

## Особенности осадконакопления и вулканизма Тастауской рифтовой структуры Центрального Казахстана

А. М. Курчавов<sup>1</sup>, Т. Н. Хераскова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), 119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., 35, e-mail: kam@igem.ru

<sup>2</sup>Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН), 119017, Россия, Москва, Пыжевский пер., 7, e-mail: kheraskova.tatiana@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.12.2018 г., принята к печати 06.03.2019 г.

**Объект исследований.** В фаменской субширотной рифтовой системе Центрального Казахстана выделена меридиональная Тастауская рифтовая структура. Показаны особенности слагающих ее осадков и вулканизма, этапы развития структуры. **Материалы и методы.** Работа основана на многолетних полевых исследованиях, включая детальное изучение последовательности отложений, крупномасштабное геокартирование, отбор образцов на различные виды прецизионных анализов. **Результаты.** Выявлены типоморфные особенности основных типов пород. Показана специфика форм залегания базальтоидов в виде пиллоу-разностей с гиаокластитовым матриксом между подушками, насыщенность кремневидных сланцев тонким пепловым кремнекислым материалом. Составлена схема геологического строения Тастауской структуры и особенности ее строения в серии поперечных сечений. Выделены стадии развития данной структуры и обоснована ее принадлежность к рифтовому типу. **Выводы.** Совокупность вещественных признаков и особенностей строения разреза Тастауской структуры типичны для всей рифтовой системы Центрального Казахстана. Предрифтовой (франской) стадии свойствен континентальный вулканизм в виде высококальциевых и ультракальциевых риолитовых игнимбритов, слагающих энсиалическую островодужную структуру. Эти вулканы принадлежат к шошонитовой и высококальциевой известково-щелочной петрохимической серии. Собственно рифтовая стадия начинается с фаменского века формированием системы узких глубоких трогов, в которые ингрессировало море из соседней Жонгаро-Балхашской морской области. Характерны прибрежные конгломераты и морские песчаники. Конгломератам свойственна тонкая уплощенная изометричная форма галек и их хорошая шлифовка, сходная с таковой галек современных морских пляжей. Песчаники обладают хорошей слоистостью и плохой окатанностью обломочного материала, представленного подстилающими франскими риолитовыми игнимбритами, сносимыми с бортов трога. Для зрелой рифтовой стадии характерно накопление в морских условиях пиллоу-базальтов и гиаокластитов и тонкослоистых силицитово-глинисто-карбонатных сланцев с обильным пепловым материалом трахириолитового состава и с прослоями трахириолитовых пизолитовых туфов. Фаменские вулканы относятся к субщелочной контрастной бимодальной ассоциации, при этом им свойственны значительные вариации содержания щелочей. Пострифтовой стадии отвечает формирование слоистых известняков нижнего турне, развитых также широко за пределами указанного рифтового трога.

**Ключевые слова:** островодужная структура, рифтовая структура, окатанность и форма галек, тип слоистости, пиллоу-базальты, ультракальциевые риолитовые игнимбриты, силицитовые сланцы

### Благодарность

Геологическая часть работы была выполнена в 1985–1991 гг. Позднее аналитическая составляющая ее была финансово поддержана программами фундаментальных исследований Президиума РАН (программы № 4, 13, 15, 16, 18) и Российским фондом фундаментальных исследований (проекты № 96-05-64535, 01-05-64626, 14-05-92000).

## Features of sedimentation and volcanism of the Tastauskaya rift structure in Central Kazakhstan

Anatoly M. Kurchavov<sup>1</sup>, Tatiana N. Kheraskova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), 35 Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia, e-mail: kam@igem.ru

<sup>2</sup>Geological Institute of Russian Academy of Sciences (GIN RAS), 7 Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia, e-mail: kheraskova.tatiana@yandex.ru

Received 19.12.2018, accepted 06.03.2019

**Для цитирования:** Курчавов А.М., Хераскова Т.Н. (2019) Особенности осадконакопления и вулканизма Тастауской рифтовой структуры Центрального Казахстана. *Литосфера*, **19**(6), 889–901. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-6-889-901

**For citation:** Kurchavov A.M., Kheraskova T.N. (2019) Features of sedimentation and volcanism of the Tastauskaya rift structure in Central Kazakhstan. *Litosfera*, **19**(6), 889–901. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-6-889-901

*Research subject.* A meridional Tastaу rift structure located in the Famienian sub-latitude rift system of Central Kazakhstan was investigated, including the specific features of its constituent sediments and volcanism, as well as the stages of its development. *Materials and methods.* The study was based on data collected during a long period of fieldwork, including a detailed study of the sequence of sedimentation processes, large-scale geocarting, sampling for various types of precision analyses. *Results.* The typomorphic features of the main rock types were determined. It was shown that basaltoid rocks occurred in the form of pillow structures with a hyaloclastite matrix between the pillows. Siliceous shales are saturated with thin ash silicic acid material. A geological scheme of the Tastaу structure and its specific features was presented in a series of cross-sections. The developmental stages of this structure were established. The structure was referred to the rift type. *Conclusion.* The material and structural features of the investigated Tastaу section are shown to be typical of the entire rift system of Central Kazakhstan. The pre-rift (Frasnian) stage is characterized by continental volcanism in the form of high-potassium and ultra-potassium rhyolite ignimbrites composing an encialic island-arc structure. These volcanites belong to the shoshonite and high-potassium lime-alkaline petrochemical series. The rift stage itself began in the Early Famienian age with the formation of a system of narrow deep troughs, into which the sea from the neighbouring Zhongaro-Balkhash sea region started to ingress. The conglomerates are characterized by thin flattened isometric pebbles, whose well-polished surface is similar to that of pebbles in modern sea beaches. The sandstones exhibit a high level of lamination and are characterized by poorly pelletized clastic material. The clastic material is represented by the underlying Frasnian rhyolitic ignimbrites carried in from the sides of the trough. The mature rift stage is characterized by the accumulation (under marine conditions) of pillow basalts and hyaloclastites and thin-layered silicite-clay-carbonate shales with abundant ash. The post-rift stage is responsible for the formation of layered limestones of the Lower Tournaisian, developed also widely beyond the specified rift trough.

**Keywords:** island arc structure, rift structure, roundness and shape of the pebbles, the type of layering, pillow basalts, ultrapotassium rhyolitic ignimbrites, slates silitsitovye, gold

#### Acknowledgements

The geological part of the work was carried out in 1985-1991. The analytical component of this work was subsequently supported by the programs of fundamental research of the RAS Presidium (programs No. 4, 13, 15, 16, 18) and the Russian Foundation for Basic Research (projects No. 96-05-64535, 01-05-64626, 14-05-92000)

## ВВЕДЕНИЕ

В начале фамена в палеозоидах Центрального Казахстана интенсивно проявились процессы рифтогенеза. Сформировалась протяженная рифтогенная система, рассекающая в субширотном направлении каледонские структуры на западе и герцинские структуры на востоке. В литературе неоднократно освещались особенности строения и развития данной системы и характер вулканизма в ее пределах (Геология и металлогения..., 1969; Бахтеев и др., 1980; Веймарн, Капсамун, 1981; Веймарн, Милановский, 1990; Веймарн, 1991; Бурштейн и др., 1996).

Здесь впервые охарактеризована меридиональная Тастауская рифтовая структура, ранее выделявшаяся как зона интенсивного динамометаморфизма и смятия (Курчатов, 2002). В ее пределах представлены фамен-турнейские морские вулканогенные и осадочные отложения, сходные с таковыми субширотной рифтовой системы. Полученные данные об особенностях осадков, петрохимическом и геохимическом составе вулканитов верхнего девона этой структуры позволяют полнее отразить развитие палеозоид Центрального Казахстана.

Аналитические работы были проведены в ИГЕМ РАН и ГИН РАН. Анализы оксидов во франских вулканитах (обр. 1929а, 1934а, 2118, 2118/1) выполнены "мокрой химией", содержания в них редких элементов (г/т) определены в ИГЕМ РАН на приборах VRA-20 VRA-30, а РЗЭ – на ISP MS в ИГЕМ РАН. Остальные анализы оксидов во франских вулканитах выполнены в ГИН РАН рентгено-флу-

оресцентным методом, а микроэлементов и РЗЭ – на приборе ICP MS. Анализы петрогенных оксидов (мас. %) в фаменских вулканитах и микроэлементов в них (пересчитаны на г/т) были выполнены "мокрой химией" в ИГЕМ РАН, а содержания РЗЭ (г/т) определены там же на плазменном квантометре ICP MS Quad 2.

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТАСТАУСКОЙ РИФТОВОЙ СТРУКТУРЫ

На современном срезе Тастауская структура под прямым углом соединяет субширотные Успенскую (на севере) и Акжал-Аксоранскую (на юге) рифтовые структуры (рис. 1). Ее длина составляет 75 км при ширине 5–10 км. Сложена Тастауская структура верхнедевонскими и турнейскими образованиями, залегающими в виде многочисленных деформированных тектонических пластин, которые нарушены более поздними крутопадающими на восток разломами. Интенсивные тектонические движения, вызвавшие чешуйчато-надвиговое строение данной территории, происходили неоднократно, прежде всего в конце турне в виде листрических сбросов и шарьяжей, смятых позднее в складки, а затем в виде взбросо-сдвигов в середине визейского века (в саурскую фазу складчатости), когда на расположенной восточнее Жонгаро-Балхашской области морское осадконакопление сменилось интенсивным континентальным вулканизмом, знаменующим орогенный этап развития герцинид Казахстана. Вдоль разломов породы динамометаморфизованы и окварцованы.

