

УДК 551.21+552.11

**ХИМИЗМ МИНЕРАЛОВ КИСЛЫХ ЭКСТРУЗИВНЫХ ПОРОД  
ВОСТОЧНО-БАЙМАКСКОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА  
И ПРОБЛЕМА УЧАСТИЯ ГИБРИДИЗМА В ИХ ГЕНЕЗИСЕ**

**А.М. Косарев<sup>1</sup>, С.А. Светов<sup>2</sup>, С.Ю. Чаженгина<sup>2</sup>, Г.Т. Шафигуллина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт геологии УФИЦ РАН, 450077, Россия, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 16/2;*

*amkosarev@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск; geoweb@krc.karelia.ru*

**MINERAL CHEMISTRY OF FELSIC EXTRUSIVE ROCKS  
OF THE EAST BAYMAK AREA OF THE SOUTHERN URALS  
AND A PROBLEM OF HYBRIDISM IN THEIR GENESIS**

**A.M. Kosarev<sup>1</sup>, S.A. Svetov<sup>2</sup>, S.Yu. Chazhengina<sup>2</sup>, G.T. Shafigullina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Geology UFRC RAS, 450077, Russia, Ufa, Karl Marks str., 16/2;*

*amkosarev@mail.ru*

<sup>2</sup>*Institute of Geology, KarRC RAS, Petrozavodsk;*

*geoweb@krc.karelia.ru*

Баймакский рудный район содержит многочисленные мелкие месторождения золото-колчеданно-полиметаллической рудной формации, что выделяет этот район среди прочих, расположенных в южной части Западно-Магнитогорской зоны (Серавкин, 1986). Особенностью Баймакского блока по геофизическим данным является пониженный уровень интенсивности гравитационного поля, обусловленный значительными массами кислых пород в геологическом разрезе блока и пониженной мощностью гранулито-базитового слоя (Серавкин, Цветкова, 1982). Вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы, вмещающие колчеданное оруденение в Баймакском рудном районе, относятся к верхней подсите баймак-бурибаевской свиты ( $D_1ems_2^2$ ) и слагают верхнюю часть разреза фронтальной островной дуги (Косарев и др., 2005). Объектом исследования являются кислые породы экструзивно-субвулканической фации Восточно-Баймакской зоны, содержащие фенокристы кварц-роговообманково-пироксен-плагиоклазового состава. Уникальность этих пород заключается в том, что в них в виде реликтов содержится неизменённый клинопироксен. Изучение химического состава минералов позволило установить, что кислые породы экструзивно-субвулканической фации сформировались при участии процессов гибринизма, что является одной из причин повышенной магнезиальности изученных кислых пород, принадлежащих к магнезиальной известково-щелочной петрохимической серии.

Илл. 3. Табл. 5. Библ. 29.

*Ключевые слова:* Баймакский район, колчеданное оруденение, кислые породы, гибринизм, пироксены, хлориты, рудопроявление «Звёздное».

The Baymak ore district hosts numerous small Au-rich massive sulfide polymetallic deposits, which is a distinctive feature in comparison with other regions of the West-Magnitogorsk zone (Seravkin, 1986). According to geophysical data, the Baymak block is characterized by low level of gravity field intensity because of significant volume of felsic rocks and reduced thickness of the granulite-basite layer (Seravkin, Tsvetkova, 1982). The volcanic and volcanosedimentary rocks, which host massive sulfide deposits of the district, belong to the upper subformation of the Baymak-

Buribay Formation (D1ems22) in the upper part of the frontal island arc (Kosarev et al., 2005). The objects of study are felsic rocks of extrusive and subvolcanic facies of the East Baymak district with phenocrysts of quartz, hornblende, pyroxene, and plagioclase. These rocks are characterized by unusual presence of relic unaltered clinopyroxene. The study of chemical composition of minerals allowed us to show that the formation of extrusive and subvolcanic felsic rocks was affected by hybridism processes responsible for the high Mg contents. These rocks belong to Mg calc-alkaline petrochemical series.

Figures 3. Tables 5. References 29.

*Key words:* Southern Urals, Baymak district, massive sulfide deposits, extrusive and subvolcanic felsic rocks, hybridism, pyroxene, chlorite, Zvezdnoe ore occurrence.

## Введение

Баймакский рудный район имеет сложное геологическое строение, характеризуясь развитием разновозрастных вулканогенных, интрузивных, вулканогенно-осадочных и терригенных пород.

Вулканогенные и, в меньшей мере, вулканогенно-осадочные породы слагают верхнюю подсвиту баймак-бурибаевской свиты (Биков и др., 1973), выделенную позже в верхнетаналыкский палеовулканический комплекс (Вулканизм Южного Урала, 1992), распространённый в пределах Тубинско-Гайского палеовулканического пояса. Верхнетаналыкский палеовулканический комплекс слагает верхнюю часть геологического разреза фронтальной островной дуги (Spadea et al., 2002; Косарев и др., 2005, 2014) раннедевонского позднеэемского возраста (Стратиграфия и корреляция..., 1993; Маслов, Артюшкова, 2010). Характерной особенностью Баймакского рудного района являются большие объёмы кислых пород различной фациальной принадлежности и особый баймакский золото-колчеданно-полиметаллический тип оруденения, что диктует необходимость выделения из состава верхнетаналыкского комплекса особого баймакского колчеданосного палеовулканического комплекса.

Вулканические породы рудоносного баймакского комплекса всего ряда от основных до кислых пород относятся к известково-щелочной магнезиальной серии. Однако, природа повышенной магнезиальности для кислых пород из-за отсутствия детальных химических данных по составу минералов не была выяснена.

## Методы исследования

При изучении керна скважин геологического разреза рудопроявления Звёздного в Восточно-Бай-

макской подзоне, в кислых экструзивных породах надрудной части разреза авторами были обнаружены реликты неизменённого клинопироксена.

В данной работе изучение химического состава и морфологии минералов (включая клинопироксены) 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 съёмки 90 сек. Для исследования состава пироксенов применялся метод профилирования (съёмка по профилю). Компьютерная обработка микрозондовых анализов минералов осуществлялась с помощью программы «MINAL» (автор Д.В. Доливо-Добровольский).

