

УДК 553.411

DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-3-391-403

Вознесенское золоторудное месторождение (Южный Урал): геологическое строение, геохимия рудовмещающих пород, геодинамические условия образования

С. Е. Знаменский, Н. М. Знаменская

Институт геологии УФИЦ РАН, 450077, г. Уфа, ул. Карла Маркса 16/2, e-mail: Znamensky_Sergey@mail.ru

Поступила в редакцию 17.12.2021 г., принята к печати 14.02.2022 г.

Объект исследований. Геологическое строение, петро- и геохимические особенности рудовмещающих пород Вознесенского золоторудного месторождения (Южный Урал) и геодинамические условия его формирования. **Методы.** Содержание петрогенных окислов определялось с помощью силикатного анализа, редких элементов – методами ICP-MS на масс-спектрометре ELAN 9000 и ICP-AES на масс-спектрометре ICPE-9000. **Результаты.** Показано, что Вознесенское месторождение приурочено к фрагменту коровой части разреза островодужных офиолитов гарцбургитового типа. Разрез офиолитов слагают такситовые габброиды, толща долеритов, базальтов, андезитбазальтов и их туфов, местами отделенных от габброидов линзами серпентинитов, и пакет субпараллельных даек порфировых габбро-долеритов, габбро-диоритов и диоритов. Вулканыты и породы даек, имеющие нормальную щелочность и толеитовый состав, обладают геохимическими характеристиками надсубдукционных образований. По химическому составу они сопоставимы с вулканитами колчеданосных комплексов баймак-бурибаевской свиты (D_2). Вместе с тем вознесенские породы обладают и рядом отличительных особенностей. В частности, рудовмещающие эффузивы и дайки отличаются от вулканитов колчеданосных комплексов повышенной титанистостью, отсутствием бонинитов и кремнекислых вулканитов, а также преобладанием порфировых типов пород. **Заключение.** Анализ геохимических данных с использованием диаграмм $V-Ti/1000$ и La_N/Sm_N-TiO_2 дает основание предполагать, что ассоциация основных вулканитов и рудоносных даек габбро-долеритов, габбро-диоритов и диоритов Вознесенского месторождения образовалась в задатковом бассейне позднэвмской фронтальной островной дуги.

Ключевые слова: Южный Урал, золоторудное месторождение, толеитовые базальты, дайки, геодинамическая позиция

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках программы государственного заказа ИГ УФИЦ РАН № FMRS-2022-0011. Использовалось оборудование ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН, дооснащение и комплексное развитие которого осуществляется при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2021-680)

Voznesenskoe gold ore deposit (Southern Urals): Geological structure, ore-bearing rock geochemistry, geodynamic formation conditions

Sergey E. Znamensky, Nina M. Znamenskaya

Institute of Geology UFSR RAS, 16/2 K. Marx St., Ufa 450077, Russia, e-mail: Znamensky_Sergey@mail.ru

Received 17.12.2021, accepted 14.02.2022

Research subject. The geological structure, petro-geochemical features of the ore-bearing rocks of the Voznesenskoe gold ore deposit (Southern Urals) and the geodynamic conditions of its formation. **Methods.** The content of petrogenic oxides was determined using silicate analysis; rare elements were determined using ICP-MS methods by an ELAN 9000 mass spectrometer and ICP-AES by an ICPE-9000 mass spectrometer. **Results.** The Voznesenskoe deposit is confined to a fragment of the crustal part of the section of harzburgite-type island-arc ophiolites. The ophiolite section is composed of taxite gabbroids, a sequence of dolerites, basalts, basaltic andesites and their tuffs, in places separated from gabbroids by lenses of serpentinites, and a package of subparallel dikes of porphyry gabbro-dolerites, gabbro-diorites, and diorites.

Для цитирования: Знаменский С.Е., Знаменская Н.М. (2022) Вознесенское золоторудное месторождение (Южный Урал): геологическое строение, геохимия рудовмещающих пород, геодинамические условия образования. *Литосфера*, 22(3), 391-403. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-3-391-403>

For citation: Znamensky S.E., Znamenskaya N.M. (2022) Voznesenskoe gold ore deposit (Southern Urals): Geological structure, ore-bearing rock geochemistry, geodynamic formation conditions. *Lithosphere (Russia)*, 22(3), 391-403. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-3-391-403>

Volcanics and dyke rocks with normal alkalinity and tholeiitic composition exhibit the geochemical characteristics of suprasubduction formations. In terms of chemical composition, they are comparable to the volcanic rocks of the pyrite-bearing complexes of the Baimak-Buribaevskaya Formation (D_1e_2). At the same time, the Voznesensky rocks have a number of distinct features, which are likely to be related to the geodynamic setting of their formation. In particular, ore-bearing effusive rocks and dykes differ from volcanic rocks of pyrite-bearing complexes in terms of a higher titanium content, the absence of boninite and silicic volcanic rocks, as well as the predominance of porphyry rock types. *Conclusion.* The conducted analysis of geochemical data using the V–Ti/1000 and La_N/Sm_N –TiO₂ diagrams suggests that the association of mafic volcanic rocks and ore-bearing dykes of gabbro-dolerites, gabbro-diorites and diorites of the Voznesensky deposit was formed in the back-arc basin of the Late Ems frontal island arc.

Keywords: Southern Urals, gold ore deposit, tholeiitic basalts, dykes, geodynamic position

Funding information

The work was carried out within the framework of the state order program IG UFITS RAS No. FMRS-2022-0011. The equipment of the «Geoanalitik» shared research facilities of the IGG UB RAS was used, the re-equipment and comprehensive development of which is financially supported by the grant of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2021-680)

ВВЕДЕНИЕ

Вознесенское золоторудное месторождение расположено в зоне Главного Уральского разлома на северном окончании Магнитогорской мегазоны Южного Урала (рис. 1). В архивных материалах оно упоминается также как Калканское месторождение (Бородаевский, 1933). Месторождение залегает среди меланжированных серпентинитов, слагающих восточную часть Калканского гарцбургитового массива (Чаплыгина и др., 2002). По данным геологов ОАО «Башкиргеология», проводивших в 1989–1997 и 2010–2014 гг. в окрестностях месторождения поисковые работы на золото, серпентиниты содержат блоки базальтов поляковской свиты (O_2) и мелкие тела габбро, габбро-диоритов и диоритов, к которым тяготеет золоторудная минерализация. Интрузивные породы не имеют изотопных датировок. Предположительно геологами-съемщиками они относятся к салаватскому комплексу (D_2) (Жданов и др., 2018). Химический состав эффузивных и интрузивных пород месторождения охарактеризован единичными силикатными анализами (Сурин, 1997ф). В серпентинитах восточной части Калканского массива известно еще несколько слабоизученных мелких месторождений и рудопроявлений золота (Гановское, Белая жила и др.), на которых оруденение также ассоциирует с интрузиями основного и среднего состава.

Вознесенское месторождение обладает небольшими запасами золота. В последнее время мелкие месторождения золота Учалинского района стали отрабатываться малыми предприятиями с использованием метода кучного выщелачивания. В этой связи изучение условий их образования представляется актуальной задачей.

Цель настоящей статьи – рассмотреть геологическое строение Вознесенского золоторудного месторождения, петро- и геохимические особенности рудовмещающих эффузивных и интрузивных пород и геодинамические условия их формирования.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Образцы для исследований были отобраны из керна поисковых скважин. Содержание петрогенных компонентов в породах определялось в химической лаборатории ИГ УНЦ РАН (г. Уфа, аналитик С.А. Ягудина) стандартным методом силикатного химического анализа. Определение редких элементов выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на квадрупольном масс-спектрометре ELAN 9000 в лаборатории физических и химических методов исследований ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург, аналитик Д.В. Киселева), а также частично методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре ICP-AE-9000 в ЦКД КМТНХ АО ИНХП (г. Уфа, аналитик С.В. Мичурин). Результаты анализов приведены в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Геологическое строение месторождения

Поверхность месторождения почти полностью перекрыта рыхлыми отложениями. Сведения о его геологическом строении базируются главным образом на материалах документации керна скважин и редких поисковых канав.