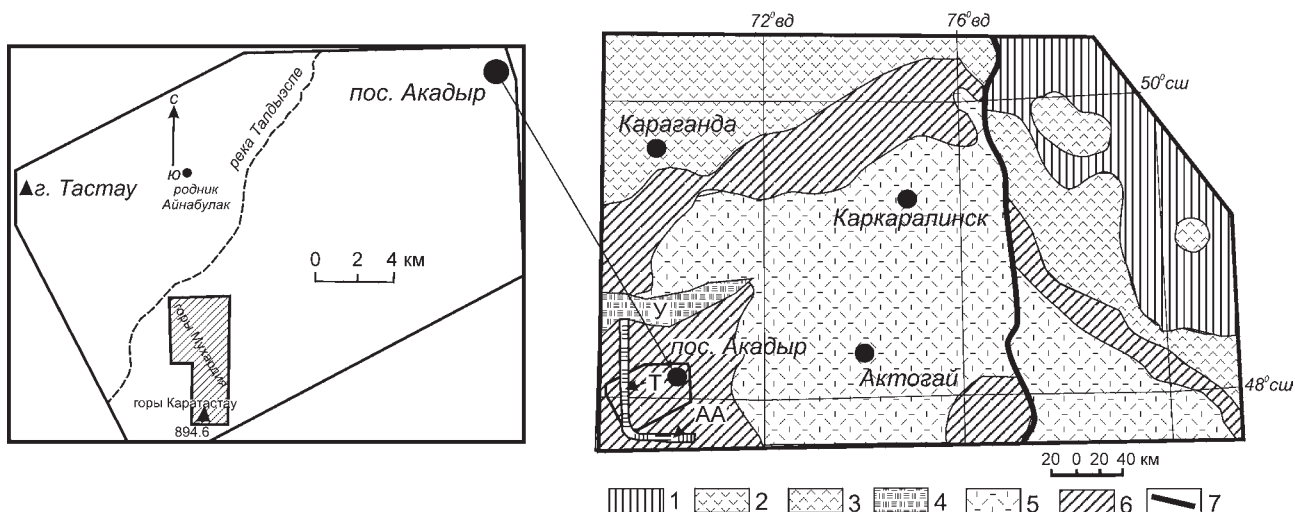


Рис. 1. Положение Тастауской рифтовой структуры в палеозоидах Центрального Казахстана.

На врезке слева прямоугольником показан участок Тастауской структуры в горах Мухардия и Каратастай (см. рис. 2). 1 – додевонские образования Чингизской островодужной системы, 2 – девонский окраинно-континентальный вулканический пояс, 3 – девонские континентальные вулканы Чингизской островодужной системы, 4 – франские островодужные континентальные вулканы, 5 – верхнепалеозойские континентальные вулканы Токрауской и Северо-Балхашской впадин, 6 – доверхнепалеозойские образования Жонгаро-Балхашской подвижной области, 7 – Центрально-Казахстанский разлом. Рифтовые структуры: У – Успенская, Т – Тастауская, АА – Акжал-Аксоранская.

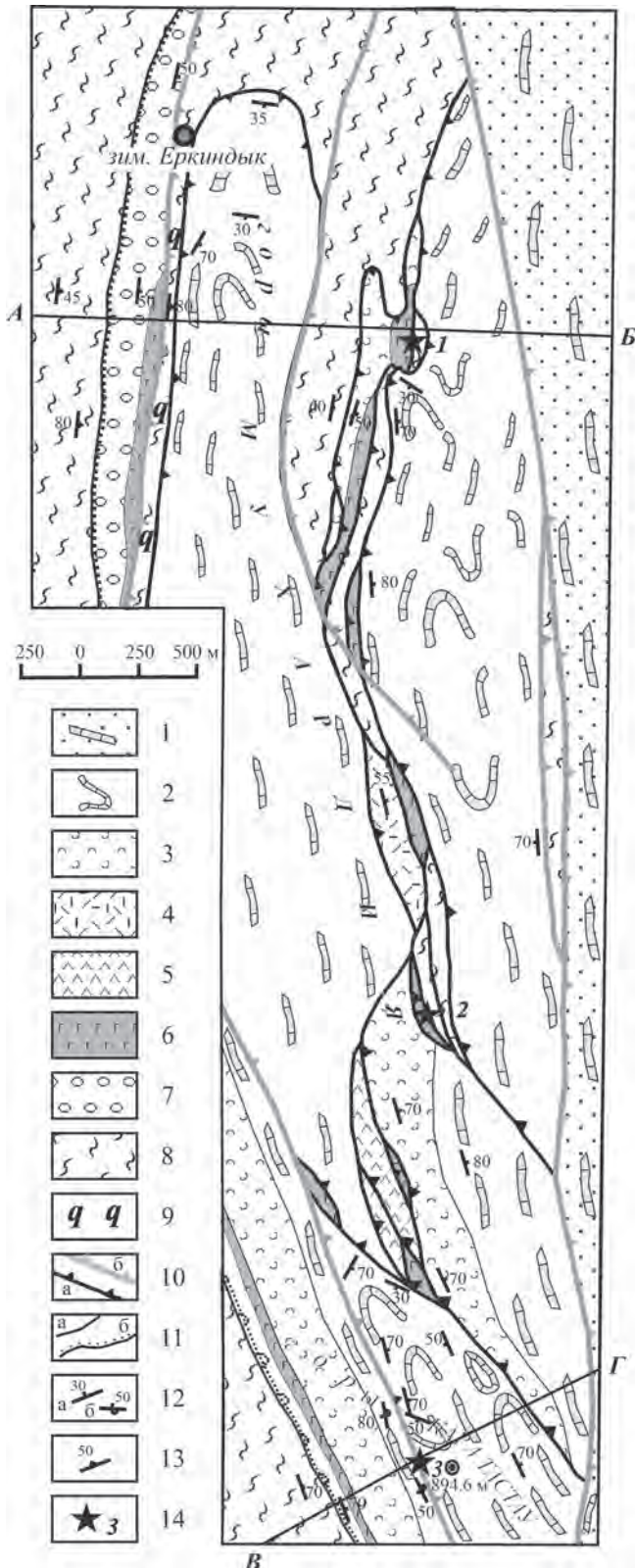
Fig. 1. Position of Tastaу rift structure in Paleozooids on Central Kazakhstan.

On insert at the left the rectangle has shown the site of Tastaу structure in Mountains Mukhardiya and Karatastau (see Fig. 2). 1 – pre-Devonian formations of Chingiz island-arc system, 2 – the Devonian marginal continental volcanic belt, 3 – the Devonian continental volcanics of Chingiz island arc system, 4 – Frasnian island arc continental volcanics 5 – Upper Paleozoic continental volcanics of Tokraus and North Balkhash hollows, 6 – pre Upper Paleozoic rocks of the Zhongaro-Balkhash mobile region, 7 – the Central Kazakhstan fault. Rifts structures: У – Uspenskaya, Т – Tastauskaya, АА – Akzhal-Aksoranskaya.

Наиболее выразительно строение Тастауской структуры проявлено в горах Мухардия (в 10 км юго-восточнее вершины г. Тастау) и на их продолжении к югу – в горах Каратастай (14 км юго-восточнее г. Тастау) (рис. 2, 3). Основанием фаментурнейского разреза здесь служат красноцветные франские ультракалийевые риолитовые игнимбрииты. Эти породы возникли на поздней стадии формирования девонского окраинно-континентального вулканического пояса Центрального Казахстана на континентальных блоках, отторженных от каледонского континента и перемещенных в пределы соседней Жонгаро-Балхашской подвижной области вследствие интенсивных тектонических движений в середине живетского века (тельбесская фаза складчатости) (Юрина и др., 1989; Мальченко и др., 1998). Они развиты также в пределах современных Успенской, Акбастауской и Акжал-Аксоранской зон (см. рис. 1). Ареал этих вулкаников образует дугу, вытянутую в субширотном направлении почти на 500 км. Расположена она между стабилизированным палеозойским палеоконтинентом с девонским окраинно-континентальным вулканическим поясом по его краю и подвижной Жонгаро-Балхашской областью, где в период с раннего силура до карбона существовал остаточный морской

бассейн с преобладающей терригенно-карбонатной седиментацией. Пояс развития франских вулканических образований в юго-западной своей части накладывается на “осколок” протерозойского палеоконтинента (Актау-Моинтинский антиклинорий), а в северо-восточной части – на отложения силура и девона. Во франский век эта структура представляла собой островную дугу энсиалического типа, которая отделяла участки остаточной или вновь образованной океанической коры от шельфовых частей бассейна. В юго-западной части пояса, которая в настоящее время более приподнята, блоки протерозойских образований обнажены непосредственно на современной дневной поверхности. Характер гравитационного поля региона свидетельствует о том, что и в северо-восточной части пояса, которая опущена, вероятно присутствие на глубине пород кристаллического фундамента (Курчавов, 1995). В целом ареал распространения указанных магматических образований относится к области тельбесской фазы складчатости, которая проявилась здесь в середине живетского века (Юрина и др., 1989).

