

Медно-порфировое оруденение мезозойских вулcano-плутонических поясов Северо-Востока Азии: черты сходства и различия по петрохимическим и изотопно-геохимическим данным

Медно-порфировое оруденение различных мезозойских вулcano-плутонических поясов Северо-Востока Азии несёт черты как сходства, так и различия. В составе гранитоидов медно-порфировых систем разных поясов значимых расхождений не наблюдается. Контрастны изотопно-геохимические характеристики оруденения. Объекты Охотско-Чукотского и Олойского поясов характеризуются околонулевым изотопным составом серы сульфидов, соответствующим магматическому источнику; утяжелённая сера оруденения Уяндино-Ясачненского пояса указывает на заимствование рудного вещества из вмещающих осадочно-метаморфических толщ. Данные по изотопии рудного свинца указывают на нижнекоровые источники Олойского пояса, верхнекоровые – Уяндино-Ясачненского; для Охотско-Чукотского пояса характерна гетерогенность источников вещества.

Ключевые слова: вулcano-плутонический пояс, медно-порфировое, петрохимический, изотопно-геохимический, источники вещества.

ГЛУХОВ АНТОН НИКОЛАЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, gluhov76@list.ru

КОЛОВА ЕЛЕНА ЕВГЕНЬЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, kolova@neisri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (ФГБУ СВКНИИ ДВО РАН), г. Магадан

Porphyry copper mineralization of the Mesozoic volcano-plutonic belts of Northeastern Asia: their similarities and differences, based on the petrochemical and isotope-geochemical evidence

A. N. GLUKHOV, E. E. KOLOVA

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan

Porphyry copper mineralization of various Mesozoic volcano-plutonic belts of Northeastern Asia exhibits both the similarities and differences. There are no significant differences in the composition of granitoids of porphyry copper systems of the different belts. Isotope-geochemical characteristics of the mineralization are contrasting. Objects of the Okhotsk-Chukotka and Oloi belts are characterized by a near-zero isotopic composition of the sulfide sulfur, which corresponds to a magmatic source. Isotopically heavier sulfur of mineralization of the Uyanda-Yasachnaya belt indicates borrowing the ore material from the hosting sedimentary-metamorphic sequences. Data on the ore lead isotopic composition indicate lower crustal sources of the Oloi belt and upper crustal ones of the Uyanda-Yasachnaya belt. The Okhotsk-Chukchi belt is characterized by heterogeneity of the sources of the mineral matter.

Key words: volcanic-plutonic belt, porphyry copper, petrochemical, isotope-geochemical, sources of mineral matter.

Месторождения медно-порфировой рудной формации широко распространены в пределах орогенных поясов, окраинно-континентальных поясов и островных дуг всех возрастов начиная с архея. На их долю приходится 75 % мировых запасов меди в недрах [55]. Месторождениям этого типа принадлежит также пальма первенства по масштабам добычи: в рейтинге десяти самых круп-

ных в мире открытых карьеров четыре созданы на месторождениях данного типа – Эскондида, Чукикамата (Чили), Грасберг (Индонезия), Бингем (США).

Однако в нашей стране ситуация иная. Ведущую роль в структуре минерально-сырьевой базы меди РФ играют магматические Cu-Ni руды [49]; на долю медно-порфировых месторождений

приходятся 17% запасов. В то же время в структуре прогнозных ресурсов меди РФ медно-порфировая формация абсолютно преобладает – 55% [20], что достаточно красноречиво указывает на то, за какими объектами будущее. Более 40% прогнозных ресурсов меди нашей страны сосредоточены на Северо-Востоке Азии; из них 95% относятся к медно-порфировой формации. Однако, несмотря на то, что в последние 15 лет на нескольких медно-порфировых рудопроявлениях Примагаданья и Чукотки были проведены детальные поиски, включавшие геофизические и горно-буровые работы, до сих пор здесь разведаны лишь два медно-порфировых месторождения – Песчанка и Находка.

Усилившийся в последние годы в нашей стране интерес к медно-порфировым месторождениям делает необходимым совершенствование теоретической базы для их прогнозирования. В теоретическом аспекте выяснение черт сходства и различия разновозрастных медно-порфировых провинций Северо-Востока может способствовать пониманию эволюции рудообразования данного сегмента Палеоокеана на протяжении мезозоя.

Медно-порфировая минерализация на Северо-Востоке Азии известна в пределах трёх мезозойских вулканоплутонических поясов: Охотско-Чукотского (ОЧВП), Олойского (ОВП) и Уяндино-Ясачненского (УЯВП). ОЧВП рассматривается как окраинно-континентальная магматическая дуга андийского типа; по изотопно-геохронологическим данным, время его формирования охватывает период 106–77 млн лет, а магматизм имел прерывистый и импульсный характер с несколькими пиками [1, 38]. ОВП и УЯВП позднеюрско-раннемелового (154–138 млн лет) [5, 19, 23, 37] возраста представляют собой надсубдукционные структуры островодужной либо окраинно-континентальной природы [6, 7, 39], сформированные на гетерогенном основании и маркирующие конвергентную границу Сибирского континента с Прото-Арктическим (Южно-Ануйским) океаническим бассейном [36]. Магматические комплексы ОВП в северной его части наложены на структуры Хетачанского и Олойско-Березовского островодужных, а в южной – Омолонского кратонного террейнов; УЯВП – на структуры Омулеского и Приколымского миогеоклинальных террейнов.

