

УДК 553.411

ГЕОХРОНОЛОГИЯ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЗОЛОТОСЕРЕБРЯНЫХ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СТРУКТУР ЧУКОТСКОГО СЕКТОРА АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ

© 2016 г. Член-корреспондент РАН В. Г. Сахно¹, Н. В. Григорьев², В. В. Курашко²

Поступило 03.07.2015 г.

Впервые приведены данные определения возраста (на основе SHRIMP-метода) магматических комплексов, с которыми связаны золотосеребряные месторождения, рудопроявления (Купол, Двойное, Морошка и др.) Приарктической части Чукотского сектора Арктики. На основе петрологических и изотопно-геохимических данных рассмотрены условия их формирования.

DOI: 10.7868/S0869565216150214

Восточная континентальная часть арктического побережья Чукотки расположена в зоне активных геодинамических перестроек ([1–3] и др.). Геодинамическая активность в этом регионе наиболее сильно проявлена в мезозое и кайнозое как результат движения плиты Кулу, что, в свою очередь, привело к одновременному закрытию Южно-Ануйского океана, движению, скольжению блоков континентальной коры вдоль разломов и сопряженных с ними раздвиговых зон, что обусловило формирование рудно-магматических систем (РМС).

Арктическое побережье Чукотского сектора Арктики характеризуется широким проявлением мелового кислого вулканизма, с вулканоструктурами которого связано золотосеребряное рудопроявление.

Изучение особенностей магматизма и связанного с ним оруденения на основе современных методов исследования (структурно-геологических, геохронологических, петро-геохимических, изотопных и др.) дает возможность выявления условий формирования и поиска новых перспективных рудно-магматических структур (РМС), связанных с процессами магмо- и рудогенерации [4, 6].

Для Чукотской вулканической зоны характерны проявления объемного кислого вулканизма, а

для Анадырского сектора Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП), к югу от Южно-Ануйской шовной зоны, — интенсивный андезит-базальтовый вулканизм. Эта смена характера магматизма проявлена и в особенностях рудопроявлений, размещение которых контролируют меридиональные и северо-западные глубинные разломы (рис. 1) [4, 6].

Мы рассматриваем два рудных узла: Купольский, Илirianский, в которых месторождения Купол, Морошка — в первом, Двойное, Сентябрьское — во втором (рис. 1) ([4–6] и др.).

Купольский рудный узел располагается в пределах внешней зоны ОЧВП, на границе Чукотской и Олойской складчатых систем, разделенных Южно-Ануйским рифтогенной сутурой (рис. 1).

Месторождения Купол, Морошка расположены в северо-западной части Мечкереской вулканоструктуры диаметром около 100 км; это палеовулкан сложного строения. В основании разреза вулканитов залегает толща, сложенная туфами и игнимбритами риолитов, риодацитов.

Выше залегает толща лав и туфов андезитов и андезито-базальтов. Верхняя часть всего разреза меловых образований завершает толща лав из туфо-риолитов, трахириолитов, которые перекрываются покровом базальтов, предположительно палеогеновых. В пределах месторождения известны экструзии, дайки, малые интрузии, представленные габбро-диоритами, андезитами, дацитами, риолитами [4, 6].

Вулканоструктуры, размещенные в поле развита вулканогенной толщи, имеют локальные