Деструкция континентальной коры в конце франна-начале раннего фамена привела к образованию узкого глубокого трога, в который из смеж-



**Рис. 2.** Схема геологического строения Тастау-ской рифтовой структуры в горах Мухардия и Каратау.

1 – известняки турнейского яруса; 2 – известняки верхнего фамена–турне; 3–5 – верхнефаменские образова-

ния; 3 – кремнисто-глинисто-карбонатные сланцы с перебитым пирокластическим материалом, 4 – риолитовые туфы и туффиты, 5 – андезидациты; 6–7 – нижнефаменские образования: 6 – пиллоу-базальты; 7 – базальные конгломераты и слоистые песчаники; 8 – франские ультракалиевые риолитовые игнимбриты; 9 – зоны окварцевания; 10 – разломы: а – древние (типа листрических сбросов и шарьяжи) и б – более молодые (взбросо-сдвиги и сбросо-сдвиги); 11 – границы: а – литологические, б – несогласного налегания; 12 – элементы залегания пластов: а – нормальное, б – запрокинутое; 13 – элементы залегания плоскости напластования фяамме в игнимбритах; 14 – точки отбора пробирных проб с повышенным содержанием Au.

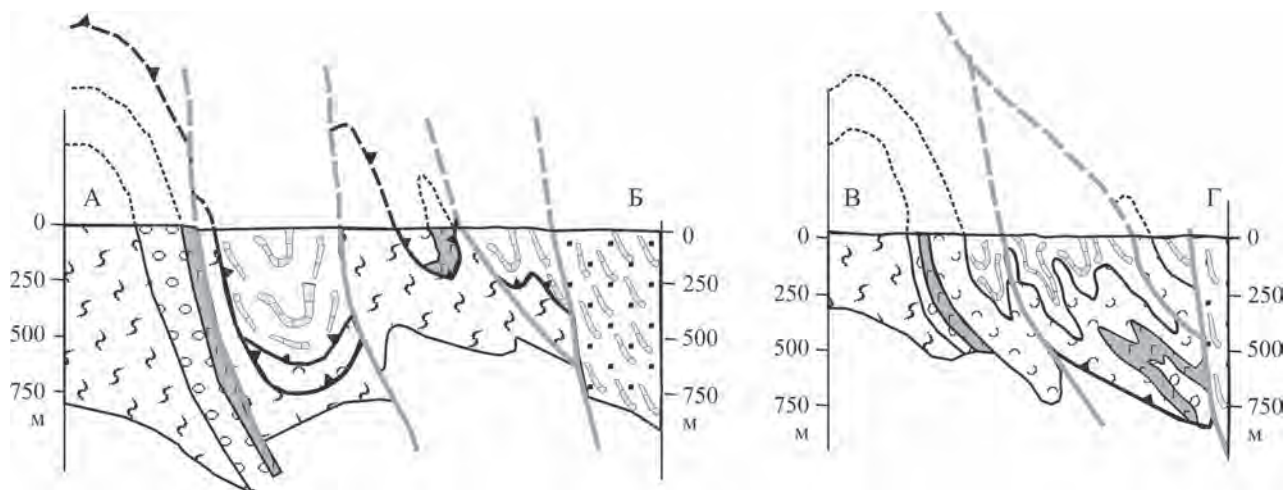
**Fig. 2.** The scheme of geological structure of Tastaу rift structure in Mountains Mukhardiya and Karataу.

1 – limestones of Tournaisian; 2 – limestones of Upper Famennian–Tournaisian; 3–5 – Upper Famennian rocks: 3 – siliceous-clay-carbonate slates with the washed-up pyroclastic material, 4 – rhyolitic tuff and tuffits, 5 – andezidatsits; 6–7 – Lower Famennian rocks: 6 – pillow basalts; 7 – basal conglomerates and layered sandstones; 8 – Frasnian ultrapotassium rhyolitic ignimbrites; 9 – quartz zones; 10 – breaks: а – ancient (like listric and overthrust) and б – younger shifts and faulted-shifts; 11 – borders: а – lithologic, б – discordant; 12 – elements of bedding of layers: а – normal, б – overturn; 13 – elements of bedding of the planes fяamma in ignimbrites; 14 – points of tests with the maintenance of Au.

ного Жонгаро-Балхашского морского бассейна ингрессировало море. В результате здесь сформировалась рифтогенная серия морских вулканогенно-терригенно-глинисто-карбонатных осадков фамена, согласно перекрывающихся терригенно-карбонатными и карбонатными отложениями верхнего фамена–турне.

Низы рифтогенной серии фамена представлены пачкой валунных конгломератов и песчаников. Они с размывом и несогласием залегают на франских ультракалиевых риолитовых игнимбритах, обильные валуны и галька которых представлены в этих конгломератах. Галька и валуны имеют уплощенную изометричную форму; они хорошо окатаны и отшлифованы. По своей форме и степени отшлифованности они сходны с таковыми современных морских пляжей. Конгломераты перемежаются с градационно-слоистыми песчаниками. При хорошо выраженной слоистости песчаникам свойственна крайне низкая степень окатанности обломочного материала, сформированного вследствие размыва непосредственно развитых здесь же подстилающих франских вулканитов. В смежных районах в этих отложениях найдена фаменская фауна.

В верхней части пачки появляются сперва отдельные “подушки” (пиллоу) и “шары” миндалекаменных базальтов размером в десятки сантиметров, сцементированных гиалокластитовым базальтовым и гидротермалитовым кремнисто-гематит-гидрогетитовым материалом. Вверх по разрезу ко-



**Рис. 3.** Геологические разрезы: АБ – через северную часть гор Мухардия, ВГ – через горы Каратастау. Условные обозначения – см. рис. 2.

**Fig. 3.** Geological sections: АБ – through a northern part of Mountains Mukhardiya, ВГ – through Mountains Karatastau.

Symbols – see Fig. 2.

личество базальтовых подушек и шаров возрастает, их размеры увеличиваются до первых метров и даже (для подушек) десятков метров. Мощность пачки около 100 м. Выше залегают покровы миндалекаменных базальтоидов, чередующихся местами с маломощными пластами слоистых песчаников. Мощность пачки базальтоидов – до 100 м. Затем следует пачка (100–150 м) тонкополосчатых силицитово-глинисто-карбонатных сланцев. Сланцы содержат большое количество слабо окатанного и перемытого тонкого пеплового материала трахириолитового состава, поставляемого из вулканов, возникших, по-видимому, в бортовых частях трогов. Отмечаются также прослойки пизолитовых туфов. В нижней половине пачки в сланцах встречаются шарообразные обособления (10–20 см в диаметре) миндалекаменных базальтов. Для этих обособлений характерно концентрическое или радиальное расположение миндалин. Последние здесь (и в более древней пачке) выполнены хлоритом, кварцем, карбонатом. Иногда в миндалинах встречается барит, слагающий также неправильной формы жильчатые обособления размером до 0.5 м. К верхам пачки примесь пирокластического материала сокращается и преобладает карбонатный материал. Слоистость становится более грубой. Вверх по разрезу сланцы постепенно становятся сначала глинисто-известковистыми, затем известковистыми и постепенно сменяются слоистыми известняками. В последних найдена фауна нижнего турне. Мощность известняков более 300 м. В целом мощность фамен-турнейской серии в пределах Тастауской рифтовой структуры составляет более 650 м.

#### ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФРАНКИХ ВУЛКАНИТОВ

В конце франа образовался комплекс континентальных высококальциевых и ультракальциевых риолитовых и риодацитовых туфов и игнимбриков (табл. 1–3), которые распространены сейчас в восточной части гряды Тастау, где непосредственно подстилают рифтогенные морские фамен-турнейские отложения.

Франские игнимбрики отличаются обильными вкрапленниками кварца и кали-натрового полевого шпата, заключенного как в многочисленных фьяммевидных обособлениях, так и в тонком стеклообразном базисе породы. По суммарному содержанию оксидов натрия и калия эти породы относятся преимущественно к известково-щелочным и субщелочным разностям, а по содержанию калия попадают в поле развития шошонитовой петрохимической серии (рис. 4).

При содержании  $\text{SiO}_2$  в пределах 69.66–76.59 мас. %  $\text{Na}_2\text{O}$  варьирует в пределах 1.10–3.83 мас. %, а  $\text{K}_2\text{O}$  – 3.38–8.19 мас. %. Высокая калиевость пород указывает на наличие зрелой континентальной коры при их формировании. Несмотря на различное структурно-тектоническое положение юго-западной (на консолидированном блоке) и северо-восточной (в подвижной области) частей позднедевонского “пояса”, слагающие его магматические породы имеют сходные петрохимические характеристики. Это свидетельствует о формировании их в единой геодинамической обстановке.