По нашим данным, золоторудная минерализация развита в пределах блока вулканогенных и интрузивных пород, слагающих фрагмент коровой части офиолитового разреза гарцбургитового типа (рис. 2). Блок, залегающий среди серпентинизированных дунитов и гарцбургитов, состоит из нескольких тектонических пластин, которые ограничены «сухими» разломами с глиной трения, крутопадающими на юго-восток. Разломы, по-видимому, образовались на коллизионной стадии развития сутурной зоны. Разрез офиолитов в рудоносном блоке формируют такситовые габброиды и вулканогенные породы преимущественно основного

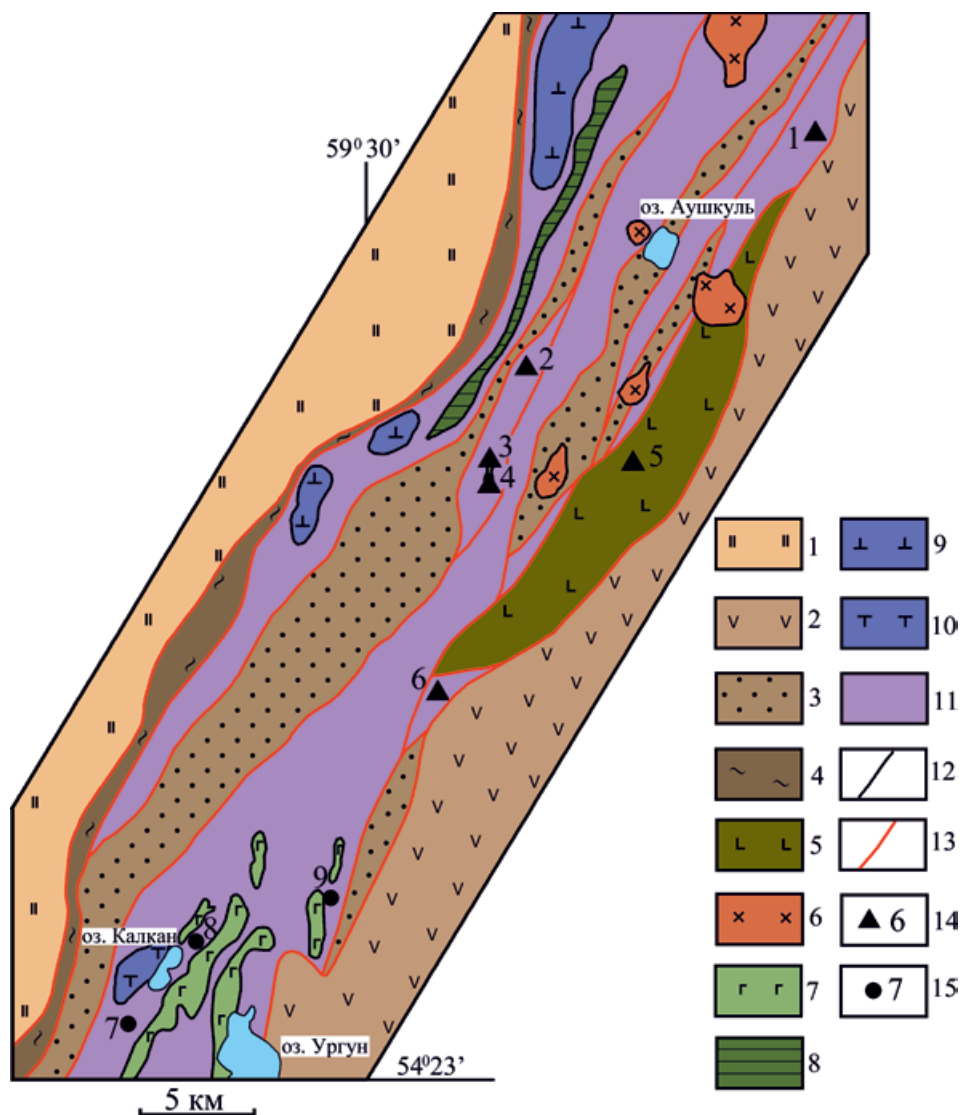


Рис. 1. Схема строения зоны Главного Уральского разлома на северном окончании Магнитогорской мегазоны (по данным И.С. Анисимова, 1983, с изменениями).

1 – докембрийские метаморфические комплексы зоны Уралтау и Башкирского мегантиклинория; 2 – вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения (D_{2-3}) Западно-Магнитогорской зоны; зона Главного Уральского разлома; 3 – вулканогенные, вулканогенно-осадочные и осадочные породы (D_1-C_1); 4 – метаморфические сланцы ($S-D_1?$); 5 – базальты (O_2); 6 – Балбукский сиенит-гранит-порфировый комплекс (Pz_3); 7 – габбро, габбро-диориты и диориты ($D_2?$); 8 – габброиды (D_1); 9 – лерцолиты; 10 – гарцбургиты Калканского массива; 11 – серпентинитовый меланж с блоками пород различного состава и возраста; 12 – геологические границы; 13 – разломы; 14 – месторождения и рудопроявления порфирово-эпитермального семейства (1 – Николаевское субэпитермальное золотое, 2 – золото-порфировое Карагайкульское, 3 – медно-порфировое Вознесенское, 4 – золото-порфировое Большой Каран, 5 – медно-порфировое Поляковское, 6 – медно-порфировое Дунграй); 15 – золоторудные месторождения (7 – Вознесенское, 8 – Гановское, 9 – Белая жила).

Fig. 1. Scheme of the structure of the Main Ural Fault zone at the northern end of the Magnitogorsk megazone (according to the data of I.S. Anisimov, 1983, with changes).

1 – Precambrian metamorphic complexes of the Uraltau zone and the Bashkirian meganticlinorium; 2 – volcanogenic and volcanogenic-sedimentary deposits (D_{2-3}) of the West Magnitogorsk zone; the Main Ural Fault zone; 3 – volcanogenic, volcanogenic-sedimentary and sedimentary rocks (D_1-C_1); 4 – metamorphic schists ($S-D_1?$); 5 – basalts (O_2); 6 – Balbuk syenite-granite-porphyry complex (Pz_3); 7 – gabbro, gabbro-diorite and diorite ($D_2?$); 8 – gabbroids (D_1); 9 – lherzolites; 10 – harzburgites of the Kalcan massif; 11 – serpentinite melange with rock blocks of different composition and age; 12 – geological boundaries; 13 – faults; 14 – deposits and ore occurrences of porphyry-epithermal family (1 – Nikolaevsky subepithermal gold, 2 – gold-porphyry Kara-gaikulsky, 3 – porphyry copper Voznesensky, 4 – gold-porphyry Bolshoy Karan, 5 – Polyakovsky, 6 – porphyry copper Dunga-ray); 15 – gold deposits (7 – Voznesensky, 8 – Ganovsky, 9 – Belaya zhila).

Таблица 1. Содержание петрогенных окислов (мас. %) и редких элементов (г/т) в эффузивных и интрузивных породах Вознесенского золоторудного месторождения**Table 1.** Concentration of petrogenic (wt %) and trace (ppm) elements in effusive and intrusive rocks of the Voznesensky gold ore deposit