¹Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток
E-mail: sakhno@mail.ru

²Горно-рудная компания “Кинросс ДВ”, Магадан

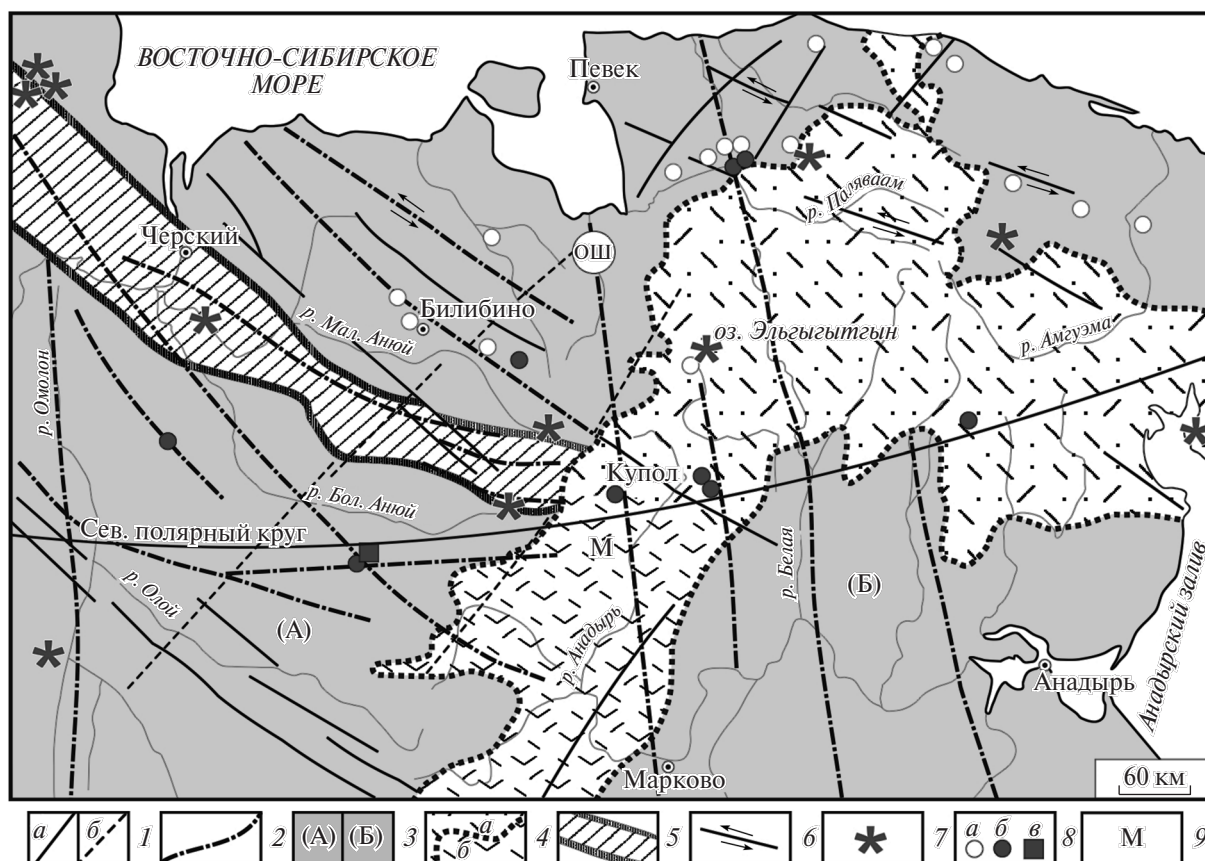


Рис. 1. Схема рудоносных глубинных разломов и скрытых линейментов Чукотки ([4, 6] с добавлением авторов). 1 – разломы: *a* – закартированные, *b* – выделенные по космогеологическим данным; 2 – пояса и зоны глубинных разломов и скрытых линейментов по геологическим, геофизическим, морфоструктурным, космогеологическим данным (ОШ – Олюторско-Шелагинский пояс); 3 – породы основания: (А) – Чукотские мезозоиды, (Б) – Корякские кайнозоиды [4]; 4 – границы ОЧВП: *a* – преимущественно поля кислого состава, *b* – преимущественно поля средне-основного состава; 5 – границы Южно-Анюйского рифтогенного прогиба; 6 – зоны разломов и сдвиги по ним; 7 – миоценовые вулканы; 8 – месторождения: *a* – мезотермальные золото-кварцевые, золото-сульфидные, золото-редкометалльные, *b* – эпитермальные золотосеребряные, *в* – медно-порфировые; 9 – Мечкеревский вулканоплутонический центр (М).

просадки (палеокальдеры): Коваленковская, Озернинская, Кайемравеевская.

Магмо- и рудоконтролирующие структуры высокого порядка – Средне-Кайемравеевский субмеридиональный глубинный разлом и Имравеевский разлом северо-восточного направления. Эти разломы сопряжены с осевой зоной Крестовско-Саламихинского трансрегионального глубинного разлома.

Для петрологических и изотопных исследований магматических пород месторождения Купол были изучены диорит (WP-4220), кристаллокластический дацитовый туф (WP-4325), риолит (WP-4319). Вулканические породы рудопроявления Морошка представлены андезитом (109908) и дацитом (109907). Особенности химического, а также микро- и редкоземельного составов в табл. 1.