## Краткая геологическая характеристика Семёновско-Юлалинской площади Восточно-Баймакской зоны

Восточно-Баймакская зона Баймакского рудного района включает пять поперечных блоков (Сопко и др., 1973): 1 – Тубинский; 2 – Верхнеуральский; 3 – Кульюртгау-Баймакский; 4 – Семёновско-Юлалинский; 5 – Балтатауский. В Семёновско-Юлалинском блоке наблюдается переслаивание вулканитов базальтового, андезибазальтового, андезитового, андезидацитового, дацитового и риодацитового составов, обладающих довольно устойчивым падением на восток под углами 40–60 °С. В низах разреза Семёновско-Юлалинской площади вскрываются диабазы, иногда переходящие в андезибазальты и их вулканокластиты. Местами в виде линзообразных прослоев мощностью до 100 м встречаются брекчии смешанного состава, состоящие из обломков базальтов и кислых пород. Выше залегает горизонт дацитов мощностью до 300 м, перекрытый эффу-

живными андезитами и андезибазальтами и их лавокластитам с отдельными линзообразными прослоями тефроидов. Выше снова залегают эффузивные дациты и их лавокластиты, кверху сменяющиеся мощным горизонтом переслаивающихся между собой вулканокластитов андезибазальтового, андезитового и дацитового составов и смешанного состава. Мощность пачки эффузивов и лавокластитов дацитового, андезидацитового и андезибазальтового состава достигает 700 м. Туфовая пачка смешанного состава перекрыта эффузивными дацитами и их лавокластитам, среди которых встречаются линзообразные тела андезитов, андезибазальтов и базальтов.

Ещё восточнее и выше по разрезу, по данным В.Н. Зайцева, залегают не выходящие на поверхность своеобразные кварц-пироксен-плагиоклазовые дациты, риодациты и их вулканокластиты. Эти породы занимают почти всю широкую долину между Семеновско-Юолалинской возвышенностью и хребтом Ирендык и имеют мощность от 200 до 1000 м, перекрываясь толщей пироксен-плагиоклазовых порфиритов, вулканических брекчий и туффигов ирендыкской свиты.

Кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазовые вулканы, в значительной части, представляющие субвулканические, экструзивные, а также эффузивные и вулканокластические фации, развиты и южнее на рудном поле Балтатауского месторождения, в Центрально-Баймакской зоне на рудных полях Майского и Вишневого месторождений и в промежутке между ними (Косарев, 1977; Среднепалеозойский ..., 1983; Серавкин и др., 2001).

Состав кварц-пироксен-плагиоклазовых и кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазовых вулканических пород варьирует от андезибазальтового и андезитового до дацитового и риодацитового составов.

#### **Краткая петрохимическая и геохимическая характеристика экструзивно-субвулканических кислых пород**

По петрохимическим характеристикам кислые породы Баймакского рудного района представлены эффузивными и в экструзивно-субвулканическими дацитами и риодацитами.

Как следует из таблицы 1, для кислых эффузивных и субвулканических пород Баймакского района характерны: 1 – преобладание среди

эффузивных и субвулканических пород дацитов и риодацитов (Сопко и др., 1973) при незначительном количестве вулканических пород риодитового состава с концентрациями (мас. %):  $\text{SiO}_2 > 73$ , 2 – низкие и умеренные концентрации  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , составляющие 12.99–13.2; 3 – повышенные количества  $\text{MgO}$ , варьирующие в интервале 1.96–5.5 (однако, в большинстве случаев концентрации магния повышены); 4 – повышенная сумма содержаний  $\text{FeII}$  и  $\text{FeIII}$  в части субвулканических и интрузивных пород, достигающая 6.47; 5 – повышенные концентрации  $\text{Na}_2\text{O}$  4.8–5.1 и низкие содержания  $\text{K}_2\text{O}$  0.08–0.93 %.

Анализ петрохимических и геохимических материалов проводился с помощью серии диаграмм петрогенных оксидов и микроэлементов (Косарев, Измайлова, 2013), а также спайдер-диаграмм, в которых использованы нормированные по NMORB и хондриту концентрации компонентов.

На диаграммах TAS и AFM (Косарев, Измайлова, 2013) видно, что все породы имеют нормальную щёлочность в рамках преимущественно известково-щелочной серии.

При анализе соотношений  $\text{MgO}$  и  $\text{SiO}_2$  выясняется, что кислые породы Баймакского района, также как основные и средние, обладают повышенными содержаниями  $\text{MgO}$ , достигающими 5.53 мас. % в даците, содержащем во вкрапленниках пироксен, роговую обманку, плагиоклаз и кварц (см. табл. 1, пробы 4186/421, 4186/415.5).

По соотношениям количеств  $\text{Rb}$  с  $\text{Y}$  и  $\text{Nb}$ ,  $\text{Rb}$  с  $\text{Yb}$  и  $\text{Ta}$ ,  $\text{Nb}$  с  $\text{Y}$  (Pearce et al., 1984), фигуративные точки проанализированных кислых пород располагаются в поле составов надсубдукционных вулканических дуг (Косарев, Измайлова, 2013).

По концентрациям  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Yb}$  кислые эффузивные, субвулканические и интрузивные породы Баймакского рудного района занимают позицию, промежуточную между низкоглиноземистыми (океаническими) и высокоглиноземистыми (континентальными) трондjemитами (Арт, 1983), соответствующую остроудужным составом.

#### **Химические составы минералов из кислых экструзивных пород**

*Химизм клинопироксенов из экструзивно-субвулканических дацитов участка «Звёздного».* Клинопироксены из вулканических пород баймакского комплекса определены в двух пробах (6 определений) (табл. 2), представленных базальтами и андезиба-

Таблица 1  
Содержание петрогенных окислов (мас. %) и редких элементов (г/т) в вулканитах Баймакского рудного района

Table 1  
Content of major (wt. %) and trace elements (ppm) of rocks of the Baymak ore district

