*УДК 551.21+552.11* DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-2

# БАЙМАКСКИЙ КОЛЧЕДАНОНОСНЫЙ ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

**© 2018 г. А. М. Косарев, И. Б. Серавкин, Г. Т. Шафигуллина**

**Реферат.** В работе рассмотрены особенности минералогии, петрографии и геохимии вулканитов базальт-андезит-риодацитового состава баймакского колчеданоносного комплекса, завершающего формирование фронтальной островной дуги позднеэмсского возраста на Южном Урале. Использованы новые материалы по содержаниям микроэлементов (анализы ICP MS, ХЛ ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) и микрозондовые определения химического состава минералов (ХЛ ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск). Обсуждается сериальная принадлежность вулканитов и вопросы их петрогенеза. Породы этого комплекса имеют повышенную магнезиальность, представлены фациальным рядом, включающим тефроидные, эффузивные, пирокластические, экструзивные, субвулканические и гиповулканические породы. Рассмотрены вопросы типизации кислых пород и проблемы их генезиса. Предполагается, что в эффузивной фации присутствуют кислые породы — продукты кристаллизационной и флюидной дифференциации на путях движения расплавов к поверхности Земли, гибридные породы дацит-риодацитового состава, возникшие при загрязнении кислых магм частично или полностью раскристаллизованными габброидами или базитами предшествующих этапов вулканизма, и продукты частичного плавления базитов нижней коры. Спецификой вулканитов баймакского комплекса являются повышенные концентрации и большой размах колебаний Ba, Pb и Au как в слабоизмененных породах, так и в метасоматитах околорудных ореолов.
**Ключевые слова:** вулканизм, субдукция, геохимия, гибридизм, колчеданные месторождения

# BAIMAK MASSIVE SULFIDE-BEARING PALEOVOLCANIC COMPLEX

**A. M. Kosarev, I. B. Seravkin, G. T. Shafigullina**

**Abstract.** The features of mineralogy, petrography and geochemistry of basalt-andesite-rhyodacite volcanics of the Baimak massive sulfide-bearing complex, the youngest in the frontal island arc of Late Emsian age in the Southern Urals, are considered. New materials on the content of trace elements are used (analyses of ICP MS, CL IGM SB RAS, Novosibirsk) and microprobe definitions of the chemical composition of minerals (CL IG KarSC RAS, Petrozavodsk). Serial affinity of volcanites and questions of their petrogenesis are discussed. The rocks of this complex have an elevated magnesium, and are represented by a facial succession, including tephroid, effusive, pyroclastic, extrusive, subvolcanic and hypovolcanic rocks. Issues of classification of acid rocks and problems of their genesis are considered. It is supposed that at the effusive facies are represented by acid rocks — products of crystallization and fluid differentiation at the way of the melts to the Earth's surface, and also by the hybrid rocks of dacite-rhyodacite composition which have arisen as a result of contamination of acid magmas by partially or completely crystallized gabbroids or basites of the previous stages of volcanism and by products of partial melting of basic rocks of the lower crust. Specifics of volcanites of the Baimak complex are in the increased concentration and big amplitude of fluctuations of Ba, Pb and Au, both in the slightly modified rocks, and in the metasomatics of the near-ore haloes.
**Key words:** volcanism, subduction, geochemistry, hybridism, massive sulfide deposits

**Для цитирования:** Косарев А.М., Серавкин И.Б., Шафигуллина Г.Т. Баймакский колчеданоносный палеовулканический комплекс // Геологический вестник. 2018. № 2. С. 14–35. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-2.

**For citation:** Kosarev A.M., Seravkin I.B., Shafigullina G.T. Baimak massive sulfide-bearing paleovolcanic complex // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 14–35. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-2.

## Введение

Баймакский колчеданоносный палеовулканический комплекс, являющийся верхней подсвитой баймак-бурибаевской свиты, выполняет ядерную часть сложной антиклинальной структуры Баймакского рудного района (60×30 км) на севере Таналыкского поднятия Западно-Магнитогорской зоны. Крылья антиклинальной структуры, нередко осложненные разрывными нарушениями, слагают вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы среднедевонского возраста ирендыкской и улутауской свит, кремнистые и терригенные породы позднедевонского возраста мукасовской и зилаирской свит. На западе Таналыкское поднятие граничит с зоной ГУР или Вознесенско-Присакмарской зоной, на востоке — с Ирендыкской структурно-фациальной зоной. Южнее Баймакского рудного района, в пределах Таналыкского поднятия, расположен Бурибайский рудный район.

Баймак-бурибаевская свита Таналыкского поднятия Западно-Магнитогорской зоны имеет позднеэмсский возраст (конодонтовые зоны serotinus, patulus) [Стратиграфия и корреляция..., 1993] и состоит из двух подсвит: нижней базальт-риолитовой и верхней базальт-андезит-дацит-риолитовой (рис. 1).

Баймакский палеовулканический комплекс, соответствующий верхней подсвите баймак-бурибаевской свиты [Биков и др., 1973 г.], представляет собой непрерывную формацию базальт-андезит-дацит-риодацитового состава [Кривцов и др., 1970; Среднепалеозойский..., 1983; Серавкин, 1986], позднее выделенную в верхнетаналыкскую свиту или комплекс [Вулканизм..., 1992], развитый на протяжении 150 км в пределах Тубинско-Гайской палеовулканической колчеданоносной подзоны от Баймакского рудного района на севере до Макан-Октябрьского рудного поля и Гайского рудного района на юге (рис. 1). По конодонтовой фауне [Маслов, Артюшкова, 2010], собранной на Хворостянском, Сагитовском, Майском участках, верхняя часть разреза баймак-бурибаевской свиты, включая верхнетаналыкский комплекс, соответствует конодонтовым зонам partitus, patulus позднеэмсского возраста. Необходимость выделения из состава верхнетаналыкского комплекса собственно баймакского комплекса диктуется петрохимическими и геохимическими особенностями вулканитов и интрузивных пород Баймакского рудного района, индивидуальными чертами геологического разреза и геофизических полей, характеризующимися низкими значениями гравитационного поля [Серавкин, Цветкова, 1982] и особым типом колчеданного оруденения, выделенного в золото-колчеданно-полиметаллический Баймакский, близкий к Куроко, тип [Колчеданные месторождения..., 1973; Медноколчеданные..., 1992; Серавкин, 1986, 2007].

Изучение химического состава минералов проведено С.Ю. Чаженгиной (ИГ КарНЦ РАН) на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350 (Oxford instruments) при параметрах: W-катод, напряжение 20 кВ, время сканирования в стандартном режиме съемки 90 сек. Для исследования состава пироксенов применялся метод профилирования (съемка по профилю). Компьютерная обработка микрозондовых анализов минералов осуществлялась с помощью программы «MINAL» (автор Д.В. Доливо-Добровольский).

В работе использованы авторские и опубликованные количественные аналитические материалы по концентрациям петрогенных оксидов и элементов-примесей в вулканогенных породах Баймакского комплекса. Анализы сделаны в химических лабораториях ИГЕМ РАН, г. Москва и ИГМ СО РАН, г. Новосибирск (методы ICP-MS и рентгено-флюоресцентный анализ), в ИГ УФИЦ РАН, г. Уфа и ИМин УрО РАН, г. Миасс (силикатный, атомно-абсорбционный и рентгено-флюоресцентый анализ).

## Краткая характеристика баймакского палеовулканического колчеданоносного комплекса

Баймакский палеовулканический комплекс залегает выше бурибайского комплекса. В геологическом разрезе по р. Таналык, выше по течению д. Хворостянки, аналоги баймакского комплекса (верхняя подсвита *b-br*) содержат в основании разреза толщу эффузивных пироксен-порфировых пиллоу-базальтов известково-щелочной серии мощностью около 300 м и перекрываются толщей эффузивных пироксен-плагиофировых андезибазальтов мощностью более 900 м. Завершается разрез в районе пос. Новопетровка пачкой переслаивания кислых пород и сургучно-красных яшмоидов с конодонтами зоны patulus. Перекрывается разрез баймакского комплекса вулканогенно-осадочными и вулканогенными отложениями ирендыкской свиты. В составе последней на востоке Баймакского рудного района в Ирендыкской зоне

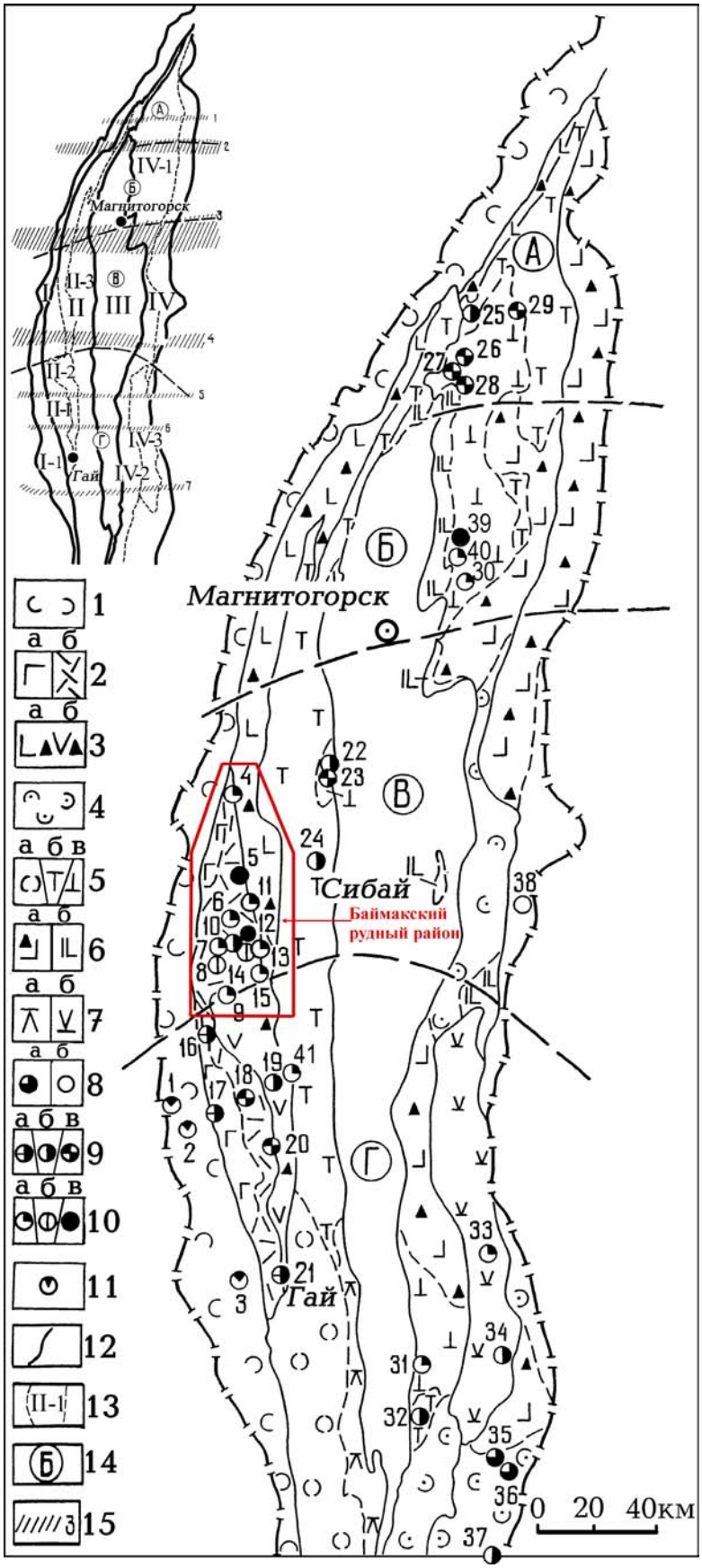



**Рис. 1. Схематическая структурно-металлогеническая карта Магнитогорской мегазоны [Серавкин, 2007]**

**Формации и комплексы:** 1 — базальтовая (O–S); 2 — базальт-риолитовая ($D_1$ems): контрастный (а) и непрерывный (б) комплексы; 3 — андезито-базальтовая ($D_2$ef): базальт-андезибазальтовый (а) и гибридный базальт-андезит-риолитовый (б) комплексы; 4 — базальтовая ($D_1$ems); 5 — базальт-риолитовая ($D_2$): базальтовый (а), контрастный (б) и непрерывный (в) комплексы; 6 — андезито-базальтовая ($D_2$) — а, базальт-андезито-базальтовая K-Na ($D_3$f) — б; 7 — базальт-андезит-риолитовая: юсинский (а) ($D_2$) и джусинский (б) ($D_{1-2}$) комплексы. **Колчеданные месторождения:** 8 — медно-колчеданные (Домбаровский тип) (а), цинковые (Филизчайский тип) (б), 9 — цинково-медно-колчеданные, Cu > Zn (а), медно-цинковоколчеданные, Cu < Zn (б) и медно-цинковоколчеданные с полиметаллической минерализацией (в) (Уральский тип); 10 — золото-колчеданно-полиметаллические (а), золото-барит-полиметаллические (б) и золото-колчеданные (в) (Баймакский тип); 11 — кобальт-медно-цинковоколчеданные (Ивановский тип). **Названия колчеданных месторождений:** 1 — Ивановское, 2 — Дергамышское, 3 — Ишкининское, 4 — Тубинская группа, 5 — Куль-Юрт-тау, 6 — Уваряж, 7 — Бакр-тау, 8 — Горная Байкара, 9 — Майское, 10 — Таш-тау, 11 — Таналык-Баймакское, 12 — Семеновское, 13— Юлалинское, 14 — Туба-Каин, 15 — Балта-тау, 16 — Юбилейное, 17 — Бурибайское, 18 — Маканская группа, 19 — Подольское, 20 — Мамбетовское, 21 — Гайское, 22 — Бакр-Узяк, 23 — Южный Бакр-Узяк, 24 — Сибайское, 25 — Учалинское, 26 — Озерное, 27 — Узельгинское, 28 — Молодежное, 29 — Таш-Яр, 30 — Александринское, 31 — Иссиргужинское, 32 — Западно-Ащебутакское, 33 — Джусинское, 34 — Барсучий Лог, 35 — Летнее, 36 — Осеннее, 37 — Весеннее, 38 — Амурское, 39 — Сабановское, 40 — Бабарыкинское, 41 — Восточно-Подольское. **Схема районирования:** 12 — границы Магнитогорской мегазоны и структурно-формационных зон 1-го порядка: I — Вознесенско-Присакмарская (ГУР), II — Западно-Магнитогорская, III — Центрально-Магнитогорская, IV — Восточно-Магнитогорская; 13 — границы и номера колчеданоносных зон (поясов) 2-го порядка: I–1 — Присакмарская, II–1 — Таналыкская (Тубинско-Гайская), II–2 — Ирендыкская, II–3 — Узункыро-Сибайско-Орская (Кизило-Уртазымская), IV–1 — Учалинско-Александринская, IV–2 — Ащебутакская, IV–3 — Джусинско-Домбаровская, IV–4 — Гумбейская; 14 — поперечные блоки: А — Учалинский, Б — Магнитогорско-Верхнеуральский, В — Баймакско-Кацбахский, Г — Орско-Джусинский; 15 — широтные дислокации, выделенные по геофизическим данным: 1 — Буйдинская, 2 — Белорецкая, 3 — Агаповская, 4 — Юлалинская, 5 — Подольская, 6 — Новочеркасская, 7 — Орская.