Компонент	Пробы											
	К1*	ГН1*	ГН3**	Г1*	ВЭ1**	ВЭ2*	ВЭ3*	ВЭ4*	ВЭ5*	ВЭ6**	ВЭ7*	ВЭ8*
SiO ₂	46.00	47.00	48.30	47.00	48.00	51.00	51.00	52.00	52.00	54.00	54.00	55.00
TiO ₂	0.28	0.29	0.35	0.80	1.00	0.87	0.90	0.90	0.86	0.53	0.65	0.86
Al ₂ O ₃	9.60	14.70	16.10	16.80	16.00	16.00	15.90	15.00	16.70	15.00	15.80	15.70
Fe ₂ O ₃	1.40	3.00	6.20	2.20	4.60	5.00	2.30	7.40	2.88	4.50	5.00	2.40
FeO	5.00	6.46	4.53	6.10	6.50	5.40	6.10	4.16	5.40	7.20	3.87	7.10
MnO	0.10	0.16	—	0.13	0.17	0.16	0.09	0.15	0.10	0.14	—	0.13
CaO	12.50	8.52	6.70	7.60	10.64	4.56	6.40	5.80	5.70	3.70	6.00	4.90
MgO	17.20	10.60	8.00	9.60	7.00	8.80	6.00	4.60	6.80	6.40	5.20	5.60
Na ₂ O	1.20	4.00	4.40	4.00	2.70	3.00	5.70	3.80	4.00	4.00	5.00	5.20
K ₂ O	0.50	0.50	0.20	0.50	0.60	0.80	0.50	0.75	0.20	0.37	0.55	0.20
P ₂ O ₅	0.06	0.06	0.02	0.08	0.14	0.06	0.13	0.08	0.14	0.08	0.01	0.09
П.п.п.	6.75	5.26	5.12	5.64	3.17	4.24	4.48	5.20	5.20	4.71	3.82	3.35
Сумма	100.59	100.55	99.92	100.45	100.52	99.89	99.50	99.84	99.98	100.63	99.9	100.53
Li	29	22	19	26	19	17	15	9	14	16	10	9
Be	0.03	0.12	—	0.14	—	0.22	0.15	0.13	0.24	—	0.13	0.16
Sc	36	37	35	40	36	30	33	31	31	38	30	28
V	80	140	147	120	390	180	200	170	170	233	230	160
Cr	450	110	130	150	52	40	80	16	19	45	22	25
Co	57	32	33	32	27	27	24	24	28	29	33	26
Ni	210	40	42	50	29	27	22	12	17	48	16	16
Cu	5	80	76	13	—	170	17	12	29	16	18	24
Zn	17	30	31	21	56	40	40	30	40	29	60	30
Ga	5	11	—	9	—	15	13	11	13	—	10	11
Rb	3	4	—	11	—	0.6	2.2	1	2.5	—	24	1.3
Sr	14	33	43	60	35	40	100	50	50	116	60	70
Y	1.9	7	7.2	6	22	15	22	11	17	11	11	12
Zr	1.1	9	10	5	49	24.7	46	25	29.2	21	27.1	25.6
Nb	0.13	0.36	—	0.6	—	0.8	1.9	0.37	0.7	—	0.8	0.5
Sn	0.22	0.23	—	0.18	—	0.26	0.32	0.36	0.31	—	0.27	0.28
Sb	2.1	0.4	—	0.4	—	0.64	2.1	0.4	0.69	—	1.0	0.51
Cs	0.1	0.19	—	0.43	—	0.24	0.24	0.13	0.18	—	0.15	0.16
Ba	40	100	90	340	59	19	40	31	80	99	80	50
La	0.09	0.6	0.7	0.28	1.85	1.7	2.3	0.9	1.7	1.34	1.3	1.1
Ce	0.22	1.4	—	0.7	—	4.5	6	2.3	4.4	—	3.7	3
Pr	0.04	0.23	—	0.11	—	0.7	1	0.38	0.7	—	0.6	0.48
Nd	0.23	1.2	—	0.64	—	3.8	5	2.2	3.8	—	3.3	2.7
Sm	0.11	0.49	—	0.27	—	1.4	1.8	0.9	1.4	—	1.2	1.1
Eu	0.09	0.25	—	0.22	—	0.5	0.5	0.46	0.5	—	0.41	0.5
Gd	0.18	0.74	—	0.54	—	1.9	2.4	1.4	2.1	—	1.7	1.6
Tb	0.04	0.15	—	0.11	—	0.4	0.5	0.26	0.4	—	0.3	0.3
Dy	0.27	1.1	—	0.8	—	2.6	3.2	1.9	2.8	—	2.1	2.1
Ho	0.26	0.25	—	0.2	—	0.6	0.7	0.4	0.6	—	0.5	0.5
Er	0.19	0.7	—	0.6	—	1.8	2.2	1.3	1.9	—	1.4	1.5
Tm	0.03	0.11	—	0.09	—	0.26	0.32	0.2	0.29	—	0.21	0.22
Yb	0.17	0.8	0.8	0.6	2.2	1.8	2.2	1.4	2.0	1.0	1.4	1.5
Lu	0.03	0.13	—	0.09	—	0.27	0.3	0.23	0.3	—	0.21	0.25
Hf	0.04	0.29	—	0.16	—	0.9	1.3	0.57	1.1	—	1	0.7
Ta	0.04	0.04	—	0.4	—	0.04	0.17	0.027	0.04	—	0.06	0.03
W	0.26	0.4	—	0.28	—	0.6	2.3	0.4	0.7	—	0.9	0.4
Pb	0.11	1.5	—	0.08	—	0.26	0.26	0.5	0.36	—	0.4	0.23
Th	0.015	0.13	—	0.05	—	0.4	0.5	0.2	0.4	—	0.3	0.25
U	0.018	0.09	—	0.05	—	0.31	0.28	0.17	0.3	—	0.27	0.21

Таблица 1. Окончание

Table 1. Ending

Компонент	Пробы								
	ВД1**	ВД2*	ВД3*	ВД4**	ВД**5	ВД6*	ВД7**	ВД8*	ВД9*
SiO ₂	49.60	50.00	52.00	52.00	52.00	53.00	54.00	54.00	58.00
TiO ₂	0.90	0.86	0.83	0.86	0.90	1.00	0.66	0.46	0.72
Al ₂ O ₃	15.80	16.80	16.40	16.70	16.80	15.00	15.00	16.80	13.20
Fe ₂ O ₃	6.50	3.00	4.67	7.10	3.00	5.62	3.20	4.50	5.23
FeO	4.60	6.46	4.45	5.03	6.82	5.75	5.46	5.75	4.30
MnO	–	0.11	0.13	–	0.12	0.14	0.14	–	–
CaO	6.40	6.34	6.10	3.78	1.90	4.90	3.80	3.80	3.84
MgO	7.60	5.60	6.00	4.20	7.00	5.00	7.70	8.00	6.00
Na ₂ O	4.00	5.70	4.05	4.00	5.40	3.80	3.80	4.00	4.00
K ₂ O	0.10	0.5	1.00	0.50	0.30	0.75	0.70	1.20	0.50
P ₂ O ₅	0.02	0.10	0.08	0.10	0.11	0.08	0.08	0.01	0.05
П.п.п.	4.43	4.12	4.20	5.50	5.28	4.68	5.30	2.04	3.46
Сумма	99.95	99.59	99.91	99.77	99.63	99.72	99.84	100.56	99.3
Li	28	17	17	22	22	24	18	4.6	7
Be	–	0.13	0.12	–	–	0.22	–	0.11	0.2
Sc	41	31	30	36	30	39	36	41	40
V	293	140	150	234	234	200	218	230	231
Cr	101	60	60	354	91	70	234	31	15
Co	27	27	23	24	23	30	22	30	36
Ni	37	33	27	85	44	25	45	17	24.0
Cu	10	80	26	20	45	11.6	60	65	42
Zn	10	30	30	46	30	30	37	73	118
Ga	–	11	13	–	–	11	–	10	10
Rb	–	2.4	1	–	–	5	–	5	7
Sr	135	90	50	74	67	110	80	108	127
Y	14	14	16	10	16	16	10	20	18
Zr	28	28.1	37.4	23	43	33.5	25	42	65
Nb	–	1	1.3	–	–	0.8	–	1.4	2.73
Sn	–	0.33	0.32	–	–	0.22	–	0.43	0.76
Sb	–	0.5	1.1	–	–	6	–	1.1	0.08
Cs	–	0.13	0.13	–	–	0.5	–	0.17	0.29
Ba	168	60	25	39	29	140	22	24	20
La	1.44	1.90	1.40	1.32	1.47	1.5	1.51	2.63	4.07
Ce	–	4.7	3.8	–	–	3.6	–	6.65	8.86
Pr	–	0.7	0.6	–	–	0.6	–	1.07	1.5
Nd	–	3.7	3.4	–	–	3.1	–	5.49	7.18
Sm	–	1.3	1.2	–	–	1.2	–	1.79	1.91
Eu	–	0.4	0.34	–	–	0.48	–	0.65	0.62
Gd	–	1.7	1.8	–	–	1.7	–	2.38	2.54
Tb	–	0.3	0.3	–	–	0.3	–	0.4	0.41
Dy	–	2.3	2.5	–	–	2.4	–	2.85	2.81
Ho	–	0.5	0.5	–	–	0.5	–	0.63	0.61
Er	–	1.5	1.6	–	–	1.6	–	1.91	1.80
Tm	–	0.23	0.24	–	–	0.24	–	0.29	0.27
Yb	1.2	1.6	1.6	1.0	1.1	1.6	0.95	1.9	1.94
Lu	–	0.26	0.27	–	–	0.27	–	0.29	0.29
Hf	–	0.9	1.1	–	–	0.8	–	1.19	1.62
Ta	–	0.1	0.12	–	–	0.08	–	0.08	0.22
W	–	0.8	1.5	–	–	2.3	–	1.61	0.14
Pb	–	0.15	0.5	–	–	0.23	–	0.53	1.45
Th	–	0.4	0.3	–	–	0.3	–	0.57	0.76
U	–	0.21	0.23	–	–	0.21	–	0.31	0.28

Примечание. Редкие элементы определены методом: * – ICP-MS, ** – ICP-AES. К1 – клинопироксенит, ГН1, ГН3 – габбро-нориты, Г1 – габбро, ВЭ1–ВЭ5 – базальты и долериты, ВЭ6–ВЭ8 – андезибазальты, ВД1–ВД5 – габбро-долериты, ВД6–ВД8 – габбро-диориты, ВД9 – диорит.

Note. Rare elements are determined by the method: * – ICP-MS, ** – ICP-AES. K1 – clinopyroxenite, ГН1, ГН3 – gabbro-norites, Г1 – gabbro, ВЭ1–ВЭ5 – basalts and dolerites, ВЭ6–ВЭ8 – basaltic andesites, ВД1–ВД5 – gabbro-dolerites, ВД6–ВД8 – gabbro-diorites, ВД9 – diorite.