№ обр.	4186/415.5	4186/421	0123А	0131Б
SiO <sub>2</sub>	63.05	64.13	67.6	69.67
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.25	0.33	0.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.99	13.13	13.2	13.09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.47	6.04	6.27	3.61
FeO				
MnO	0.117	0.099	0.113	0.066
MgO	5.53	4.56	3.88	1.96
CaO	2.19	2.67	0.54	2.02
Na <sub>2</sub> O	4.99	5.04	5.17	4.85
K <sub>2</sub> O	0.75	0.83	0.08	0.93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.031	0.029	0.094	0.089
ППП	2.25	2.95	2.54	2.03
Сумма	98.63	99.75	99.84	98.58
Cr	105.3	89.0	18.0	17.0
Co	13.0	14.0	8.00	1.00
Ni	25.0	22.0	1.00	8.00
Zn	70.0	20.0	33.0	180
Rb	15.0	15.0	7.00	14.0
Sr	159.0	220.0	80.0	261
Zr	69.0	67.0	117	123
Sc	26.4			
Y	23.0	20.0	34.0	19.0
Nb	9.00	8.0	14.0	8.00
Ba	177	167	48.0	254
V	122	111	83.0	70.0
La	1.47	2.97	1.48	5.22
Ce	4.10	6.98	4.99	11.5
Pr	0.70	0.95	1.04	1.46
Nd	4.00	4.49	7.14	6.50
Sm	1.54	1.37	3.20	1.92
Eu	0.069	0.79	0.69	0.36
Gd	2.48	2.25	4.52	2.49
Tb	0.38	0.38	0.68	0.35
Dy	2.36	2.52	4.28	2.00
Ho	0.53	0.60	0.94	0.43
Er	1.53	1.83	2.68	1.16
Tm	0.24	0.30	0.40	0.17
Yb	1.34	1.75	2.01	0.89
Lu	0.23	0.33	0.37	0.14
Th	0.78	0.84	1.40	1.45
U	0.072	0.55	0.69	0.69
Hf	1.41	1.41	2.18	2.39
Ta			0.19	0.013

Примечание. Пустая клетка – не определялось.

Notes. Empty boxes – not analyzed.

зальтами. 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 «Звёздном» в крупнопорфировых кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазовых дацитах экструзивно-субвулканической фации (скв. 4186, интервал 414.5–424 м, проба 4186/421) проведено микрозондовое изучение пироксенов (рис. 1). 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 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 зёрен с дезинтеграцией фенокристалла, но без значительных перемещений. Интенсивная хлоритизация фенокристов пироксена в сочетании с перемещениями дезинтегрированных фрагментов друг относительно друга, затрудняют 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 (см. рис. 1а). Вариации составов клинопироксенов имеют следующие интервалы: эндиопсид (Wo<sub>37.1–37.7</sub>En<sub>42.16–51.5</sub>Fs<sub>6.35–7.35</sub>); салит (Wo<sub>47.53–49.9</sub>En<sub>34.35–38.57</sub>Fs<sub>13.9–15.77</sub>); авгит (Wo<sub>25.87–36.93</sub>En<sub>39.16–45.14</sub>Fs<sub>17.93–23.62</sub>); субкальциевый авгит (Wo<sub>18.9–22.9</sub>En<sub>38–50.59</sub>Fs<sub>19.65–28.29</sub>).

Петрографические наблюдения и известные по публикациям минеральные ассоциации кислых пород не позволяют считать, что все разновидности

Таблица 2

**Химический состав (мас. %) пироксенов субвулканических дацитов (образец 4186/421) восточной части Баймакского рудного района**

Table 2

**Chemical composition (wt. %) of pyroxene of subvolcanic dacite (sample 4186/421) of the East Baymak ore district**

№ участков	8					9			10		11	
№ спектров	8_1	8_2	8_3	8_4	8_7	9_1	9_2	9_3	10_1	10_2	11_1	11_2
SiO <sub>2</sub>	52.41	53.96	52.39	56.24	53.26	52.94	52.52	53.72	55.83	55.52	55.79	52.98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.24	1.37	2.71	1.48	–	–	–	1.77	1.34	1.41	1.20	3.33
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	0.56	–	–	–	–	–	–	–	–	–
FeO	5.92	5.36	5.47	12.72	8.87	9.35	9.28	5.44	13.36	12.82	13.01	15.55
MnO	–	–	–	–	–	0.64	0.78	–	–	0.59	0.51	–
MgO	17.25	19.04	17.39	16.16	13.79	12.21	12.46	18.77	16.35	16.12	16.17	15.24
CaO	21.19	20.28	21.48	13.39	23.30	24.13	23.69	20.30	13.13	13.54	13.32	12.35
Sum	99.99	100	100	99.99	99.22	99.26	98.74	100	100	100	99.99	99.45
Коэффициенты в формуле (расчет на 20 атомов O)												
Si	1.91	1.96	1.91	2.10	2.01	2.01	2.01	1.95	2.09	2.08	2.09	2.00
Al	0.139	0.058	0.117	0.065	–	–	–	0.076	0.059	0.062	0.053	0.148
Al <sup>VI</sup>	0.053	0.018	0.030	–	–	–	–	0.028	0.000	–	–	–
Cr	–	–	0.016	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Fe <sup>III</sup>	0.033	0.021	0.040	–	–	–	–	0.019	–	–	–	–
Fe <sup>II</sup>	0.147	0.141	0.127	0.397	0.279	0.296	0.296	0.146	0.417	0.400	0.407	0.491
Mn	–	–	–	–	–	0.021	0.021	–	–	0.019	0.016	–
Mg	0.938	1.030	0.946	0.900	0.774	0.691	0.691	1.016	0.911	0.898	0.902	0.858
Ca	0.829	0.789	0.840	0.536	0.940	0.982	0.982	0.790	0.526	0.543	0.534	0.500
Wo	37.10	37.44	37.69	36.19	47.53	49.88	49.88	37.14	34.50	34.55	34.89	27.92
En	46.90	51.51	47.32	42.16	38.57	34.35	34.35	50.82	43.02	42.61	42.64	41.32
Fs	7.35	7.05	6.35	18.59	13.90	15.77	15.77	7.30	19.70	19.88	19.98	23.62

Продолжение таблицы 2

Continuation of Table 2

№ участков	11				13	14		
№ спектров	11_3	11_4	11_5	11_6	13_4	14_2	14_3	14_5
SiO <sub>2</sub>	50.12	51.45	56.51	56.17	55.85	48.47	53.59	55.52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.88	6.03	–	0.81	1.11	6.57	3.24	1.42
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–
FeO	15.73	14.53	12.14	12.80	13.24	17.21	13.06	13.01
MnO	0.58	–	–	0.59	–	0.52	–	–
MgO	14.78	14.46	17.12	16.27	16.39	13.37	18.85	16.57
CaO	11.96	12.45	13.38	13.36	13.42	11.24	11.26	13.48
Sum	98.04	98.90	99.14	99.99	99.99	97.36	99.99	99.99
Коэффициенты в формуле (расчет на 20 атомов O)								
Si	1.92	1.95	2.12	2.10	2.09	1.88	1.98	2.07
Al	0.220	0.269	0.000	0.036	0.049	0.301	0.141	0.063
Al <sup>VI</sup>	0.142	0.219	–	–	–	0.184	0.118	–
Cr	–	–	–	–	–	–	–	–
Fe <sup>3+</sup>	–	–	–	–	–	–	–	–
Fe <sup>2+</sup>	0.503	0.460	0.381	0.400	0.413	0.558	0.402	0.405
Mn	0.019	0.000	0.000	0.019	0.000	0.017	0.000	0.000
Mg	0.844	0.816	0.958	0.907	0.913	0.773	1.036	0.921
Ca	0.491	0.505	0.538	0.536	0.537	0.468	0.445	0.539
Wo	21.91	25.87	36.93	35.78	34.92	18.88	22.88	33.95
En	41.55	39.16	45.14	42.79	43.21	38.04	50.59	43.80
Fs	25.70	22.06	17.93	19.75	19.56	28.29	19.65	19.27

Примечание. Здесь и далее: прочерк – не обнаружено, пустая клетка – не определялось.