Оруденение ОВП и связанные с ним магматические комплексы достаточно полно охарактеризованы в публикациях последних лет [3, 4, 17, 18, 27,

30, 42], хотя они посвящены в большинстве случаев Баимскому рудному району в северо-восточной части пояса, где располагаются крупные месторождения Песчанка и Находка. Рудоносности комплексов южного фланга ОВП, которые наложены на Омолонский массив, посвящены лишь единичные публикации [25, 28]. Медно-порфировая минерализация УЯВП рассмотрена в литературе достаточно исчерпывающе [8, 12, 46]. Что касается медно-порфировых рудопроявлений огромного по своей протяжённости ОЧВП, известных с 1975 г. [13], число которых превышает десяток, то, как это ни удивительно, они весьма скудно описаны в литературе, и им посвящены лишь единичные публикации [2, 22, 33, 34]. Формирование медно-порфировых рудопроявлений Примагаданья ранее связывалось с Удско-Мургайским поясом (УМВП) [14, 32]. Однако нами ранее была показана ошибочность такого рода представлений [21]. По данным U-Pb, Re-Os и Ar-Ar датирования, периоды формирования медно-порфировых рудопроявлений Приохотья и Чукотки укладываются в диапазон от 103 до 78 млн лет и совпадают с основными импульсами магматической активности ОЧВП. Признаки связи медно-порфирового оруденения Охотско-Чаунской металлогенической провинции [40] с УМВП, как и вообще с доальпскими магматическими комплексами, нами не установлены.

Методы исследований. Определение петрогенных элементов в горных породах выполнено в ЦКП СВКНИИ ДВО РАН по методике НСАМ 313-РС флуоресцентным рентгеноспектральным методом анализа (СРМ-25). Использованы также результаты химических анализов изверженных пород, содержащиеся в публикациях [17, 29]. Обработка петро- и геохимических данных и построение классификационных диаграмм производились посредством свободно распространяемого программного пакета GCDkit. Интерпретация изотопно-геохимических данных основывалась на опубликованных данных [3, 9–11, 15, 48].

Краткая геологическая характеристика объектов. Рассмотренные медно-порфировые объекты ОЧВП представлены рудопроявлениями Тальниковое (Накхатанджинский рудный район, далее РР), Пиритовое, Захаренко и Лабазное (Конгинский РР), Ольховка (Убиенкинский РР).

Рудопроявление Тальниковое приурочено к дайкам гранодиоритов и кварцевых диоритов дукчинского интрузивного комплекса [45] позднемелового

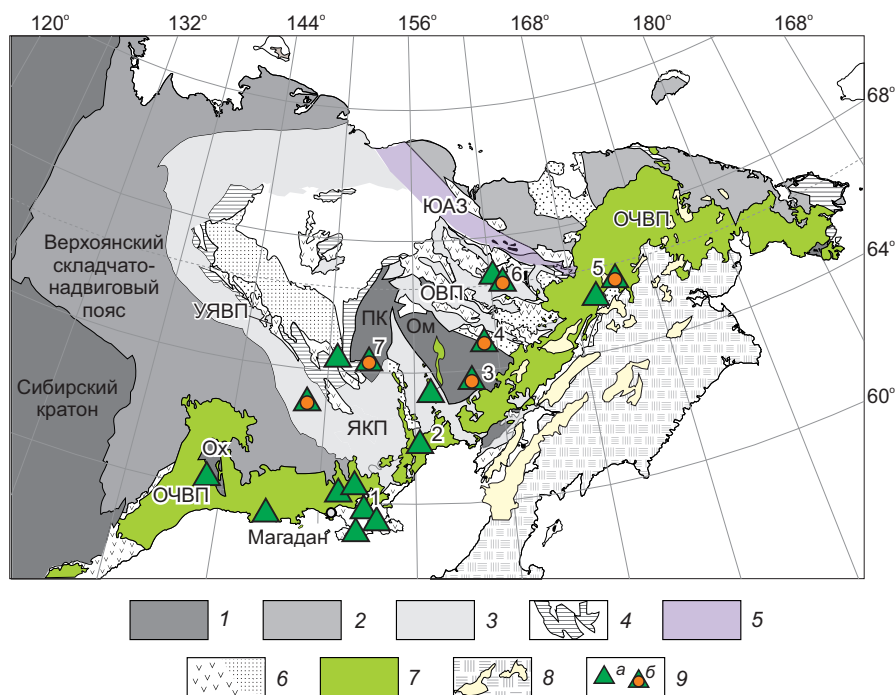


Рис. 1. Тектоно-минерагеническая схема Северо-Востока России:

1 – докембрийские кратоны и перикратонные террейны (Ом – Омолонский, Ох – Охотский, Пк – Приколымский); 2 – каменноугольные, пермские и триасовые шельфовые комплексы пассивных окраин Сибирского кратона и Чукотского блока; 3 – триасовые и юрские турбидитовые террейны Яно-Колымского пояса (ЯКП); 4 – палеозойские террейны пассивной континентальной окраины; 5 – террейны океанические и аккреционной призм (ЮАЗ – Южно-Анхойская зона); 6 – юрско-меловые вулканогенные пояса и осадочные бассейны (УЯВП – Уяндино-Ясачненский, ОВП – Олойский); 7 – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс (ОЧВП); 8 – Корякско-Камчатские вулканогенные пояса кайнозойского возраста; 9 – медно-порфировые месторождения и рудопроявления (а), в том числе сопровождаемые эпитегрмальным и субэпитегрмальным оруденением (б): 1 – Тальниковый, 2 – Пиритовый, 3 – Захаренко, Лабазный, 4 – Медь-Гора, 5 – Ольховка, 6 – Находка, Песчанка, 7 – Невидимка

возраста с U-Pb возрастом (SIMS) 91 млн лет [22], а также сопровождающим их телам гидротермально-эксплозивных брекчий, прорывающим вулканогенно-осадочную толщу позднеюрско-раннемелового возраста. Рудоносные сульфидно-калишпат-серицит-кварцевые штокверки с халькопиритом, борнитом и молибденитом располагаются в пределах ореола интенсивной калишпатизации и локальных кварц-серицитовых изменений. Содержания Cu в среднем составляют 0,1–0,3%, Mo 0,01%, Au < 0,1 г/т. Близкое геологическое строение имеет известное рудопроявление Лора [33].