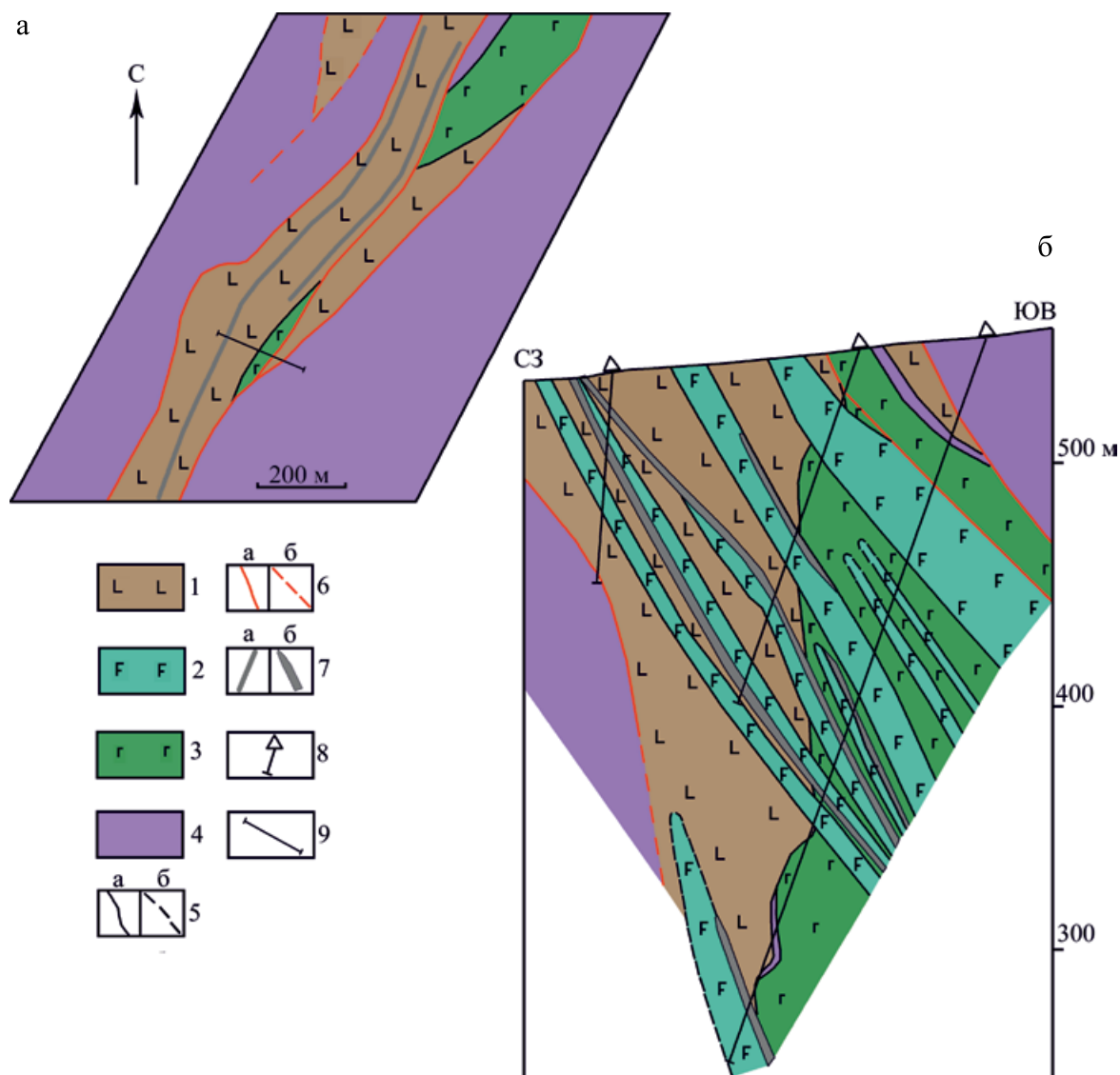


Рис. 2. Схема геологического строения (а) и разрез (б) Вознесенского месторождения (составлены с использованием данных ОАО “Башкиргеология”).

1 – долериты, базальты, андезитобазальты и их туфы; 2 – габбро-долериты, габбро-диориты и диориты; 3 – такситовые габброиды; 4 – серпентинизированные гарцбургиты и дуниты; 5 – геологические границы установленные (а) и предполагаемые (б); 6 – разломы установленные (а) и предполагаемые (б); 7 – рудные тела на схеме (а) и на разрезах (б); 8 – скважины; 9 – линия геологического разреза.

Fig. 2. Scheme of the geological structure (a) and section (б) of the Voznesenskoye deposit (compiled using data from OJSC “Bashkirgeology”).

1 – dolerites, basalts, basaltic andesites and their tufts; 2 – gabbro-dolerites, gabbro-diorites and diorites; 3 – taxite gabbroids; 4 – serpentinized harzburgites and dunites; 5 – geological boundaries identified (a) and assumed (б); 6 – faults identified (a) and assumed (б); 7 – ore bodies on the scheme (a) and on sections (б); 8 – boreholes; 9 – line of the geological section.

состава, интродуцированные серией субпараллельных даек. В зоне контакта вулканитов и габброидов часто присутствуют линзы серпентинитов. Габброиды, как правило, сильно дислоцированы и амфиболизированы. Амфибол крупночешуйчатый, в проходящем свете бесцветный, имеет угол пога-

зания 15–20° и, скорее всего, является тремолитом. Вулканиты и породы дайковой серии деформированы значительно слабее. Амфиболизация, характерная для габброидов, в них не проявлена.

Габброиды имеют неоднородное шлирово-полосчатое строение, обусловленное чередованием

полос и наличием включений, различающихся по содержанию плагиоклаза, ромбического и моноклинного пироксена, а также роговой обманки. В составе полос и шлиров выделяются габбро-нориты, габбро и их роговообманковые разновидности. Преобладают крупнокристаллические типы пород. Установлены также полосы, сложенные плагиоклазовыми клинопироксенитами. Такситовые габброиды изучены во многих гарцбургитовых массивах Урала, где они занимают нижнекоровую часть офиолитового разреза (Савельева, 1987).

Вулканогенные породы представлены афировыми и преобладающими плагиофировыми и пироксен-плагиофировыми базальтами и андезибазальтами с толеитовой, реже вариолитовой основной массой, долеритами с офитовой структурой, а также гравийно-псаммитовыми литокристаллокластическими туфами основного состава. По данным бурения, мощность толщи эффузивных и пирокластических пород достигает 150 м. По литолого-фациальным и петрографическим особенностям слагающих ее пород толща отличается от поляковской свиты (O_2), в составе которой преобладают афировые диабазы и спилиты (Фролова, Бурикова, 1978).

Комплекс субпараллельных даек представлен плагиофировыми и пироксен-плагиофировыми габбро-долеритами, мелкозернистыми роговообманковыми габбро-диоритами и крайне редко – диоритами. В диоритах в незначительных количествах присутствует кварц. Мощность отдельных даек достигает 30 м. Пакеты “дайка в дайке” в керне скважин нами достоверно не установлены.

Линейные тела золотоносной штокверковой кварц-сульфидной минерализации локализованы в основном в эндо- и экзоконтактных зонах даек. Сульфиды представлены пиритом, арсенопиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и антимонитом. Детально состав рудной минерализации не изучен. Оруденение сопровождается метасоматитами пренит-карбонат-хлорит-альбит-кварцевой состава нередко с примесью актинолита и биотита. На удалении от рудных тел в околорудных метасоматитах появляется эпидот.

Петро- и геохимическая характеристика пород

Относительно слабоизмененные габбро-нориты ($SiO_2 = 47–48.3\%$) представляют собой низкотитанистые ($TiO_2 = 0.29–0.35\%$), низко- и умеренноглиноземистые ($al' = 0.73–0.86$) образования нормальной щелочности (рис. 3а). Они обладают невысокими концентрациями K_2O ($0.2–0.5$ мас. %). Содержание MgO составляет $8–10.6\%$. Габбро ($SiO_2 = 47\%$) по содержанию большинства петрогенных окислов сопоставимо с габбро-норитами (см. табл. 1) и отличается от них повышенными концентрациями TiO_2 (0.8%). Вариации химического состава

габбро-норитов и габбро соответствуют толеитовому тренду дифференциации, что хорошо видно на диаграммах $FeO^*/MgO-SiO_2$ и $Zr-Y$ (см. рис. 3в, г). Клинопироксенит имеет повышенные суммарные содержания CaO и MgO (29.7%), низкую титанистость ($TiO_2 = 0.28\%$) и глиноземистость ($Al_2O_3 = 9.66\%$), умеренные концентрации Na_2O (1.2%) и K_2O (0.5%).

Клинопироксениты, габбро-нориты и габбро обеднены высокозарядными и редкоземельными элементами относительно NMORB (см. табл. 1). Спектры распределения редких и редкоземельных элементов в этих типах пород близки между собой (рис. 4а, г). Тренды редких элементов на спайдерграммах демонстрируют обогащение крупноионными литофильными элементами (K , Rb , Cs , Ba), U , Th и Pb относительно высокозарядных и редкоземельных элементов, а также наличие отрицательных аномалий Nb , Zr и положительных аномалий Sr , что характерно для надсубдукционных магматитов. В то же время на них проявлены не свойственные для островодужных образований положительные аномалии Ti . Спектры распределения РЗЭ характеризуются накоплением тяжелых лантаноидов ($La_N/Yb_N = 0.33–0.54$) и положительными аномалиями Eu ($Eu/Eu^* = 1.27–1.97$) (см. рис. 4г). Аномалии Eu рассчитывались по формуле $Eu/Eu^* = Eu_N/\sqrt{(Sm_N \times Gd_N)}$. Положительные аномалии Eu свидетельствуют в пользу кумулятивной природы такситовых габброидов (Richards et al., 2012).