**Таблица 1.** Силикатные анализы франских вулканитов Тастауской рифтогенной структуры, мас. %**Table 1.** Silicate analysis of Frasnian volcanites of the Tastau rift structure, wt %

№ обр.	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.	Сумма
2210/1	75.65	0.16	11.25	0.01	4.05	0.02	0.24	0.21	3.28	4.65	0.03	0.45	99.99
2210/2	76.38	0.17	11.69	0.58	1.59	0.01	0.22	0.27	2.94	5.44	0.03	0.54	99.87
2210/3	75.31	0.16	12.40	1.17	1.23	0.01	0.15	0.19	3.83	4.99	0.03	0.34	99.80
2210/4	75.33	0.15	12.08	0.47	1.73	0.03	0.20	0.62	3.52	5.04	0.03	0.58	99.77
2210/5	75.41	0.16	11.62	0.27	2.34	0.04	0.18	0.86	3.43	4.79	0.03	0.87	99.99
2212/5	74.93	0.30	12.15	0.93	1.78	0.02	0.59	0.33	3.14	4.28	0.06	1.32	99.83
2212/6	75.00	0.31	12.14	1.24	1.42	0.02	0.58	0.33	3.02	4.48	0.06	1.38	99.98
2217/2	74.65	0.15	12.51	1.23	1.06	0.01	0.12	0.15	1.10	8.34	0.02	0.50	99.83
2217/3	74.44	0.15	12.40	0.98	1.48	0.01	0.12	0.11	1.17	7.98	0.02	1.10	99.97
2217/4	75.33	0.14	12.17	0.66	1.67	0.01	0.08	0.10	1.18	7.95	0.02	0.60	99.92
2217/5	74.74	0.15	12.36	0.62	1.63	0.01	0.10	0.11	1.16	8.05	0.02	0.86	99.82
1774	76.59	0.13	12.21	0.96	0.26	0.02	0.30	0.24	2.62	5.81	0.03	0.69	99.87
1777	69.66	0.41	13.81	1.47	1.76	0.08	0.92	2.99	3.47	3.38	0.09	1.71	99.75
1929	76.49	0.13	11.92	0.79	0.39	0.03	0.29	0.42	1.41	7.14	0.02	0.85	99.88
1933	70.04	0.31	14.18	1.58	1.52	0.06	1.11	2.19	3.24	4.13	0.08	1.38	99.82
1934	75.41	0.13	12.74	0.80	0.36	<0.01	0.13	0.19	2.73	6.85	0.02	0.54	99.90
1929a	75.90	–	–	–	–	–	–	–	1.38	6.34	–	–	–
1934a	74.95	–	–	–	–	–	–	–	2.79	6.38	–	–	–
2118	75.80	0.13%	11.29	1.34	0.79	0.01	0.08	0.12	1.57	8.19	–	0.3	100.08
2118/1	67.90	0.19%	15.38	1.89	0.69	0.01	0.05	0.52	1.97	10.60	–	0.19	99.53

Примечание. 2210/1,2,3,4,5 – кварц-полевошпатовые риолитовые игнимбриты в 1.7 км ЮЮВ родника Айнабулак; 2212/5,6 – риолитовые игнимбриты в 1.3 км ЮЮВ зимовки Еркіндык; 2217/2,3,4,5 – ультракалийевые риолитовые игнимбриты в 3.8 км ЮЗ родника Айнабулак; 1774 – ультракалийевые игнимбриты в 2.5 км ЮЗ-ЮЮЗ родника Айнабулак; 1777 – риодацитовые игнимбриты в 3.5 км ВЮВ горы Тастау; 1929, 1929a – ультракалийевые риолитовые игнимбриты в 8.5 км СВ горы Тастау на вершине с отметкой 887.0 м; 1934, 1934a – ультракалийевые риолитовые игнимбриты на западном подножье гор Мухардия в 0.9 км ЮЗ зимовки Еркіндык; 2118, 2118/1 – ультракалийевые риолитовые игнимбриты и фьямме в них в 11 км к ЮЮВ от пос. Акадыр на горе Караэспэ. Прочерк – нет данных.

Note. 2210/1,2,3,4,5 – quartz-feldspar rhyolite ignimbrite at 1.7 km SSE of spring Aynabulak; 2212/5,6 – rhyolite ignimbrite 1.3 km SSE of wintering Erkindyk; 2217/2,3,4,5 – ultrapotassic rhyolite ignimbrite at 3.8 km SW of spring Aynabulak; 1774 – ultrapotassic ignimbrite at 2.5 km SW-SSW of spring Aynabulak; 1777 – rhyodacite ignimbrites in 3.5 km ESE of Tastau Mountain; 1929, 1929a – ultra-potassium rhyolite ignimbrites in 8.5 km from Tastau Mountain at the summit with a mark of 887.0 m; 1934, 1934a – ultra-potassium rhyolite ignimbrites at the Western foot of the Mukhardia mountains in 0.9 km South of Erkindyk wintering; 2118, 2118/1 – ultra-potassium rhyolite ignimbrite and flame in them, 11 km SSE of the village Akadyr on the mountain Karaspe. Dash – no data.

Содержание микроэлементов во франских породах отражено в табл. 2. Обращает на себя внимание высокое содержание в этих вулканитах Ва (до 1800 г/т). Сумма редкоземельных элементов варьирует от 80 до 280 г/т при заметном преобладании легких лантаноидов над тяжелыми (La/Yb в диапазоне 8–85). Во франских породах резко выражен Eu-минимум (рис. 5).

#### ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФАМЕНСКИХ ВУЛКАНИТОВ

Фаменские вулканиты Тастауской структуры относятся к контрастной бимодальной ассоциации (см. рис. 4, табл. 4), в целом принадлежат к субщелочным и щелочным образованиям. В то же время по содержанию калия они варьируют в широком диапазоне: от толеитовых до шошонитовых разновидностей. Это отражается и на диаграмме АФМ при общем Боуэновском типе дифференциации (рис. 6а).

В низах разреза развиты оливиновые базальтоидные лавы, в верхах – кремнекислые пирокластические накопления, часто с высоким содержанием оксида калия. Для базальтоидов (SiO<sub>2</sub> = 47.7–53.6 мас. %) характерны значительные вариации содержания щелочей: Na<sub>2</sub>O меняется в пределах 2.8–6.72; K<sub>2</sub>O – 0.1–8.11 мас. %. В базальтоидах содержания (г/т) F достигают 800, Ва – 1040, Sr – 1440, Со – 134, Ni – 1570, Cr – 920, V – 410. В кремнекислых пирокластических разностях при SiO<sub>2</sub> = 70.9–76.5, содержания Na<sub>2</sub>O колеблются от 2.1 до 6.6, K<sub>2</sub>O – 0.1–6.1 мас. %. В этих породах содержания (г/т) F достигают 1500, Sr – 80, Ва – 100 (см. табл. 4, табл. 5).

Сумма РЗЭ в фаменских вулканитах варьирует в пределах 83–205 г/т при более пологом тренде накопления тяжелых РЗЭ (La/Yb варьируют в диапазоне 4.6–13.2). В отличие от франских пород в фаменских незначительно проявлен Eu-минимум (см. рис. 5).

Таблица 2. Содержание микроэлементов во франских вулканитах Тастауской рифтогенной структуры, г/т  
 Table 2. Content of microelements of the Tastauf rift structure, ppm