Note. Here and hereafter: dash – not found, empty boxes – not analyzed.

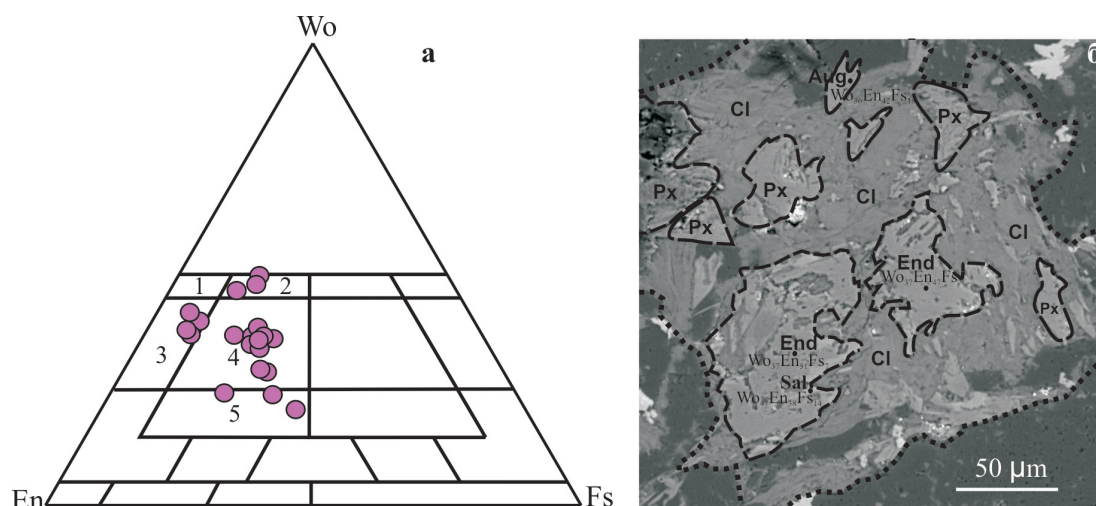


Рис. 1. Соотношения Mg, Ca и Fe в пироксенах вулканитов баймакского колчеданосного комплекса на классификационной диаграмме En-Wo-Fs (обр. 4186/421 – субвулканический дацит) (а) и электронно-микроскопическое изображение пироксена (участок № 8) (б):

а – поля составов пироксенов по [Дир и др., 1965]: 1 – диопсид, 2 – салит, 3 – эндиопсид, 4 – авгит, 5 – субкальциевый авгит; б – сохранившиеся фрагменты кристалла пироксена (Px) (штриховая линия), между которыми расположена замещённая хлоритом (Cl) часть фенокристалла пироксена. Пунктирной линией показаны границы первичного кристалла пироксена.

Px – пироксен, Cl – хлорит, Aug – авгит, End – эндиопсид, Sal – салит.

Fig. 1. En-Wo-Fs diagram for the Mg, Ca, and Fe ratios of pyroxenes of the volcanic rocks of the Baymak massive sulfide-bearing complex (sample 4186/421 – subvolcanic dacite) (a) and SEM image of pyroxene (site № 8) (b):

a – compositional field of pyroxene after [Deer et al., 1965]: 1 – diopside, 2 – salite, 3 – endiopside, 4 – augite, 5 – subcalcic augite; б) relic pyroxene crystal (Px) (hatch lines) replaced by chlorite (Cl). Dotted line shows the boundary of primary pyroxene crystal.

Px – pyroxene, Cl – chlorite, Aug – augite, End – endiopside, Sal – salite.

фенокристов 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 своём представлены разновидностями от авгита

до ферроавгита (Магматические..., 1987). Клинопироксены, варьирующие по составу от эндипсидов 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 формированию кислых вулканических пород (Богатиков, Цветков, 1988). Образование субкальциевых авгитов в закалённых эффузивах базальтового состава провинции Карру связывается Уокером и Полдерваартом (Дир и др., 1965) с быстрым охлаждением расплава.

На рис. 1б (участок микрозондового изучения № 8) по одному из фенокристов пироксена сделана попытка реконструкции его химической зональности. На фотографии видно, что первичное зерно пироксена в значительной мере замещено хлори-

том (примерно на 60 % площади). Реликты пироксена имеют неправильную извилистую, в целом изометрическую форму. Четыре зерна реликтового пироксена, тяготеющие к центральной части частично замещённого хлоритом фенокриста пироксена, имеют состав: эндиопсид (3 зерна), салит (1 зерно, 3 определения) и одно зерно (№ 4, см. рис. 1б) 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.

**Альбит** из экструзивных дацитов Восточно-Баймакской зоны присутствует в породе в виде таблитчатых фенокристов размером в поперечнике до 3–4 мм, микрофенокристов и микролитов призматической формы. Микропризматически-зернистая структура основной массы сочетается с метасферолитовой, микрозернистой и аксиолитовой микроструктурами. Наиболее крупные зёрна плагиоклаза имеют неровные, корродированные границы, изредка с «заливами», выполненными основной массой. В некоторых кристаллах плагиоклаза под микроскопом видна реликтовая зональность, скорее всего, свидетельствующая об относительно основном (олигоклаз-андезин?) первичном составе плагиоклаза. Зональная картина фиксируется удлинёнными чешуйчатыми агрегатами хлорита, зонами пелитизации различной интенсивности, зёрнами эпидота, свидетельствующими о деанортитизации и удлинёнными редкими зёрнами циркона. Большая часть кристаллов плагиоклаза содержит мелкие чешуйки серицита. Встречаются оскольчатые зёрна плагиоклаза.