Содержание SiO_2 в базальтах составляет $48–53\%$, в андезибазальтах – $54–55\%$. Концентрации SiO_2 в породах дайковой серии варьируют от 49.5 до 58% . Эффузивы и породы даек представляют собой низко- и умереннотитанистые образования ($TiO_2 = 0.46–1\%$). По соотношениям K_2O и SiO_2 они принадлежат к низко- и умереннокалиевым сериям. На диаграмме TAS большинство фигуративных точек составов эффузивных и интрузивных образований попадает в поле пород нормальной щелочности (см. рис. 3а). В трех пробах (N° ВЭЗ, ВД2 и ВД5) эффузивы и дайки имеют субщелочной состав главным образом из-за повышенных содержаний Na_2O , что, по всей вероятности, связано с альбитизацией пород в околорудном ореоле. На диаграмме отношений малоподвижных при вторичных изменениях элементов $Zr/Ti-Nb/Y$ фигуративные точки эффузивных и интрузивных пород ложатся в поле базальтов, андезибазальтов и андезитов нормальной щелочности (см. рис. 3б). Эти данные позволяют относить вулканы и породы дайковой серии к образованиям нормального ряда.

По соотношениям SiO_2 и FeO^*/MgO среди них выделяются разновидности как толеитового, так и известково-щелочного состава (см. рис. 3в). Однако на диаграмме $Zr-Y$ точки всех типов пород располагаются в поле толеитовой серии (см. рис. 3г).

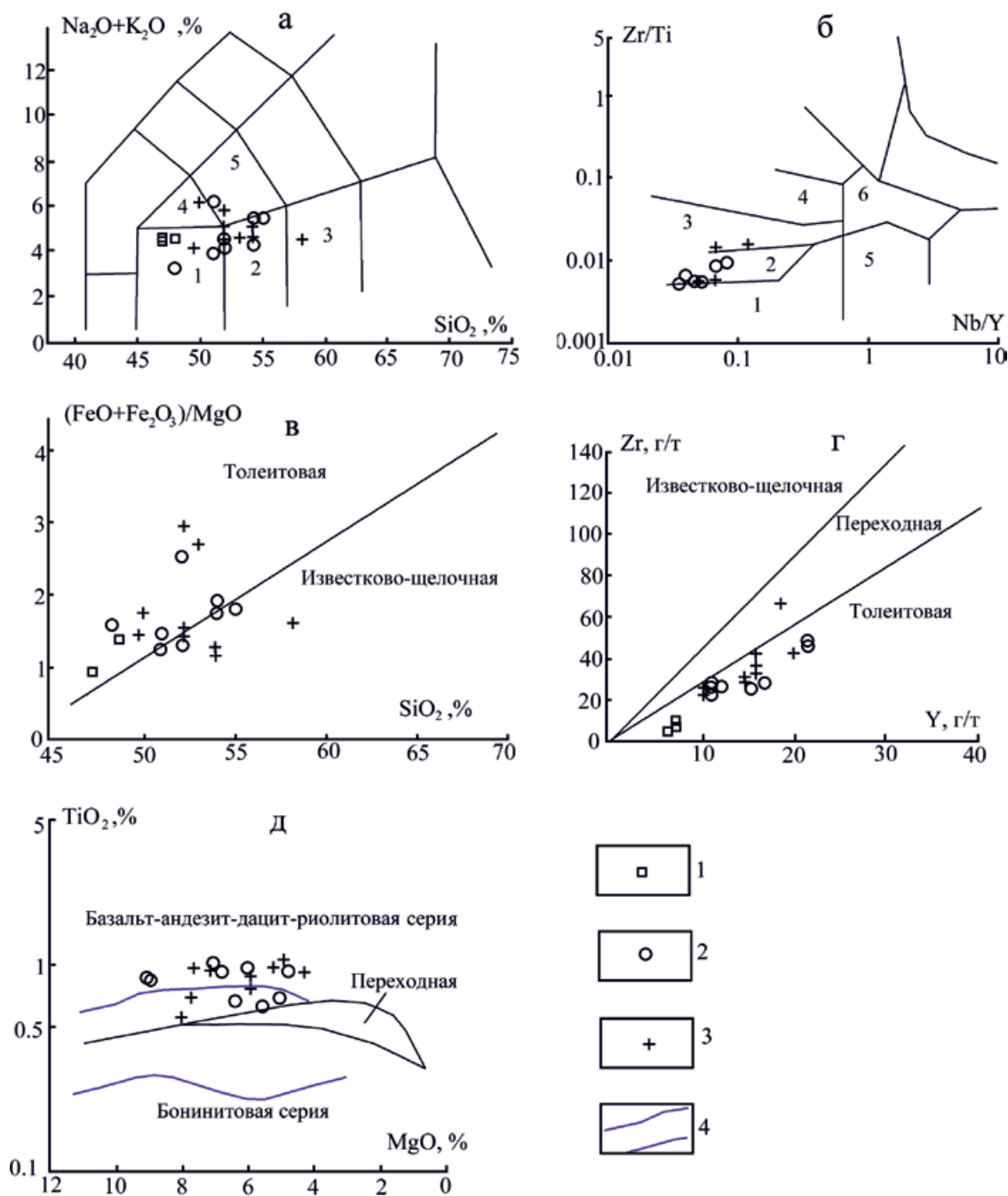


Рис. 3. Диаграммы $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ – SiO_2 (а) (Middlemost, 1994), Zr/Ti – Nb/Y (б) (Winchester, Floyd, 1977), $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)/\text{MgO}$ – SiO_2 (в) (Miashiro, 1973), Zr – Y (г) (MacLean, Barrett, 1993) и TiO_2 – MgO (д) (Reagan et al., 2015) для эффузивных и интрузивных пород.

1 – такситовые габброиды; 2 – долериты, базальты, андезитобазальты; 3 – габбро-долериты, габбро-диориты и диориты; 4 – поле вулканитов колчеданосных баймак-бурибаевских комплексов южных районов Магнитогорской мегазоны (Знаменский и др., 2019).

а: 1 – базальты, 2 – андезитобазальты, 3 – андезиты, 4 – трахибазальты, 5 – трахиандезитобазальты; б: 1 – субщелочные базальты, 2 – базальты и андезитобазальты, 3 – андезиты, 4 – дациты и риодациты, 5 – щелочные базальты, 6 – трахиандезиты.

Fig. 3. Diagrams $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ – SiO_2 (a) (Middlemost, 1994), Zr/Ti – Nb/Y (б) (Winchester, Floyd, 1977), $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)/\text{MgO}$ – SiO_2 (в) (Miashiro, 1973), Zr – Y (г) (MacLean, Barrett, 1993) and TiO_2 – MgO (д) (Reagan et al., 2015) for effusive and intrusive rocks.

1 – taxite gabbroids; 2 – dolerites, basalts, basaltic andesites; 3 – gabbro-dolerites, gabbro-diorites and diorites; 4 – the field of volcanic rocks of pyrite-bearing Baymak-Buribay complexes of the southern regions of the Magnitogorsk megazone (Znamenskii et al., 2019).

а: 1 – basalts, 2 – basaltic andesites, 3 – andesites, 4 – trachybasalts, 5 – basaltic trachyandesites; б: 1 – subalkaline basalts, 2 – basalts and basaltic andesites, 3 – andesites, 4 – dacites and rhyodacites, 5 – alkaline basalts, 6 – trachyandesites.