Компо- нент	Образцы																		
	2105	2210/1	2210/2	2210/3	2210/4	2210/5	2212/5	2212/6	2217/1	2217/2	2217/3	2217/4	2217/5	1774	1777	1929	1933	1934	
Li	2.07	4.92	5.27	4.54	6.34	7.02	18.2	17.7	46	2.01	1.92	1.66	1.71	7.20	25.1	8.30	36.7	4.07	
Be	1.78	1.39	1.53	1.51	1.82	1.60	1.92	1.69	2.40	1.66	1.58	1.51	1.50	1.75	1.98	1.91	2.13	2.07	
Sc	2.19	2.06	2.51	2.01	2.18	2.40	3.34	3.19	25.7	1.88	2.06	1.76	2.00	2.41	7.8	2.25	6.2	1.24	
V	8.5	6.7	7.7	6.4	5.3	4.8	20.5	17.8	220	11.1	10.9	16.7	11.1	5.7	41	5.4	30	10.7	
Cr	13	480	320	313	348	403	247	314	119	277	297	379	339	<8	<8	<10	70	<10	
Co	0.88	6.21	2.13	1.12	1.70	2.38	2.52	2.00	25.0	1.42	1.58	1.21	1.91	0.86	4.63	0.61	3.85	0.66	
Ni	30.2	159	14.2	35.6	32.8	54	53	24.5	93	12.0	12.6	17.0	16.3	3.75	5.36	4.02	12.8	7.30	
Cu	28	30	16.7	7.3	11.3	14.9	16.8	12.0	36	24	24	19	24	2.6	5.4	<12	6.6	<12	
Ga	15.2	11.2	12.0	11.8	12.0	11.7	11.4	11.1	19.3	15.2	15.3	13.6	14.4	11.2	15.8	12.8	14.8	12.2	
Rb	203	128	149	135	138	132	136	134	77	205	205	202	204	165	124	219	152	212	
Sr	125	70	74	75	74	74	95	97	480	102	101	102	105	36	166	27	170	115	
Y	29	13.3	13.2	13.6	17.1	20	11.9	10.5	38	36	32	32	33	15.9	26	16.7	24	22	
Zr	257	112	116	109	104	111	189	190	252	235	244	242	256	82	129	107	138	124	
Nb	12.8	6.0	6.2	6.6	6.3	6.3	6.8	6.2	11.8	12.8	12.2	19.3	12.0	7.0	7.7	7.5	7.2	10.1	
Mo	1.5	17.4	1.7	1.5	2.6	4.5	4.0	2.0	2.9	1.5	1.4	2.1	1.6	1.1	1.4	1.1	1.4	0.80	
Sn	3.1	3.5	2.6	2.4	2.6	2.6	2.4	2.1	2.3	3.8	3.6	3.4	3.6	2.7	3.6	2.8	3.3	3.7	
Cs	3.61	1.73	2.18	1.80	1.99	1.81	9.4	6.04	1.59	3.16	3.28	3.24	3.23	2.85	3.60	5.97	3.75	2.56	
Ba	1416	626	947	657	559	650	655	773	395	1775	1723	1665	1803	451	481	411	626	589	
Hf	8.7	3.66	3.67	3.67	3.50	3.62	5.28	5.24	6.6	7.9	8.3	8.2	8.6	2.99	4.14	2.66	4.53	3.60	
W	3.1	13.8	7.5	5.4	5.4	6.8	3.9	3.1	1.8	5.6	5.5	4.6	6.0	2.0	3.1	2.2	2.1	3.7	
Tl	1.21	0.70	0.79	0.73	0.75	0.72	0.76	0.75	0.50	1.25	1.22	1.22	1.23	0.82	0.72	1.03	0.86	1.02	
Pb	10.4	7.6	8.0	7.4	7.2	7.9	6.1	5.7	16	9.3	8.2	8.4	8.9	9.8	20	15	7.2	28	
Th	16.8	15.7	16.2	16.7	16.6	17.4	13.1	13.2	6.1	16.5	16.4	16.1	16.9	16.7	14.4	14.6	16.5	18.4	
U	2.82	2.85	3.41	2.86	2.44	2.35	2.22	2.08	1.40	2.14	2.16	2.09	2.20	4.17	3.01	3.73	4.22	3.29	
Ta	1.45	1.36	0.95	1.52	1.74	0.95	1.62	1.10	1.13	1.82	1.91	1.95	1.39	1.92	3.43	Н.о.	0.76	Н.о.	

Примечание. Образец 2105 – ультракалийные риолитовые игнимбриты в 8 км ЮЗ родника Айнабулак. Остальные анализы – см. табл. 1. Анализы выполнены в ГИН РАН методом ICP MS.

Note. Sample 2105 – ultrapotassic rhyolite ignimbrite in 8 km SW of Aynabulak spring. Other analyses – see Table 1. Analysis performed at the GIN RAS by ICP MS method.

**Таблица 3.** Содержание редкоземельных элементов во франских вулканитах Тастауской структуры, г/т**Table 3.** The content of rare earth elements in Frasnian volcanites of the Tastau structure, ppm

Компонент	Образцы										
	2105	2210/1	2210/2	2210/3	2210/4	2210/5	2212/5	2212/6	2217/1	2217/2	2217/3
La	61	23.6	19.9	17.7	29.3	38	44	49	32	42	49
Ce	119	40	37	35	56	73	72	79	74	77	92
Pr	14	4.04	4.11	3.65	5.79	7.3	7.61	8.38	9.85	9.73	11.6
Nd	51	13.4	13.5	12.2	19.2	24.7	23.9	25.8	41	35	42
Sm	8.5	2.28	2.18	2.09	3.16	3.92	3	2.98	9	6.2	7.5
Eu	0.35	0.33	0.3	0.3	0.43	0.53	0.63	0.6	2.55	0.36	0.39
Gd	7	1.95	1.75	1.75	2.68	3.27	2.25	2.07	9.2	5.8	6.4
Tb	0.99	0.32	0.29	0.31	0.43	0.51	0.31	0.28	1.29	0.96	1
Dy	5.8	2.08	2.04	2.08	2.71	3.18	1.8	1.6	7.3	6.3	6.1
Ho	1.16	0.48	0.47	0.49	0.59	0.69	0.4	0.36	1.45	1.39	1.28
Er	3.6	1.58	1.57	1.65	1.97	2.2	1.31	1.18	4.1	4.3	3.9
Tm	0.56	0.26	0.26	0.27	0.32	0.35	0.22	0.2	0.56	0.66	0.6
Yb	3.8	2.01	1.85	1.95	2.25	2.61	1.57	1.46	3.7	4.4	4.1
Lu	0.6	0.3	0.28	0.31	0.35	0.38	0.27	0.25	0.54	0.68	0.63
Сумма REE	277.36	92.63	85.5	79.75	125.18	160.64	159.27	173.16	196.54	194.78	226.5
La/Yb	16	11.7	10.8	9.1	13	14.6	28	33.6	8.5	9.5	12
	2217/4	2217/5	1774	1777	1929	1933	1934	1929a	1934a	2118	2118/1
La	49	50	24.6	30	31	27	29	25.5	22.6	42	75
Ce	94	105	45	61	63	55	61	48.7	49.4	62.5	90
Pr	11.3	12.1	5.22	6.73	6.78	6.1	6.38	5.3	5.1	10.7	17.1
Nd	42	44	17.7	24.5	21.2	21.5	21.5	26.6	17.6	43	63.6
Sm	7.5	8.1	3.1	4.73	3.55	4.14	3.97	3.23	3.37	8.74	11.2
Eu	0.4	0.46	0.38	1.01	0.46	0.85	0.43	0.42	0.36	0.32	0.39
Gd	6.8	7.2	2.74	4.71	3.08	4	3.37	2.44	2.65	7.9	9
Tb	1.04	1.07	0.44	0.75	0.45	0.65	0.55	0.38	0.41	1.07	1.11
Dy	6.2	6.5	2.65	4.57	2.56	4.15	3.46	2.16	2.44	6.3	5.88
Ho	1.31	1.34	0.57	0.96	0.54	0.88	0.73	0.45	0.52	1.23	1.14
Er	3.9	4.1	1.84	2.87	1.66	2.73	2.19	1.45	1.7	3.53	3.35
Tm	0.59	0.62	0.3	0.42	0.27	0.42	0.35	0.21	0.26	0.5	0.48
Yb	4	4.2	2.04	2.86	1.8	3.06	2.16	1.52	1.83	3.49	3.28
Lu	0.61	0.66	0.32	0.43	0.28	0.45	0.32	0.24	0.28	0.53	0.52
Сумма REE	228.65	245.35	106.9	145.54	136.63	130.93	135.41	118.6	108.52	191.81	282.05
La/Yb	12.2	11.9	12.1	10.5	17.2	8.8	13.4	16.8	12.3	12	22.9

Примечание. Привязку анализов см. табл. 1, 2. Анализы бразцов 1929a, 1934a, 2118, 2118/1 выполнены в ИГЕМ РАН, остальные – в ГИН РАН методом ICP MS.

Note. Location of analysis see Tables 1, 2. Analysis samples 1929a, 1934a, 2118, 2118/1 performed in IGEM RAS; the rest – in GIN RAS by ICP MS method.

На дискриминационной диаграмме MgO–FeO\*–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> фаменские вулканиты концентрируются в поле базальтов надспрединговых островов, вулканических дуг и активных континентальных окраин (см. рис. 6б), что в целом не противоречит их рифтогенной природе вследствие деструкции энсиалической островной дуги франского времени. К сожалению, по ряду обстоятельств, данные о содержании редких элементов скудны, но все же позволяют идентифицировать фаменские базальтоиды с большой вероятностью как внутриплитные (рис. 7).

### ВЫВОДЫ

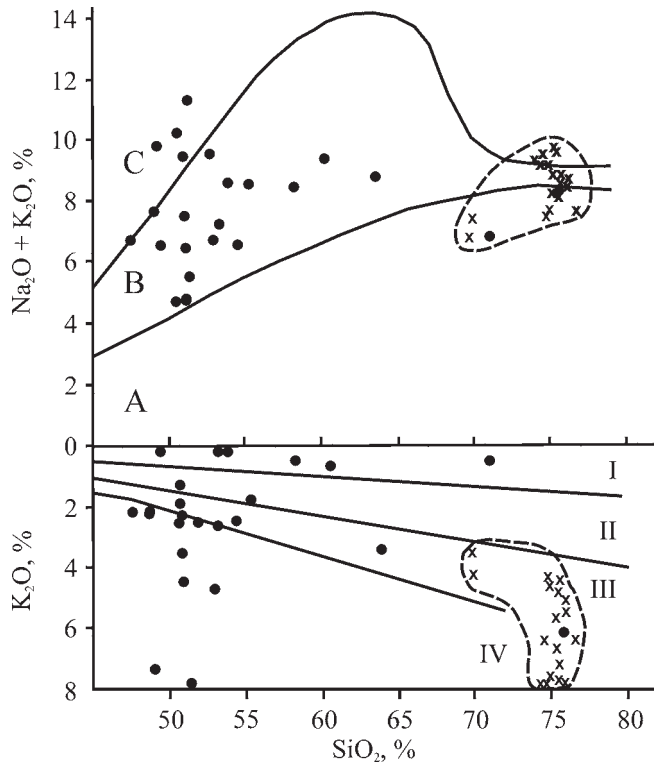
Совокупность вещественных признаков и особенностей строения разреза Тастауской структуры

типична для всей рифтогенной системы Центрального Казахстана, возникшей в результате воздействия мантийного диапира или плюма и функционирующего с фамена до самого начала раннего карбона.