Химический состав плагиоклаза соответствует альбиту  $Ab_{91}Or_9An_0$  (табл. 3). Содержание  $SiO_2$  варьирует от 66.94 до 68.68 мас. %,  $Al_2O_3$  19.6–22.37 мас. %,  $Na_2O$  9.48–11.86 мас. %,  $K_2O$  0.22–2.37 мас. %. По данным химических анализов произошла полная деанортитизация плагиоклазов.

**Хлорит** является одним из главных минералов зеленокаменно изменённых вулканитов и околорудных метасоматитов колчеданных месторождений Южного Урала. В исследуемых кислых породах хлорит присутствует в виде мелких чешуек в

основной массе дацитов (проба 4186/421), образует псевдоморфозы по пироксену, по амфиболу (магматическому?), присутствует вместе с актинолитом в псевдоморфозах по тёмноцветным минералам. Колебания главных оксидов в хлоритах имеют следующие пределы (см. табл. 4) в мас. %:  $FeO_t$  22.78–26.20;  $MgO$  21.06–23.78;  $Al_2O_3$  19.05–21.51. На классификационной диаграмме (Неу, 1954), хлорит из дацита Восточно-Баймакской зоны соответствует (проба 4186/421) пикнохлориту (рис. 2).

По данным (Пузанков и др., 2010), изучавших хлориты на Родниковом золото-серебряном месторождении Южной Камчатки, хлориты, замещающие амфибол, отличаются повышенной железистостью. от хлоритов, замещающих пироксен, Пикнохлориты Восточно-Баймакской зоны совпадают по составу с разновидностями, замещающими роговую обманку в зонах пропилитизации.

Для оценки температуры кристаллизации хлоритов использовались следующие хлоритовые геотермометры: 1) геотермометры, основанные на количестве ионов  $Al^{IV}$  в хлоритах (Cathelineau, 1988); 2) геотермометры, основанные на количестве ионов  $Al^{IV}$  и значения  $Fe/(Fe + Mg)$  (Kranidiotis, MacLean, 1987).

Таблица 3

**Химический состав (мас. %) альбита (дацит, образец 4186/421)**

Table 3

**Chemical composition (wt %) of albite (dacite, sample 4186/421)**

№ ан.	3_4	3_6	6_2	7_6	10_5	13_6
$SiO_2$	66.94	67.61	65.78	68.68	67.65	68.33
$Al_2O_3$	21.23	20.44	22.37	19.80	20.06	19.60
$Na_2O$	10.22	11.32	9.48	11.52	11.23	11.86
$K_2O$	1.61	0.63	2.37	–	1.07	0.22
Коэффициенты в формуле (расчет на 20 атомов O)						
Si	2.94	2.95	2.90	2.93	2.96	2.98
Al	1.10	1.05	1.16	0.99	1.03	1.01
Na	0.87	0.96	0.81	0.95	0.95	1.00
K	0.09	0.03	0.13	0.13	0.06	0.01
tot. cat.	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
tot. oxy.	8.01	7.98	8.01	7.88	7.97	7.97
An	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ab	90.61	96.48	85.87	88.08	94.12	98.79
Or	9.39	3.52	14.13	11.92	5.88	1.21

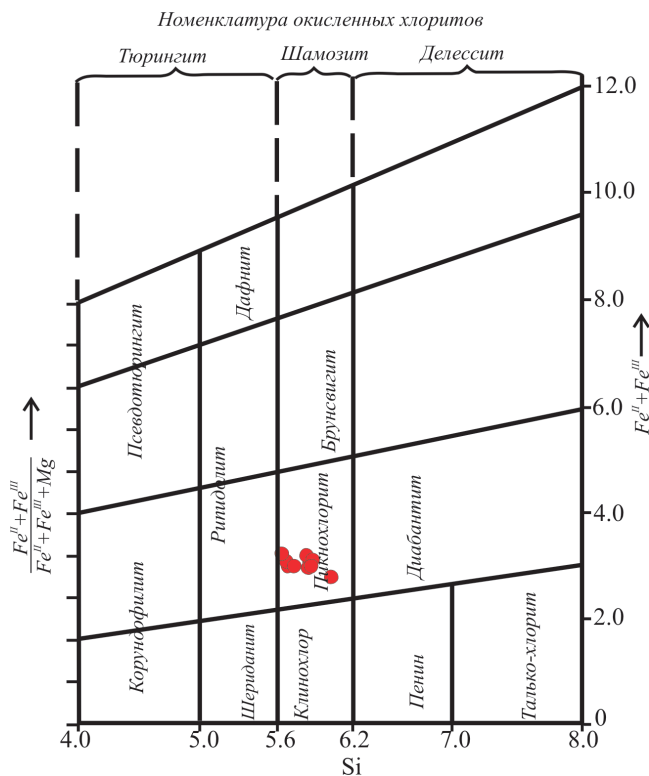


Рис. 2. Точки составов хлоритов (риодацит, образец 4186/421) на классификационной диаграмме (Hey, 1954).

Fig. 2. Data points of composition of chlorite (rhyodacite, sample 4186/421) on the classification plot (Hey, 1954).

На основании разработок по использованию химического состава хлорита для определения температур его кристаллизации (Kranidiotis, MacLean, 1987; Cathelineau, 1988) установлено, что пикнохлориты из кислых пород Восточно-Баймакской зоны формировались в процессе пропилитизации вулканитов в интервале температур 224–313 °С (табл. 4, рис. 3).

**Эпидотом** замещены пироксен и плагиоклаз. Химический состав соответствует эпидоту (в мас. %): SiO<sub>2</sub> 37.85–38.73; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20.9–23.36; FeO 13.52–15.58; CaO 24.0–25.5 (табл. 5).

**Апатит.** Получено лишь 2 определения F и Cl в апатитах (см. табл. 5): Cl 0.56–0.99 мас. %, F 2.7–3.33 мас. %. По соотношениям Cl и F (Холоднов, Бушляков, 2002), одна из точек расположена вблизи границы составов апатитов Гайского и Талганского месторождений, вторая точка в области сочленения полей фигуративных точек Гайского и Подольского месторождений (см. табл. 5). Для обоснованных выводов по химизму апатитов (проба 4186/421) необходимы дополнительные сведения.