Рудопроявление Пиритовое локализовано в штоке гранодиоритов и диоритовых порфиров с U-Pb возрастом (SIMS) 87 млн лет [21], прорывающим юрские терригенные толщи и раннемеловые

покровы дацитов. Породы интенсивно изменены до пирит-кварц-серицитовых филлизитов и вмещают рудоносный сульфидно-кварцевый штокверк с пиритом, халькопиритом, молибденитом, борнитом, сфалеритом, галенитом, кобальтином. Средние содержания Cu 0,5%, Mo 0,02%, Au 0,05 г/т, Ag 1 г/т.

Рудопроявление Захаренко приурочено к штоку монцодиоритов и диоритовых порфиров викторинского интрузивного комплекса с U-Pb возрастом (TIMS) 86 млн лет [11]. Интрузия прорывает туфы и игнимбриты риолитов среднего–позднего девона. Они изменены до филлизитов пирит-серицит-кварцевого состава (Ag-Ag возраст 87 млн лет, [11]) и вмещают сульфидно-кварцевые штокверки с пиритом, пирротинном, халькопиритом, сфалеритом и молибденитом. Содержания в штокверках

(в%): Мо и Cu до 0,3, Pb до 0,06, Zn до 0,04. На удалении от штокверка развиты рудоносные кварцевые жилы и прожилки с Au-Ag-Pb минерализацией (Au до 20 г/т, Ag до 88 г/т, Pb > 1 %). Близкое строение имеют рудопоявления Лабазное, Вечернее и Хрустальное. Все они сосредоточены в пределах Конгинской магматической зоны ОЧВП, рассекающей структуры Омолонского кратонного террейна.

В Убиенкинском РР медно-порфировое рудопоявление Ольховка вмещается штоком диорит-монцодиорит-гранодиоритового состава кавральского интрузивного комплекса [29] с U-Pb возрастом (SIMS) 78 [58] и 83 [26] млн лет и представляет собой сульфидно-кварцевый штокверк с пиритом, халькопиритом, борнитом. Средние содержания Cu 0,39%, Mo 0,01%, Ag 1 г/т; отдельные пробы содержат Au до 0,1–7,3 г/т (А.В. Андреев и др., 2014). На некотором расстоянии от Ольховки расположена серия Au-Ag рудопоявлений (Косое, Горное, Чинейвеем), представленных сульфидно-карбонат-кварцевыми жилами с содержаниями Au до 21 г/т, Ag до 150 г/т, Cu и Zn до 1 %.

В УЯВП изучены рудопоявления Право-Дуксундинского рудного узла [8], приуроченного к вулканоплутонической структуре изометричных очертаний, в центре которой обнажён прорывающий осадочные толщи карбона и юры шток гранодиоритов и гранит-порфиров с U-Pb возрастом (SIMS) 150 млн лет [47]. Он вмещает рудопоявление Невидимка, представленное штокверком сульфидно-серицит-кварцевого состава и залежами скарнов. Содержания Cu достигают 10%, Zn – 13%, Pb – 1%, Ag – 240 г/т, Au – 0,3 г/т. Рудная минерализация: пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, борнит, энаргит. На удалении от гранитоидов располагаются сульфидно-карбонат-кварцевые жилы рудопоявления Опыт с содержаниями Cu, достигающими 47%, Zn – 6%, Pb – 19%, Ag – 878 г/т, Au – 0,2 г/т. В его рудах установлены более 30 минеральных видов [12], среди которых преобладают пирит, халькопирит и халькозин, образующие сплошные массивные агрегаты с содержанием сульфидов до 95%. На удалении от Право-Дуксундинского узла докембрийские толщи Приколымского террейна вмещают кварцевые жилы (рудопоявление Глухое) с Au до 32,6 г/т, Ag до 521,8 г/т, Cu до 0,37%, Pb до 17,2%, Zn до 27,7%.

Медно-порфировые и Au-Ag месторождения Бамского рудного узла ОВП, ассоциирующиеся с габ-

бро-сиенитовыми интрузиями егдыкычского комплекса [17], имеющими U-Pb возраст 143–139 млн лет [3], как уже отмечалось выше, детально охарактеризованы во множестве публикаций [3, 4, 17, 18, 27, 30, 31, 42]. В южной части пояса, где он накладывается на структуры Омолонского кратонного террейна, к интрузиям кварцевых монцонитов и гранодиоритов намындыканского комплекса с U-Pb возрастом (SIMS) 137–142 млн лет [44] приурочены медные рудопоявления прожилково-вкрапленного (Кэн), жильного (Игривый, Мастах) и скарнового (Медь-Гора) типов. Минерализация представлена пиритом, халькопиритом, молибденитом, сфалеритом, галенитом, тетрадимитом, теллуросмисмутитом, самородным золотом. На рудопоявлении Медь-Гора содержания Cu достигают 12,9%, Mo – 3,5%, Zn – 0,2%, Ag – 10 г/т, Au – 0,5 г/т; карбонат-кварцевые жилы содержат Au до 19 г/т, Ag 550 г/т [25].

Петрохимические особенности рудоносных гранитоидов. По петрохимическому составу (см. таблицу и рис. 2, А–Г) среди интрузий, с которыми ассоциируют медно-порфировые проявления ОЧВП и УЯВП, преобладают известково-щелочные, глинозёмистые, высокомагнезиальные породы нормальной щёлочности. Исключением является рудопоявление Пиритовое, где, как и на объектах ОВП, развиты высококалиевые монцонитоиды и умеренно-щелочные граниты. Все рассматриваемые породы высокомагнезиальные, I- и S-типов. На дискриминационных геодинамических диаграммах точки их состава соответствуют надсубдукционным, позднеорогенным и постколлизийным (см. рис. 2, Д, Е). Значимые принципиальные различия между составами рудоносных гранитоидов разных поясов не наблюдаются; можно лишь отметить более натровую, «диоритовую» тенденцию на флангах ОЧВП (Тальниковый, Ольховка) и более калиевую, «монцонитовую» – у объектов ОВП.