В формировании данной структуры выделяется несколько стадий. Предрифтовой (франской) стадии свойствен континентальный вулканизм в виде высококалийевых и ультракалийевых риолитовых игнимбригов, слагающих энсиалическую островодужную структуру.

Собственно рифтовая стадия начинается с фаменского века формированием системы узких глубоких трогов, в которые ингрессировало море из соседней Жонгаро-Балхашской морской области. Характерными образованиями этого времени



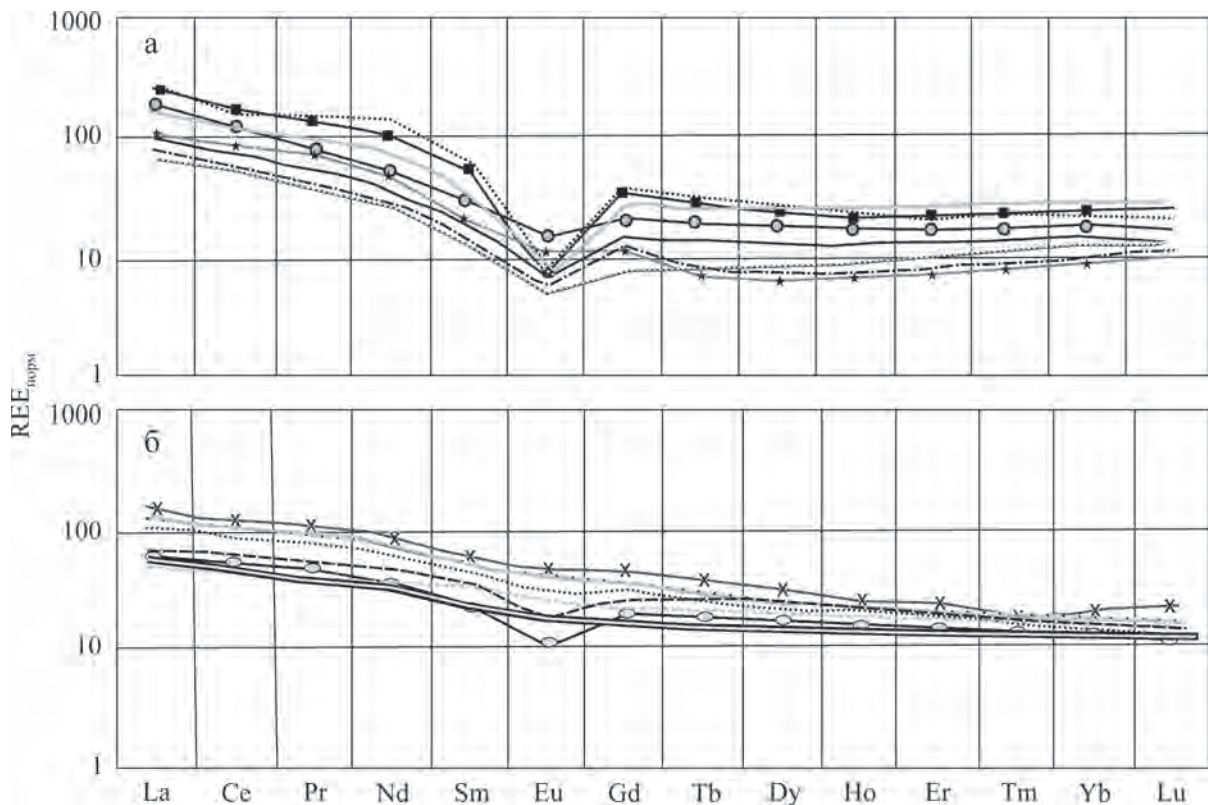


**Рис. 4.** Положение франских (крестики) и фаменских (точки) вулканитов на TAS диаграмме, развернутой вниз по оксиду калия.

A, B, C – поля распространения петрохимических серий (по общей щелочности): известково-щелочной (A), субщелочной (B), щелочной (C). I-IV – петрохимические серии (по содержанию K<sub>2</sub>O): I – толеитовая, II, III – известково-щелочная низкокальциевая (II) и высококальциевая (III) ветвей, IV – шшонитовая.

**Fig. 4.** Situation Frasnian (crosses) and Famennian (points) vulkanics on the TAS chart developed down potassium oxide.

A, B, C – fields of distribution of petrochemical series (on the general alkalinity): calc-alkaline (A), subalkaline (B), alkaline (C). I-IV – petrochemical series (on the maintenance of K<sub>2</sub>O): I – tholeiitic, II, III – calc-alkaline with low (II) and elevated (III) potassium contents, IV – shoshonitic.



**Рис. 5.** Характер распределения редкоземельных элементов во франских вулканитах (а) и фаменских вулканитах (б), нормированных по хондриту (Evensen et al., 1978).

**Fig. 5.** The nature of distribution of REE in Frasnian (a) and Famennian (б) vulkanics, normalized on chondrite (Evensen et al., 1978).

Таблица 4. Анализы фаменских вулканитов, оксиды – в мас. %, остальные – в г/т

Table 4. Analysis of Famenian volcanites, oxides in wt %, others in ppm

Компо- нент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	2304/3	2032/6	1775/4	2105/4	2217/11	2105/8	2105/7	2105/6	2105/11	2107/1	2217/9	2105/9
SiO <sub>2</sub>	47.7	48.55	48.85	49.33	51.2	51.36	51.43	51.50	51.57	51.77	51.84	52.08
TiO <sub>2</sub>	1.73	1.41	1.45	1.22	1.42	1.33	1.33	1.57	1.38	1.6	1.22	1.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.18	16.5	13.91	14.7	17.11	15.63	15.96	18.37	16.11	18.22	15.71	17.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.26	6.65	4.68	7.88	4.09	10.4	4.83	9.05	5.72	3.77	7.40	5.61
FeO	1.89	1.29	3.06	2.35	4.50	1.14	4.39	–	3.86	1.90	2.64	3.50
MnO	0.13	0.23	0.25	0.12	0.16	0.11	0.18	0.22	0.20	0.16	0.076	0.15
MgO	6.26	0.64	3.48	2.32	4.75	2.15	6.23	2.6	5.38	3.53	1.49	4.24
CaO	6.80	8.90	7.10	7.33	7.33	3.40	7.57	2.79	6.30	5.01	4.13	6.51
Na <sub>2</sub> O	4.64	5.40	2.80	6.65	2.68	6.35	2.80	4.75	4.00	6.52	3.29	2.80
K <sub>2</sub> O	2.16	2.10	7.15	0.08	2.85	3.87	1.91	4.45	2.37	1.12	8.11	2.62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0.60	0.34	0.57	0.26	0.37		0.37	0.60	0.60	0.64
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.14	0.16		0.08	0.25	0.16	0.22	0.61	0.20	0.55	0.36	0.06
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.58	2.08	2.60	2.58	2.18	1.15	2.25	2.52	2.18	2.77	1.30	2.45
CO <sub>2</sub>		4.77	3.80	4.99	0.19	2.72	0.33	1.64	0.37	2.22	1.80	0.11
Сумма	99.88	99.75	99.82	100.15	99.44	100.32	100.03	100.15	100.32	99.96	100.25	99.95
F		1600	600	600	–	1900	1900	800	1000		1600	2300
Li	61	9		21	17	26	47	23.4	35	61	14	40
Rb	30	86	93	1.4	61	86	51	146	68	33	155	70
Cs	0.9	8	4.3	0.5	1.5	1.2	1	8.2	1.5	3.5	2	2
Sr	1438	323	127	144	431	102	289	254	357	212	650	620
Ba	1041	1440	582	990	412	990	279	456	1530	1350	594	1440
Co	33	12	134	28	21	31	3.7		32	24	24	28
Ni	59	38		50	16	95	10		58	40	284	43
Cr	230	1088		75	60	177	177		88	122	388	51
V	411				232							
Cl												
Компо- нент	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
	2107/17	1934/1	1934/3	1937	1943/2	2107	2017/2	2101/1	2207	2019/8	2019/1	
SiO <sub>2</sub>	53.00	53.60	53.60	54.10	54.91	55.16	58.25	60.90	64.00	71.80	76.46	
TiO <sub>2</sub>	1.63	0.88	1.05	1.34	1.11	1.47	1.38	1.61	0.67	0.63	0.19	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.00	14.73	15.62	17.39	18.45	16.77	16.62	16.22	15.94	12.18	11.23	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.85	5.28	5.86	10.07	2.33	5.59	9.26	7.20	5.49	4.68	1.47	
FeO	0.80	0.83	3.18	2.14	4.38	1.05	1.27	–	1.16	0.93	0.57	
MnO	0.041	0.19	0.15	0.05	0.13	0.06	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	
MgO	0.92	2.06	5.21	0.69	3.38	1.01	0.25	0.21	0.36	0.34	0.41	
CaO	4.57	8.84	6.55	3.00	4.71	4.94	2.28	3.06	1.56	0.73	0.19	
Na <sub>2</sub> O	3.78	6.76	4.12	8.50	4.97	6.80	7.82	8.53	5.47	6.20	2.11	
K <sub>2</sub> O	4.82	0.35	2.63	0.22	1.73	1.92	0.64	0.84	3.37	0.58	6.13	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.72		0.18	0.24	0.31	0.69	0.72		0.10	0.14	0.11	
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.26	0.73	0.33	0.35	0.27	0.22		0.13	0.24	0.20	0.14	
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	4.08	1.11	1.72	0.64	2.80	2.08	0.54	0.91	0.92	0.84	1.06	
CO <sub>2</sub>	0.92	4.38	0.27		0.87	2.28	0.51		0.50	0.20	0.22	
Сумма	100.2	99.78	100.49	100.40	100.37	100.12	99.56	99.76	100.04	99.56	100.48	
F		300	–	630	250	–	700	–	1000	–	1200	
Li	12	31	46.2	11	79.4	9	2.4	2.7	2	7	15.5	
Cs	30	0.8	0.8	0.7	5.2	13	3	1.9	4	0.7	6.1	
Sr	459		347		305	255		305	228	75	75	
Ba	6210		331		295	189		134	1342	88	801	
Co	9				9				7			
Ni	32					50			16			
Cr	204		152		84	109			130			
V									175			
Cl			500		500							