Впервые для магматических пород месторождения Купол получены оригинальные данные возраст-

та покровного туфа WP-4325 – 94.8 ± 1.4 и послерудной риолитовой дайки F-3 – 88.89 ± 0.87 млн лет (среднее из трех анализов), определенные по цирконам (SHRIMP-II-метод, рис. 2). К–Аг-методом определены флюидный покровный дацит – 89.5 ± 2 млн лет, а также андезит, составляющий нижнюю часть толщи, слагающей рудное поле, – 94.5 ± 2 млн лет. Это позволяет сделать выводы: возраст оруденения месторождения Купол в промежутке между 88 и 89 млн лет. Для вулканических пород, слагающих покровные образования месторождения Купол и рудопроявления Морошка, получены и изотопные данные по Pb–Pb и Rb–Sr-системам (табл. 2, 3).

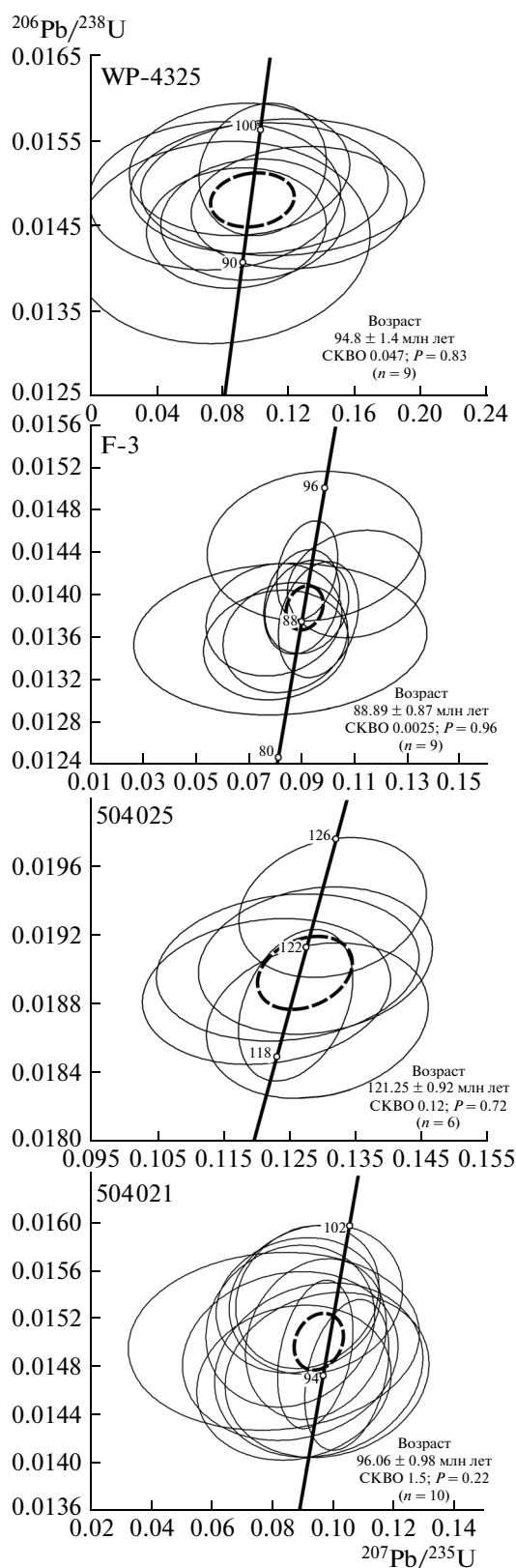
В Илirianейском рудном узле, в Западной Чукотке, в 80 км к северу от Купольского узла, известны два перспективных месторождения: Сентябрьское, Двойное.