**← Fig. 1. The schematic structural-metallogenic map of the Magnitogorsk megazone [Seravkin, 2007]**

**Formations and complexes:** 1 — basalt (O–S); 2 — basalt-rhyolitic (D1ems): contrast (a) and continuous (б) complexes; 3 — andezito-basalt ($D_2$ef): basalt-andezibasalt (a) and hybrid basalt-andesite-rhyolitic (б) complexes; 4 — basalt (D1ems); 5 — basalt-rhyolitic ($D_2$): basalt (a), contrast (б) and continuous (в) complexes; 6 — andezito-basalt ($D_2$) (a), 6 — basalt-andezibasalt K-Na ($D_3$f) (б); 7 — basalt-andesite-rhyolitic: Yusinsk (a) ($D_2$), Dzhusinsk (б) ($D_{1-2}$) complexes. **Massive sulphide deposits:** 8 — copper-pyrite (Dombarovsky type) (a), zinc (Filizchaysky type) (б); 9 — zinc copper-pyrite, Cu > Zn (a), Zn, copper-zinc-pyrite, Cu < Zn (б) and copper-zinc-pyrite with polymetallic mineralization (в) (Ural type); 10 — gold-pyrite-polymetallic (a), gold-barite-polymetallic (б) and gold-pyrite (в) Baimaksky type; 11 — cobalt-copper-zinc-pyrite (Ivanovsky type). **The names of the base metal massive sulphide deposits:** 1 — Ivanovskoe, 2 — Dergamysh, 3 — Iskinino, 4 — Tubin group, 5 — Kul-Yurt-Tau, 6 — Uvaryazh, 7 — Bakr-Tau, 8 — Gornaya Baykara, 9 — Mayskoye, 10 — Tash-Tau, 11 — Tanalyk-Baimak, 12 — Semyonovskoye, 13 — Ulalinskoe, 14 — Tuba-Kain, 15 — Balta-Tau, 16 — Jubileynoye, 17 — Buribayskoye, 18 — Makan group, 19 — Podolskoye, 20 — Mambetovskoe, 21 — Gai, 22 — Bakr-Uzyak, 23 — Southern Bakr-Uzyak, 24 — Sibajskoe, 25 — Uchalinskoye, 26 — Ozernoye, 27 — Uzelginskoye, 28 — Molodezhnoe, 29 — Tash Yar, 30 — Aleksandrinskoye, 31 — Issirguzhinskoe, 32 — West-Aschebutakskoye, 33 — Dzhusinskoye, 34 — Barsuchy Log, 35 — Letneye, 36 — Osenneye, 37 — Vesenneye, 38 — Amurskoye, 39 — Sabanovskoye, 40 — Babarykinskoe, 41 — East-Podolskoyoe. **Structural units on the insert:** 12 — borders of the Magnitogorsk megazone and structure-formational zones of the Ist order: I — Voznesensko-Prisakmarskaya (MUF), II — West-Magnitogorskaya, III — Central-Magnitogorskaya, IV — East-Magnitogorskaya; 13 — boundaries and numbers of pyrite-bearing zones (belts), II-nd order: I–1 — Prisakmarskaya, II–1 — Tanalykskaya (Tubinsko-Gajskaya), II–2 — Irendykskaya, II–3 — Uzunkyro-Sibajsko-Orskaya (Kizilo-Urtazymskaya), IV–1 — Uchalinsko-Alexandrinskaya, IV–2 — Ashebutakskaya, IV–3 — Djusinsko-Dombarovskaya, IV–4 — Gumbejskaya; 14 — transverse blocks: A — Uchaly, Б — Magnitogorsko-Verkhneuralsky, B — Bajmaksko-Katsbakhskij, Г — Orsko-Djusinsk; 15 — latitudinal dislocations: 1 — Bujdinskaya, 2 — Beloretskaya, 3 — Agapovskaya, 4 — Ulalinskaya, 5 — Podolskaya, 6 — Novocherkasskaya, 7 — Orskaya.

преобладают вулканиты базальт-андезибазальтового состава. В западном направлении ирендыкская свита резко сокращается в мощности до нескольких десятков и первых сотен метров, а в ее составе преобладают гибридные кварцевые андезидациты, андезиты, андезибазальты и вулканогенно-осадочные тефрогенные породы [Косарев, 1977; Знаменский, Косарев, 2003]. В пределах Баймакского рудного района традиционно выделяются [Колчеданные месторождения..., 1973] Западно-, Центрально-, и Восточно-Баймакская структурно-формационные подзоны.

Баймакский палеовулканический комплекс выделялся ранее [Колчеданные месторождения..., 1973; Вулканизм..., 1992] как вулканоплутонический, в связи с широким распространением интрузивных тел плагиогранитов гиповулканической фации, обломки которых встречаются в вулканогенно-осадочных породах низов ирендыкской свиты. В строении Баймакского блока, по данным И.Б. Серавкина [Вулканизм..., 1992], выделяется два ритма вулканизма, соответствующие двум субформациям (рис. 2). Нижний ритм (нижняя толща) сложен толщей диабазов, диабазовых и андезибазальтовых порфиритов, туфов и вулканических брекчий с подчиненным количеством пиллоубазальтов (спилитовидных), вариолитов и прослоев кремнистых пород, а также локально развитыми эффузивами и туфами кислого состава.

Верхний ритм (верхняя толща) образован подтолщами андезибазальтового, андезитового, андезидацитового и дацит-риолитового состав общей мощностью, достигающей 700 м.

По данным И.Б. Серавкина, ниже приведен разрез верхней (андезибазальт-андезит-дацит-риолитовой) толщи ($D_1e_2b$–$br_2^2$), обнаженный в синклинали г. Каменной Центрально-Баймакской зоны, в котором залегают (снизу вверх):

1. Гравийные туфы андезитовых порфиритов, к востоку фациально замещаются эффузивными андезитовыми порфиритами, мощность 70 м.
2. Эффузивный поток стекловатых дацитовых порфиритов, мелкопорфировых, мощность 20–50 м.
3. Гравийные туфы андезитовых порфиритов, мощность 40 м, обнажены в южном замыкании синклинали, к СЗ и ЮВ вблизи линии разреза выклиниваются, фациально замещаясь эффузивными андезибазальтовыми порфиритами и их туфами.
4. Эффузивный поток дацитовых порфиритов, мощность 0–25 м.
5. Андезибазальтовые порфириты плагиоклазовые, к западу фациально замещаются туфами того же состава, мощность 0–50 м.
6. Лапиллиевые туфы андезибазальтовых порфиритов, к востоку на этом стратиграфическом уровне залегают дацитовые порфириты, мощность 70–120 м.
7. Андезибазальтовые порфириты, мощность около 100 м.
8. Туфовые брекчии андезибазальтовых порфиритов, мощность 30 м. Слагают вершину г. Каменной, залегая местами резко несогласно на подстилающих вулканитах.

Вышележащий разрез слагает ядро синклинальной структуры, закартированное севернее линии разреза [Колчеданные месторождения..., 1973]. Здесь обнажены:

9. Дацитовые порфириты, образующие небольшую лавовую постройку к СЗ от линии разреза, мощность 0–50 м.
10. Массивные андезитовые порфириты, мощностью 20–70 м, к СВ среди них картируется эффузивный поток дацитовых порфиритов.
11. Эффузивный поток риодацитов, мощностью 10 м.
12. Диабазы, мощностью 50–70 м.

13. Риодацитовый порфир, в обнажении К-3 закартирован переход этих кислых эффузивов в дайку аналогичного состава, имеющую северо-восточное простирание, мощность эффузивного потока (видимая) — 20 м.

Характерной чертой строения верхней толщи баймакского комплекса является чередование в разрезе вулканитов андезибазальтового, андезитового и кислого состава, образующих 7 ритмов разного масштаба и одного ритма, где кислые породы подстилаются базальтами и перекрываются риодацитовыми эффузивами.

Наиболее мощная пачка кислых пород располагается в верхней части разреза баймакского комплекса. К этому стратиграфическому уровню приурочены многочисленные мелкие золото-колчеданно-полиметаллические и барит-полиметаллические месторождения [Колчеданные месторождения..., 1973; Серавкин, 1986].

В Восточно-Баймакской зоне на Юлалинской площади авторами изучен керн глубоких структурно-поисковых скважин, которые вскрыли колчеданное оруденение баймакского типа на участках рудопроявлений «Утреннего» и «Звездного». Геологический разрез этих участков сложен средними, кислыми и в меньшей степени основными вулканитами, характерными для верхней части разреза баймакского колчеданоносного комплекса. Выше вулканитов баймакского комплекса, в котором залегают пластовые тела колчеданных руд, следует разрез вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород ирендыкской и улутауской свит [Кулешов, Зайков, 2005].

По обобщенным геологическим материалам в верхней части разреза баймакского комплекса в Восточно-Баймакской подзоне залегает пестрая по составу толща, которая состоит (снизу вверх

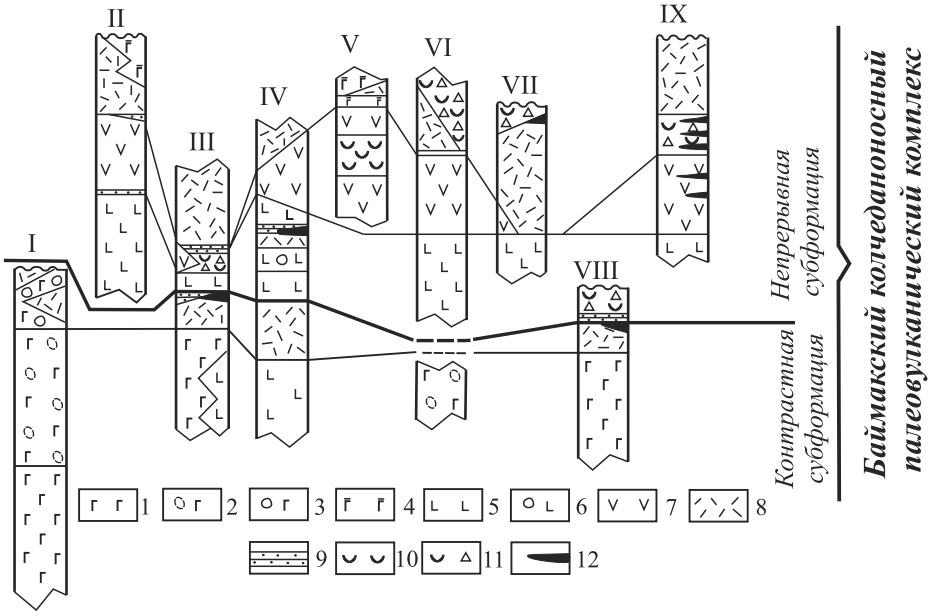



**Рис. 2. Схема корреляции разрезов ($D_1e_2$) Баймакского рудного района. Составлена И.Б. Серавкиным с использованием материалов А.Г. Волчкова, А.Д. Ситнова, В.М. Рудакова и И.В. Рачева [Салихов и др., 1997]**

I, II, V, VI — участки: Куян-Тау (I), Горная Байкара – Аргаган (II), горы Каменной (V), «Белая Глинка» (VI); III, IV, VII–IX — рудные поля: Бакр-Тау (III), Таш-Тау (IV), Майское (VII), Тубинское (VIII), Восточно-Семеновское (IX).

**Условные обозначения:** 1 — афировые однородные базальты; 2 — подушечные спилитовидные базальты и вариолиты; 3 — туфы и туфовые брекчии базальтов; 4 — базальтовые порфириты; 5 — андезибазальтовые порфириты плагиоклазовые; 6 — туфы и туфовые брекчии андезибазальтов; 7 — андезитовые и андезидацитовые порфириты и их пирокластические производные; 8 — кислые эффузивы; 9 — вулканогенно-осадочные породы; 10 — переслаивающиеся эффузивы и туфы кислого, среднего, основного состава; 11 — туфы и туфовые брекчии с разнообразным составом обломков; 12 — колчеданные месторождения.

**Fig. 2. The scheme of correlation of sequences ($D_1e_2$) of the Baimak ore district. Compiled by I.B. Seravkin with use of materials of A.G. Volchkov, A.D. Sitnov, V.M. Rudakov and I.V. Rachev [Salikhov et al., 1997]**

I, II, V, VI — sites: Kuyan-Tau (I), Gornaya Baykara – Argagan (II), Kamennaya mountain (V), “Belaya Glinka” (VI); III, IV, VII–IX — ore fields: Bakr-Tau (III), Tash-Tau (IV), Mayskoye (VII), Tubinsky (VIII), East Semenovsky (IX).

**Legend:** 1 — aphyric uniform basalts; 2 — pillow spilitic basalts and variolites; 3 — tuffs and tuff breccias of basalts; 4 — basaltic porphyrites; 5 — plagioclase andesibasaltic porphyrites; 6 — tuffs and tuff breccias of andesibasalts; 7 — andesitic and andesite-dacitic porphyrites and their pyroclastic derivatives; 8 — acidic effusives; 9 — volcano-sedimentary rocks; 10 — the interstratified effusives and tuffs of acidic, intermediate, basic composition; 11 — tuffs and tuff breccias with various composition of fragments; 12 — massive sulphide deposits.

по разрезу) из эффузивных андезитов и андезибазальтов, риодацитов и дацитов крупнопорфировых кварц-роговообманково-пироксен-плагиоклазовых, дацитов полустекловатых плагиофировых, общей мощностью более 700 м. В скв. 4186 в рудном интервале (495.3–501.3 м) присутствует горизонт тефрогенных песчаников, гравелитов и кремнистых пород, превращенных в хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты с сульфидной минерализацией. Оруденение и геологический разрез «Утреннего» и «Звездного» рудопроявлений, являются типичными для Баймакского рудного района и относятся к Au-колчеданному барит-полиметаллическому Баймакскому типу месторождений, близкому к Куроко. Завершается разрез толщей кислых тефроидов, содержащей прослои кремнистых радиоляритов майской толщи [Биков и др., 1973 г.] или сагитовской толщи, по В.А. Маслову и О.В. Артюшковой [Стратиграфия и корреляция..., 1993], в которой на Сагитовском и Майском участках собраны конодонты зоны patulus позднеэмсского возраста [Маслов, Артюшкова, 2010].

## Фациальные типы и группы вулканогенных и интрузивных пород баймакского колчеданоносного комплекса

Баймакский колчеданоносный палеовулканический комплекс представляет собой непрерывную базальт-андезит-дацит-риодацитовую формацию с довольно четким гомодромным характером эволюции вулканизма. Ассоциация вулканических пород Баймакского рудного района является полифациальным комплексом, в который входят следующие фации: подводная эффузивная и лавокластитовая, пирокластическая, тефроидная, экструзивная, субвулканическая, гиповулканическая. В нижней части разреза, представляющей, по данным И.Б. Серавкина, нижний ритм вулканизма, преобладают вулканиты базальт-андезибазальтового состава, включающие диабазы, базальтовые пироксен-плагиоклазовые порфириты, вариолиты и локально проявленные кислые породы. В небольших объемах базальтовые порфириты присутствуют в толщах второго ритма вулканизма, что отмечено в приведенных послойных фрагментах разрезов. В разрезе рудопроявления «Утреннего» в Восточно-Баймакской зоне скважиной 4115 в верхней части разреза баймакского комплекса вскрыта толща базальтовых порфиритов пироксен-плагиоклазовых мощностью около 300 м. В верхней толще баймакского комплекса на отдельных участках присутствуют фрагменты разреза андезибазальт-андезитового состава, андезит-дацит-риодацитового состава при незначительном присутствии риолитов. В целом в баймакском комплексе доля кислых пород в отдельных фрагментах разрезов возрастает снизу вверх по разрезу.