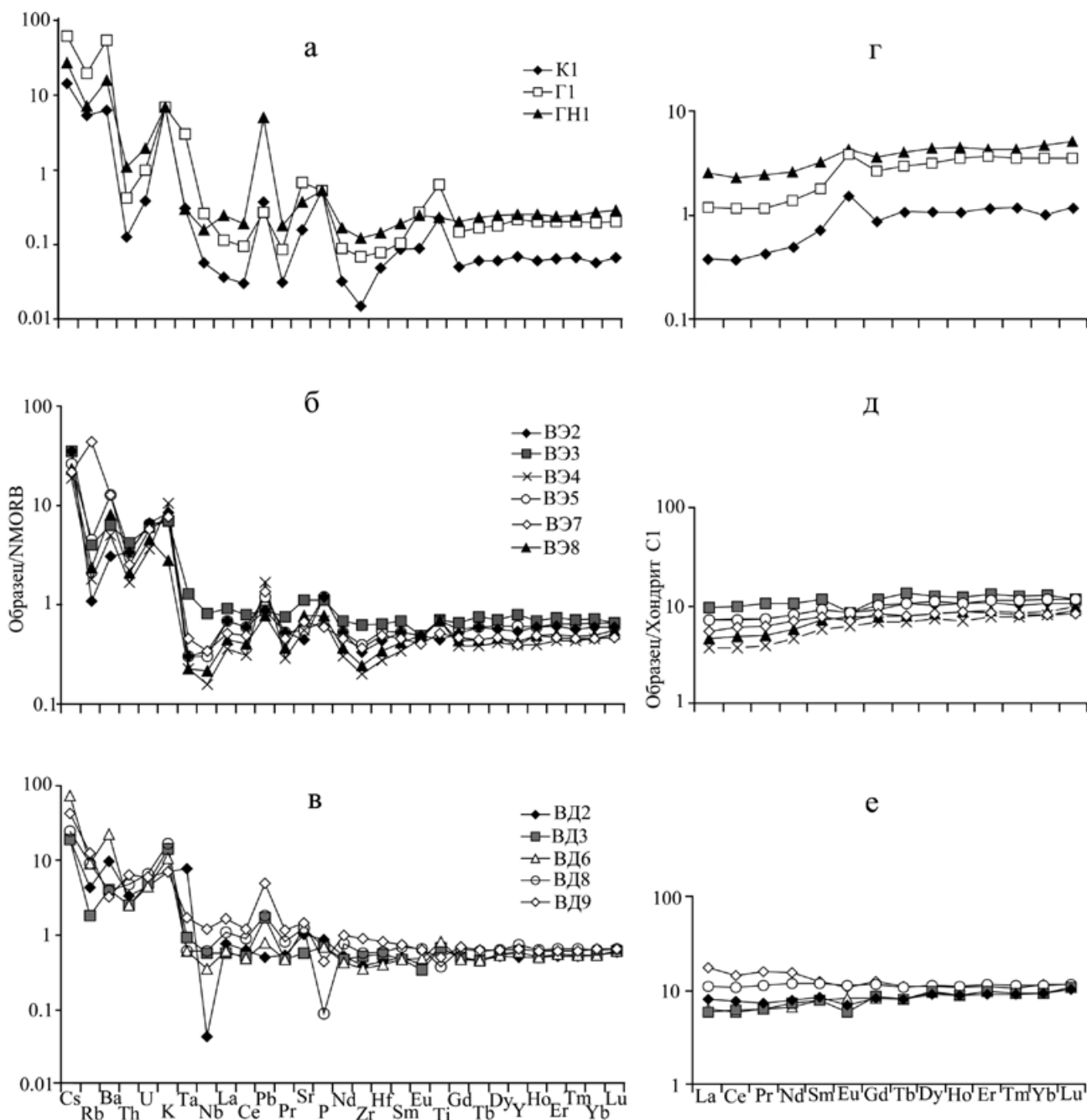


Рис. 4. Тренды распределения редких и редкоземельных элементов в клинопироксенитах и габброидах (а, г), в долеритах, базальтах и андезибазальтах (б, д), в габбро-долеритах, габбро-диоритах и диоритах (в, е).

Нормирование по NMOB и C1 согласно (McDonough, Sun, 1995)

Fig. 4. Trends in the distribution of rare and rare earth elements in clinopyroxenites and gabbroids (a, г), in dolerites, basalts and basaltic andesites (б, д), in gabbro-dolerites, gabbro-diorites, and diorites (в, е).

Standardization NMOB and C1 by (McDonough, Sun, 1995).

Исключение составляет одна проба диорита (№ ВД8), имеющего состав, переходный от толеитового к известково-щелочному. Породы в пределах месторождения подверглись околорудному метасоматозу, поэтому при оценке их серийной

принадлежности предпочтение нами отдается соотношениям высокочarged элементов. Они, по сравнению с петрогенными элементами, менее мобильны при вторичных изменениях (Pearce, 2014; Winchester, Floyd, 1986).

На диаграмме TiO_2 – MgO точки составов эффузивов и даек концентрируются в поле толеитовых и известково-щелочных серий островных дуг (см. рис. 3д).

Тренды распределения редких элементов в эффузивах и дайках характеризуются теми же особенностями, что и в габброидах: накоплением высокозарядных элементов, U, Th и Pb, отрицательными аномалиями Nb и Zr и положительными Sr (см. рис. 4б, в). Однако аномалии Ti имеют переменный знак. На диаграмме Zr/Nb – Nb/Th точки составов базальтов, долеритов и габбро-долеритов образуют единый ореол, располагающийся в поле островодужных базальтов (рис. 5б). Спектры распределения РЗЭ указывают на обогащение эффузивных пород тяжелыми лантаноидами ($\text{La}_N/\text{Yb}_N = 0.53$ – 0.83) (см. рис. 4д), что характерно для островодужных толеитов. Значения Eu/Eu^* составляют 0.74 – 1.15 . В породах дайковой серии по мере роста кремнекислотности наблюдается увеличение значений La_N/Yb_N от 0.75 в габбро-долеритах до 1.5 в диоритах (см. рис. 4е). При этом все типы пород имеют отрицательные аномалии Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.7$ – 0.95), которые указывают на преобладание в расплаве Eu^{+2} и восстановительные условия генерации магм (Richards et al., 2012).

Как видно из приведенных данных, по индикаторным петро- и геохимическим параметрам эффузивные образования и породы дайковой серии сходны. Судя по соотношениям малоподвижных при вторичных изменениях редких элементов, они имеют нормальную щелочность, толеитовый и крайне редко переходный от толеитового к известково-щелочному состав. Среди фаунистически датированных вулканогенных комплексов, распространенных в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале (Маслов, Артющкова, 2010), по химическому составу рудовмещающие породы Вознесенского месторождения наиболее близки к вулканитам баймак-бурибаевской свиты ($\text{D}_{1\text{e}2}$). Это хорошо видно на диаграммах Al_2O_3 – TiO_2 и Zr/Nb – Nb/Th (см. рис. 5). Баймак-бурибаевские вулканогенные комплексы слагают в пределах Магнитогорской палеоостроводужной системы фронтальную дугу, в южных частях (в современных координатах) которой расположены многочисленные колчеданные месторождения (Серавкин и др., 1992).

Близость химических составов дает основание предполагать аналогичный позднемезозойский возраст эффузивов и даек Вознесенского месторождения. Вместе с тем породы месторождения обладают рядом отличительных особенностей, которые, по-видимому, в значительной мере обусловлены геодинамической обстановкой их формирования. В частности, они отличаются от вулканитов колчеданноносных комплексов повышенной титанистостью всех разновидностей пород (см. рис. 3д), отсутствием бонинитов и кремнекислых вулканитов,

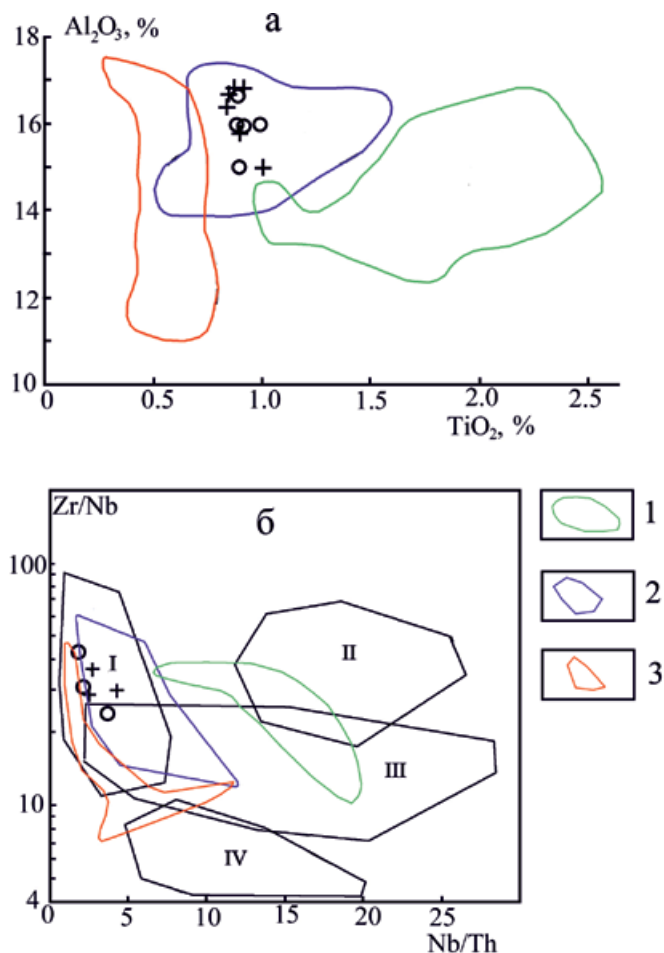


Рис. 5. Диаграммы Al_2O_3 – TiO_2 (а) и Zr/Nb – Nb/Th (б) (Condie, 2005) для основных пород.

1–3 – поля составов базальтов поляковской (O_2) (1), баймак-бурибаевской ($\text{D}_{1\text{e}2}$) (2) и ирендыкской ($\text{D}_{2\text{ef}}$) (3) свиты зоны ГУР (Spadea et al., 2002; Косарев и др., 2005; Nimis et al., 2010; Знаменский, Мичурин, 2013; Знаменский и др., 2019).

На диаграмме “б” поля составов базальтов: I – островных дуг, II – COX, III – океанических плато, IV – океанических островов. Остальные обозначения – см. рис. 3.

Fig. 5. Diagrams Al_2O_3 – TiO_2 (a) and Zr/Nb – Nb/Th (b) (Condie, 2005) for basic rocks.