Изотопно-геохимические особенности минерализации. Вариации состава $\Delta^{34}\text{S}$ пород всех медно-порфировых поясов СВ (рис. 3) согласуются с изменениями кривой изотопного состава сульфатной серы морской воды в истории Земли. В целом картина близка к орогенным месторождениям золота. Большинство имеющихся в нашем распоряжении значений укладываются в диапазон $0 \pm 5\%$, что типично для магматического источника серы [56]. Большинство Cu-порфировых месторождений мира подчиняются данной

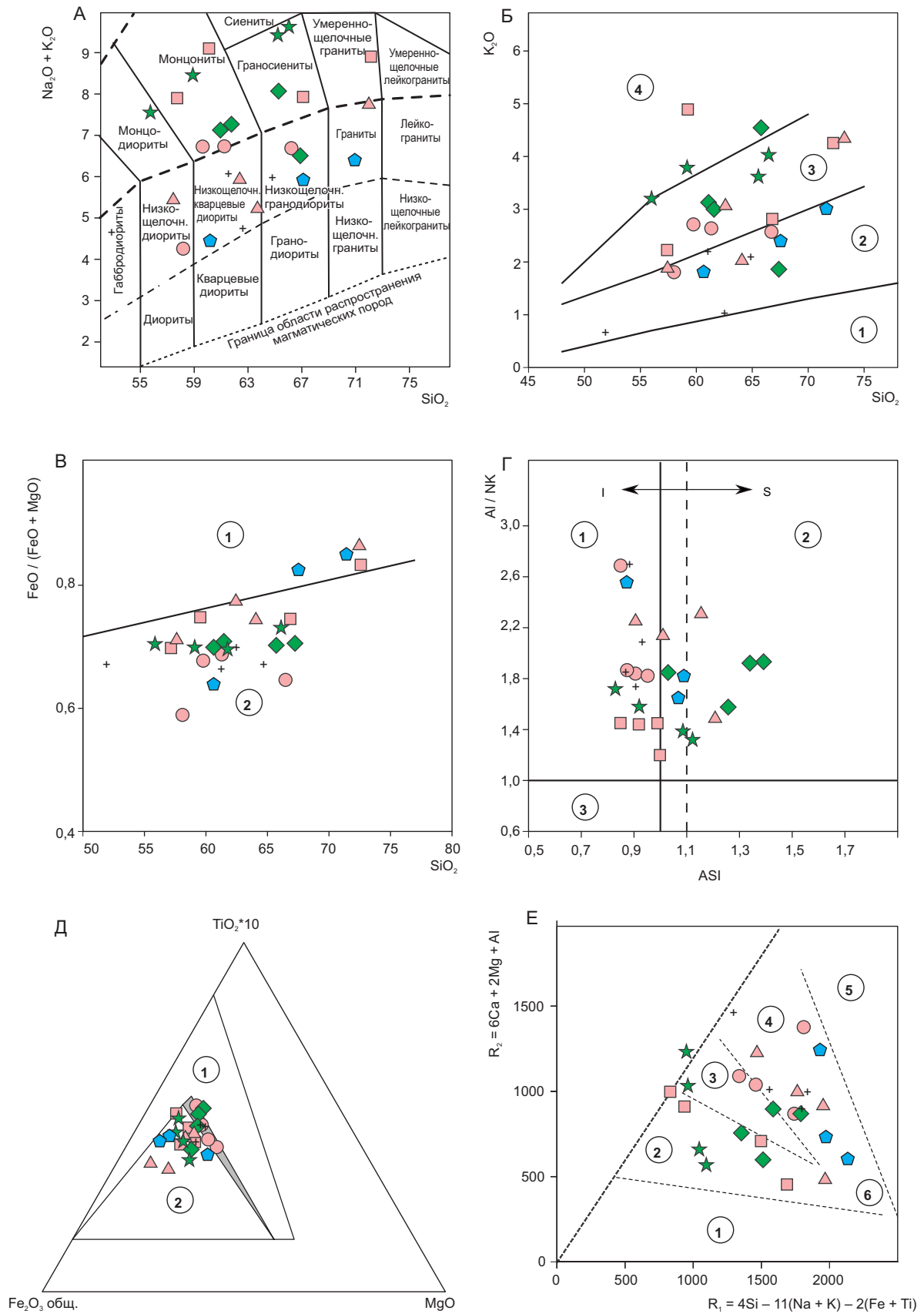
Таблица. Химический состав гранитоидов медно-порфировых рудопоявлений и месторождений мезозойских вулcano-плутонических поясов Северо-Востока Азии, в %