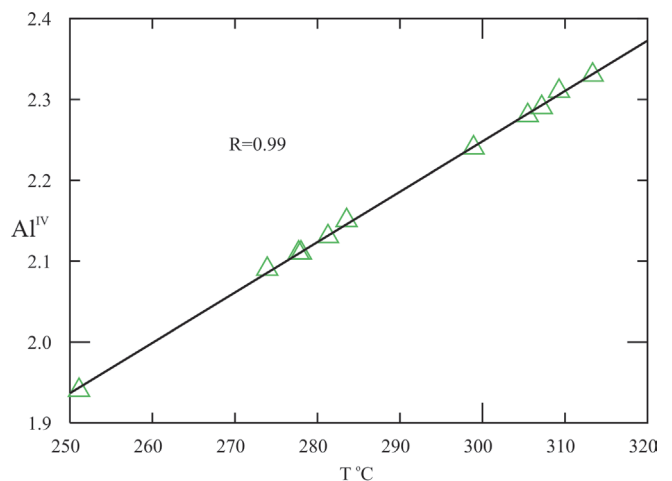


Рис. 3. Содержание Al<sup>IV</sup> в зависимости от температуры образования хлорита в вулканитах Баймакского рудного района (дацит, образец 4186/421).

Расчет температуры проведен по формуле:  $T \text{ } ^\circ\text{C} = -61.92 + 321.97 \text{ Al}^{\text{IV}}$  (Cathelineau, 1988), где Al<sup>IV</sup> – количество алюминия в тетраэдрической координации.

Fig. 3. Al<sup>IV</sup> content depending on formation temperature of chlorite in volcanic rocks of the Baymak ore district (dacite, sample 4186/421).

Temperature is calculated following the formula  $T \text{ } ^\circ\text{C} = -61.92 + 321.97 \text{ Al}^{\text{IV}}$  (Cathelineau, 1988), where Al<sup>IV</sup> is the amount of Al in tetrahedral coordination.

## Выводы

1. Кислые породы экструзивно-субвулканической фации Восточно-Баймакской подзоны в надрудной зоне рудопроявлений Утреннего и Звёздного содержат клинопироксены ксеногенного происхождения, что позволяет считать, что при их формировании участвовали процессы гибридизма. Состав клинопироксенов близок к присутствующим в составе бонинитобазальтов бурибайского комплекса, предшествующего образованию баймакского комплекса.

2. Изученные экструзивные кислые породы по геохимическим характеристикам близки к кислым породам подольского комплекса и Суурганского участка Южно-Ирендыкской подзоны, имеющим переходный характер от известково-щелочной к толеитовой островодужной серии.

3. После отложения рудных залежей и их перекрытия, в надрудной зоне сохранялись высокие температуры и формировалась пропилитовая зона околорудного метаморфизма. По химическим составам хлоритов пробы 4186/421 температурный интервал составлял 224–313 °С.



Таблица 4

## Химический состав (мас. %) хлоритов вулканитов Баймакского рудного района (дацит, образец 4186/421)

Table 4

## Chemical composition (wt. %) of chlorite in volcanic rocks of the Baymak ore district (dacite, sample 4186/421)

№ участков	3		4	5		6	7	8		13	15
№ спектров	3_2	3_3	4_2	5_2	5_4	6_6	7_4	8_5	8_6	13_5	15_2
SiO <sub>2</sub>	31.64	31.59	31.40	31.12	31.82	32.44	33.66	32.43	32.11	32.51	32.30
TiO <sub>2</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.93	20.88	21.51	20.36	20.65	20.34	19.05	20.16	20.46	19.87	20.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	–	–	0.72	–	–	–
FeO	24.19	24.28	24.67	26.20	24.24	24.63	22.78	24.10	25.51	25.11	22.86
MnO	0.71	0.63	0.70	0.71	0.85	0.66	0.74	–	0.71	0.76	0.84
MgO	22.53	22.62	21.72	21.61	22.43	21.92	23.78	22.58	21.21	21.76	21.06
CaO	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.34
sum	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Коэффициенты в формуле (расчет на 20 атомов O)											
Si	5.72	5.71	5.69	5.67	5.76	5.89	6.06	5.87	5.85	5.91	5.89
Ti	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.22
Al	4.46	4.45	4.60	4.37	4.40	4.35	4.04	4.30	4.40	4.26	4.30
Al <sup>IV</sup>	2.28	2.29	2.31	2.33	2.24	2.11	1.94	2.13	2.15	2.09	2.11
Al <sup>VI</sup>	2.18	2.15	2.29	2.04	2.16	2.24	2.09	2.17	2.25	2.17	2.19
Cr	–	–	–	–	–	–	–	0.10	–	–	–
Fe <sup>III</sup>	0.11	0.14	0.02	0.29	0.08	–	–	–	–	–	–
Fe <sup>II</sup>	3.54	3.52	3.72	3.70	3.58	3.73	3.42	3.64	3.88	3.81	3.48
Mn	0.11	0.10	0.11	0.11	0.13	0.10	0.11	0.00	0.11	0.12	0.13
Mg	6.07	6.09	5.87	5.86	6.05	5.93	6.37	6.09	5.76	5.90	5.72
Ca	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.26
X <sub>Fe</sub>	0.38	0.38	0.39	0.40	0.38	0.39	0.35	0.37	0.40	0.39	0.38
T <sub>1</sub> , °C	305	307	309	313	299	278	251	281	283	274	278
T <sub>2</sub> , °C	260	261	262	256	255	242	224	243	245	239	241
T <sub>3</sub> , °C	288	288	292	294	284	271	250	272	276	268	270

Примечание. X<sub>Fe</sub> – коэффициент железистости (Fe' + Fe'')/(Fe' + Fe'' + Mg). Температура рассчитана по хлоритовым геотермометрам: T<sub>1</sub>, °C – по (Cathelineau, 1988), T<sub>2</sub>, °C, T<sub>3</sub>, °C – по (Kranidiotis, MacLean, 1987). Прочерк – не обнаружено. Формула хлоритов (для спектра 3\_2): (Mg<sub>3</sub>Fe<sub>1.8</sub>Al<sub>1.4</sub>)(Si<sub>2.9</sub>Al<sub>1.1</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>.

Note. X<sub>Fe</sub> – iron mole ratio (Fe' + Fe'')/(Fe' + Fe'' + Mg). The temperature is calculated on the basis of chlorite geothermometers: T<sub>1</sub>, °C – after (Cathelineau, 1988), T<sub>2</sub>, °C, T<sub>3</sub>, °C – after (Kranidiotis, MacLean, 1987). Formula of chlorites (for spectrum 3\_2) is (Mg<sub>3</sub>Fe<sub>1.8</sub>Al<sub>1.4</sub>)(Si<sub>2.9</sub>Al<sub>1.1</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>.