*Эффузивные базальты и базальтовые порфириты* представлены массивными и подушечными разновидностями, ассоциируются с вариолитами, нередки миндалекаменные, вплоть до шлаковидных разновидностей, в которых количество миндалин достигает 50% объема породы. Миндалины выполнены хлоритом, кварцем, карбонатом. Описаны миндалины альбит-хлоритового состава [Колчеданные месторождения..., 1973].

Вкрапленники в вариолитовых порфиритах принадлежат, главным образом, плагиоклазу; в подчиненном количестве присутствует клинопироксен. В виде прослоев среди базальтов присутствуют в небольших объемах гиалокластиты.

*Эффузивные средние породы* представлены андезибазальтами и андезитами при преобладании в аналитических материалах последних. «Стекловатые» андезибазальты и андезиты обладают плотной полустекловатой основной массой, под микроскопом имеющей витрофировую, гиалопилитовую, пилотакситовую и микролитовую структуру. Вкрапленники плагиоклаза (0.5–1.5 мм), псевдоморфозы по роговой обманке и пироксену составляют около 5–7% объема породы. Основная масса пород разбита перлитовыми микротрещинами, которые в сочетании с мозаичным окварцеванием создают своеобразные ячеистые структуры [Колчеданные месторождения..., 1973]. Широким распространением пользуются лавокластиты андезибазальтового и андезитового состава. Под воздействием тектоники, динамометаморфизма и метасоматоза брекчии андезитов и андезибазальтов приобретают такситовый «метафлюидально-обломочный» игнимбритовидный облик. В андезитовых порфиритах встречаются псевдоморфозы по пироксену и роговой обманке, плагиоклаз, редко ранний титаномагнетит. Эффузивные андезибазальты и андезиты имеют значительные суммарные мощности (до 600 м) и образуют в Баймакском и Бурибайском рудных районах обширные лавовые плато.

*Эффузивные кислые породы* занимают заметное место в геологическом строении баймакского колчеданоносного комплекса. Обращает внимание постоянное присутствие кислых пород эффузивной и экструзивно-субвулканической фаций, а также комагматичных им плагиогранитов на рудных

полях колчеданных месторождений этого района [Бородаевская и др., 1970; Колчеданные месторождения..., 1973; Костина, 1973; Серавкин, 1986, 2007; Косарев и др., 2005, 2014]. М.Б. Бородаевская с соавторами [1970] считали, что кислые породы баймак-бурибаевской формации являются дифференциатами базальтовых магм. Т.И. Фролова [1970], Р.И. Костина [1973] пришли к выводу, что основные объемы кислых пород, включающие эффузивные и субвулканические породы, являются палингенными выплавками. Лишь небольшой объем субвулканических ферродацитов и гранофиров ранней фазы отнесен к продуктам дифференциации базальтовых расплавов. Среди эффузивных дацитов и риодацитов выделяются следующие типы: 1) дациты и риодациты «полустекловатые» мелкопорфировые плагиоклазовые и роговообманково-плагиоклазовые; 2) дациты и риодациты мелкопорфировые и среднепорфировые кварцсодержащие плагиоклазовые; 3) риодациты среднепорфировые и крупнопорфировые кварц-роговообманково-плагиоклазовые и кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазовые.

Для первых двух типов эффузивов характерны метасферолитовая, фельзитовая, микролито-микропойкилитовая микроструктуры. Кремнекислые породы третьего типа слагают эффузивные лавовые потоки, а также экструзивно-субвулканические тела. В них обычны метасферолитовая, фельзито-микролито-микрозернистая и микропризматическизернистая микроструктуры.

Из вторичных минералов присутствуют хлорит, серицит, кварц, альбит, эпидот, сфен, лейкоксен, карбонат, пирит. В зонах динамометаморфизма появляются чешуйки мусковита.

*Пирокластические породы кислого состава* распространены незначительно. Они известны среди эффузивов и тефроидов кислого состава в разрезах гор Таш-тау и Вараш и представлены псаммитовыми и гравийно-лапиллиевыми туфами, нередко имеющими окраску красных тонов, возможно, связанную с краснокаменными изменениями в мелководных условиях.

Тефроиды находятся в виде прослоев среди туфов кислого состава. Для них характерно однообразие обломков, представленных хлоритизированным кислым стеклом с фельзито-микрозернистой структурой основной массы, и присутствие редких осколков плагиоклаза и кварца. На Майском рудном поле тефроиды перекрываются яшмоидами, содержащими обильные радиолярии и редкие конодонты.

*Интрузивные, субвулканические и экструзивные образования* детально изучались ранее [Серавкин, 1981, 1986; Колчеданные месторождения..., 1973]. Было показано, что поверхностные вулканические, экструзивные, субвулканические и интрузивные образования района имеют общие черты химизма, являются комагматами и образуют баймакский вулкано-плутонический комплекс. Входящие в его состав рвущие тела интрузивного и субвулканического облика подразделяется на 3 группы: 1 — ранних субвулканических и экструзивных тел; 2 — поздних экструзивно-субвулканических тел; 3 — интрузий гиповулканической фации глубинности.

Группу *ранних субвулканических и экструзивных тел* представляют силлы, штоки, дайки и экструзивные купола, формировавшиеся на небольших глубинах или выходившие на поверхность (экструзии). В пределах Куянтауской антиклинали, самой западной в Баймакском рудном районе, в группу ранних субвулканических тел включены также дайки баймак-бурибаевской формации района горы Куянтау, охарактеризованные Р.И. Костиной [1973]. Предполагается, что это ранняя фаза субвулканических пород, которая в обнаженной части разреза верхнетаналыкского комплекса в Баймакском районе отсутствует. На Абей-саз – Бакр-тауском рудном поле к ранней группе принадлежат силлы и экструзивные купола кварцевых риодацитов.

*Экструзивные и субвулканические дациты и риодациты ранней группы* Бакр-Тауского участка представлены средне- и крупнопорфировыми структурными типами, содержащими фенокристы кварца, плагиоклаза и роговой обманки. Дациты отличаются от риодацитов повышенными содержаниями вкрапленников роговой обманки и обогащенной хлоритом основной массой.

Группу *поздних экструзивно-субвулканических тел* представляют роговообманково-кварц-плагиоклазовые дациты и риодациты крупнопорфировые и мегафировые. Фенокристаллы плагиоклаза, кварца, роговой обманки содержатся в переменных количествах. Характерной особенностью субвулканических пород поздней группы являются пегматоидные и гранофировые гомеогенные выделения, которые детально были описаны Л.Н. Сопко [Колчеданные месторождения..., 1973].

Группу *интрузий гиповулканической фации глубинности* составляют плагиогранодиориты и плагиограниты, образующие серию интрузивных тел [Колчеданные месторождения..., 1973]. Наряду

с плагиогранитами и гранодиоритами в этой группе присутствуют кварцевые диориты и диориты. Широкое распространение в субвулканических породах гомеогенных включений соответствующих составов свидетельствует о генетической связи поздних тел кварцевых порфиров и плагиогранитов.

## Химизм клинопироксенов из экструзивно-субвулканических дацитов участка «Звездного»

Клинопироксены из вулканитов баймакского комплекса определены в двух пробах (6 определений), представленных базальтами и андезибазальтами. Их состав варьирует от эндиопсидов ($Ca_{44.72}Mg_{49.34}Fe_{5.94}$) до низкожелезистых авгитов ($Ca_{42.7}Mg_{46.5}Fe_{10.76}$) и вполне сопоставим с некоторыми пробами пироксенпорфировых базальтов третьей риолит-базальтовой толщи нижней подсвиты баймак-бурибаевской свиты. Характер распределения и концентрации петрогенных и малых элементов позволяют отнести вулканиты баймакского базальт-андезит-дацит-риолитового комплекса к магнезиальной известково-щелочной петрогенетической серии [Косарев и др., 2005; Сазонова и др., 2001].

На участке «Звездном» в крупнопорфировых кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазовых дацитах экструзивно-субвулканической фации (скв. 4186, интервал 414.5–424 м, проба 4186/421) С.Ю. Чаженгиной проведено микрозондовое изучение пироксенов (рис. 3). Кроме пироксена по микрозондовым материалам в кислых породах установлены апатит, амфибол, хлорит, альбит, кварц, сфен, ильменит, титаномагнетит, эпидот.

Пироксен, сохранившийся в кислых породах раннедевонско-эйфельских вулканических комплексов,— явление уникальное. В пробе 4186/421 пироксен представлен реликтами фенокристов, иногда состоящих из нескольких кристаллов общими размерами 0.1–2 мм. Фенокристы пироксенов частично замещены хлоритом, иногда образующим вокруг каждого зерна хлоритовую «рубашку». На участках, где присутствуют пироксены, нередко появляются игольчатые агрегаты актинолита. Среди кислой микрозернистой основной массы

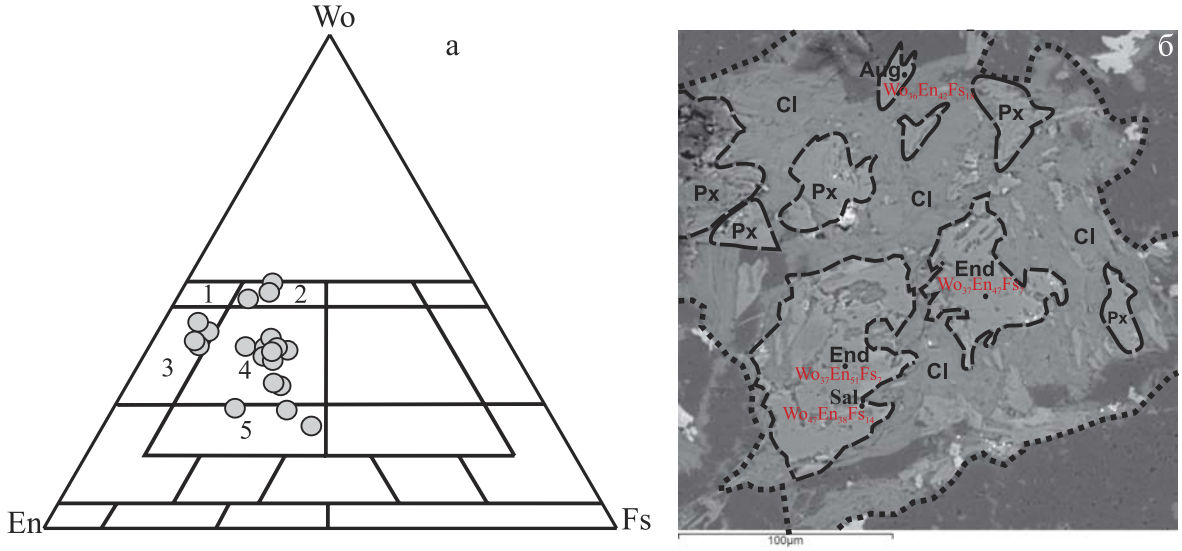



**Рис. 3. Соотношения Mg, Ca и Fe на классификационной диаграмме *En–Wo–Fs* в пироксенах вулканитов баймакского колчеданоносного комплекса (обр. 4186/421 — субвулканический дацит) (а) и электронно-микроскопическое изображение пироксена (участок № 8) (б)**

**а** — поля составов пироксенов, по [Дир и др., 1965]: 1 — диопсид, 2 — салит, 3 — эндиопсид, 4 — авгит, 5 — субкальциевый авгит; **б** — пунктирной линией показаны границы сохранившихся фрагментов кристалла пироксена, между которыми расположена замещенная хлоритом часть фенокриста пироксена. Точечной линией показаны границы первичного кристалла пироксена. **Сокращения:** *Px* — пироксен, *Cl* — хлорит, *Aug* — авгит, *End* — эндиопсид, *Sal* — салит.

**Fig. 3. Relationships of Mg, Ca and Fe plotted on ternary diagram *En–Wo–Fs* in the pyroxenes of the volcanic rocks of Baimak complex (sample 4186/421 — subvolcanic dacite) (a) and electronic and microscopic image of pyroxene (site No. 8) (б)**

**a** — the field of composition of the pyroxene by [Dir et al., 1965]: 1 — diopside, 2 — salite, 3 — endiopside, 4 — augite, 5 — subcalcic augite; **б** — the dashed line shows borders of remnant fragments of a crystal of pyroxene between which a part of pyroxene phenokryst replaced by chlorite is located. The dot line shows borders of a primary crystal of pyroxene. **Abbreviations:** *Px* — pyroxene, *Cl* — chlorite, *Aug* — augite, *End* — endiopside, *Sal* — salite.

присутствуют мелкие (до 1 мм) деформированные хлоритовые псевдоморфозы с единичными иголочками актинолита, вероятно, представляющие собой псевдоморфозы хлорита и актинолита по пироксену. В зонах рассланцевания и динамометаморфизма фенокристы пироксена часто разбиты на несколько зерен с дезинтеграцией фенокристалла, но без значительных перемещений. Интенсивная хлоритизация фенокристов пироксена в сочетании с перемещениями дезинтегрированных фрагментов друг относительно друга затрудняет изучение их химической зональности.

По результатам микрозондового изучения в пробе дацитового порфирита кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазового с титаномагнетитом установлены клинопироксены следующих составов: салит, эндиопсид, авгит, субкальциевый авгит (рис. 3 а). Вариации составов клинопироксенов имеют следующие интервалы: эндиопсид ($Wo_{37.1–37.7}En_{42.16–51.5}Fs_{6.35–7.35}$); салит ($Wo_{47.53–49.9}En_{34.35–38.57}Fs_{13.9–15.77}$); авгит ($Wo_{25.87–36.93}En_{39.16–45.14}Fs_{17.93–23.62}$); субкальциевый авгит ($Wo_{18.9–22.9}En_{38–50.59}Fs_{19.65–28.29}$).

Петрографические наблюдения и известные по публикациям минеральные ассоциации кислых пород не позволяют считать, что все разновидности клинопироксенов являются продуктами кристаллизации из единой порции кислой магмы. Минералы, кристаллизовавшиеся из кислого расплава, представлены апатитом, плагиоклазом, титаномагнетитом, роговой обманкой, кварцем. Между перечисленными минералами в шлифах видны взаимоотношения, по которым можно судить о порядке выделения их из расплава. Взаимоотношений перечисленных минералов с клинопироксенами нет. Неясна и последовательность кристаллизации клинопироксенов друг относительно друга. Ассоциация клинопироксенов, близкая к установленной в изученном даците (проба 4186/421), известна в вулканитах бонинитовой серии Бурибайского рудного района [Сазонова и др., 2001; Косарев и др., 2003, 2005]. Кайнотипные и современные кислые породы, известные в пределах активных островных дуг, нередко содержат ортопироксены и клинопироксены. Однако последние в большинстве своем представлены разновидностями от авгита до ферроавгита [Магматические..., 1987]. Клинопироксены, варьирующие по составу от эндиопсидов и салитов до авгитов, изначально генетически связаны с магмами основного состава, а в кислые породы попадают, скорее всего, в результате смешения частично раскристаллизованных магм кислого и основного составов или загрязнения кислых расплавов гиповулканическими габброидами, синхронными или предшествующими по времени формирования кислым вулканическим породам [Богатиков, Цветков, 1988]. Образование субкальциевых авгитов в закаленных эффузивах базальтового состава провинции Карру связывается Уокером и Полдерваартом [Дир и др., 1965] с быстрым охлаждением расплава.