Таблица 1. Петрохимические (мас. %) и микро- и редкоземельные элементы (ppm) представленных магматических пород золотосеребряных месторождений Западной Чукотки

Ком- понент	Купол			Двойное				Сентябрьское			Морошка	
	WP - 4220	WP - 4325	WP - 4319	504006	504007	504021	504025	504017	504018	504020	109907	109908
SiO ₂	56.62	67.02	71.78	68.74	75.39	65.39	76.30	50.57	60.69	75.80	61.86	56.41
TiO ₂	0.76	0.43	0.22	0.37	0.10	0.69	0.13	0.88	0.64	0.09	0.63	0.74
Al ₂ O ₃	16.12	15.11	14.32	14.05	12.79	15.09	12.16	16.67	14.67	11.93	15.27	16.00
Fe ₂ O ₃	7.52	3.63	2.14	3.24	1.32	4.89	1.70	8.21	6.53	2.39	5.58	7.47
MnO	0.15	0.03	0.04	0.09	0.04	0.03	0.03	0.16	0.10	0.03	0.13	0.13
MgO	4.52	0.37	0.20	0.55	0.17	1.86	0.23	4.21	2.53	0.14	1.76	3.60
CaO	6.02	1.23	1.24	1.76	0.66	2.58	0.55	7.15	2.42	0.85	3.45	5.58
Na ₂ O	2.97	2.18	4.09	3.73	2.40	3.46	2.39	4.54	2.80	3.61	0.87	2.35
K ₂ O	2.19	7.42	3.80	4.63	5.02	3.60	4.74	1.14	2.75	3.85	5.02	2.79
P ₂ O ₅	0.23	0.13	0.04	0.10	0.01	0.22	0.04	0.47	0.23	0.02	0.19	0.26
H ₂ O ⁻	0.58	0.49	0.75	0.24	0.31	0.20	0.33	0.30	0.91	0.12	0.71	0.50
ппп	2.07	1.55	1.16	2.05	1.61	1.96	1.27	5.28	5.49	0.71	4.14	4.00
Σ	99.75	99.60	99.78	99.54	99.81	99.96	99.86	99.57	99.76	99.54	99.61	99.83
Cr	189.7	50.63	148.1	486.0	340.1	140.1	203.2	113.7	166.2	797.5	209.84	140.8
Co	25.26	4.22	2.06	4.69	2.13	7.75	1.72	23.57	13.64	3.95	8.17	13.27
Ni	51.70	3.34	9.48	11.48	8.51	5.15	8.44	34.79	11.14	19.66	6.66	11.30
Cu	38.11	5.09	3.68	17.13	4.20	20.19	3.62	73.47	30.39	25.67	33.78	33.12
As	9.39	8.50	2.94	13.16	2.97	9.54	5.32	24.76	7.60	11.87	98.12	7.83
Rb	48.82	207.1	99.23	143.3	190.6	134.6	184.3	33.40	127.5	111.1	153.0	62.45
Sr	423.0	147.0	198.0	120.8	47.10	386.4	32.92	476.2	296.0	83.86	142	439
Y	21.12	21.52	13.86	21.31	16.95	24.36	21.20	21.93	18.69	13.21	19.26	18.48
Zr	94.03	235.3	159.7	308.9	90.4	182.9	135.1	133.3	142.8	74.65	157.7	124.7
Nb	5.10	8.84	8.12	8.38	6.31	10.8	7.41	6.64	8.68	10.12	5.59	4.72
Ba	501.9	1102	949.9	694.9	274.1	1203	369.5	431.5	374.2	213.8	771.1	641.1
La	17.80	26.79	25.09	35.61	24.60	39.25	27.20	35.60	26.06	29.27	26.88	24.06
Ce	39.79	55.33	48.71	59.49	47.01	74.88	54.08	73.73	55.63	54.52	57.35	50.00
Nd	17.38	21.38	16.08	20.28	13.33	27.43	17.93	31.38	21.79	13.99	23.23	21.76
Sm	3.69	4.24	2.73	3.77	2.51	5.19	3.37	5.91	4.17	2.29	4.77	5.18
Eu	1.04	1.23	0.68	0.75	0.17	1.18	0.25	1.62	1.12	0.07	1.02	1.05
Ho	0.55	0.57	0.33	0.54	0.42	0.64	0.55	0.58	0.50	0.33	0.97	0.94
Yb	1.52	1.69	1.22	1.73	1.52	1.58	2.02	1.52	1.44	1.26	2.99	2.56
Lu	0.21	0.24	0.18	0.25	0.23	0.22	0.30	0.21	0.20	0.20	0.38	0.28
Hf	3.27	6.74	4.77	9.22	3.74	5.37	4.85	3.40	4.08	2.70	6.29	4.47
Ta	0.41	0.91	0.85	1.00	1.64	1.24	1.28	0.38	0.59	1.13	0.71	0.52
Pb	12.37	18.46	15.08	40.41	25.92	12.37	20.40	6.91	15.45	88.13	12.97	15.53
Th	4.42	11.42	10.00	18.10	21.26	14.32	18.17	6.95	14.35	30.81	9.16	6.78
U	1.42	2.42	2.78	5.33	9.40	2.63	3.42	1.80	4.01	11.87	3.53	2.11