Таблица 5

Химический состав (мас. %) минералов вулканитов (дацит, образец 4186/421)  
Баймакского рудного района

Table 5

Chemical composition (wt. %) of minerals of volcanic rocks (dacite, sample 4186/421)  
of the Baymak ore district

№ п/п	№ анализов	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl	F
Эпидот											
1	3_5	38.73	–	21.89	14.89	–	–	24.49	–	–	–
2	4_1	37.85	–	23.36	13.52	–	–	25.28	–	–	–
3	6_5	38.26	–	20.91	15.58	–	0.74	25.504	–	–	–
4	7_1	38.43	–	21.88	15.32	–	–	24.37	–	–	–
5	10_3	38.28	–	22.93	14.02	0.77	–	24.00	–	–	–
6	13_2	38.41	–	21.62	14.63	–	–	25.34	–	–	–
Апатит											
7	5_3	0.83	0.64	–	3.88	0.56	–	52.65	38.73	0.56	2.70
8	7_2	–	–	–	–	–	–	54.78	40.36	–	4.86
9	12_6	–	–	–	–	–	–	55.37	40.31	0.99	3.33

*Работа выполнена в соответствии с госзаказом № 0252-2017-0011 и программы президиума РАН № 19.*

### Литература

- Арт Дж.Г.** (1983) Некоторые элементы-примеси в трондjemитах – их значение для выяснения генезиса магмы и палеотектонических условий / Трондjemиты, дациты и связанные с ними породы. М., Мир, 99–105.
- Биков М.Ш., Захаров А.А., Захарова А.А., Косарев А.М., Жданов Г.Ш., Сопко Л.Н., Александров Ю.В.** (1973) Геологическое строение Бурибайского рудного района. Отчёт о геологической съёмке масштаба 1:50000 Таналыкской КГСП за 1967–1973 гг. Уфа, Фонды БТГУ.
- Богатиков О.А., Цветков А.А.** (1988) Магматическая эволюция островных дуг. М., Наука, 248 с.
- Вулканизм Южного Урала (И.Б. Серавкин, А.М. Косарев, Д.Н. Салихов, С.Е. Знаменский, З.И. Родичева, М.В. Рыкус, В.И. Сначев) (1992). М., Наука, 197 с.
- Дир У.А., Хаун Р.А., Зусман Дж.** (1965) Породообразующие минералы. Т. 2. Цепочечные силикаты. М., Мир, 407 с.
- Сопко П.Ф., Исмагилов М.И., Серавкин И.Б., Сопко Л.Н.** Колчеданные месторождения Баймакского рудного района () (1973). М., Наука, 224 с.
- Косарев А.М.** (1977) Силуро-девонский вулканизм Бурибай-Маканского рудного района Южный Урал: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 30 с.
- Косарев А.М., Измайлова А.А.** (2013) Особенности химизма кремнекислых пород южно-ирендыкского палеовулканического комплекса. *Геологический сборник № 10. Информационные материалы*. Уфа, 160–168.
- Косарев А.М., Серавкин И.Б., Спадеа П., Сазонова Л.В., Херрингтон Р., Горожанина Е.Н.** (2003) Эволюция составов клинопироксенов и особенности химизма вулканитов нижнедевонско-эйфельского формационного ряда на западном крыле Магнитогорского мегасинклиория. *Минералогия Урала-2003. Том 1. Общие вопросы минералогии и кристаллографии: Научное издание*. Миасс, ИМин УрО РАН, 49–55.
- Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б.** (2005) Петролого-геохимические особенности раннедевонско-эйфельских островодужных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте. *Литосфера*, (4), 22–42.
- Косарев А.М., Серавкин И.Б., Холоднов В.В.** (2014) Геодинамические и петролого-геохимические аспекты зональности Магнитогорской колчеданосной мегазоны на Южном Урале. *Литосфера*, (2), 3–25.
- Магматические горные породы. Кислые и средние породы (под ред. В.В. Ярмолюка, В.И. Коваленко) (1987). Т. 4. М., Наука, 374 с.
- Маслов В.А., Артющкова О.В.** (2010) Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа, ДизайнПолиграфСервис, 288 с.
- Пузанков И.М., Косоруков В.Л., Округин В.М., Философова Т.М.** (2010) Хлориты метасоматитов Родникового золото-серебряного месторождения (Южная Камчатка). Материалы IX Региональной молодежной научной конференции. Природная среда Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 89–96.
- Сазонова Л.В., Носова А.А.** (1999) Зональность клинопироксенов как функция условий остывания магматического расплава (на примере одинитов Урала). *Геохимия*, (12), 1–18.
- Сазонова Л.В., Носова А.А., Наркисова В.В., Горожанина Е.Н., Косарев А.М.** (2001) Особенности зональности клинопироксенов из вулканитов (на примере девонских базальтоидов Магнитогорского прогиба, Южный Урал). *Записки Всероссийского минералогического общества*, 130(6), 80–95.
- Серавкин И.Б.** (1986) Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. М., Наука, 268 с.
- Серавкин И.Б., Знаменский С.Е., Косарев А.М.** (2001) Разрывная тектоника и рудоносность Башкирского Зауралья. Уфа, Полиграфкомбинат, 318 с.
- Серавкин И.Б., Цветкова А.А.** (1982) Строение Магнитогорского мегасинклиория в свете палеовулканических реконструкций и геофизических данных / Вулканизм и рудообразование Урала. Уфа, БФАН СССР, 19–32.
- Среднепалеозойский вулканизм Башкирского Зауралья и связь с ним колчеданного оруденения (1983). Уфа, Изд. БФАН СССР, 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. Артющкова, В.В. Павлов) (1993). Уфа, УфНЦ РАН, 216 с.
- Холоднов В.В., Бушляков И.Н.** (2002) Галогены в эндогенном рудообразовании. Екатеринбург, УрО РАН, 393 с.
- Cathelineau M.** (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay minerals*, 23(4), 471–485.
- Hey M.H.** (1954) A new review of chlorites. *The mineralogy magazine and journal of the mineralogical society*, 30(224), 278–292
- Kranidiotis P., MacLean W.H.** (1987) Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge Massive Sulfide

Deposit, Matagami, Quebec. *Economic geology*, **82**(4), 898–1911.

**Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G.** (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Petrology*, **25**, 956–983.

**Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Y., Brown D.** (2002) 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*. **132**, 101–134.

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

### Reference

**Art J.G.** (1983) [Some trace elements in trondhjemites and their implications to magma genesis and paleotectonic setting]. *Trond'emity, datsity i svyazannye s nimi porody* [Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks]. M., Mir, 99–105 (in Russian).