№ образцов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
1	62,62	1,05	16,16	6,65	0,18	2,45	5,49	3,85	1,10	0,23
2	52,27	0,77	20,18	8,11	0,16	3,37	8,76	3,97	0,75	0,39
3	64,39	0,56	17,03	4,22	0,07	1,75	4,82	4,61	1,57	0,13
4	64,82	0,49	15,95	5,05	0,09	2,10	4,76	3,93	2,21	0,10
5	57,10	0,91	16,85	8,29	0,33	3,20	4,68	5,59	2,21	0,19
6	59,15	0,60	17,36	6,10	0,14	1,86	4,31	4,01	4,91	0,33
7	66,46	0,42	16,29	3,52	0,08	1,11	3,04	5,02	2,76	0,15
8	72,13	0,28	14,31	2,18	0,05	0,39	1,26	4,52	4,27	0,05
9	63,71	0,68	17,14	6,51	0,09	2,07	4,37	3,19	2,00	0,24
10	57,21	0,98	17,73	8,38	0,16	3,16	6,72	3,54	1,88	0,24
11	62,25	0,47	17,06	7,02	0,12	1,87	5,15	2,82	3,05	0,19
12	72,18	0,21	14,99	3,04	0,09	0,44	1,31	3,38	4,28	0,08
13	60,21	0,80	15,96	7,66	0,11	3,91	6,84	2,57	1,82	0,12
14	67,03	0,63	15,30	6,36	0,09	1,23	3,32	3,46	2,43	0,15
15	71,06	0,38	14,55	4,14	0,07	0,66	2,70	3,38	2,98	0,08
16	55,66	0,72	18,34	7,49	0,17	2,80	6,88	4,39	3,15	0,43
17	58,76	0,52	18,66	5,96	0,15	2,34	4,92	4,69	3,75	0,26
18	65,12	0,38	18,43	3,50	0,04	0,85	2,12	5,80	3,61	0,15
19	65,88	0,37	17,74	3,55	0,05	1,18	1,50	5,59	3,98	0,16
20	65,41	0,83	16,73	5,22	0,10	2,01	1,57	3,50	4,52	0,12
21	61,29	0,91	19,22	6,31	0,11	2,40	2,44	4,09	3,05	0,19
22	60,89	0,96	19,16	6,55	0,14	2,60	2,40	3,98	3,11	0,21
23	66,83	0,37	17,77	2,90	0,06	1,11	4,27	4,66	1,89	0,14
24	66,17	0,54	17,10	3,59	0,06	1,77	4,10	4,07	2,60	0,00
25	57,86	0,89	16,64	7,47	0,10	4,75	7,60	2,60	1,75	0,33
26	59,45	0,93	17,66	6,58	0,11	2,82	5,60	4,04	2,71	0,10
27	61,09	0,88	17,49	6,00	0,12	2,52	5,23	4,05	2,63	0,00

Примечание. 1–4 – дукчинский комплекс, рудопоявление Тальниковое: 1 – кварцевый диорит, 2 – диорит, 3 – тоналит, 4 – гранодиорит; 5–8 – рудопоявление Пиритовое: 5 – монцодиорит, 6 – кварцевый монцодиорит, 7 – гранодиорит, 8 – гранит; 9–10 – викторинский комплекс, рудопоявление Захаренко: 9 – кварцевый монцодиорит, 10 – монцодиорит; 11–12 – викторинский комплекс, рудопоявление Лабазное: 11 – кварцевый сиенит, 12 – гранит; 13–15 – рудопоявление Невидимка (М. М. Свириденко, В. И. Шпикерман, 2019): 13 – кварцевый диорит, 14 – гранодиорит, 15 – гранит; 16–17 – егдыкычский комплекс, месторождение Песчанка [18]: 16 – монцит, 17 – сиенодиорит; 18–19 – егдыкычский комплекс, месторождение Находка [18], граносиенит-порфиры; 20–23 – намындыканский комплекс, массивы Медьгорский и Медленный: 20 – граносиенит, 21 – монцодиорит, 22 – кварцевый монцодиорит, 23 – гранодиорит; 24–27 – кавральянский комплекс, рудопоявление Ольховка [30]: 24 – гранодиорит, 25 – диорит, 26 – монцодиорит, 27 – кварцевый монцит.

закономерности, хотя имеются и исключения, например Кадия-Риджуэй или Эль-Сальвадор, в которых состав смещён в сторону «лёгкой» серы (до 10%). В этой связи отчётливо «утяжелённый» состав $\Delta^{34}\text{S}$ сульфидов рудопоявлений УЯВП может указывать на существенную роль в образовании руд заимствованного из вмещающих осадочно-метаморфических толщ вещества. Это предположение подтверждается данными по распределению изотопов рудного свинца. К сожа-

лению, мы не располагаем сведениями по изотопии рудного свинца медно-порфировой минерализации ОЧВП, вместо которой воспользуемся составами Au-Ag и Ag-Pb-Zn объектов той же провинции [48]. Облака точек этих объектов, Сульфидовых и Au-Ag месторождений ОВП на диаграмме Стейси-Крамерса (рис. 4) в значительной степени перекрываются. Рудопоявления УЯВП, наоборот, образуют отчётливо обособленное облако, соответствующее значительно



менее глубинному источнику. Весьма информативно обособленное положение Ag-Pb-Zn рудопроявлений Конгинской зоны ОЧВП, имеющей глубинные нижнекоровые и мантийные источники, что отражает особенности состава и структуры докембрийских комплексов Омолонского кратонного террейна, залегающих в основании данного сегмента ОЧВП [11]. Таким образом, изотопно-геохимические данные свидетельствуют о гетерогенности рудного вещества всех трёх медно-порфировых поясов Северо-Востока Азии.

Обсуждение. Состав медно-порфировой минерализации рассмотренных вулcano-плутонических поясов отражает особенности фундамента, а магматических комплексов, с которыми она связана, – геодинамических обстановок. В ОВП рудоносными являются монцитонитовидные высококалиевые интрузии, по составу близкие к породам шоссонит-латитового ряда и сформированные, судя по всему, в условиях трансформной континентальной окраины [16]. Изотопный состав серы соответствует магматическому её источнику, а свинца – нижнекоровым уровням генерации рудного вещества. Состав руд Mo-Cu-Au, порфировому оруденению сопутствует эпитеpмальное Au-Ag, образуя порфирово-эпитеpмальные системы [3]. В УЯВП гранодиориты нормального известково-щелочного состава соответствуют надсубдукционным образованиям. «Тяжёлая» сера медно-порфировой и сопутствующей жильной Cu-Pb-Zb и Au-Ag минерализации [8], не имеющая аналогов на Северо-Востоке Азии, вероятно, была заимствована из вмещающих осадочных толщ; высокорadioгенный свинец поступил в руды из верхнекоровых уровней в результате многократных эпизодов реовенации [9]. Порфировые