На рис. 3б (участок микрозондового изучения № 8) по одному из фенокристов пироксена сделана попытка реконструировать его химическую зональность. На фотографии видно, что первичное зерно пироксена в значительной мере замещено хлоритом (примерно на 60%). Реликты пироксена имеют неправильную извилистую, в целом изометричную форму. Четыре зерна реликтового пироксена, тяготеющие к центральной части частично замещенного хлоритом фенокриста пироксена, имеют состав: эндиопсид (3 зерна), салит (1 зерно) и одно зерно (№ 4, на рис. 3б) имеет состав авгита. По этим данным можно говорить о реликтовой зональности, характеризующейся размещением в центре кристаллов пироксенов эндиопсид-салитового состава, а на периферии — пироксенов авгитового состава. Подобная зональность кристаллов клинопироксена возникает при их кристаллизации в условиях понижающейся температуры [Smith, Lindsley, 1971; Сазонова, Носова, 1999; Сазонова и др., 2001] в магмах основного состава.

## Особенности распределения петрогенных оксидов и микроэлементов в вулканических породах баймакского комплекса

Вулканогенные толщи баймакского колчеданоносного комплекса характеризуются гомодромным характером эволюции составов вулканитов, а *базальты* принадлежат известково-щелочной магнезиальной (рис. 4 а–д) и, в меньших объемах, проблематичной толеитовой островодужной магнезиальной серии (рис. 4 б–г). В Баймакском районе в поле толеитовой серии попадают хлоритизированные базальты и более кислые породы с повышенными концентрациями MgO и $FeO_t$, в сочетании с высокими п.п.п., достигающими 8.23%, и низкими (<1%) концентрациями $Na_2O$ и $K_2O$, свидетельствующими о разложении плагиоклазов и влиянии околорудного метасоматоза. Толеитовая магнезиальная островодужная серия присутствует южнее Баймакского района на северном фланге Макан-Октябрьского рудного поля, где вулканиты базальтового состава залегают во второй

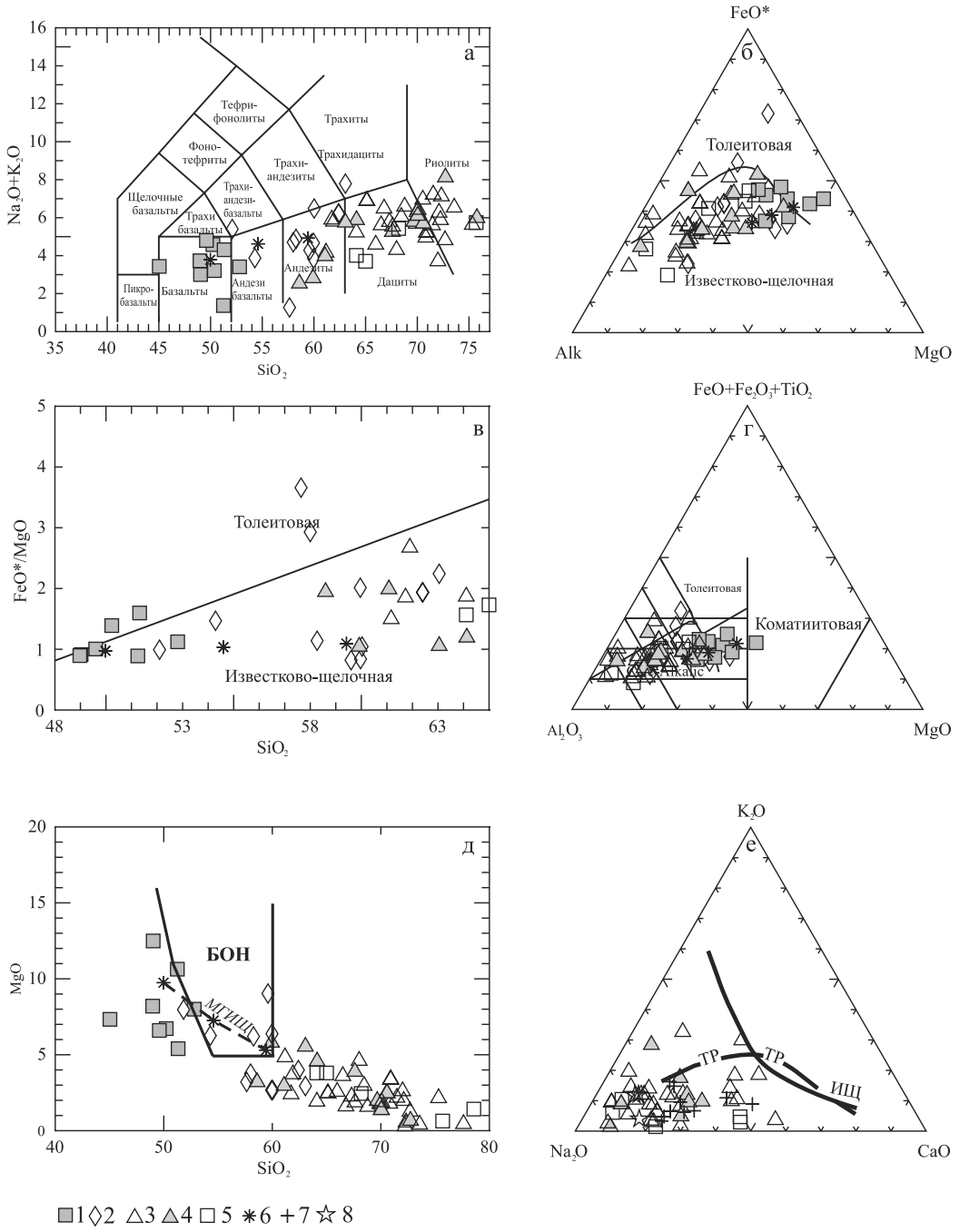



**Рис. 4. Петрохимические особенности вулканитов баймакского комплекса**

**Условные обозначения:** 1–3 — эффузивные породы: 1 — базальты, 2 — андезибазальты и андезиты, 3 — дациты, риодациты; 4 — субвулканические дациты и риодациты; 5 — интрузивные гранодиориты и плагиограниты [Косарев и др., 2005, 2014; Колчеданные месторождения..., 1973]; 6 — составы вулканитов магнезиальной известково-щелочной серии Камчатки [Петрология и геохимия..., 1987]; 7, 8 — на рис. 4е: 7 — трондьемиты комплекса Литл-Порт; 8 — трондьемиты комплекса Бей оф-Айлендс [Малпас, 1983]. **Сокращения:** БОН — бонинитовая серия, МГИЩ — магнезиальная известково-щелочная серия, ТР — трондьемитовый тренд на диаграмме $Na_2O–K_2O–CaO$, ИЩ — известково-щелочная серия и тренд на диаграмме $Na_2O–K_2O–CaO$.

**Fig. 4. Petrochemical features of volcanics of the Baimak complex**

**Legend:** 1–3 — effusive rocks: 1 — basalts, 2 — andesibasalts and andesites, 3 — dacites, rhyodacites; 4 — subvolcanic dacites and rhyodacites; 5 — intrusive granodiorites and plagiogranites [Kosarev et al., 2005, 2014, Kolchedannye..., 1973]; 6 — compositions of volcanics of a magnesian calc-alkaline series of Kamchatka [Petrologiya..., 1987]; 7, 8 — in fig. 3e: 7 — Trondhjemites of the Little-Port complex; 8 — Trondhjemites of a complex Bay of Islands [Malpas, 1983]. **Abbreviations:** БОН — boninitic series, МГИЩ — magnesian calc-alkaline series, ТР — trondhjemite trend on the chart $Na_2O–K_2O–CaO$, ИЩ — calc-alkaline series and a trend on the chart $Na_2O–K_2O–CaO$.

толще (андезит-андезибазальтовой) рудовмещающего макан-октябрьского вулканического комплекса, вне метасоматического околорудного ореола [Косарев и др., 2005]. Вулканиты известково-щелочной магнезиальной серии близки к одноименной серии Камчатки [Петрология и геохимия..., 1987] (рис. 4 д), совпадая и с низкомагнезиальной частью поля бонинитовой серии. Однако высокомагнезиальные вулканиты с концентрациями MgO >13% в составе баймакского комплекса отсутствуют. Некоторые разновидности высокомагнезиальных базитов относятся к типу пикробазальтов, обогащенных пироксеном и, видимо, оливином, связанных с процессами кристаллизационной дифференциации.

*Базальты баймакского комплекса*, по сравнению с базальтами известково-щелочной магнезиальной серии Камчатки [Петрология и геохимия..., 1987], имеют пониженные концентрации Cr 200–236 г/т; Zr 13–57; Nb 0.9–1.36; Ba 87–289; Hf 1.03–1.55 г/т, повышенные Ni 35–55 г/т, близкие Co 38–49 г/т. Отношение La/Yb в базальтах баймакского комплекса повышено, составляя 3.8–9.48 (таблица).

На спайдердиаграммах редких элементов базальтов баймакского комплекса (рис. 5 а) четко видны негативные аномалии Nb и положительные Sr различной интенсивности, обогащение пород элементами КИР и радиоактивными элементами. Пониженные концентрации РЗЭ, Zr, Y, Ti, P имеют базальты, обогащенные MgO (7.33–12.49%), содержания Cr 200–236 г/т; Ni 35–55; Co 38–49 г/т, что близко к базальтам магнезиальной известково-щелочной (МГИЩ) серии Камчатки [Петрология и геохимия..., 1987], но существенно ниже основных пород бонинитовой серии. Вероятно, ближе всего к магнезиальным базальтам баймакского комплекса располагаются пикробазальты офиолитового комплекса дуги Тонга [Высоцкий, Злобин, 1987 в книге Петрология и геохимия..., 1987], где Cr 370 г/т, Ni 220 г/т, Co 53 г/т. Наиболее очевидны отличия в повышенных концентрациях Ni на Камчатке и в дуге Тонга.

*Средние породы* представлены андезибазальтами и андезитами при преобладании в аналитических материалах последних. Содержания Cr, Co, Ni в средних породах понижены по сравнению с базальтами. В пробе 3632/237 при $SiO_2$ 58.27% содержание MgO составляет 6.05%, Cr — 137 г/т, Co — 34 г/т, Ni — 25 г/т. В андезитах баймакского комплекса концентрации MgO варьируют от 2.4 до 8.87%. По сравнению с андезитами МГИЩ серии Камчатки в андезитах Баймакского района количества MgO и Co повышены, понижены концентрации Ni 25 г/т, Cr 137 г/т, Sr 314 г/т, Ba 480 г/т, Rb 14 г/т, близки и повышены количества Zr (52–65 г/т), понижены — Nb (1.25–1.5 г/т). Отношение La/Yb в андезитах баймакского комплекса составляет 4.3–6.1, содержания Th — 0.3–0.74 г/т, U — 0.09–0.36 г/т.

На спайдердиаграммах (рис. 5 а, б) андезиты располагаются выше магнезиальных базальтов, но ассоциируются с базальтами, имеющими повышенную глиноземистость. На графике порода / NMORB хорошо выражена отрицательная геохимическая аномалия Nb, слабо выражена положительная аномалия Sr, хорошо — Ba. В целом графики нормированных значений редких и редкоземельных элементов в средних породах согласуются со спектрами распределения этих элементов в базальтах, особенно в умеренномагнезиальных и их разновидностях.

*Кислые породы Баймакского рудного района*. По петрохимическим характеристикам кислые породы баймакского колчеданоносного комплекса варьируют от дацитов до риодацитов в эффузивных и в экструзивно-субвулканических породах и от гранодиоритов до плагиогранитов в гиповулканических интрузивных породах.

Как следует из таблицы и диаграмм (рис. 4), для кислых эффузивных и субвулканических пород Баймакского района характерны: 1 — незначительное количество вулканитов риолитового состава с концентрациями $SiO_2$ >73% и преобладание среди эффузивных и субвулканических пород дацитов и риодацитов (таблица) [Колчеданные месторождения..., 1973]; интрузивные породы представлены плагиогранодиоритами и плагиогранитами с содержаниями $SiO_2$ от 65–68.2% до 75.7% — в плагиогранитах Богачевского массива, соответственно; 2 — низкие и умеренные концентрации $Al_2O_3$, составляющие 11.79–15.21%; 3 — умеренные и повышенные количества MgO, варьирующие в интервале от 0.63 до 4.6%; 4 — повышенные концентрации ∑FeO' в части субвулканических и интрузивных пород, достигающие 6.04–7.3%; 5 — повышенные концентрации $Na_2O$ 2.5–5.6% и низкие — $K_2O$ 0.08–1.63%, изредка достигающие 3.15%.

Анализ петрохимических и геохимических материалов проводился с помощью серии диаграмм петрогенных оксидов и микроэлементов (рис. 4, 6), а также спайдердиаграмм, в которых использованы нормированные по NMORB и хондриту концентрации микроэлементов (рис. 5).