Примечание. Определения содержания петрогенных элементов выполнены в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500Duo ("Thermo Scientific Corporation", США). Определение микро- и редкоземельных элементов выполнено на масс-спектрометре Agilent 7700 x ("Agilent Technologies", США).

Месторождение Сентябрьское относится к золото-теллуричному типу, широко проявленному в вулканических поясах Тихоокеанского обрамления [7].



Рудопроявление расположено в пределах интрузивно-купольной структуры, наложенной на более раннюю и (более древнюю) Илирнейскую кальдеру обрушения, сложенную раннемеловыми вулканитами тытельвеевской свиты, входящей в состав Тытельвеевского андезит-риолитового вулканического комплекса [8].

В составе этого комплекса выделены подсвиты нижняя и верхняя, представленные потоками лав андезитов, пластами туфобрекчий и туфов андезитов. Средняя подсвита представлена комплексом пород средне-кислого состава (дацитами, риолитами, риодацитами, реже игнимбритами, табл. 1). Породы тытельвеевской свиты прорваны интрузиями кварцевых монцонитов, гранодиоритов, относящихся к Илирнейскому комплексу субщелочных меловых гранитов [7]. Все они прорываются дайками сиенитов, гранит-порфиров, принадлежащих к Илирнейскому комплексу. Тела риолитов Тытельвеевского комплекса принадлежат крупному субвулканическому массиву Петрохимический, микро- и редкоземельный составы этих пород представлены в табл. 1.

Возраст пород магматических комплексов (К–Аг-метод) условно принят меловым, так как полученные результаты имеют значительный разброс: 90–100 млн лет.

РМС Двойное относится к мало-сульфидному золотосеребряному эпитермальному типу и размещена в андезитах и туфах нижней подсвиты тытельвеевской свиты.

В пределах участка оруденения широко распространены андезитовые образования и более древние интрузивные и субвулканические породы Илирнейского комплекса. Их развитие широко проявлено в южной части рудного поля.

Петрохимический и микроэлементный состав представлен в табл. 1. Данные показывают определенные сходства соотношения микро- и редкоземельных элементов двух РМС.

Определение возраста по цирконам (рис. 2, SHRIMP) и К–Аг-методом в большинстве случаев совпадает, что позволяет определить магматические этапы: ранний, связанный с проявлением гранитов и сиенитов илирнейской фазы, представляющий собой начало формирования кальде-

Рис. 2. SHRIMP-датирования по цирконам представленных магматических пород рудных месторождений. Местонахождение Купол – покровный туф WP-4325, пострудная риолитовая дайка F-3; месторождение Двойное – древняя кальдера обрушения: ранняя фаза – 504025; 504021 – гранит молодой кальдеры, с которым связано оруденение. Диаграммы для всех совокупностей анализов по цирконам: размер эллипсов соответствует величине 2σ . Средневзвешенные результаты показаны утолщенными эллипсами. Определение возраста пород проводили в ЦИИ ВСЕГЕИ.