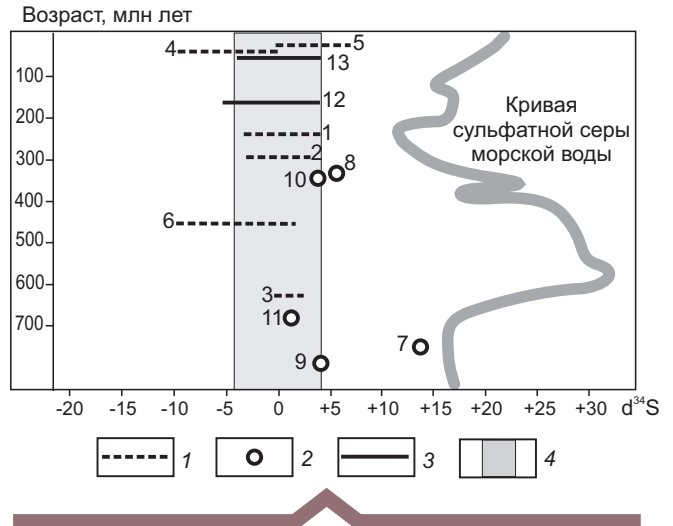


Рис. 3. Изотопный состав сульфидной серы медно-порфирового оруденения, с использованием данных [52]:

1 – месторождения мира; 2–3 – месторождения и рудопроявления Северо-Востока; 4 – интервал вариаций среднего состава $\delta^{34}\text{S}$ медно-порфировых месторождений мира [35]; месторождения и рудопроявления: 1 – Бьютт, 2 – Бингем, 3 – Сьеррита, 4 – Эль Сальвадор, 5 – Лепанто, 6 – Кадия-Риджуэй [60], 7 – Опыт, 8 – Невидимка, 9 – Глухое, 10 – Захаренко, 11 – Хрустальное [15], 12 – Лора [10], 13 – Песчанка, Находка [3]

руды имеют Zn-Ag-Cu состав с низкими концентрациями Au и практически не содержат молибден; им сопутствуют субэпитеpмальные жилы с Cu-Ag-Zn-Au минерализацией.

Состав медно-порфировой минерализации ОЧВП и её возраст изменяются вдоль простира-ния пояса [21]. Объекты Примагаданского отрезка пояса (Тальниковый, Лора, Уптар) не имеют

Рис. 2. Составы рудоносных интрузивов, ассоциирующих с медно-порфировыми месторождениями и рудопроявлениями мезозойских вулcano-плутонических поясов Северо-Востока Азии на дискриминационных диаграммах:

А – TAS [43]; Б – цифры в кружках – петрохимические серии [57]: 1 – толеитовая, 2 – известково-щелочная, 3 – высококалиевая известково-щелочная, 4 – шоссонитовая; В – цифры в кружках – петрохимические серии [53]: 1 – железистая, 2 – магнезиальная; Г – значения оксидов в молекулярных количествах, цифры в кружках – петрохимические типы гранитоидов [53]: 1 – умеренноглинозёмистые, 2 – высокоглинозёмистые; Д – цифры в кружках – геодинамические обстановки [16]: 1 – трансформные окраины, 2 – конвергентные окраины; Е – в милликатионах (атомное количество элемента $\times 1000$), цифры в кружках – геодинамические типы гранитоидов [50]: 1 – анорогенные, 2 – позднеорогенные, 3 – постколлизийных поднятий, 4 – надсубдукционные, 5 – продукты мантийного фракционирования, 6 – синколлизийные, 7 – постколлизийные; 1–4 – ОЧВП, рудопроявления: 1 – Тальниковое, 2 – Пиритовое, 3 – Захаренко, Лабазное, 4 – Ольховка; 5–6 – ОВП: 5 – Медьгорский и Медленный массивы, 6 – месторождения Находка, Песчанка; 7 – УЯВП, рудопроявление Невидимка

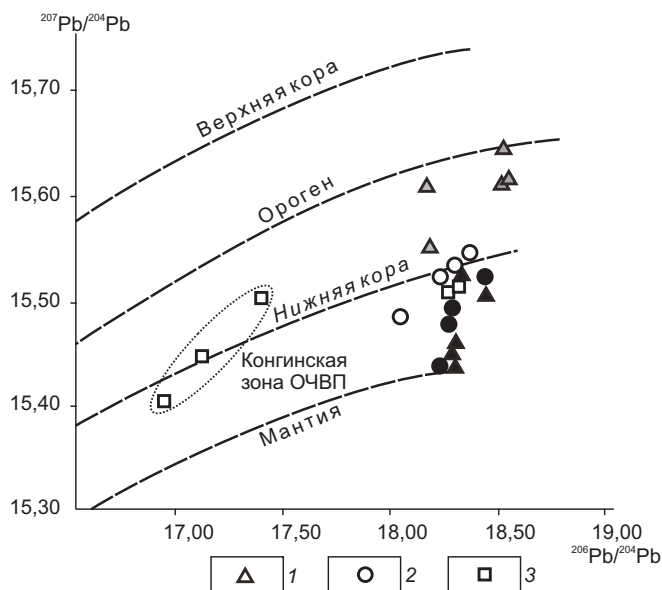


Рис. 4. Изотопный состав свинца сульфидов рудопроявлений и месторождений вулканоплутонических поясов Северо-Востока Азии. По данным [3, 48]. Двухстадийная модель Дж. Стейси и Дж. Крамерса [59]:

рудные формации: 1 – медно-порфировая, 2 – золото-серебряная, 3 – серебро-полиметаллическая; заливка: ОЧВП – белый, УЯВП – серый и ОВП – чёрный цвет