**Таблица**

Содержание петрогенных окислов (масс. %) и редких элементов (г/т) в вулканитах Баймакского рудного района

**Table**

The content of major (wt %) and rare (ppm) elements in the rocks of the Baimak ore area

| № обр. | 3632/547.5 | 4003/58 | 3632/561 | 4002/303 | 4003/237 | 4002/96 | 4002/561 | 3632/237 | 4002/19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| группа | **Базальты** | | | | | | **Андезиты** | | |
| $SiO_2$ | 45.04 | 48.98 | 49.03 | 49.6 | 51.25 | 52.81 | 58.0 | 58.27 | 59.97 |
| $TiO_2$ | 0.29 | 0.49 | 0.39 | 0.43 | 0.47 | 0.37 | 0.52 | 0.32 | 0.4 |
| $Al_2O_3$ | 12.61 | 16.36 | 13.9 | 17.0 | 16.68 | 14.53 | 16.2 | 15.23 | 13.28 |
| $Fe_2O_3$ | – | 0.98 | – | 1.8 | 10.5 | 1.4 | 4.6 | – | 1.25 |
| FeO | 9.9 | 6.46 | 11.4 | 5.0 | – | 7.72 | 6.4 | 6.89 | 4.09 |
| MnO | 0.19 | 0.21 | 0.16 | 0.2 | 0.375 | 0.16 | 0.14 | 0.09 | 0.25 |
| MgO | 7.33 | 8.2 | 12.49 | 6.6 | 10.63 | 8.0 | 3.6 | 6.05 | 6.22 |
| CaO | 9.8 | 5.74 | 3.21 | 6.7 | 1.32 | 3.08 | 3.0 | 4.11 | 6.27 |
| $Na_2O$ | 2.26 | 2.65 | 2.1 | 4.3 | 0.7 | 2.81 | 4.5 | 3.36 | 2.68 |
| $K_2O$ | 1.17 | 1.08 | 0.9 | 0.5 | 0.67 | 0.6 | 0.2 | 1.52 | 1.17 |
| $P_2O_5$ | 0.04 | – | 0.05 | – | 0.09 | – | – | 0.12 | – |
| ппп | 10.2 | 8.23 | 5 | 7.7 | 7.2 | 6.92 | 3.3 | 3.2 | 6.83 |
| Сумма | 99.95 | 99.41 | 99.94 | 99.83 | 99.89 | 98.4 | 100.46 | 99.93 | 99.74 |
| Cr | 200 | – | 236 | – | – | – | – | 137 | – |
| Co | 38 | – | 49 | – | – | – | – | 34 | – |
| Ni | 35 | – | 55 | – | – | – | – | 25 | – |
| Cu | 135 | – | 61 | – | – | – | – | 42 | – |
| Zn | 107 | – | 100 | – | – | – | – | 70 | – |
| Pb | | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Rb | 19 | 9.8 | 13 | 5.1 | 9.3 | 5.1 | 4.7 | 14 | 10.2 |
| Sr | 73 | 131 | 376 | 140 | 57 | 93 | 140 | 314 | 227 |
| Zr | 14 | 33 | 13 | 52 | 44 | 57 | 65 | 62 | 52 |
| Sc | 41 | – | 29 | – | – | – | – | 20 | – |
| Y | 4 | 8.2 | 4 | 11.4 | 7.6 | 11.0 | 12.7 | 0 | 10.7 |
| Nb | – | 1.07 | – | 1.32 | 0.93 | 1.36 | 1.50 | – | 1.25 |
| Ba | 145 | 118 | 289 | 116 | 87 | 132 | 91 | 480 | 287 |
| V | 348 | – | 347 | – | – | – | – | 198 | – |
| La | 2.13 | 3.5 | 2.12 | 9.2 | 2.4 | 5.2 | 5.3 | 3.59 | 6.1 |
| Ce | 5.1 | 7.5 | 4.6 | 18.4 | 5.0 | 10.9 | 11.3 | 7.87 | 12.2 |
| Pr | 0.68 | 1.10 | 0.64 | 2.6 | 0.73 | 1.58 | 1.71 | 1.24 | 1.71 |
| Nd | 3.01 | 4.7 | 2.93 | 10.5 | 3.0 | 6.0 | 7.2 | 5.32 | 7.0 |
| Sm | 0.88 | 1.16 | 0.79 | 2.5 | 0.81 | 1.66 | 2.0 | 1.48 | 1.73 |
| Eu | 0.34 | 0.43 | 0.3 | 0.79 | 0.23 | 0.46 | 0.55 | 0.39 | 0.53 |
| Gd | 0.99 | 1.31 | 0.99 | 2.6 | 0.87 | 1.90 | 2.0 | 1.65 | 2.0 |
| Tb | 0.15 | 0.24 | 0.13 | 0.35 | 0.16 | 0.32 | 0.35 | 0.26 | 0.32 |
| Dy | 0.98 | 1.46 | 0.88 | 2.0 | 1.08 | 1.74 | 2.1 | 1.58 | 1.81 |
| Ho | 0.2 | 0.32 | 0.19 | 0.42 | 0.27 | 0.39 | 0.45 | 0.32 | 0.39 |
| Er | 0.61 | 0.86 | 0.61 | 1.10 | 0.81 | 1.10 | 1.23 | 0.87 | 1.10 |
| Tm | 0.09 | 0.14 | 0.08 | 0.16 | 0.13 | 0.16 | 0.19 | 0.13 | 0.16 |
| Yb | 0.53 | 0.9 | 0.58 | 0.97 | 0.86 | 0.99 | 1.18 | 0.83 | 1.00 |
| Lu | 0.09 | 0.13 | 0.1 | 0.14 | 0.13 | 0.15 | 0.18 | 0.14 | 0.15 |
| Th | – | 0.48 | 0.45 | 1.13 | 0.75 | 0.98 | 0.71 | 0.33 | 0.74 |
| U | – | 0.24 | 0.27 | 0.36 | 0.42 | 0.51 | 0.27 | 0.09 | 0.36 |
| Hf | – | 1.03 | – | 1.55 | 1.29 | 1.69 | 1.76 | – | 1.49 |
| Ta | – | 0.089 | – | 0.078 | 0.053 | 0.086 | 0.10 | – | 0.083 |

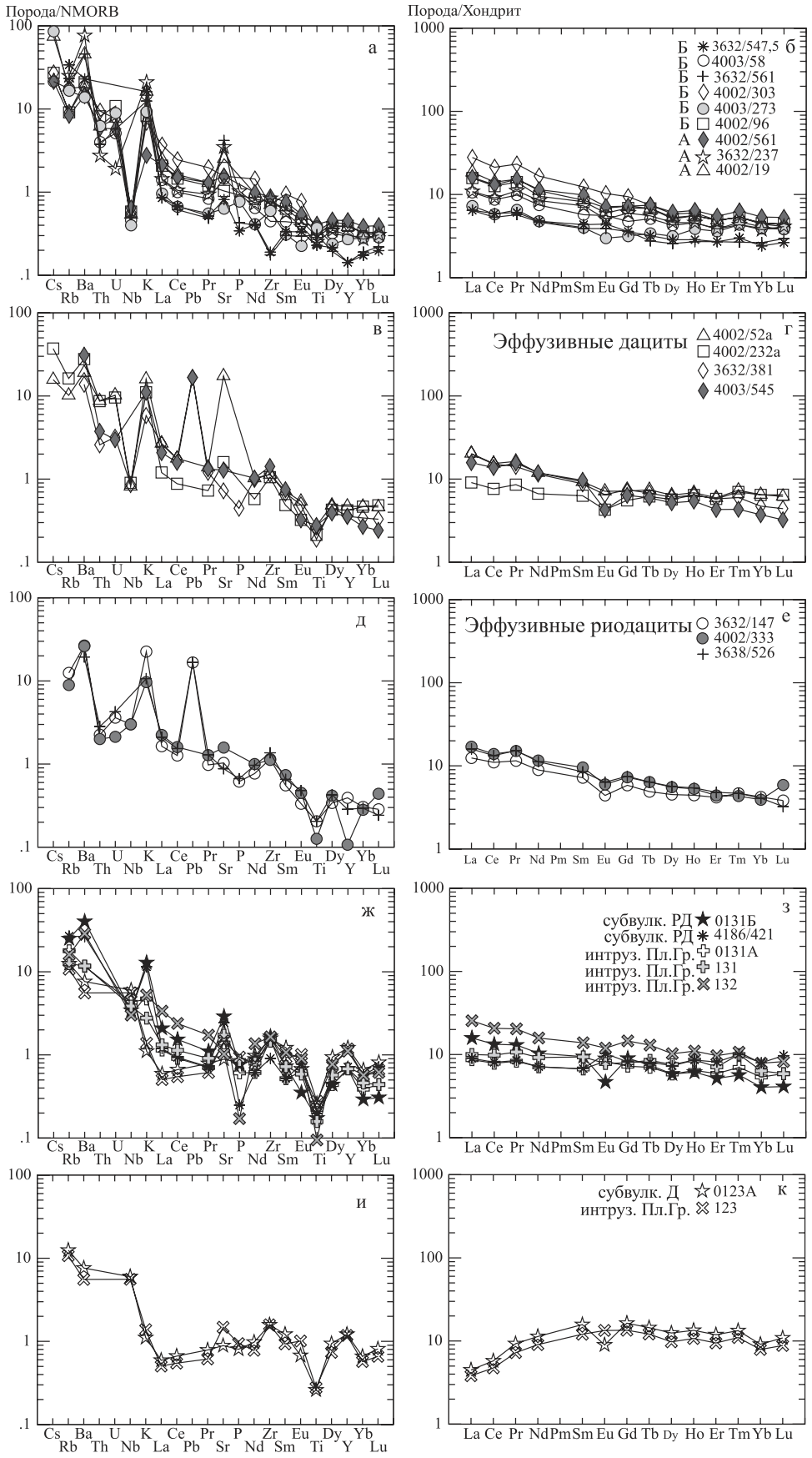
**Таблица. Продолжение**
**Table. Continuation**

| № обр. | 3632/381 | 4002/262 | 4003/545 | 4002/52а | 4002/232а | 4003/229 | 4003/700 | 3632/147 | 4002/333 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| группа | **эффузивные дациты** | | | | | **эффузивные риодациты** | | | |
| $SiO_2$ | 64.11 | 65.98 | 66.5 | 66.79 | 67.31 | 68 | 68.46 | 69.91 | 70 |
| $TiO_2$ | 0.24 | 0.4 | 0.35 | 0.35 | 0.27 | 0.35 | 0.28 | 0.26 | 0.16 |
| $Al_2O_3$ | 11.79 | 15.21 | 14.4 | 14.42 | 14.89 | 13.4 | 13.53 | 12.63 | 14.5 |
| $Fe_2O_3$ | 3.96 | 1.15 | 0.804 | 2.63 | 2.54 | 1.9 | 1.66 | 4.43 | 1 |
| FeO | – | 3.02 | 3.9 | 1.76 | 1.58 | 3.3 | 2.8 | – | 2 |
| MnO | 0.098 | 0.07 | 0.14 | 0.1 | 0.05 | 0.11 | 0.07 | 0.044 | 0.07 |
| MgO | 1.91 | 2.56 | 3.6 | 1.6 | 2.25 | 4.6 | 2.95 | 1.75 | 1.8 |
| CaO | 6.44 | 2.69 | 1.6 | 4.48 | 0.91 | 1.4 | 0.84 | 3.24 | 2.2 |
| $Na_2O$ | 4.8 | 3.55 | 4.8 | 5.33 | 4.97 | 3.6 | 5.33 | 4.05 | 5.6 |
| $K_2O$ | 0.42 | 1.03 | 0.8 | 1.15 | 0.8 | 0.7 | 0.71 | 1.63 | 0.7 |
| $P_2O_5$ | 0.052 | – | – | – | – | – | | 0.072 | – |
| ппп | 6.1 | 2.71 | 2.5 | 1.57 | 2.46 | 2.8 | 2.58 | 1.9 | 1.66 |
| Сумма | 99.87 | 98.91 | 99.09 | 100.2 | 98.03 | 100.16 | 99.21 | 99.92 | 99.69 |
| Cr | 138 | – | – | – | – | 120 | 74 | 73 | – |
| Co | 16 | 34 | 17 | 13 | 17 | 6 | 10 | 18 | 19 |
| Ni | 14 | 37 | 21 | 19 | 28 | 57 | 68 | 16 | 19 |
| Cu | 10 | 280 | 5 | 12 | 91 | 11 | 32 | 19 | 431 |
| Zn | 39 | 121 | 73 | 48 | 48 | 53 | 45 | 41 | 160 |
| Pb | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 | 55 | 92 | 5 | 420 |
| Rb | – | 10 | | 5.7 | 9.1 | – | – | 7 | 5 |
| Sr | 65 | 133 | 115 | 1566 | 144 | – | – | 93 | 142 |
| Zr | 85 | 67 | 105 | 84 | 78 | – | – | 85 | 83 |
| Sc | 16 | 28 | 19 | – | – | – | – | 15 | 8 |
| Y | 10 | 8 | 10 | 13.2 | 11.8 | – | – | 11 | 3 |
| Nb | – | – | – | 1.9 | 2.1 | – | – | | – |
| Ba | 87 | 194 | 195 | 120 | 175 | – | – | 168 | 165 |
| V | 31 | 286 | 83 | – | – | – | – | 93 | 55 |
| La | 6.6 | – | 5.2 | 6.7 | 3.0 | – | – | 4.1 | 5.6 |
| Ce | 13.1 | – | 11.9 | 13.3 | 6.6 | – | – | 9.51 | 12 |
| Pr | 1.59 | – | 1.75 | 1.83 | 0.96 | – | – | 1.29 | 1.69 |
| Nd | 7.23 | – | 7.5 | 7.5 | 4.2 | – | – | 5.62 | 7.3 |
| Sm | 1.78 | – | 1.96 | 1.88 | 1.28 | – | – | 1.46 | 1.94 |
| Eu | 0.5 | – | 0.33 | 0.55 | 0.33 | – | – | 0.34 | 0.46 |
| Gd | 2.05 | – | 1.76 | 1.98 | 1.53 | – | – | 1.61 | 2.01 |
| Tb | 0.32 | – | 0.28 | 0.35 | 0.29 | – | – | 0.23 | 0.3 |
| Dy | 2.07 | – | 1.78 | 2.2 | 1.95 | – | – | 1.55 | 1.9 |
| Ho | 0.45 | – | 0.38 | 0.48 | 0.45 | – | – | 0.31 | 0.37 |
| Er | 1.3 | – | 0.97 | 1.34 | 1.30 | – | – | 0.94 | 0.99 |
| Tm | 0.18 | – | 0.13 | 0.22 | 0.21 | – | – | 0.14 | 0.13 |
| Yb | 1.04 | – | 0.82 | 1.43 | 1.42 | – | – | 0.93 | 0.86 |
| Lu | 0.15 | – | 0.11 | 0.21 | 0.22 | – | – | 0.13 | 0.2 |
| Th | 0.31 | – | 0.45 | 1.05 | 1.04 | – | – | 0.27 | 0.24 |
| U | 0.15 | – | 0.14 | 0.48 | 0.45 | – | – | 0.17 | 0.1 |
| Hf | – | – | – | 2.3 | 2.2 | – | – | – | – |
| Ta | – | – | – | 0.12 | 0.11 | – | – | – | – |