Таблица 2. Pb–Pb-данные для магматических пород

Место-рождение	Номер образца	Порода	U, мкг/г	Th, мкг/г	Pb, мкг/г	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	Начальные отношения Pb		
									$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Купол	WP-4220	Диорит	5.8	10.0	11	18.5522	15.5215	38.2798	17.9922	15.4947	37.9992
	WP-4325	Дациит, туф	2.3	7.9	14	18.6268	15.5645	38.4577	18.4609	15.5566	38.2921
	WP-4319	Риолит, покров.	2.4	4.7	13	18.5144	15.5311	38.2668	18.3288	15.5222	38.1612
Двойное	503954 (КПШ)	Гранит	0.17	0.76	28	18.5123	15.5547	38.3066	18.5063	15.5544	38.2988
	504022	Диорит	0.54	1.4	9	18.8443	15.6000	38.5804	18.7814	15.5970	38.5330
	504006	Сиенит	4.7	14	52	18.4728	15.5510	38.3370	18.3828	15.5467	38.2577
	504020	Риолит	7.0	21	14	18.9457	15.5698	38.7128	18.4169	15.5445	38.2525
	504025	Гранит, дайка	2.7	13.0	12	18.7435	15.5697	38.6237	18.5202	15.5590	38.3157
Сентябрьское	504018	Андезит	5.1	15.0	6.0	18.9868	15.5755	38.7823	18.0715	15.5316	38.0000
Морошка	109908	Дациит	5.6	20.0	22	18.4842	15.5241	38.2718	18.2427	15.5126	38.0211
	109907	Дациит	2.8	8.5	6.1	18.6054	15.5302	38.3642	18.1752	15.5097	37.9820

Примечание. Определение изотопов Pb и Sr (табл. 2, 3) проводили в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН.

Таблица 3. Rb–Sr-данные по валовым пробам магматических пород

Месторождение	Порода	Номер пробы	Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}, \pm 2\sigma$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}, \pm 2\sigma$
Купол	Диорит (дайка)	WP-4220	54.3	460	0.341 ± 1	0.704244 ± 14
	Туф (дацит)	WP-4325	243	133	5.269 ± 11	0.711086 ± 14
	Риолит (поток)	WP-4319	116	174	1.929 ± 4	0.706464 ± 14
Двойное	Гранит	503954	214	25.5	24.26 ± 5	0.745301 ± 14
	Сиенит	504006	121	98	3.596 ± 7	0.710347 ± 14
	Риолит	504020	113	89.2	3.672 ± 7	0.710744 ± 14
	Диорит	504022	69.0	528	0.378 ± 1	0.707794 ± 14
	Гранит (дайка)	504025	209	40.2	15.03 ± 3	0.728304 ± 14
Сентябрьское	Андезит	504018	151	366	1.196 ± 3	0.706684 ± 14
Морошка	Дациит	109907	201	117	4.98 ± 1	0.705843 ± 14
	Андезит	109908	115	402	0.827 ± 2	0.705051 ± 14

ры обрушения, и более поздний, с которым связано оруденение. Возраст оруденения по данным K–Ar-метода (по адулярам) 88 ± 3 – 87 ± 3 млн лет.

Для магматических комплексов РМС приполярной Чукотки проведены изотопные исследования (табл. 2, 3) и отражены на рис. 3.

Анализ данных материалов РМС приарктической зоны Западной и Центральной Чукотки дают возможность выявить определенные закономерности их формирования.

1. Определение возраста рудоносных магматических комплексов на основе цирконометрии (SHRIMP), K–Ar-методов и рудных процессов (по адуляру) показало, что магматизм и оруденение со-

пряжены во времени (поздний альб–сантон) и представляет единый эволюционный рудно-магматический процесс.

2. Детальные изучения Rb–Sr-, Pb–Pb-изотопных систем рудно-магматических структур позволяют сделать следующие выводы:

– породы имеют смешанную мантийно-коровую природу источника магматического расплава. Изотопные отношения и особенно Rb–Sr-системы в большей степени отражают коровую контаминацию, что на диаграммах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ образуют вытянутую линию вдоль линии NHRL–NIMU.