эпитермальной составляющей. Они ассоциируют с надсубдукционными гранодиоритами и диоритами нормального известково-щелочного состава, руды имеют существенно медный состав ($Cu/Mo > 50$), практически без Au ($Cu/Au > 100\,000$). По геологическому строению и составу [22] данные рудопроявления близки к медно-порфировым месторождениям, развивающимся по «монзонитовой» модели медно-порфировых месторождений [54]. Однако породы монзонит-латитового ряда среди гранитоидов здесь неизвестны. Мы объясняем это составом основания ОЧВП, которое здесь сложено вулканогенно-терригенными (преимущественно граувакковыми) комплексами Кони-Мургальского островодужного террейна [7]. Как известно, для образования калиевых монзонитоидных магм необходима ассимиляция мантийными магмами значительных объёмов сиалического корового субстрата [41, 51], который здесь отсутствовал. С учётом индикаторных геохимических показателей и состава рудоносных гранитоидов медно-порфировую минерализацию

Накхатанджинского РР ОЧВП наиболее целесообразно относить к Mo-Cu типу, развивавшемуся по «гранодиоритовой» модели [24]. Севернее, там где медно-порфировые рудопроявления сосредоточены в поперечных магматических зонах, таких как Омсукчанская (Пиритовое) или Конгинская (Захаренко-Лабазный), наложенных на кратонные и шельфовые структуры Омолонского террейна и Яно-Колымского пояса, они приобретают Au-Mo-Cu состав ($Cu/Mo < 50$, $Cu/Au < 100\,000$) и связаны с породами сиенит-монцодиоритового состава. Во фланговых частях рудных полей здесь, как правило, присутствует эпитермальная и субэпитермальная Cu-Pb-Zn полисульфидная и Au-Ag жильно-прожилковая минерализация. Наконец, в пределах Чукотского сегмента ОЧВП гранитоиды, с которыми связывается медно-порфировое оруденение, опять приобретают существенно диоритовый низкокалиевый состав, а соотношения индикаторных геохимических показателей ($Cu/Mo > 50$, $Cu/Au < 50\,000$) изменяются в сторону более золотых и менее молибденовых руд. В направлении с юго-запада на северо-восток наблюдается также закономерное омоложение порфировых систем ОЧВП (от 103 до 78 млн лет). Следует добавить, что в ОЧВП Pb-Zn оруденение, в том числе скарновое, известно лишь в пределах Охотского и Пенжинского сегментов, практически отсутствуя северо-восточнее. Такое изменение состава и возраста минерализации, по нашему мнению, объясняется структурной эволюцией поздне-мезозойской активной окраины с конвергентной на трансформную [16]. Подобная трактовка позволяет скорректировать прогнозно-металлогенические построения, приняв в качестве наиболее близкого аналога ОЧВП не Анды, как это традиционно делалось, а калифорнийский отрезок Кордильер. Он наиболее близок и по трансформному характеру геодинамики, наличию в фундаменте вулканического пояса жёсткой консолидированной структуры, аналогичной Омолонскому террейну (плато Колорадо), зональности в распределении рудных систем различных типов – от собственно порфировых Mo-Cu (Моренси) до порфирово-эпитермальных Au-Mo-Cu (Бингем, Йеррингтон).

Выводы. 1. Медно-порфировое оруденение трёх разных мезозойских вулканоплутонических поясов Северо-Востока Азии несёт черты как сходства, так и различия.

2. В составе гранитоидов медно-порфировых систем различных поясов значимые различия не наблюдаются; можно лишь отметить более натровую, «диоритовую» тенденцию на флангах ОЧВП, и более калиевую, «монцитонитовую» – у объектов ОВП.

3. Различны изотопно-геохимические характеристики оруденения. Объекты ОЧВП и ОВП характеризуются околонулевым изотопным составом серы сульфидов, соответствующим магматическому источнику. Напротив, утяжелённая сера УЯВП указывает на существенное заимствование рудного вещества из вмещающих осадочно-метаморфических толщ.

4. Данные по изотопии рудного свинца указывают на нижнекоровые источники ОВП, верхнекоровые – УЯВП; для ОЧВП характерна гетерогенность источников вещества.

5. В наиболее протяжённом поясе – ОЧВП – оруденение проявляет чёткую зональность вдоль его простирания, выраженную в составе и возрасте магматических комплексов и руд – постепенное омоложение и изменение геохимической специализации с существенно медной на медно-золото-молибденовую и далее золото-медную, с юго-запада на северо-восток. Это отражает его структурную эволюцию с конвергентной активной окраины на трансформную.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акинин В. В., Миллер Э. Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. – 2011. – Т. 19, № 3. – С. 249–290.
2. Андреев А. В., Авилова О. В., Васюков В. Е., Звездов В. С., Минина О. В., Столяренко В. В., Чернов Е. Е. Медно-порфировые проявления Юго-Западной Чукотки и перспективы выявления промышленных объектов // Отечественная геология. – 2014. – № 6. – С. 32–47.
3. Башкеев И. А., Николаев Ю. Н., Прокофьев В. Ю., Марущенко Л. И., Нагорная Е. В., Читалин А. Ф., Сидорина Ю. Н., Калько И. А. Золото-молибден-медно-порфирово-эпитеральная система Баймской рудной зоны, Западная Чукотка // Металлогения древних и современных океанов : Сб. статей. – Миасс : ИМин УрО РАН, 2014. – С. 108–112.
4. Берлибле Д. Г., Городинский М. Е. Рудноносный габбро-сиенитовый комплекс Западной Чукотки // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. – 1978. – Вып. 24. – С. 61–67.
5. Ганелин А. В., Лучицкая М. В., Маскаев М. В. U-Th-Pb (SIMS)-возраст и условия формирования вулканитов Индигирского разреза Уяндино-Ясачненского вулканического пояса (Северо-Восток Азии) // Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 496, № 1. – С. 11–16.
6. Гедько М. И. Уяндино-Ясачненская позднерусская островная дуга (Северо-Восток СССР) // Геотектоника. – 1988. – № 3. – С. 88–100.
7. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. – В 2 кн. Кн. 1 / Под ред. А. И. Ханчука. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 572 с.
8. Глухов А. Н. Медное и полиметаллическое оруденение Приколымского террейна и его генетическая типизация // Литосфера. – 2019. – Т. 19, № 5. – С. 717–730.
9. Глухов А. Н., Бирюков А. Н. Геохимическая специализация гидротермального оруденения Приколымского террейна (Северо-Восток России) и ее связь со структурой и составом вмещающих комплексов // Тихоокеанская геология. – 2022. – Т. 41, № 2. – С. 75–88.
10. Глухов А. Н., Колова Е. Е., Савва Н. Е. Медно-порфировые рудные системы мезозойских вулканогенных поясов Северо-Востока Азии – черты сходства и различия // Материалы Всероссийской конференции «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений». – М. : ИГЕМ РАН, 2013. – С. 75.
11. Глухов А. Н., Приймченко В. В., Фомина М. И., Акинин В. В. Металлогения Конгинской зоны Омолонского террейна (Северо-Восток Азии) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2021. – № 2. – С. 3–16.
12. Глухов А. Н., Тюкова Е. Э. Перспективы развития минерально-сырьевой базы меди Магаданской области // Руды и Металлы. – 2013. – № 5. – С. 21–33.
13. Городинский М. Е., Гулевич В. В., Тутов В. А. Проявление медного оруденения на Северо-Востоке России // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. – 1978. – № 24. – С. 151–158.
14. Горячев Н. А. Удско-Мургалская магматическая дуга: геология, магматизм и металлогения // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2005. – С. 17–38.