1–3 – compositional fields of basalts from the Polyakovka (O_2) (1), Baimak-Buribay ($\text{D}_{1\text{e}2}$) (2) and Irendyk ($\text{D}_{2\text{ef}}$) (3) suites of the MUF zone (Spadea et al., 2002; Kosarev et al., 2005; Nimis et al., 2010; Znamenskii, Michurin, 2013; Znamenskii et al., 2019).

In diagram “b” the composition fields of basalts: I – island arcs, II – MOR, III – oceanic plateaus, IV – oceanic islands. For other designations see Fig. 3.

а также преобладанием порфировых разновидностей. Аналогичная по составу островодужная ассоциация слабодифференцированных толеитовых эффузивных и интрузивных пород нормальной щелочности ранее была изучена нами на Николаевском золоторудном месторождении (Знаменский,

Холоднов, 2018), расположенном в зоне Главного Уральского разлома в 50 км северо-восточнее Вознесенского месторождения (см. рис. 1). По физико-химическим условиям образования оно соответствует месторождениям золота субэпитептермально-го типа (Znamensky et al., 2020).

Геодинамическая позиция

Реконструкции были выполнены с использованием диаграмм $V-Ti/1000$ и La_N/Sm_N-TiO_2 (рис. 6), которые позволяют оценить геодинамическую обстановку формирования магматических комплексов в пределах островодужной системы. На первой из них точки эффузивов и даек основного состава Вознесенского месторождения располагаются в поле базальтов дистальных (удаленных от зон субдукции) островных дуг и задуговых бассейнов и N-MORB. Баймак-бурибаевские вулканиды основного состава, распространенные в южных колчеданосных районах Магнитогорской палеоостровной дуги, концентрируются на этой диаграмме в поле бонинитов и базальтов проксимальных островных дуг. На диаграмме La_N/Sm_N-TiO_2 точки основных пород Вознесенского месторождения ложатся в поле базальтов задуговых бассейнов и N-MORB, а колчеданосных комплексов баймак-бурибаевской свиты – в поле фанерозойских бонинитов и базальтов островной дуги Тонго-Кермадек. Наиболее обоснованной геохимическими данными представляется геодинамическая позиция Вознесенского месторождения в зоне задугового бассейна позднеэмской фронтальной островной дуги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вознесенское месторождение приурочено к фрагменту коровой части островодужных офиолитов. Разрез офиолитов слагают такситовые габброиды, толща долеритов, базальтов, андезитбазальтов и их туфов, местами отделенных от габброидов линзами серпентинитов, и пакет субпараллельных даек порфировых габбро-долеритов, габбро-диоритов и диоритов. Вулканиды и породы даек, имеющие нормальную щелочность и в основном толеитовый состав, обладают геохимическими характеристиками надсубдукционных образований. По химическому составу они сопоставимы с вулканидами баймак-бурибаевской свиты (D_{I_2}). Геохимические данные дают основание полагать, что ассоциация основных вулканидов и рудоносных даек габбро-долеритов, габбро-диоритов и диоритов Вознесенского месторождения образовалась в задуговом бассейне позднеэмской фронтальной островной дуги. Судя по тесной пространственной ассоциации золотого оруденения с порфировыми дайками, Вознесенское месторождение,

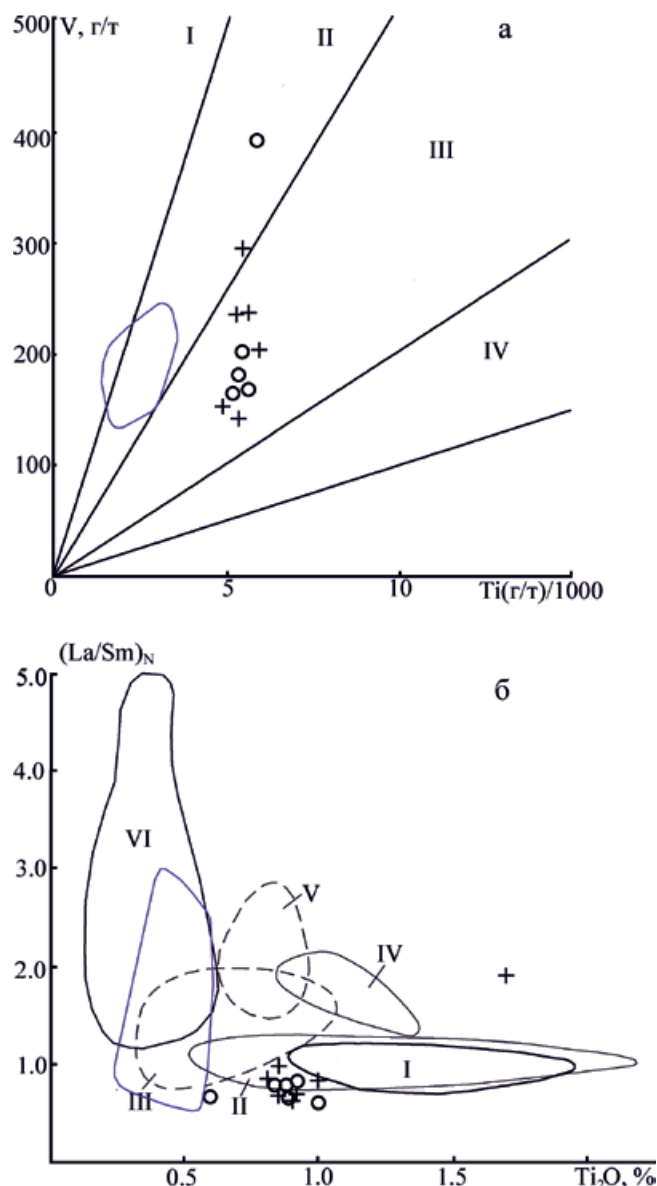


Рис. 6. Диаграммы $V-Ti/1000$ (a) (Pearce, 2014) и $(La/Sm)_N-TiO_2$ (б) (Khanna, 2013) для основных пород.

а – поля составов: I – бонинитов; II – базальтов проксимальных островных дуг; III – базальтов дистальных островных дуг, задуговых бассейнов и COX, IV – океанических островов.
б – поля составов базальтов: I – COX, II – моря Lau, III – Тонго-Кермадекской и IV – Марианской островной дуги, V – Марианского желоба и VI – фанерозойских бонинитов. Остальные обозначения – см. рис. 3.

Fig. 6. Diagrams $V-Ti/1000$ (a) (Pearce, 2014) and La_N/Sm_N-TiO_2 (b) (Khanna, 2013) for basic rocks.

a – fields of composition: I – boninites, II – basalts of proximal island arcs, III – basalts of distal island arcs, back arc basins and MORB, IV – ocean island.
b – fields of basalt compositions: I – MORB, II – Lau basin, III – Tonga-Kermadec and IV – Mariana island arcs, V – Mariana Trough and VI – Phanerozoic boninites. For other designations see Fig. 3.

