–480 г/т; V – 186–467) и не зависит от магнезиальности пород. Для этих пород характерны низкие содержания Rb (1.7–5.4, ино-

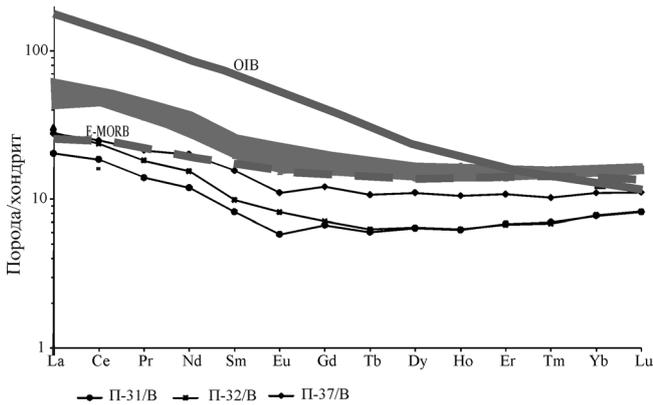


Рис. 2. Нормированное по хондриту [13] содержание РЗЭ в андезитах.

Залитое поле – андезиты Сухоложской зоны, П-31/в, П-32/в, П-37/в – андезиты островодужного комплекса среднего девона восточного сегмента Среднего Урала. Для сравнения приведены спайдерграммы средних составов обогащенных базальтов срединно-океанических хребтов (E-MORB) и внутриплитных базальтов океанов (OIB) [13].

гда 17 г/т), содержания Sr варьируют от 387.8 г/т до 515.8 г/т. Долериты характеризуются невысокими содержаниями РЗЭ и слабым их фракционированием ($(La/Yb)_n = 1.1-2.5$), у них отмечается слабо выраженная положительная Eu-аномалия. Полученные тренды горизонтальные, практически дублирующие тренд базальтов E-MORB-типа при несколько более высоком общем уровне концентрации REE. Спектры распределения РЗЭ для проб базальтов характеризуются повышенными нормализованными концентрациями легких лантаноидов по сравнению со средними и тяжелыми и имеют более крутой наклон ($(La/Yb)_n = 5.3$).

В породах наблюдаются вариации содержания ниобия (Nb – 6–20 г/т). Содержания других высокозарядных элементов колеблются в узких пределах (Zr = 174.5–184.4 г/т, Y = 42–47 г/т) и превышают содержания тех же элементов в базальтах N-MORB-типа. На спайдердиаграмме в базальтоидах, нормированных к MORB, выражены отрицательные аномалии Nb и Th и положительные Ba, Sr, Ti, Zr.

Изученная группа пород основного состава, по содержанию железа и глинозема, типу щелочности, содержанию рубидия и стронция, а также Ti, Zr, Y, Nb, обнаруживает сходство с миоценовыми платобазальтами о. Исландия. По этим же характеристикам, они отличаются от базальтов туринской серии триаса, которые связываются с процессами внутрикратонного рифтогенеза. Прежде всего, для вулканитов туринского комплекса характерна повышенная щелочность калиевого типа. Наиболее характерной чертой их микроэлементного состава является низкое содержание когерентных элементов (Sr, Ni, Co и другие) и более высокое – некогерентных,

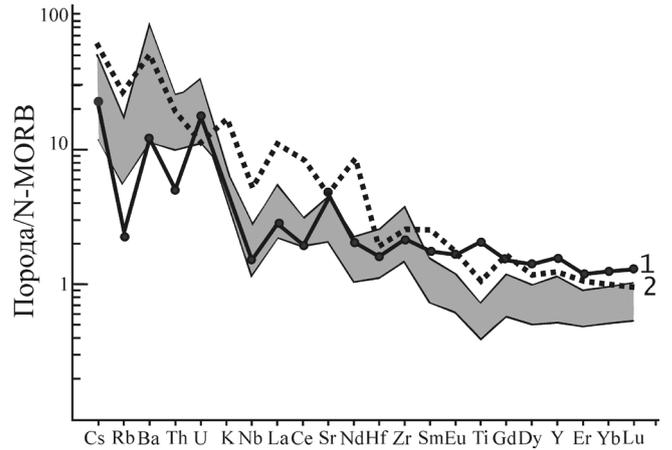


Рис. 3. Спайдерграмма вулканитов Сухоложской зоны. Содержания элементов-примесей нормированы по N-MORB [13].

1 – усредненный тренд базальтов, 2 – базальты туринского комплекса [3]; серым залито поле андезитов.

при сильном преобладании в них Rb, Ba и других крупноионных литофилов над Zr, Nb, Y (рис. 3) [3].

На дискриминационной диаграмме Zr/Y–Zr [12] фигуративные точки изученных пород располагаются в области внутриплитных базальтов (рис. 4).