**Bikov M.Sh., Zakharov A.A., Zakharova A.A., Kosarev A.M., Zhdanov G.Sh., Sopko L.N., Aleksandrov Yu.V.** (1973) [Geological structure of the Buribay ore area. Report on geological survey on a scale of 1:50000 of the Tanalyk KGSP for 1967–73 yrs.]. Ufa, Fondy BTGU. (in Russian).

**Bogatikov O.A., TSvetkov A.A.** (1988) [Magmatic evolution of island arcs]. M., Nauka, 248 p. (in Russian).

**Cathelineau M.** (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay minerals*, **23**(4), 471–485.

**Deer U.A., Howie R.A., Zussman J.** (1965) [Rock-forming minerals. Chain silicates]. V. 2. M., Mir, 407 p. (in Russian).

**Hey M.H.** (1954) A new review of chlorites. *The mineralogy magazine and journal of the mineralogical society*, **30**(224), 278–292

**Kholodnov V.V., Bushlyakov I.N.** (2002) [Halogens in endogenous ore formation]. Yekaterinburg: UrO RAN, 393 p. (in Russian).

**Kosarev A.M.** (1977) [Silurian-Devonian volcanism of the Buribay-Makan ore district of the Southern Urals]: Avtoref. dis. ... kand. geol.-min. nauk. M., 30 p. (in Russian).

**Kosarev A.M., Izmaylova A.A.** (2013) [Features of chemistry of felsic volcanics rocks of the Southern Irendyk paleovolcanic complex]. *Geologicheskij sbornik № 10. Informatsionnye materialy* [Geological collection № 10. Information materials]. Ufa, 160–168. (in Russian).

**Kosarev A.M., Seravkin I.B., Spadea P., Sazonova L.V., Herrington R., Gorozhanina E.N.** (2003) [Evolution of clinopyroxenes and features of chemistry of the Lower Devonian-Eifelian volcanic rocks in the western wing of the Magnitogorsk magasinclinorium]. *Mineralogiya Urala-2003. T. 1. Obshchie voprosy mineralogii i kristallografii: Nauchnoe izdanie* [Mineralogy of Urals-2003. Vol.1. General Issues of Mineralogy and Crystallography: Scientific publication]. Miass: IMin UrO RAN, 49–55. (in Russian).

**Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B.** (2005) [Petrological-geochemical features of the Early Devonian-Eifelian island-arc volcanics of the Magnitogorsk zone in a geodynamic context]. *Litosfera* [Litosfera], (4), 22–42. (in Russian).

**Kosarev A.M., Seravkin I.B., Kholodnov V.V.** (2014) [Geodynamic, petrological and geochemical aspects of zoning Magnitogorsk pyrite Megazone in Southern Ural]. *Litosfera* [Litosfera], (2), 3–25. (in Russian).

**Kranidiotis P., MacLean W.H.** (1987) Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge Massive Sulfide Deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*, **82**(4), 898–1911.

[Magmatic Rocks: Acid and Intermediate Rocks] (1987). Vol. 4. M., Nauka, 374 p. (in Russian).

**Maslov V.A., Artyushkova O.V.** (2010) [Stratigraphy and correlation of the Devonian sedimentary rocks in the Magnitogorsk Megazone of the Southern Urals]. Ufa, DizaynPoligrafServis, 288 p. (in Russian).

**Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G.** (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Petrology*, **25**, 956–983.

**Puzankov I.M., Kosorukov V.L., Okrugin V.M., Filosofova T.M.** (2010) [Chlorites of metasomatites from the Rodnikovoy gold-silver deposit, Southern Kamchatka]. *Materialy IX Regional'noy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. Prirodnaya sreda Kamchatki* [Materials of the IXth Regional Youth Scientific Conference. The natural environment of Kamchatka] Petropavlovsk-Kamchatsky, 89–96. (in Russian).

**Sazonova L.V., Nosova A.A.** (1999) [Clinopyroxene zoning as an indicator of magmatic melt cooling conditions: an example of odinites from the Urals]. *Geochemistry International*, (12), 1–18.

**Sazonova L.V., Nosova A.A., Narkisova V.V., Gorozhanina E.N., Kosarev A.M.** (2001) [Character of clinopyroxene zoning in volcanic rocks: an example of Devonian basalts from the Magnitogorsk depression, the South Urals]. *Zapiski Vserossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva* [Proceedings of the All-Russian Mineralogical Society], (6), 80–95. (in Russian).

**Seravkin I.B.** (1986) [Volcanism and VMS deposits of the Southern Urals]. M., Nauka, 268 p. (in Russian).

**Seravkin I.B., Znamenskiy S.E., Kosarev A.M.** (2001) [Fault tectonics and ore potential of the Bashkirian Transural region]. Ufa, Poligrafkombinat, 318 p. (in Russian).

**Seravkin, I.B., Tsvetkova A.A.** (1982) [Structure of the Magnitogorsk Megasyntorium in light of paleovolcanic interpretations and geophysical data]. In: *Vulkanizm i rudoobrazovanie Urala [Volcanism and ore formation of the Urals]*. Ufa, BFAN SSSR, 19–32. (in Russian).

**Smith D., Lindsley D.** (1971) Stable and metastable augite crystallization trends in a single basalt flow. *American Mineralogist*, **56**, 225–233.

**Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhani-na Y., Brown D.** (2002) 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*. **132**, 101–134.

[Middle Paleozoic volcanism of the Bashkirian Trans-uralian region and related massive sulfide mineralization]. (1983). Ufa, Izd. BFAN SSSR, 116 p. (in Russian).

[Stratigraphy and correlation of the Middle Paleozoic volcanic complexes of main copper-massive sulfide districts of the South Urals] (**V.A. Maslov, V.L. Cherkasov, V.T. Tishchenko, I.A. Smirnova, O.V. Artyushkova, V.V. Pavlov**) (1993). Ufa, UfNTS RAN, 216 p. (in Russian)

[VMS deposits of the Baymak ore district] (1973). Ed. P.F. Sopko, M.I. Ismagilov, I.B. Seravkin, L.N. Sopko. M., Nauka, 224 p. (in Russian).

[Volcanism of the Southern Urals] (**I.B. Seravkin, A.M. Kosarev, D.N. Salikhov, S.E. Znamensky, Z.I. Rodi-cheva, M.V. Rykus, V.I. Snachev**) (1992). M.: Nauka, 197 p. (in Russian)/

*Поступила в редакцию 23 мая 2018 г.*