по-видимому, относится к порфирово-эпитептермальному семейству. Однако для окончательного вывода о его рудно-формационной принадлежности необходимо изучить физико-химические условия образования золоторудной минерализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анисимов И.С., Сопко Л.Н., Ямаев Ф.А. и др. Отчет по геологическому доизучению в масштабе 1 : 50 000 Северо-Учалинской площади (планшеты N-40-48-B (б, г); N-40-59-B (б, г); N-40-60-A; N-40-72-A) за 1978-83 гг. Т. 1-7. Башкирский РГФ, 1983.
- Бородаевский Н.И. (1933) Материалы по геологии месторождений золота и меди Учалинского и Миасского районов. Башкирский РГФ. 144 с.
- Жданов А.В., Ободов В.А., Макарьева Л.Б. и др. (2018) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Лист N-40-XVIII (Учалы). Объяснительная записка. М.: Моск. фил. "ФГБУ ВСЕГЕИ", 386 с.
- Знаменский С.Е., Косарев А.М., Шафигуллина Г.Т. (2019) Фациальный состав, геохимические особенности и геодинамические обстановки образования позднеэмских островодужных комплексов зоны Главного Уральского разлома на Южном Урале. *Вестн. Перм. ун-та. Геология*, **18**(1), 1-16.
- Знаменский С.Е., Мичурин С.В. (2013) Условия образования золото-сульфидного месторождения Миндяк (Южный Урал): структурные и изотопно-геохимические аспекты. *Литосфера*, (4), 121-135.
- Знаменский С.Е., Холоднов В.В. (2018) Петролого-геохимические особенности рудовмещающих эффузивных и интрузивных пород Николаевского месторождения золото-порфирового типа (Южный Урал). *Литосфера*, **18**(4), 607-620.
- Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б. (2005) Петролого-геохимические особенности раннедевонско-эйфельских островодужных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом аспекте. *Литосфера*, (4), 22-41.
- Маслов В.А., Артюшкова О.В. (2010) Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграф-Сервис, 288 с.
- Савельева Г.Н. (1987) Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: ГИН АН СССР, 246 с.
- Серавкин И.Б., Косарев А.М., Салихов Д.Н., Знаменский С.Е., Родичева З.И., Рыкус М.В., Сначев В.И. (1992) Вулканизм Южного Урала. М.: Наука, 197 с.
- Сури С.В. Отчет о поисках золота на Южно-Калканском участке за 1989-1997 гг. Башкирский РГФ, 1997. 104 с.
- Фролова Т.И., Бурикова И.А. (1978) Геосинклинальный вулканизм (на примере восточного склона Южного Урала). М.: МГУ, 266 с.
- Чаплыгина Н.Л., Дегтярев К.Е., Савельева Г.Н. (2002) Офиолиты гарцбургитового типа в структурированном меланже Западно-Магнитогорской зоны (Южный Урал). *Геотектоника*, (6), 25-37.
- Condie K.C. (2005) TTGs and adakites: are they both slab melts? *Lithos*, **83**, 33-44.
- Khanna T.C. (2013) Geochemical evidence for a paired arc-back-arc association in the Neoproterozoic Gadwal greenstone belt, eastern Dharwar craton, India. *Curr. Sci.*, **104**(5), 632-640.
- MacLean W.H., Barrett T.J. (1993) Lithochemical techniques using immobile elements. *J. Geochem. Explor.*, **48**, 109-133.
- McDonough W.F., Sun S. (1995) The composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223-253.
- Middlemost E.A.K. (1994) Naming materials in magma/igneous rock system. *Earth Sci. Rev.*, **37**, 215-224.
- Miyashiro A. (1973) The Troodos ophiolitic complex was probably formed in an island arc. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **19**, 218-224.
- Nimis P., Omenetto P., Buschmann B., Jonas P., Simonov V.A. (2010) Geochemistry of igneous rocks associated with ultramafic-mafic-hosted Cu (Co, Ni, Au) VMS deposits from the Main Uralian Fault (Southern Urals, Russia). *Mineral. Petrol.*, **100**, 201-214.
- Pearce J.A. (2014) Immobile Element Fingerprinting of Ophiolites. *Elements*, **10**, 101-108.
- Reagan M.K., Pearce J.A., Petronotis K., Almeev R., Avery A.A., Carvallo C., Chapman T., Christeson G.L., Ferre E.C., Godard M., Heaton D.E., Kirchenbaur M., Kurz W., Kutterolf S., Li H.Y., Li Y., Michibayashi K., Morgan S., Nelson W.R., Prytulak J., Python M., Robertson A.H.F., Ryan J.G., Sager W.W., Sakuyama T., Shervais J.W., Shimizu K., Whattam S.A. (2015) Expedition 352 Scientists, Proceedings of the International Ocean Discovery Program. V. 352.
- Richards J.P., Spell T., Rameh E., Razique A., Fletcher T. (2012) High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu ± Mo ± Au potential: examples from the Tethyan arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. *Econ. Geol.*, **107**, 295-332.
- Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Ye., Brown D. (2002) Arccontinent 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.
- Winchester J.A., Floyd P.A. (1977) Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Products Using Immobile Elements. *Chem. Geol.*, **20**, 325-343.
- Winchester J.A., Floyd P.A. (1986) Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed igneous rock. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **28**, 459-469.
- Znamenskii S.E., Ankusheva N.N., Snachev A.V. (2020) The Formation Conditions and Sources of Ore-Forming Fluids of the Nikolaevskoe Gold Deposit (South Urals). *Russ. Geol. Geophys.*, **61**(8), 828-837.

REFERENCES

- Anisimov I.S., Sopko L.N., Yamaev F.A. (1983) Report of added geologic study 1 : 50 000 scale of Northern Uchaly area during 1978-1983. V 1-7. Bashkirian RGF. (In Russ., unpublished)
- Borodaevskii N.I. (1933) Materials on Au and Cu deposits in Uchaly and Miass areas. Bashkirian RGF, 144 p. (In Russ., unpublished)
- Chaplygina N.L., Degtyarev K.E., Savel'eva G.N. (2002)

- Ophiolites of harzburgite type in the structured melange of the West Magnitogorsk zone (Southern Urals). *Geotektonika*, (6), 25-37. (In Russ.)
- Condie K.C. (2005) TTGs and adakites: are they both slab melts? *Lithos*, **83**, 33-44.
- Frolova T.I., Burikova I.A. (1978) Geosynclinal volcanism (on the example of the eastern slope of the Southern Urals). Moscow, Moscow State Univ. Publ., 266 p. (In Russ.)
- Khanna T.C. (2013) Geochemical evidence for a paired arc-back-arc association in the Neoproterozoic Gadwal greenstone belt, eastern Dharwar craton, India. *Curr. Sci.*, **104**(5), 632-640.
- Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B. (2005) Petrological and geochemical features of the Early Devonian-Eifelian island-arc volcanic rocks of the Magnitogorsk zone in the geodynamic aspect. *Lithosphere (Russia)*, (4), 22-41. (In Russ.)
- MacLean W.H., Barrett T.J. (1993) Lithochemical techniques using immobile elements. *J. Geochem. Explor.*, **48**, 109-133.
- Maslov V.A., Artyushkova O.V. (2010) Stratigraphy and correlation of Devonian deposits of the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals. Ufa, DesignPolygraph-Service Publ., 288 p. (In Russ.)
- McDonough W.F., Sun S. (1995) The composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223-253.
- Middlemost E.A.K. (1994) Naming materials in magma/igneous rock system. *Earth Sci. Rev.*, **37**, 215-224.
- Miyashiro A. (1973) The Troodos ophiolitic complex was probably formed in an island arc. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **19**, 218-224.
- Nimis P., Omenetto P., Buschmann B., Jonas P., Simonov V.A. (2010) Geochemistry of igneous rocks associated with ultramafic-mafic-hosted Cu (Co, Ni, Au) VMS deposits from the Main Uralian Fault (Southern Urals, Russia). *Mineral. Petrol.*, **100**, 201-214.
- Pearce J.A. (2014) Immobile Element Fingerprinting of Ophiolites. *Elements*, **10**, 101-108.
- Reagan M.K., Pearce J.A., Petronotis K., Almeev R., Avery A.A., Carvallo C., Chapman T., Christeson G.L., Ferre E.C., Godard M., Heaton D.E., Kirchenbaur M., Kurz W., Kutterolf S., Li H.Y., Li Y., Michibayashi K., Morgan S., Nelson W.R., Prytulak J., Python M., Robertson A.H.F., Ryan J.G., Sager W.W., Sakuyama T., Shervais J.W., Shimizu K., Whattam S.A. (2015) Expedition 352 Scientists, Proceedings of the International Ocean Discovery Program. V. 352.
- Richards J.P., Spell T., Rameh E., Raziq A., Fletcher T. (2012) High Sr/Y magmas reflect arc magmatism, high magmatic water content, and porphyry Cu \pm Mo \pm Au potential: examples from the Tethyan arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. *Econ. Geol.*, **107**, 295-332.
- Savel'eva G.N. (1987) Gabbro-ultramafic complexes of Ural ophiolites and their analogues in modern oceanic crust. Moscow, GIN AN SSSR, 246 p. (In Russ.)
- Seravkin I.B., Kosarev A.M., Salikhov D.N., Znamenskii S.E., Rodicheva Z.I., Rykus M.V., Snachev V.I. (1992) Volcanism of the Southern Urals. Moscow, Nauka Publ., 197 p. (In Russ.)
- 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.
- Surin S.V. (1997) Report on Au search Southern-Kalkan district in 1989-1997. Bashkirian RGF. 104 p. (In Russ., unpublished)
- Winchester J.A., Floyd P.A. (1977) Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Products Using Immobile Elements. *Chem. Geol.*, **20**, 325-343.
- Winchester J.A., Floyd P.A. (1986) Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed igneous rock. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **28**, 459-469.
- Zhdanov A.V., Obodov V.A., Makar'eva L.B., Makar'eva L.B. et al. (2018) State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200 000. Sheet N-40-XVIII (Uchaly). Explanatory note. Moscow, Moscow branch of the FGBU VSEGEI, 386 p. (In Russ.)
- Znamenskii S.E., Ankusheva N.N., Snachev A.V. (2020) The Formation Conditions and Sources of Ore-Forming Fluids of the Nikolaevskoe Gold Deposit (South Urals). *Russ. Geol. Geophys.*, **61**(8), 828-837.
- Znamenskii S.E., Kholodnov V.V. (2018) Petrological and geochemical features of ore-bearing effusive and intrusive rocks of the Nikolaevsky deposit of gold-porphyry type (Southern Urals). *Lithosphere (Russia)*, **18**(4), 607-620. (In Russ.)
- Znamenskii S.E., Kosarev A.M., Shafigullina G.T. (2019) Facies composition, geochemical features and geodynamic settings for the formation of the Late Emsian island-arc complexes of the Main Ural Fault zone in the South Urals. *Vestn. Perm. Univer., Geol.*, **18**(1), 1-16. (In Russ.)
- Znamenskii S.E., Michurin S.V. (2013) Conditions for the formation of the Mindyak gold-sulfide deposit (Southern Urals): structural and isotope-geochemical aspects. *Lithosphere (Russia)*, (4), 121-135. (In Russ.)