**Таблица. Окончание**
**Table. Ending**

| № обр. | 4003/614 | 3638/526 | 4002/730 | 4186/421 | 0123А | 0131Б | 0131А | 131 | 123 | 132 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| группа | **эффузивные риодациты** | | | **субвулканические** | | | **интрузивные** | | | |
| $SiO_2$ | 70.83 | 71.48 | 72 | 64.13 | 67.6 | 69.67 | 64.11 | 65 | 68.2 | 75.7 |
| $TiO_2$ | 0.28 | 0.26 | 0.35 | 0.25 | 0.33 | 0.22 | 0.28 | 0.2 | 0.35 | 0.12 |
| $Al_2O_3$ | 14.03 | 13.33 | 12.5 | 13.13 | 13.2 | 13.09 | 12.96 | 12 | 13.1 | 12.5 |
| $Fe_2O_3$ | 0.21 | 4.34 | 1.6 | 6.04 | 6.27 | 3.61 | 6.61 | 7.3 | 6.05 | 2.69 |
| FeO | 2.8 | – | 3.8 | – | – | – | – | – | – | – |
| MnO | 0.07 | 0.075 | 0.08 | 0.099 | 0.113 | 0.066 | 0.158 | 0.2 | 0.09 | 0.02 |
| MgO | 1.78 | 2.17 | 2.6 | 4.56 | 3.88 | 1.96 | 3.8 | 3.8 | 2.45 | 0.63 |
| CaO | 1.26 | 0.82 | 2.8 | 2.67 | 0.54 | 2.02 | 3.23 | 3.1 | 1.55 | 0.47 |
| $Na_2O$ | 4.21 | 4.83 | 2.5 | 5.04 | 5.17 | 4.85 | 3.67 | 3.5 | 5.33 | 5.36 |
| $K_2O$ | 0.74 | 0.77 | 1.2 | 0.83 | 0.08 | 0.93 | 0.34 | 0.2 | 0.1 | 0.38 |
| $P_2O_5$ | | 0.078 | 0 | 0.029 | 0.094 | 0.089 | 0.071 | 0.1 | 0.11 | 0.02 |
| ппп | 1.88 | 1.8 | 1.9 | 2.95 | 2.54 | 2.03 | 3.74 | 3.9 | 1.96 | 0.85 |
| Сумма | 98.09 | 99.95 | 100.46 | 99.75 | 99.84 | 98.58 | 99.01 | 99 | 99.2 | 98.8 |
| Cr | 44 | – | 59 | 89 | 18 | 17 | 43 | 102 | 25 | 15 |
| Co | 6 | 13 | 15 | 14 | 8 | 1 | 10 | 12 | 8 | |
| Ni | 23 | 16 | 39 | 22 | 1 | 8 | 8 | 14 | 1 | 5 |
| Cu | 19 | 12 | 37 | – | – | – | – | – | – | – |
| Zn | 42 | 63 | 47 | 20 | 33 | 180 | 90 | 85 | 40 | – |
| Pb | 35 | 5 | 9 | – | – | – | – | – | – | – |
| Rb | – | | – | 15 | 7 | 14 | 10 | 7 | 6 | 9 |
| Sr | – | 79 | – | 220 | 80 | 261 | 125 | 155 | 133 | 92 |
| Zr | – | 101 | – | 67 | 117 | 123 | 114 | 108 | 117 | 122 |
| Sc | – | 15 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Y | – | 8 | – | 20 | 34 | 19 | 19 | 19 | 33 | 31 |
| Nb | – | | – | 8 | 14 | 8 | 10 | 9 | 13 | 7 |
| Ba | – | 122 | – | 167 | 48 | 254 | 73 | 74 | 35 | 181 |
| V | – | 16 | – | 111 | 83 | 70 | 97 | 118 | 67 | 7 |
| La | – | 5.26 | – | 2.97 | 1.48 | 5.22 | 2.86 | 3.3 | 1.26 | 8.4 |
| Ce | – | 11.5 | – | 6.98 | 4.99 | 11.5 | 6.8 | 8.5 | 4.1 | 17.9 |
| Pr | – | 1.71 | – | 0.95 | 1.04 | 1.46 | 0.93 | 1.2 | 0.81 | 2.28 |
| Nd | – | 7.05 | – | 4.49 | 7.14 | 6.5 | 4.48 | 5.8 | 5.7 | 9.95 |
| Sm | – | 1.72 | – | 1.37 | 3.2 | 1.92 | 1.36 | 1.9 | 2.45 | 2.81 |
| Eu | – | 0.49 | – | 0.79 | 0.69 | 0.36 | 0.64 | 0.6 | 1.03 | 0.92 |
| Gd | – | 2.07 | – | 2.25 | 4.52 | 2.49 | 2 | 2.2 | 3.72 | 4.02 |
| Tb | – | 0.3 | – | 0.38 | 0.68 | 0.35 | 0.33 | 0.4 | 0.57 | 0.61 |
| Dy | – | 1.94 | – | 2.52 | 4.28 | 2 | 2 | 2.6 | 3.35 | 3.51 |
| Ho | – | 0.38 | – | 0.6 | 0.94 | 0.43 | 0.45 | 0.6 | 0.75 | 0.77 |
| Er | – | 1.08 | – | 1.83 | 2.68 | 1.16 | 1.33 | 1.6 | 2.13 | 2.18 |
| Tm | – | 0.14 | – | 0.3 | 0.4 | 0.17 | 0.21 | 0.3 | 0.33 | 0.32 |
| Yb | – | 0.9 | – | 1.75 | 2.01 | 0.89 | 1.18 | 1.4 | 1.74 | 1.73 |
| Lu | – | 0.11 | – | 0.33 | 0.37 | 0.14 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.28 |
| Th | – | 0.34 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| U | – | 0.2 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Hf | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Ta | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |

**Примечание:** прочерк — не определялось.
**Note:** dash — not determined.


Порода/NMORB
Порода/Хондрит
а
б
Б 3632/547,5
Б 4003/58
Б 3632/561
Б 4002/303
Б 4003/273
Б 4002/96
А 4002/561
А 3632/237
А 4002/19
в
г
Эффузивные дациты
4002/52а
4002/232а
3632/381
4003/545
д
е
Эффузивные риодациты
3632/147
4002/333
3638/526
ж
з
субвулк. РД 0131Б
субвулк. РД 4186/421
интруз. Пл.Гр. 0131А
интруз. Пл.Гр. 131
интруз. Пл.Гр. 132
и
к
субвулк. Д 0123А
интруз. Пл.Гр. 123
Cs Ba U K Ce Pr P Zr Eu Dy Yb
Rb Th Nb La Pb Sr Nd Sm Ti Y Lu
La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu

←

**Рис. 5. Распределение микроэлементов, нормированных по N -MORB [Sun, McDonaugh, 1989], и редкоземельных элементов, нормализованных по хондриту [Nakamura, 1974], в вулканитах Баймакского рудного района Магнитогорской мегазоны**

**а, б** — базальты, андезибазальты и андезиты; **в, г** — эффузивные дациты; **д, е** — эффузивные риодациты; **ж–к** — субвулканические дациты и риодациты, интрузивные плагиограниты. **Сокращения:** Б — базальт, А — андезит, РД — риодацит, Д — дацит; Пл. Гр. — интрузивный плагиогранит.

**Fig. 5. Distribution of trace elements, normalized by N-MORB [Sun, McDonaugh, 1989], and rare-earth elements normalized by chondrites [Nakamura, 1974], in the volcanic rocks of the Baimak ore district of Magnitogorsk megazone**

**а, б** — basalts, andesibasalts and andesites, **в, г** — effusive dacites, **д, е** — effusive rhyodacites; **ж–к** — subvolcanic dacites and rhyodacites, intrusive plagiogranites. **Abbreviations:** Б — basalt, А — andesite, РД — rhyodacite, Д — dacite; Пл.Гр. — intrusive plagiogranite.

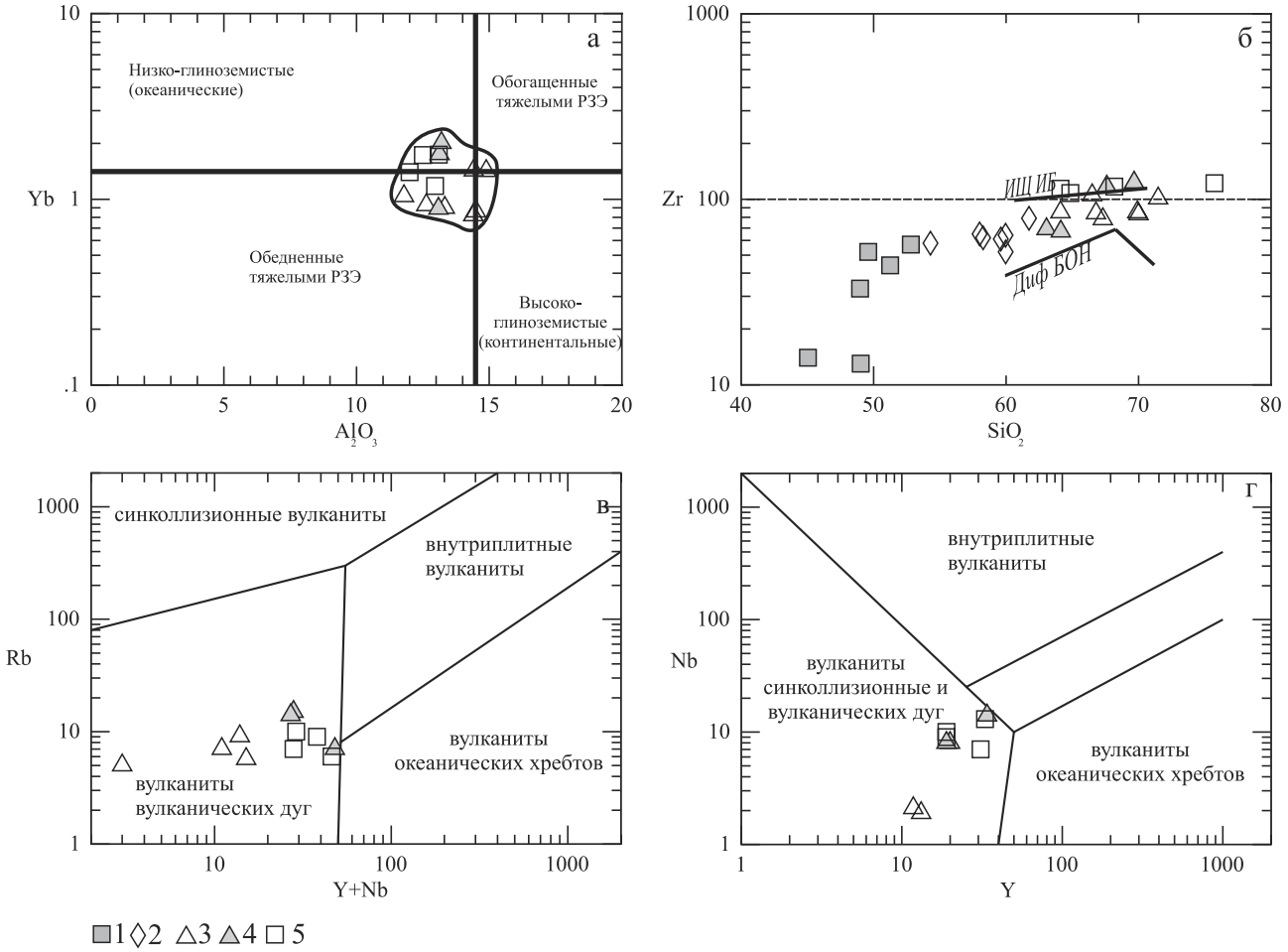



**Рис. 6. Геохимические особенности вулканитов баймакского комплекса (а — по [Арт, 1983]; в, г — по [Pearce et al., 1984])**

**Условные обозначения:** 1–3 — эффузивные породы: 1 — базальты, 2 — андезибазальты и андезиты, 3 — дациты, риодациты; 4 — субвулканические дациты и риодациты; 5 — интрузивные гранодиориты и плагиограниты [Косарев и др., 2005, 2014; Колчеданные месторождения..., 1973]. **Сокращения:** Диф БОН — кривая дифференциатов бонинитовой серии, по А.Я. Шараськину [Петрология и геохимия..., 1987], ИЩ ИБ — известково-щелочная серия Идзу-Бонинской островной дуги.

**Fig. 6. Geochemical features of volcanics of the Baimak complex (a — after [Art, 1983], в, г — after [Pearce et al., 1984])**

**Legend:** 1–3 — effusive rocks: 1 — basalts, 2 — andesibasalts and andesites, 3 — dacites, rhyodacites; 4 — subvolcanic dacites and rhyodacites; 5 — intrusive granodiorites and plagiogranites [Kosarev et al., 2005, 2014; Kolchedannye..., 1973]. **Abbreviations:** Диф БОН — curve of differentiation of a boninitic series, according to A.Ya. Sharaskin [Petrologiya..., 1987], ИЩ ИБ — calc-alkaline series of Izu-Bonin island arc.

На диаграммах рис. 4а, б (TAS и AFM) видно, что все породы имеют нормальную щелочность в рамках преимущественно известково-щелочной серии. Содержания $K_2O$ (таблица) варьируют от 0.08 до 1.63%, изредка достигая 3.15%, что позволяет относить этот комплекс к низко-среднекалиевым. Редкие очень низкие концентрации $K_2O$, достигающие 0.08–1.12%, сочетаются с пониженными концентрациями CaO (0.54–0.97%), что, скорее всего, связано генетически с процессом разложения плагиоклаза и выносом из пород калия и кальция.

Исключение составляет группа кремнекислых пород субвулканической фации Куянтауской антиклинали, выделенная Р.И. Костиной [1973]. Эти породы имеют риодацитовый состав. Концентрации петрогенных оксидов в них колеблются в следующих пределах: $SiO_2$ 69.04–70.64%; $Al_2O_3$ 12.75–13.52%; FeO' 5.42–6.96%; MgO 0.56–1.54%; CaO 1.42–2.05%; $Na_2O$ 4.64–6.52%; $K_2O$ 0.18–2.34%. На диаграмме $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ эти породы располагаются в области нормальнощелочных составов, а на диаграмме AFM они попадают в поле толеитовых составов или располагаются на линии, разделяющей толеитовую и известково-щелочную серии, то есть относятся к толеитовой серии Баймакского района.

На диаграмме $MgO-SiO_2$ (рис. 4д, таблица) выясняется, что кислые породы Баймакского района, так же как основные и средние, обладают повышенными содержаниями MgO, достигающими 4.56% в даците, содержащем в порфировых выделениях пироксен, роговую обманку, плагиоклаз и кварц (таблица, проба 4186/421). Поле магнезиальных кислых пород, нисходящее к разновидностям с высокими содержаниями $SiO_2$ (до 75.73%), сверху ограничивается вариационной кривой кислых пород — дифференциатов бонинитовой серии, по А.Я. Шараськину [Петрология и геохимия..., 1987], а снизу — линией составов кислых пород позднекайнозойской известково-щелочной глиноземистой серии Камчатки, по Г.П. Авдейко и др. [Петрология и геохимия..., 1987]. Таким образом, по составам кислых пород подтверждается правильность отнесения вулканитов баймакского колчеданоносного комплекса к магнезиальной известково-щелочной серии [Косарев и др., 2005]. Аналогичную вышеописанной позицию кислые вулканиты Баймакского района занимают на диаграмме $SiO_2-Zr$ (рис. 6б), где верхняя граница совпадает с известково-щелочной серией Идзу-Бонинской островной дуги, а нижняя — с кислыми дифференциатами бонинитовой серии [Петрология и геохимия..., 1987]. Толеитовая серия кислых вулканитов с низкими содержаниями $K_2O$, связанная с гранодиорит-плагиогранитными интрузиями, возможно, не является очень ранней, так как обнаруживает связь с телами плагиогранитов, имеющими поздний возраст, завершающими верхнеталыкский цикл вулканизма, и комагматичными поздним экструзивно-субвулканическим кварцевым мегафирам.

По соотношениям количеств Rb с Y и Nb, Nb с Y [Pearce et al., 1984] фигуративные точки проанализированных кислых пород (рис. 6в, г) располагаются в поле составов надсубдукционных вулканических дуг.

По концентрациям $Al_2O_3$ и Yb (рис. 6а) кислые эффузивные, субвулканические и интрузивные породы Баймакского рудного района занимают промежуточную позицию между низкоглиноземистыми (океаническими) и высокоглиноземистыми (континентальными) трондьемитами [Арт, 1983]. Большая часть фигуративных точек на рассматриваемой диаграмме располагается в зоне низкоглиноземистых, и лишь единичные точки — в зоне высокоглиноземистых кислых пород. По содержаниям Yb, большинство фигуративных точек кислых пород Баймакского района располагается в поле составов, обедненных тяжелыми РЗЭ, меньшая часть точек попадает в область обогащенных Yb составов пород. Границу между полями обогащенных ТРЗЭ и обедненных ими пород Д.Г. Арт [1983] проводит на уровне концентраций Yb 1.5 г/т. Наиболее заметно обогащены Yb интрузивные породы плагиогранитного и гранодиоритового составов, в которых концентрации Yb варьируют от 1.4 до 1.74 г/т.