Примечание. 2304/3 – массивные пиллоу-базальты в 1.35 км ЮВ зимовки Еркіндык; 2032/6 – миндалекаменные пиллоу-базальты в 1.16 км ССЗ вершины горы Каратастау (отметка 894.6 м); 1775/4 – массивные высококальциевые базальты в 3.7 км ЮЗ родника Айнабулак; 2105/4, 6, 7, 9, 11 – миндалекаменные, пористые, массивные, пиллоу-базальты, плотные базальты в 3.8 км ЮЗ родника Айнабулак; 2217/9, 11 – массивные пироксен-плагиоклазовые базальты в 3.7 км ЮЗ родника Айнабулак; 2107/1 – массивные базальты; 2107/17 – бомбы андезибазальтов среди алевролитов в 0.4 км ЮЗ вершины горы Каратастау (отметка 894.6 м); 2107 – пиллоу-андезибазальты, там же; 1934/1, 3 – тонковкрапленные пироксен-плагиоклазовые андезибазальты, крупновкрапленные плагиоклазовые андезибазальты, тонковкрапленные пироксен-плагиоклазовые андезибазальты в 0.9 км ЮЗ зимовки Еркіндык;

1937 – брекчия андезибазальтов в 2.75 км ЗЮЗ родника Айнабулак; 1943/2 – миндалекаменный андезибазальт в 3.8 км ЮЗ ж/д станции Айрин; 2207 – трахиандезидациты в 850 м ССЗ вершины горы Каратастай; 2019/8, 1 – риодациты, пизолитовые риолитовые туфы в 3 км ЮЮВ зимовки Еркіндык. Анализы выполнены в ИГЕМ РАН.

Note. 2304/3 – massive pillowbasalts in 1.35 km to SE wintering Yerkindyk; 2032/6 – amygdule-stone pillowbasalts in 1.16 km to NNW mountain top of Karatastau (mark 894.6 m); 1775/4 – massive high-potassium basalts 3.7 km to SW of Ainabulak spring; 2105/4, 6, 7, 9, 11 – amygdule-stone, porous, massive, pillow-basalts, dense basalts in 3.8 km to SW of Ainabulak spring; 2217/9, 11 – massive pyroxene-plagioclase basalts 3.7 km to SW of Ainabulak spring; 2107/1 – massive basalts; 2107/17 – andesibasalt bombs among siltstones at 0.4 km to SW of the summit of mount Karatastau (mark 894.6 m); 2107 – pillowe-andesibasalts, ibid; 1934/1, 3 – fine-grained pyroxene-plagioclase andesibasalts, large-grained plagioclase andesibasalts, fine-grained pyroxene-plagioclase andesibasalts at 0.9 km to SW of wintering Erkindik; 1937 – andesibasalts breccia at 2.75 km to WSW to Aynabulak spring; 1943/2 – amygdule-stone andesibasalts at 3.8 km SW railway station, Airin; 2207 – trachyandesidacites aty 850 m NNW from the summit of mount Karatastau; 2019/8, 1 – rhyodacites, pisolite rhyolite tuffs in 3 km SSE of wintering Erkindik. Analysis performed in IGEM RAS.

Таблица 5. Содержание редкоземельных элементов в фаменских вулканитах Тастауской структуры, г/т

Table 5. The content of rare earth elements in Famenian volcanites of the Tastau structure, ppm

Компо- нент	Образцы												
	2304/3	2105/4	2217/11	2105/8	2105/7	2105/6	2105/11	2107/1	2217/9	2105/9	2107	2101/1	2207
La	38.6	14.1	36.5	12.5	15.7	17.2	19.4	26	28.80	32.30	27.00	32.80	15.70
Ce	80	29.5	79.9	29.1	34.6	41.5	41.5	61	66.60	72.30	62.70	74.60	37.20
Pr	10.5	4.06	10.7	4.24	4.83	5.88	5.48	8.22	8.96	9.57	8.77	9.36	4.78
Nd	40.1	16.9	42.2	18.3	20.6	24.9	22.4	32.8	37.10	40.10	33.50	35.90	18.20
Sm	8.56	3.74	9.34	4.69	4.81	5.78	4.97	6.9	7.65	8.47	6.45	6.47	4.02
Eu	2.52	0.99	2.58	1.15	1.41	1.57	1.43	1.19	1.67	2.34	1.16	1.04	0.62
Gd	8.42	3.44	9.17	4.88	4.94	6.28	5.23	6.6	6.71	7.98	5.75	5.73	4.08
Tb	1.08	0.57	1.33	0.78	0.79	1	0.88	1.03	0.94	1.14	0.86	0.81	0.73
Dy	6.4	3.9	7.53	5.11	5.43	6.35	5.21	6.37	5.56	6.47	5.18	4.86	4.59
Ho	1.28	0.76	1.39	1.02	1.12	1.28	1.09	1.19	1.05	1.24	1.11	0.97	0.96
Er	3.21	2.22	3.85	2.8	3.33	3.37	3.2	3.41	3.06	3.31	2.90	2.62	3.05
Tm	0.49	0.34	0.48	0.39	0.43	0.48	0.43	0.46	0.39	0.45	0.35	0.36	0.45
Yb	2.92	2.05	3.07	2.72	2.98	2.96	3.04	2.94	2.42	2.87	2.04	2.51	3.26
Lu	0.41	0.31	0.51	0.37	0.44	0.44	0.47	0.43	0.32	0.42	0.30	0.36	0.51
Сумма	204.49	82.88	208.55	88.05	101.41	119	114.7	158.54	171.23	188.96	158.08	178.39	98.15
La/Yb	13.2	6.9	11.9	4.6	5.3	5.8	6.4	8.8	11.9	11.3	13.2	13.1	4.8

Примечание. Анализы выполнены в ИГЕМ РАН на плазменном квантометре ICP MS Quad 2. Привязку анализов см. в табл. 4.

Note. The analysis were performed in IGEM RAS on the ISP MS Quad 2 plasma quantometer. Refer to Table 4 for analysis location.