Таким образом, по геохимическим параметрам, в составе вулканогенных пород Сухоложской зо-

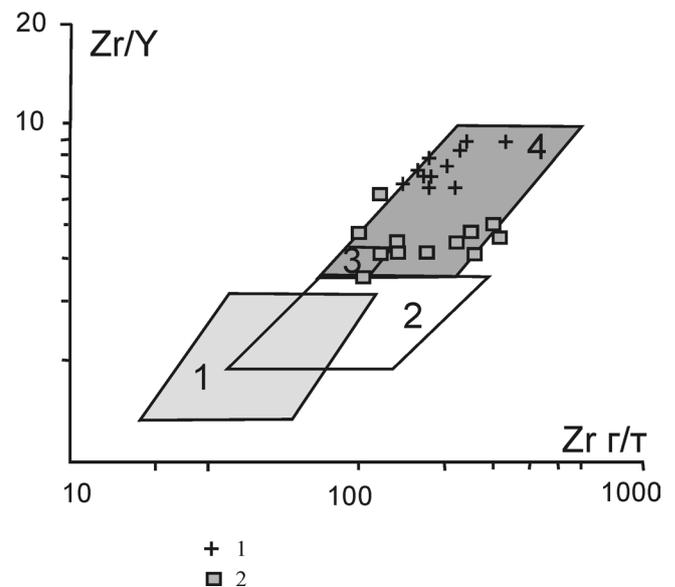


Рис. 4. Дискриминационная диаграмма Zr/Y–Zr [13].

1 – андезиты, 2 – базальтоиды Сухоложской зоны. Поля на диаграмме: 1 – островодужные базальты, 2 – базальты срединно-океанических хребтов (MORB), 3 – внутриплитные базальты и MORB, 4 – внутриплитные базальты.

ны присутствуют ассоциации надсубдукционных краевых поясов активных континентальных окраин. Одновременно здесь выделяются разности с геохимическими параметрами внутриплитных обстановок. Вулканогенных комплексов, имеющих выраженные параметры внутриокеанических образований энсиматических палеодуг здесь не установлено.

Сложность проведения четкой геологической границы между вулканогенными ассоциациями, принадлежащими краевым поясам активных континентальных окраин и ассоциациями, характеризующими внутриплитные обстановки чехла, расположенного по восточной периферии террейна, определяется, вероятно, проявлением в пределах характеризуемого сегмента покровных и надвиговых структур аккреции и коллизии. Однако наличие в составе Сухоложской зоны вулканических ассоциаций краевых поясов активных окраин не вызывает сомнения. В свою очередь, формационные и фациальные признаки принадлежности ассоциаций Теченской зоны к типу надсубдукционных образований имеют свое место и позволяют говорить о возможности выделения Сухоложско-Теченского краевого пояса активной континентальной окраины, образованной, скорее всего, сложным композиционным сочетанием террейнов древней континентальной коры и островодужных террейнов.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ УрО РАН (проект 12-П-5-2015 и проект 12-У-5-1041).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геодинамическая карта Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии м-ба 1 : 2 500 000. Составители: В.М. Нечеухин, В.А. Душин, В.Г. Оловянишников. Екатеринбург: УрО РАН–УГГУ, 2009.
2. Геология СССР. Т. 12, ч. 1. М.: Недра, 1969. 304 с.
3. Иванов К.П., Иванов К.С., Федоров Ю.Н. Геохимия триасовых вулканитов Западно-Сибирской плиты (на примере туринской серии) // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 767–790.
4. Коротеев В.А., Дианова Т.В., Кабанова Л.Я. Среднепалеозойский вулканизм Восточной зоны Урала. Л.: Наука, 1979. 129 с.
5. Кучева Н.А., Степанова Т.И., Волчек Е.Н. Геологическое строение каменноугольных образований в нижнем течении р. Камышенка (Бассейн р. Исеть, восточный склон Среднего Урала) // Ежегодник 2006. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 37–42.
6. Смирнов Г.А. История тектонического развития Урала по данным литолого-фациальных исследований // Геотектоника, 1971. № 2. С. 29–37.
7. Смирнов В.Н., Коровко А.В. Палеозойский вулканизм восточной зоны Среднего Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 395–420.
8. Палеогеодинамические ассоциации и тектоногеодинамические элементы Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии / В.М. Нечеухин, В.А. Душин, В.Г. Оловянишников. Екатеринбург: УрО РАН–УГГУ, 2009. 158 с.
9. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. М.: МГУ, 1997. 320 с.
10. Язева Р.Г., Бочкарев В.В. Войкарский вулканоплутонический пояс. Свердловск: ИГиГ УНЦ АН СССР, 1984. 155 с.
11. Язева Р.Г., Молошаг В.П., Бочкарев В.В. Геология Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 72 с.
12. Pearce J.A., Norry M.J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks // Contrib. Mineral. Petrol. 1979. V. 69. P. 33–47.
13. Sun S.-s. and McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes // Magmatism in the Oceanic Basins / A.D. Saunders, M.J. Norry (Eds.). Blackwell, Oxford, 1989. P. 313–345.

Рецензент Г.Ю. Шардакова

The petrochemical peculiarities of volcanic rocks of Sukholozhskaya zone (Middle Ural eastern segment) and their significance for geodynamic reconstruction

E. N. Volchek, V. M. Necheukhin

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

According to petrochemical data and geochemical studies materials produced using modern methods, the belonging of Sukholozhskaya volcanic zone in the Middle Ural to the complexes of boundary zones of active continental margins was set. Along with Techa area it forms Sukholozhskaya-Techa boundary zone as the southern fragment of volcano-plutonic associations in the eastern periphery of the Urals.

Key words: *andesites, basalt, Sukholozhskaya zone, active continental margins.*