На спайдердиаграммах (рис. 5) РЗЭ виден нисходящий от легких к тяжелым РЗЭ характер вариационных кривых, свидетельствующий об обогащении пород ЛРЗЭ и обеднении ТРЗЭ. Такой тип вариационных кривых выдержан для эффузивных пород дацитового и риодацитового составов и для большей части экструзивно-субвулканических и интрузивных пород. Исключение составляет дацит субвулканический (проба 0123А, таблица, рис. 5), на графике которого выделяется зона восходящих значений РЗЭ — La, Ce, Pr, Nd, Sm и слабо нисходящих значений — Gd–Yb. Состав пробы выделяется низкими концентрациями CaO (0.54%) и $K_2O$ (0.08%), La (1.48 г/т), повышенными $Na_2O$ (5.17%). Как отмечалось выше, наиболее вероятной причиной аномального состава данной пробы

является интенсивная альбитизация плагиоклазов, сопровождающаяся выносом CaO и $K_2O$. Не исключено, что при перестройке кристаллической решетки плагиоклазов происходит и частичный вынос ЛРЗЭ. Вторая проба, имеющая сходный характер спайдердиаграммы, представлена плагиогранодиоритом (таблица, проба 131, рис. 5 з) с пониженным содержанием $K_2O$ (0.2%). По распределению РЗЭ она аналогична пробе 0123А (рис. 5), охарактеризованной выше. Не исключено, что и процессы, которые привели к обеднению проб ЛРЗЭ, были аналогичными. Следует отметить, что этот вывод к кислым породам Куянтауской антиклинали отношения не имеет, так как сведений о концентрациях в них РЗЭ нет.

На спайдердиаграммах редких элементов в большинстве случаев проявлены негативные аномалии Ti, Y, P, Nb, к которым нередко присоединяются U и Th, La, Ce, Pr. Во многих случаях (рис. 5 в, д, ж) присутствуют положительные геохимические аномалии K, Sr, Zr, Ba. Следует отметить, что негативные аномалии Nb в субвулканических и интрузивных породах проявлены слабее, что можно объяснить более высокими его концентрациями в этих породах (таблица, рис. 5), чем в эффузивных дацитах и риодацитах. В целом распределение нормированных значений петрогенных и микроэлементов на спайдердиаграммах кремнекислых пород отражает сложный характер возникновения и эволюции всего фациального ряда кремнекислых пород, включающий процессы выплавления материнских магм, флюидную и кристаллизационную дифференциацию, гибридизм и постмагматические метаморфо-метасоматические преобразования. Нельзя исключить, что заметные массы кремнекислых пород экструзивно-субвулканической и интрузивной фаций, имеющих заметное сходство с трондьемитами, могли возникнуть на завершающем этапе вулканического цикла, продуцировавшего баймакский вулканический комплекс, в связи с выплавлением кислых магм из амфиболизированной базальтовой нижней коры.

## Обсуждение материалов

В баймакском комплексе установлено уменьшение от основных пород к кислым количеств FeO, MgO, Cr, Ni, Sc, Cu, Zn, возрастание содержаний $K_2O$, Zr, Ba, La, Sm, ∑РЗЭ, U, Th, F (таблица) при сохранении повышенной магнезиальности во всех типах пород. Анализ имеющихся материалов показывает тесную связь между всеми группами пород по кислотности, подчеркиваемую наличием переходных типов пород и появлением антидромных ритмов на фоне общей гомодромной эволюции. Величины изотопных отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ в базальтах верхнетаналыкского комплекса варьируют от 0.70446 до 0.70463, в кремнекислых породах — от 0.70297 до 0.70452 [Бобохов и др., 1989; Горожанин, 1991; Spadea et al., 2002; Серавкин, Косарев, Горожанин, 2003], отношение $^{143}Nd/^{144}Nd$ в базальтах составляет 0.51245 [Spadea et al., 2002]. Особую группу составляют породы, представленные серицитизированными кислыми породами либо серицит-хлорит-кварцевыми метасоматитами с вкрапленностью сульфидов по кварцевым риолитам и риодацитам [Серавкин, Косарев, Горожанин, 2003]. Значения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в этих породах варьируют от 0.70356 до 0.72814, концентрации Rb — от 1.4 мкг/г до 35.8 мкг/г. Между величинами $^{87}Sr/^{86}Sr$ и концентрациями Rb обнаруживается положительная корреляция, что связывается с контаминацией флюидов изотопом $^{87}Sr$, заимствованным из морской воды [Бобохов и др., 1989], присутствовавшей в гидротермальных флюидах.

Приведенные геологические и петролого-геохимические материалы свидетельствуют о генетических связях основных, средних и кислых пород баймакского комплекса Баймакского рудного района, обусловленных процессами, связанными с эволюцией поднимающегося мантийного диапира.

Пространственная обособленность экструзивно-субвулканических пород от эффузивно-пирокласто-тефроидных толщ и особенности химизма, выраженные в повышенных, по сравнению с эффузивами, содержаниях $SiO_2$, Zr, Y, Ta, Rb, Yb, позволяют интерпретировать это явление двояко. Во-первых, можно предполагать, что субвулканические и интрузивные породы являются продуктами дифференциации основных магм, исходных для баймакского комплекса. Второй вариант предполагает, что большие массы субвулканических и гиповулканических интрузивных пород по происхождению являются выплавками из амфиболизированной нижней коры. Этот генетический тип пород имеет широкое распространение в мире и рассматривается как продукт частичного плавления амфиболизированных основных пород в корнях островных дуг [Трондьемиты..., 1983].

Кроме того, необходимо оценить масштаб и результаты «загрязнения» кислых магм базитовым материалом предшествующего этапа магматизма, проявления которого охарактеризованы

выше (проба 4186/421) материалами по химизму клинопироксенов.

## Выводы

1. Баймакский рудный район входит в состав раннедевонской фронтальной островной дуги и приурочен к одноименному блоку с сиалическим уклоном и с колчеданными Au-полиметаллическими месторождениями, близкими к типу Куроко. Баймакский палеовулканический комплекс является полигенной вулкано-плутонической ассоциацией, которая формировалась при главенстве процессов частичного плавления мантии и нижней коры, магматической флюидной и кристаллизационной дифференциации, процессов гибридизма и, возможно, процессов смешения глубинных магматических флюидов с морской водой.

2. Базальты, андезиты и кислые породы баймакского полифациального палеовулканического комплекса в большинстве своем принадлежат магнезиальной известково-щелочной серии.

3. Дайки гранодиорит-порфиров и плагиогранитов, известные в Куянтауской антиклинали и в пределах тел интрузивных плагиогранодиоритов и гранитов Богачевского участка, обладающие повышенными содержаниями оксидов железа и низкими и умеренно-низкими концентрациями $K_2O$, могут быть ранней и поздней фазами кислого магматизма баймакского комплекса. Подобный вариант хорошо увязывается с наличием в куянтауском блоке в низах разреза баймакского комплекса железистых гранофиров, а в основании южно-ирендыкского комплекса в пределах Кунакайского вулкана (на левобережье реки Таналык, выше около 10 км по течению от пос. Уфимского) — толщи кремнекислых пород толеитовой петрогенетической серии.

4. По соотношениям Rb, Y, Nb, Yb, Ta кислые породы баймакского комплекса располагаются в поле гранитоидов вулканических дуг надсубдукционного типа. По соотношениям $Al_2O_3$ и Yb кислые породы риодацитового состава занимают позицию между низкоглиноземистыми океаническими и высокоглиноземистыми континентальными трондьемитами и дацитами, соответствующими умеренноглиноземистым трондьемитам, характерным для выплавок из амфиболизированных базитов в корневых зонах островных дуг.

5. Среди кислых пород экструзивно-субвулканической фации присутствуют гибридные разновидности, возникшие при взаимодействии кислой магмы с базитами предшествующего этапа, содержащими пироксены салитового и эндиопсидового составов.

*Работа выполнена в рамках госзаказа № 0252-2017-0011 и программы Президиума РАН № 19.*

### *Список литературы:*

*Арт Дж.Г.* Некоторые элементы-примеси в трондъемитах — их значение для выяснения генезиса магмы и палеотектонических условий // Трондъемиты, дациты и связанные с ними породы / *Под ред. Ф. Баркера*. – М.: Мир, 1983. – С. 99–105. – https://doi.org/10.1016/b978-0-444-41765-7.50008-3.

*Бобохов А.С., Горожанин В.М., Кузьмин С.А.* Стронциево-изотопные данные для кислых вулканитов Магнитогорского мегасинклинория Южного Урала: Препр. доклада Президиуму БНЦ УрО АН СССР. – Уфа, 1989. – 24 с.

*Богатиков О.А., Цветков А.А.* Магматическая эволюция островных дуг. – М.: Наука, 1988. – 248 с.

*Бородаевская М.Б., Кривцов А.И., Курбанов Н.К., Ширай Е.П.* Некоторые вопросы структурно-формационного районирования палеовулканических колчеданоносных областей // Вопросы палеовулканизма медноколчеданных провинций Южного Урала и Северного Кавказа. – М., 1970. – С. 3–19. – (Труды ЦНИГРИ; Вып. 92).

Вулканизм Южного Урала / *И.Б. Серавкин, А.М. Косарев, Д.Н. Салихов, С.Е. Знаменский, З.И. Родичева, М.В. Рыкус, В.И. Сначев*. – М.: Наука, 1992. – 197 с.

*Горожанин В.М.* Роль контаминации в происхождении кислых вулканитов Магнитогорского мегасинклинория // Микроэлементы в магматических, метаморфических и рудных формациях Урала. – Уфа, 1991. – С. 32–39.

*Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы. – М.: Мир, 1965. – Т. 2: Цепочечные силикаты. – 407 с.

*Знаменский С.Е., Косарев А.М.* Строение и литолого-фациальные особенности пород актауской свиты // Геологический сборник № 3 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 2003. – С. 109–112.

Колчеданные месторождения Баймакского рудного района / *П.Ф. Сопко, М.И. Исмагилов, И.Б. Серавкин, Л.Н. Сопко*. – М.: Наука, 1973. – 224 с.

*Косарев А.М.* Силуро-девонский вулканизм Бурибай-Маканского рудного района Южный Урал: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М., 1977. – 30 с.

*Косарев А.М., Серавкин И.Б., Спадеа П., Сазонова Л.В., Херрингтон Р., Горожанина Е.Н.* Эволюция составов клинопироксенов и особенности химизма вулканитов нижнедевонско-эйфельского формационного ряда на западном крыле Магнитогорского мегасинклинория // Минералогия Урала–2003. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. – Т. 1: Общие вопросы минералогии и кристаллографии. – С. 49–55.

*Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б.* Петролого-геохимические особенности раннедевонско-эйфельских островодужных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте // Литосфера. – 2005. – № 4. – С. 22–42.

*Косарев А.М., Серавкин И.Б., Холоднов В.В.* Геодинамические и петролого-геохимические аспекты зональности Магнитогорской колчеданоносной мегазоны на Южном Урале // Литосфера. – 2014. – № 2. – С. 3–25.

*Костина Р.И.* О возможных кислых дифференциатах базальтовых очагов раннегеосинклинальных контрастных формаций Магнитогорского мегасинклинория // Закономерности размещения полезных ископаемых Южного Урала. – Уфа: БФАН СССР, 1973. – С. 36–39.

*Кривцов А.И., Анисимов И.С., Биков М.Ш., Волчков А.Г., Захаров А.А., Чернова И.И., Шепелев В.М.* Структурно-формационное районирование юго-восточной части Башкирского Урала // Вопросы палеовулканизма медноколчеданных провинций Южного Урала и Северного Кавказа. – М., 1970. – С. 19–33. – (Труды / ЦНИГРИ; Вып. 92).

*Кулешов Ю.В., Зайков В.В.* Месторождение Таш-Тау — пример девонских подводных сульфидных построек (Южный Урал). – Миасс: УрО РАН, 2005. – 158 с.

Магматические горные породы. Кислые и средние породы / *Под ред. В.В. Ярмолюка, В.И. Коваленко*. – М.: Наука, 1987. – Т. 4. – 374 с.

*Малпас Дж.* Две контрастирующие трондьемитовые ассоциации из перемещенных офиолитов в западном Ньюфаундленде: первое сообщение // Трондъемиты, дациты и связанные с ними породы / *Под ред Ф. Баркера*. – М.: Мир, 1983. – С. 339–353. – https://doi.org/10.1016/b978-0-444-41765-7.50020-4.

*Маслов В.А., Артюшкова О.В.* Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 288 с.

Медноколчеданные месторождения Урала. Условия формирования / *Отв. ред. С.Н. Иванов, В.А. Прокин*. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1992. – 308 с.

Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей / *Под ред. О.А. Богатикова*. – М.: Наука, 1987. – 335 с.

*Сазонова Л.В., Носова А.А.* Зональность клинопироксенов как функция условий остывания магматического расплава (на примере одинитов Урала) // Геохимия. – 1999. – № 12. – С. 1–18.

*Сазонова Л.В., Носова А.А., Наркисова В.В., Горожанина Е.Н., Косарев А.М.* Особенности зональности клинопироксенов из вулканитов (на примере девонских базальтоидов Магнитогорского прогиба, Южный Урал) // Записки ВМО. – 2001. – № 6. – С. 80–95.

*Салихов Д.Н., Серавкин И.Б., Юсупов С.Ш., Косарев А.М., Бурдаков А.Б., Шарафутдинова Л.А., Чернецов Б.С., Волькинштейн М.Я., Губанов Л.И.* Геология, минералогия и геохимия Абейсаз-Бакртауского рудного поля. – Уфа: Гилем, 1997. – 162 с.

*Серавкин И.Б.* Сульфидообразование в субмаринных эффузивно-экструзивных куполах кислого состава (на примере Южного Урала) // Докл. АН СССР. – 1981. – Т. 257, № 6. – С. 1433–1436.

*Серавкин И.Б.* Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. – М.: Наука, 1986. – 268 с.

*Серавкин И.Б.* Вулканогенные колчеданные месторождения Южного Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование / ИГиГ УрО РАН. – Екатеринбург, 2007. – С. 638–669.

*Серавкин И.Б., Косарев А.М., Горожанин В.М.* Изотопные отношения Rb и Sr и радиологический возраст вулканогенных комплексов баймак-бурибаевской ($D_1e$), ирендыкской ($D_1$–$D_2ef$) и карамалыташской ($D_2ef$) свит // Геологический сборник № 3 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 2003. – С. 141–151.

*Серавкин И.Б., Цветкова А.А.* Строение Магнитогорского мегасинклинория в свете палеовулканологических реконструкций и геофизических данных // Вулканизм и рудообразование Урала. – Уфа: БФАН СССР, 1982. – С. 19–32.

Среднепалеозойский вулканизм Башкирского Зауралья и связь с ним колчеданного оруденения. – Уфа: Изд-во БФАН СССР, 1983. – 116 с.

Стратиграфия и корреляция вулканогенных комплексов основных медноколчеданных районов Южного Урала / *В.А. Маслов, В.Л. Черкасов, В.Т. Тищенко, И.А. Смирнова, О.В. Артюшкова, В.В. Павлов*. – Уфа: УфНЦ РАН, 1993. – 216 с.