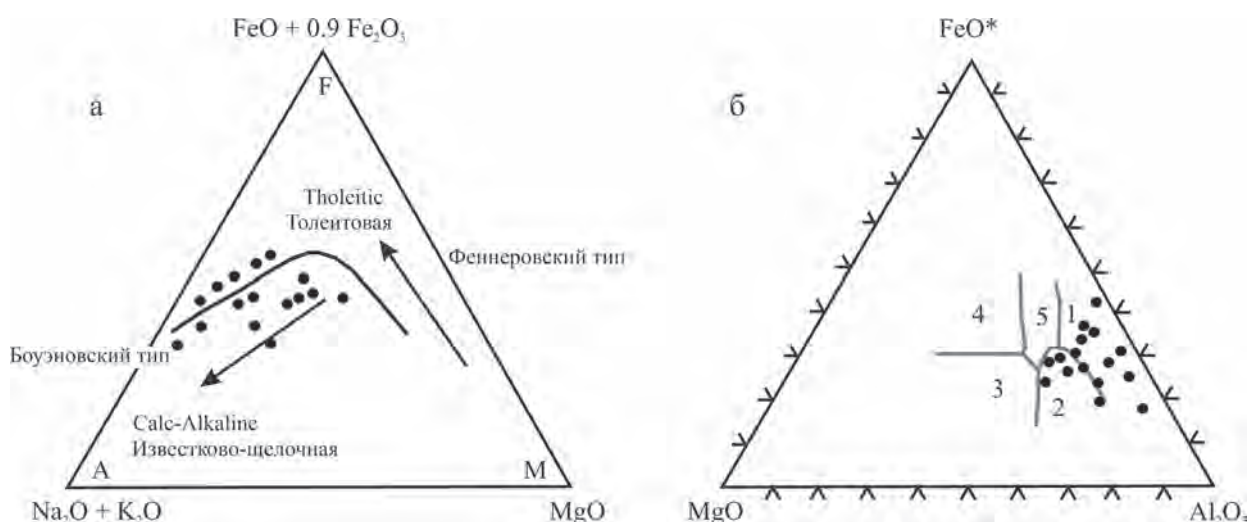


Рис. 6. Диаграмма AFM, отражающая положение базальтоидов фамена в поле толейтовой и известково-щелочной серий с разделительной линией между ними, по Т. Ирвайну и В. Барагару (1971) (а) и дискриминационная диаграмма MgO–FeO\* (FeO + 0.9Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (б).

Поля для базальтов (Pearce, Gale, 1977): 1 – надспрединговых островов, 2 – вулканических дуг и активных континентальных окраин, 3 – срединно-океанических хребтов, 4 – океанических островов, 5 – континентов.

**Fig. 6.** AFM diagram, reflecting the position of the basaltoids of the famenian in the field of the tholeiitic and calc-alkaline series with a dividing line between them, according to T. Irvayn and V. Baragar (1971) (a) and discriminatory diagram  $MgO-FeO^*(FeO + 0.9Fe_2O_3)-Al_2O_3$  (б).

With fields for basalts (Pearce, Gale, 1977): 1 – supra-spreading islands, 2 – volcanic arcs and active continental margins, 3 – mid-ocean ridges, 4 – oceanic islands, 5 – continents.



**Рис. 7.** Дискриминационная диаграмма  $Sr-Ce/Sr$  (Pearce, 1982) для базальтов.

VAB – вулканические дуги, MORB – срединно-океанические хребты, WPB – внутриплитные.

**Fig. 7.** Discrimination  $Sr-Ce/Sr$  diagram (Pearce, 1982) of basalts.

VAB – volcanic arcs, MORB – mid-ocean ridges, WPB – intraplate.

являются прибрежные конгломераты и морские песчаники. Конгломератам свойственна тонкая уплощенная изометричная форма галек и их хорошая шлифовка, сходная с таковой галек современных морских пляжей. Песчаники обладают типоморфной для рифтовых структур хорошо выраженной слоистостью и плохой окатанностью обломочного материала, представленного подстилающими риолитовыми игнимбритами, сносимыми с бортов трога.

Зрелой рифтовой стадии свойственно накопление в морских условиях пиллоу-базальтов и ассоциирующих с ними гиалокластитов и тонкослои-

стых силицитово-глиниско-карбонатных сланцев с обильным пепловым материалом трахириолитового состава и с прослоями трахириолитовых пизолитовых туфов. В целом в данную стадию формируется контрастная бимодальная ассоциация субщелочных и щелочных вулканитов часто повышенной калиевости, по своим петрохимическим параметрам более всего соответствующая формированию внутриконтинентальных (внутриплитных) или энсиалических островодужных комплексов.

Пострифтовой стадии отвечает формирование слоистых известняков нижнего турне, также широко развитых за пределами указанного рифтового трога.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бахтеев М.К., Васюков Ю.А. (1980) Структурно-фациальная зональность и история тектонического развития Атаусуйского рудного района (Центральный Казахстан) в палеозое. *Изв. высш. учебн. завед. Геол. и разв.*, (2), 51-59.
- Бурштейн Е.Ф., Кошелева И.А., Тевелев Ал. В. (1996) Ультракалиевый вулканизм Центрального Казахстана: распространение, возраст, металлогеническое значение. *Московская школа геологов в Казахстане. К 45-летию Центрально-Казахстанской экспедиции геолог. ф-та МГУ*. М.: Изд. Моск. ун-та, 94-109.
- Веймарн А.Б. (1991) Фаменский вулканизм как индикатор геодинамических обстановок и рудоносности. *Магматизм и рудоносность Казахстана*. Алма-Ата: Гылым, 203-211.
- Веймарн А.Б., Капсамун В.И. (1981) Фаменский вулканизм Центрального Казахстана в связи с проблемой железо-марганцевого оруденения. *Вулканогенно-осадочный лито- и рудогенез*. Алма-Ата: Наука КазССР, 88-96.
- Веймарн А.Б., Милановский Е.Е. (1990) Фаменский рифтогенез на примере Казахстана и некоторых других регионов Евразии. Ст. 1. *Бюлл. МОИП. Отд. геол.*, 65(94), 34-47.
- Геология и металлогения Успенской тектонической зоны. Т. 5. (1969) Алма-Ата: Наука КазССР, 256 с.
- Курчавов А.М. (1995) Типы островодужных вулканических ареалов в девонском орогенном вулканическом поясе Центрального Казахстана. *V конференция памяти Зоненшайна по плитной тектонике*. М.: ГЕОС, 76-77.
- Курчавов А.М. (2002) Особенности строения и состава магматитов Тастауской рифтогенной структуры Центрального Казахстана. *Рифты литосферы*. Мат-ы Междунар. науч. конф. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 242-243.
- Мальченко Е.Г., Гранкин М.С., Курчавов А.М. (1998) О геодинамической обстановке формирования верх-

- недевонских вулканитов Успенской, Акбастауской и Акжал-Аксоранской зон в Центральном Казахстане. *Геология и разведка недр Казахстана*, (4), 28-30.
- Юрина А.Л., Кабанов Ю.Ф., Кагарманов А.Х., Курчавов А.М. (1989) Палеоботаническое обоснование внутриживетского несогласия в девоне северо-западной части Джунгаро-Балхашской складчатой области (Центральный Казахстан). *Записки Горн. ин-та*, **119**, 75-81.
- Evensen N.M., Hamilton P.J., O'Nions R.K. (1978) Rare earth abundance in chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **42**(8), 1199-1212.
- Pearce J.A. (1982) Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries (Ed. R.S. Thorpe). *Andesites*. Wiley. Chichester, 525-548.
- Pearce J.A., Gale G.H. (1977) Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, **7**, 14-24.
- plitnoi tektonike (5th Zonenshain conference on plate tectonics). Abstracts. Moscow, GEOS Publ., 76-77. (In Russian)
- Kurchavov A.M. (2002) Features of construction and composition of Tastau rift magmatites structures of Central Kazakhstan. *Rifty litosfery. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* (Rifts of the lithosphere. Proceedings of the International Scientific conference). Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 242-43. (In Russian)
- Kurchavov A.M., Grankin M.S., Mal'chenko E.G., Zhukovskii V.I., Khamzin B.S., Mazurov A.K., Khamza S.Kh. (2000) Zoning, Segmentation, and Paleogeodynamics of the Devonian Volcanic Belt in Central Kazakhstan. *Geotektonika*, (4), 32-43.
- Mal'chenko E.G., Grankin M.S., Kurchavov A.M. (1998) On geodynamic situation of Upper Devonian volcanites formations of Uspenskaya, Akbastau and Akzhal-Aksoran zones in Central Kazakhstan. *Geologiya i razvedka neдр Kazakhstana*, (4), 28-30. (In Russian)
- Pearce J.A. (1982) Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries (Ed. R.S. Thorpe). *Andesites*. Wiley. Chichester, 525-548.
- Pearce J.A., Gale G.H. (1977) Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, **14**-24.
- REFERENCES
- Bakhteev M.K., Vasjukov Yu.A. (1980) Structural-facies zonation and tectonic development history of Atasui ore district (Central Kazakhstan) during Paleozoic. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geol. Razved.*, (2), 51-59. (In Russian)
- Burshtein E.F., Kosheleva I.A., Tevelev Al.V. (1996) Ultrakali volcanism of Central Kazakhstan: distribution, age, metallogenic significance. *Moskovskaya shkola geologov v Kazakhstane. K 45-letiyu Tsentral'no-Kazakhstanskoi ekspeditsii geologicheskogo fakulteta MGU* (Moscow school of geologists in Kazakhstan. To the 45th anniversary of the Central Kazakhstan expedition of Geology faculty of Moscow state University). Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 94-109. (In Russian)
- Evensen N.M., Hamilton P.J., O'Nions R.K. (1978) Rare earth abundance in chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **42**(8), 1199-1212.
- Geologiya i metallogeniya Uspenskoi tektonicheskoi zony* (Geology and metallogeny of the Uspenskaya tectonic zone). V. 5. (1969) Alma-Ata, Nauka Kazakh SSR Publ., 256 p. (In Russian)
- Kurchavov A.M. (1995) Types of island-arc volcanic areals in the Devonian orogenic volcanic belt of the Central Kazakhstan. *5-ya konferentsiya pamyati Zonenshaina po*