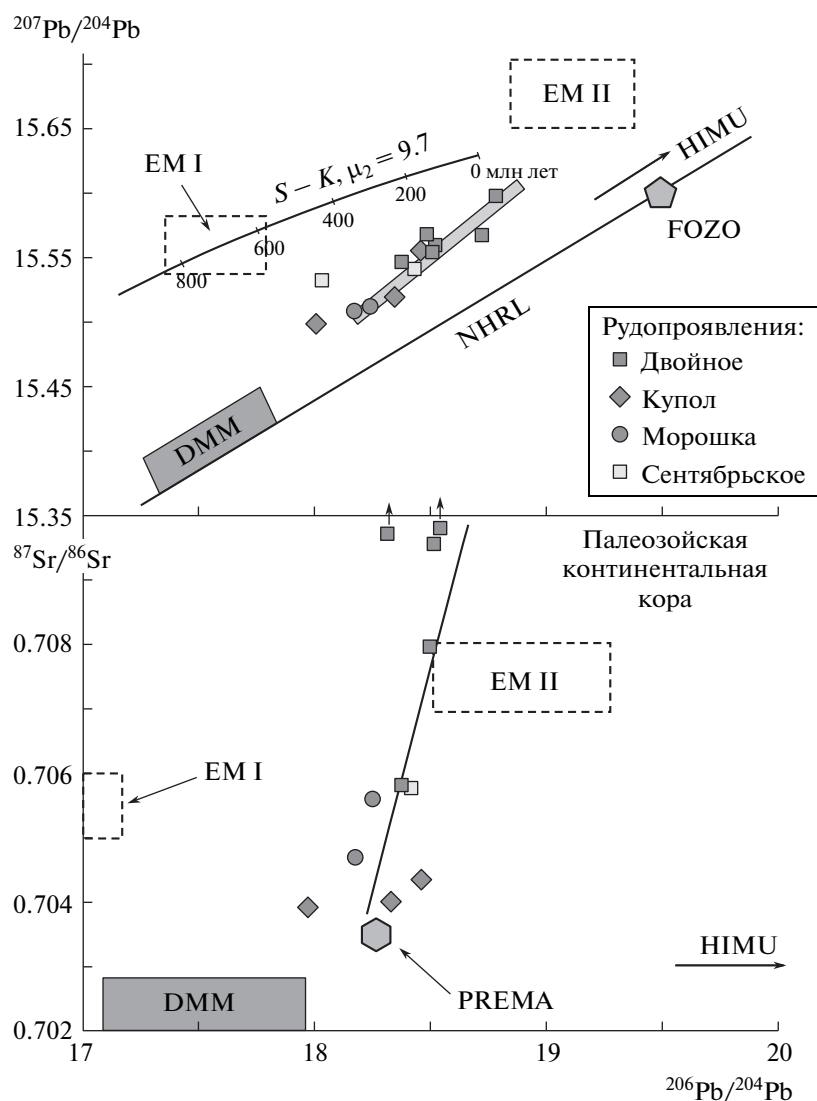


Рис. 3. Изотопные исследования магматических пород месторождений и рудопроявлений Западной Чукотки. Области радиогенных изотопных отношений областей мантии: обедненной – DMM, обогащенной – EM-I, EM-II, HIMU, первичной – FOZO, PREMO [9].

– Первичные стронциевые изотопные отношения 0.704–0.710 и более. Этот разброс можно объяснить различной степенью коровой контаминации магматических пород.

– Наименьшим значением (по данным изотопных Pb–Pb-, Rb–Sr-систем) характеризуются магматические породы месторождений Купол, Морoshка. Породы этих структур обладают наименее радиогенными Pb, Sr, что указывает на то, что они в меньшей степени контаминированы корой в сравнении магматизмом Илirianского рудного узла.

3. На основе данных, приведенных выше, можно сделать выводы, что перспективность (и объемность) рудоносности РМС в большей сте-

пени определяется участием глубинных (мантийных) процессов и длительностью их проявления.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН и ФАНО, проект “Арктика”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю. // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1083–1107.
2. Кривцов В.С., Белый В.Ф., Волков А.В. // ДАН. 2005. Т. 404. № 2. С. 216–219.
3. Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В., Добрецов Н.Л., Верниковский В.А., Соколов С.Д., Шпилов Э.В. // Геотектоника. 2013. № 1. С. 3–35.

4. *Сидоров Л.А., Белый В.Ф., Волков А.В.* // ДАН. 2007. Т. 412. № 2. С. 234–239.
5. Крупные и суперкрупные месторождения полезных ископаемых: Зональность размещения и условия образования / Под ред. Д.В. Рундквиста. М., 2004. 431 с.
6. Особенности геологического строения золото-серебряного месторождения “Купол”/“KINROSS”. 2008. 31 с.
7. *Николаев Ю.Н., Прокофьев В.Ю., Аклеталин А.В.* // Геология руд. месторождений. 2013. Т. 54. № 2. С. 114–144.
8. *Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Сидоров А.А., Савва Н.Е., Колова Е.Е., Уютнов К.В., Бянкин М.А.* // ДАН. 2012. Т. 447. № 4. С. 433–436.
9. *Фор Г.* Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989. 590 с.