Трондъемиты, дациты и связанные с ними породы / *Под ред. Ф. Баркера*. – М.: Мир, 1983. – 488 с. – https://doi.org/10.1016/c2009-0-07394-2.

*Фролова Т.И.* Геосинклинальный вулканизм. Проблемы происхождения и размещения магматических формаций на примере восточного склона Южного Урала: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. – М., 1970. – 30 с.

*Nakamura N.* Determination of REA, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites // Geochim. Cosmohim. Acta. – 1974. – V. 38, No. 5. – P. 757–775. – https://doi.org/10.1016/0016-7037(74)90149-5.

*Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Petrology. – 1984. – V. 25. – P. 956–983. – https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956.

*Smith D., Lindsley D.* Stable and metastable augite crystallization trends in a single basalt flow // Amer. Miner. – 1971. – V. 56. – P. 225–233.

*Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Y., Brown D.* Arc-continent collision in the Southern Urals: Petrogenetic aspects of the Forearc – arc Complex // Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present. Geophysical Monograph. – 2002. – V. 132. – P. 101–134. – https://doi.org/10.1029/132gm07.

*Sun S.-S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in ocean basins: Geol. Soc. Spec. Publ. – London, 1989. – V. 42. – P. 313–345. – https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19.

## *References:*

*Art Dzh.G.* Nekotorye elementy-primesi v trond'emitakh — ikh znachenie dlya vyyasneniya genezisa magmy i paleotektonicheskikh uslovii [Some Trace Elements in Trondhjemites-Their Implications to Magma Genesis and Paleotectonic Setting] // Trond'emity, datsity i svyazannye s nimi porody / Pod red. F. Barkera. M.: Mir, 1983. P. 99–105 (in Russian).

*Bobokhov A.S., Gorozhanin V.M., Kuz'min S.A.* Strontsievoizotopnye dannye dlya kislykh vulkanitov Magnitogorskogo megasinklinoriya Yuzhnogo Urala [Strontium isotope data for acid volcanic rocks of the Magnitogorsk megasynclinorium of the Southern Urals]. Preprint doklada Prezidiumu BNTs UrO AN SSSR. Ufa, 1989. 24 p. (in Russian).

*Bogatikov O.A., Tsvetkov A.A.* Magmaticheskaya evolyutsiya ostrovnykh dug [Magmatic evolution of island arcs]. M.: Nauka, 1988. 248 p. (in Russian).

*Borodaevskaya M.B., Krivtsov A.I., Kurbanov N.K., Shirai E.P.* Nekotorye voprosy strukturno-formacionnogo raionirovaniya paleovulkanicheskikh kolchedanonosnykh oblastei [Some questions of structural and formational zoning of paleovolcanic massive sulfide areas] // Voprosy paleovulkanizma mednokolchedannykh provincii Yuzhnogo Urala i Severnogo Kavkaza. M., 1970. P. 3–19. (Trudy TsNIGRI; Is. 92) (in Russian).

*Dir U.A., Khaui R.A., Zusman Dzh.* Porodoobrazuyushchie mineraly [Rock-forming minerals]. M.: Mir, 1965. T. 2. Tsepochechnye silikaty. 407 p. (in Russian).

*Frolova T.I.* Geosinklinal'nyi vulkanizm. Problemy proiskhozhdeniya i razmeshcheniya magmaticheskikh formatsii na primere vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala [Geosynclinal volcanism. Problems of origin and placement of magmatic formations at the example of the Eastern slope of the Southern Urals]: Avtoref. dis. ... d-ra of geology. M., 1970. 30 p. (in Russian).

*Gorozhanin V.M.* Rol' kontaminatsii v proiskhozhdenii kislykh vulkanitov Magnitogorskogo megasinklinoriya [The role of contamination in the origin of acidic volcanic rocks of the Magnitogorsk megasynclinorium] // Mikroelementy v magmaticheskikh, metamorficheskikh i rudnykh formatsiyakh Urala. Ufa, 1991. P. 32–39. (BNTs UrO AN SSSR) (in Russian).

Kolchedannye mestorozkhdeniya Baimakskogo rudnogo raiona [VMS Deposits of the Baimak Ore District] / *P.F. Sopko, M.I. Ismagilov, I.B. Seravkin, L.N. Sopko*. M.: Nauka, 1973. 224 p. (in Russian).

*Kosarev A.M.* Siluro-devonskii vulkanizm Buribai-Makanskogo rudnogo raiona Yuzhnyi Ural [Silurian-Devonian volcanism of the Buribay-Makan ore district of the Southern Urals]: Avtoref. dis. ... kand. of geology. M., 1977. 30 p. (in Russian).

*Kosarev A.M., Seravkin I.B., Spadea P., Sazonova L.V., Kherrington R., Gorozhanina E.N.* Evolyutsiya sostavov klinopiroksenov i osobennosti khimizma vulkanitov nizhnedevonsko-eifel'skogo formatsionnogo ryada na zapadnom kryle Magnitogorskogo megasinklinoriya [The evolution of the clinopyroxenes and features of the chemistry of the volcanic rocks of the Lower Devonian-Eifelian formational series on the western wing of the Magnitogorsk megasynclinorium] // Mineralogiya Urala–2003. Miass: IMin UrO RAN, 2003. V. 1: Obshchie voprosy mineralogii i kristallografii. P. 49–55 (in Russian).

*Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B.* Petrologo-geokhimicheskie osobennosti rannedevonsko-eifel'skikh ostrovoduzhnykh vulkanitov Magnitogorskoi zony v geodinamicheskom kontekste. [Petrological-geochemical features of the Early Devonian-Eifelian island-arc volcanics of the Magnitogorsk zone in a geodynamic context] // Lithosfera. 2005. No. 4. P. 22–42 (in Russian).

*Kosarev A.M., Seravkin I.B., Kholodnov V.V.* Geodinamicheskie i petrologo-geokhimicheskie aspekty zonal'nosti Magnitogorskoi kolchedanonosnoi megazony na Yuzhnom Urale. [Geodynamic, petrological and geochemical aspects of zoning Magnitogorsk pyrite Megazone in Southern Ural] // Lithosfera. 2014. No. 2. P. 3–25 (in Russian).

*Kostina R.I.* O vozmozhnykh kislykh differentsiatakh bazal'tovykh ochagov rannegeosinklinal'nykh kontrastnykh formatsii Magnitogorskogo megasinklinoriya [A possible acidic differentiates of basalt magmatic centres of early geosyncline contrasting formations of the Magnitogorsk magasinclinorium] // Zakonomernosti razmeshcheniya poleznykh iskopaemykh Yuzhnogo Urala. Ufa, 1973. P. 36–39 (in Russian).

*Krivtsov A.I., Anisimov I.S., Bikov M.Sh., Volchkov A.G., Zakharov A.A., Chernova I.I., Shepelov V.M.* Strukturno-formatsionnoe raionirovanie yugo-vostochnoi chasti Bashkirskogo Urala [Structural and formational zoning the South-Eastern part of the Bashkirian Urals] // Voprosy paleovulkanizma mednokolchedannykh provintsii Yuzhnogo Urala i Severnogo Kavkaza. M., 1970. S. 19–33. (Trudy / TSNIGRI; Vyp. 92) (in Russian).

*Kuleshov Yu.V., Zaikov V.V.* Mestorozhdenie Tash-Tau — primer devonskikh podvodnykh sul'fidnykh postroek (Yuzhnyi Ural) [Tash-Tau deposit — an example of the Devonian submarine sulphide building (South Urals)]. Miass: UrO RAN, 2005. 158 p. (in Russian).

Magmaticheskie gornye porody. Kislye i srednie porody [Magmatic Rocks: Acid and Intermediate Rocks] / *Eds. V.V. Yarmolyuk, V.I. Kovalenko*. M.: Nauka, 1987. T. 4. 374 p. (in Russian).

*Malpas Dzh*. Dve kontrastiruyushchie trond'emitovye assotsiatsii iz peremeshchennykh ofiolitov v zapadnom N'yufaundlende: pervoe soobshchenie [Two Contrasting Trondhjemite Associations from Transported Ophiolites in Western Newfoundland: Initial Report ] // Trond'emity, datsity i svyazannye s nimi porody / *Ed. F. Barker*. M.: Mir, 1983. P. 339–353 (in Russian).

*Maslov V.A., Artyushkova O.V.* Stratigrafiya i korrelyatsiya devonskikh otlozhenii Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala. [Stratigraphy and correlation of Devonian sedimentary rocks in the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals] Ufa: DizaynPoligrafServis, 2010. 288 p. (in Russian).

Mednokolchedannye mestorozhdeniya Urala. Usloviya formirovaniya [Copper Massive Sulfide Deposits of the Urals: Geological conditions of accommodation] / *Eds. S.N. Ivanov, V.A. Prokin*. Ekaterinburg: UNTs AN SSSR, 1992. 308 p. (in Russian).

*Nakamura N.* Determination of REA, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites // Geochim. Cosmohim. Acta. 1974. V. 38, No. 5. P. 757–775. https://doi.org/10.1016/0016-7037(74)90149-5.

*Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Petrology. – 1984. – V. 25. – P. 956–983. – https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956.

Petrologiya i geokhimiya ostrovnykh dug i okrainnykh morei [Petrology and geochemistry of island arcs and marginal seas] / *Ed. O.A. Bogatikov*. M.: Nauka, 1987. 335 p. (in Russian).

*Sazonova L.V., Nosova A.A.* Zonal'nost' klinopiroksenov kak funktsiya uslovii ostyvaniya magmaticheskogo rasplava (na primere odinitov Urala) [Clinopyroxene zoning as an indicator of the magmatic melt cooling conditions: an example of odinites from the Urals] // Geohimiya. 1999. No. 12. P. 1–18 (in Russian).

*Sazonova L.V., Nosova A.A., Narkisova V.V., Gorozhanina E.N., Kosarev A.M.* Osobennosti zonal'nosti klinopiroksenov iz vulkanitov (na primere devonskikh bazal'toidov Magnitogorskogo progiba, Yuzhnyi Ural) [Character of clinopyroxene zoning in volcanic rocks (at the example of Devonian basalts from Magnitogorsk depression, the South Urals)] / Zapiski Vserossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva. 2001. No. 6. P. 80–95 (in Russian).

*Salikhov D.N., Seravkin I.B., Yusupov S.Sh., Kosarev A.M., Burdakov A.B., Sharafutdinova L.A., Chernetsov B.S., Vol'kinshtein M.Ya., Gubanov L.I.* Geologiya, mineralogiya i geohimiya

Abeisaz-Bakrtauskogo rudnogo polya [Geology, mineralogy and geochemistry of the Abeisaz-Bakrtau ore field]. Ufa: Gilem, 1997. 162 p. (in Russian).

*Seravkin I.B.* Sul'fidoobrazovanie v submarinnykh effuzivno-ekstruzivnykh kupolakh kislogo sostava (na primere Yuzhnogo Urala) [Sulfide formation in the submarine effusive-extrusive domes of acidic composition (by the example of the Southern Urals)] // Dokl. AN SSSR. 1981. V. 257, No. 6. P. 1433–1436 (in Russian).

*Seravkin I.B.* Vulkanizm i kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala [Volcanism and VMS deposits of the Southern Urals]. M.: Nauka, 1986. 268 p. (in Russian).

*Seravkin I.B.* Vulkanogennye kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala [Volcanogenic massive sulfide deposits of the Southern Urals] // Geodinamika, magmatizm, metamorfizm i rudoobrazovanie / IGiG UrO RAN. Ekaterinburg, 2007. P. 638–669 (in Russian).

*Seravkin I.B., Kosarev A.M., Gorozhanin V.M.* Izotopnye otnosheniya Rb i Sr i radiologicheskii vozrast vulkanogennykh kompleksov baimak-buribaevskoi ($D_1$e), irendykskoi ($D_1$–$D_2$ef) i karamalytashskoi ($D_2$ef) svit [Isotopic ratios of Rb and Sr and radiological age of the volcanogenic complexes Baimak-Buribay ($D_1$e), Irendyk ($D_1$–$D_2$ef) and Karamalytash ($D_2$ef) formations] // Geologicheskii sbornik No. 3 / IG UNTS RAN. Ufa, 2003. P. 141–151 (in Russian).

*Seravkin I.B., Tsvetkova A.A.* Stroenie Magnitogorskogo megasinklinoriya v svete paleovulkanologicheskih rekonstruktsii i geofizicheskikh dannykh [The structure of the Magnitogorsk Megasynclinorium in the light of paleovolcanic reconstructions and geophysical data] // Vulkanizm i rudoobrazovanie Urala. Ufa: BFAN SSSR, 1982. P. 19–32 (in Russian).

*Smith D., Lindsley D.* Stable and metastable augite crystallization trends in a single basalt flow // Amer. Miner. 1971. V. 56. P. 225–233.

*Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Y., Brown D.* Arc-continent collision in the Southern Urals: Petrogenetic aspects of the Forearc – arc Complex // Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present. Geophysical Monograph. 2002. V. 132. P. 101–134. https://doi.org/10.1029/132gm07.

Srednepaleozoyskii vulkanizm Bashkirskogo Zaural'ya i svyaz' s nim kolchedannogo orudeneniya. [Middle Paleozoic volcanism of Bashkir Trans Ural region and related massive sulfide mineralization]. Ufa: Izd. BFAN SSSR, 1983. 116 p. (in Russian).

Stratigrafiya i korrelyatsiya vulkanogennykh kompleksov osnovnykh mednokolchedannykh raionov Yuzhnogo Urala [Stratigraphy and correlation of Middle Paleozoic volcanic complexes of main copper-massive sulfide districts of the South Urals] / *V.A. Maslov, V.A. Cherkasov, V.T. Tishchenko, I.A. Smirnova, O.V. Artyushkova, V.V. Pavlov*. Ufa: UfNTS RAN, 1993. 216 p. (in Russian).

*Sun S.-S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in ocean basins: Geol. Soc. Spec. Publ. London, 1989. V. 42. P. 313–345. https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19.

Trond'emity, datsity i svyazannye s nimi porody [Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks] / *Ed. F. Barker*. M.: Mir, 1983. 488 p. (In Russian).

Vulkanizm Yuzhnogo Urala [Volcanism of Southern Urals] / *I.B. Seravkin, A.M. Kosarev, D.N. Salikkhov, S.E. Znamenskii, Z.I. Rodicheva, M.V. Rykus, V.I. Snachev*. M.: Nauka, 1992. 197 p. (in Russian).

*Znamenskii S.E., Kosarev A.M.* Stroenie i litologo-fatsial'nye osobennosti porod aktauskoi svity [Structure and litologo-facial feature of the rocks Aktau formation] // Geologicheskii sbornik Vo 3 / IG UNTS RAN. Ufa, 2003. P. 109–112 (in Russian).

*Сведения об авторах*

**Косарев Александр Михайлович**, канд. геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: amkosarev@mail.ru

**Серавкин Игорь Борисович**, д-р геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: seravkin@ufaras.ru

**Шафигуллина Гульнара Турдибаевна**, канд. геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: shafigullina_g@mail.ru

*About the authors:*

**Kosarev Alexander Michailovich**, Candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: amkosarev@mail.ru

**Seravkin Igor Borisovich**, Doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: seravkin@ufaras.ru

**Shafigullina Gulnara Turdibaevna**, Candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: shafigullina_g@mail.ru