15. *Горячев Н. А., Егоров В. Н., Савва Н. Е., Кузнецов В. М., Фомина М. И., Рожков П. Ю.* Геология и металлогения фанерозойских комплексов юга Омолонского массива. – Владивосток : Дальнаука, 2017. – 312 с.
16. *Гребенников А. В., Ханчук А. И.* Геодинамика и магматизм трансформных окраин тихоокеанского типа: основные теоретические аспекты и дискриминантные диаграммы // Тихоокеанская геология. – 2021. – Т. 40, № 1. – С. 3–24.
17. *Дылевский Е. Ф.* Новые сведения о магматизме Баимского рудного района (Западная Чукотка) // Магматизм и оруденение Северо-Востока России. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1997. – С. 88–107.
18. *Каминский В. Г.* Формационное районирование и медно-порфировое оруденение центральной части Баимской зоны // Советская геология. – 1987. – № 3. – С. 46–54.
19. *Кара Т. В.* Новые данные о возрасте магматических комплексов Алазейско-Олойской складчатой системы (Западная Чукотка) // Тихоокеанская геология. – 2018. – Т. 37, № 6. – С. 107.
20. Карта закономерностей размещения полезных ископаемых территории Российской Федерации. Медь. – Масштаб 1:5 000 000. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2016.
21. *Колова Е. Е., Глухов А. Н., Акинин В. В., Ползуненков Г. О., Аленичева А. А., Прийменко В. В., Касаткин Н. С., Шпикерман В. И.* Возрастные рубежи формирования медно-порфирового оруденения Охотско-Чаунской металлогенической провинции // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : сборник тезисов докладов XI Международной научно-практической конференции (12–15 апреля 2022 г., ФГБУ «ЦНИГРИ»). – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 101–104.
22. *Колова Е. Е., Глухов А. Н., Ползуненков Г. О., Акинин В. В.* Медно-порфировая минерализация Тальникового рудного поля (Охотский сегмент Охотско-Чукотского вулканогенного пояса) // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 6. – С. 39–61.
23. *Комарова Я. С., Аносова М. О., Костицын Ю. А., Николаев Ю. Н., Бакшеев И. А.* U-Pb возраст магматических комплексов Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы : Материалы VI Российской конференции по изотопной геохронологии (2–5 июня 2015 г.). – СПб. : ИГГД РАН, 2015. – С. 116–118.
24. *Кривцов А. И., Звездов В. С., Минина О. В., Мигачев И. Ф.* Медно-порфировые месторождения. Серия «Модели месторождений цветных и благородных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
25. *Кузнецов В. М.* Геология и рудоносность Бургачанского мегаузла Омолонской металлогенической провинции // Проблемы геологии и металлогении рудных районов Северо-Востока России : сборник научных трудов. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2005. – С. 92–109.
26. *Мальшева Г. М., Исаева Е. П., Тихомиров Ю. Б., Вяткин Б. В.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Чукотская. Лист Q-59 «Марково». Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 226 с.
27. *Марущенко Л. И., Бакшеев И. А., Нагорная Е. В., Читалин А. Ф., Николаев Ю. Н., Калько И. А., Прокофьев В. Ю.* Кварц-серицитовые метасоматиты и аргиллизиты Au-Mo-Cu месторождения Песчанка (Чукотка) // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 3. – С. 239–252.
28. *Мерзляков В. М., Дылевский Е. Ф., Лычагин П. П., Терехов М. И.* Тектоника, магматизм и металлогения Омолонского срединного массива // Геология и полезные ископаемые Северо-Востока Азии. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1984. – С. 140–151.
29. *Невретинов Э. Б.* Интрузии кавральянского комплекса // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. – № 25. – Магадан : Магаданское книжное издательство, 1980. – С. 31–37.
30. *Николаев Ю. Н., Бакшеев И. А., Прокофьев В. Ю., Нагорная Е. В., Марущенко Л. И., Сидорина Ю. Н., Читалин А. Ф., Калько И. А.* Au-Ag минерализация порфировых рудных систем Баимской зоны (Западная Чукотка) // Геология рудных месторождений. – 2016. – Т. 58, № 4. – С. 39–345.
31. *Николаев Ю. Н., Калько И. А., Бакшеев И. А., Аплеталин А. В., Власов Е. А., Хабибуллина Ю. Н., Джеджева Г. Т., Прокофьев В. Ю., Тихомиров П. Л.* Золото-серебряная минерализация Олойской зоны и её промышленные перспективы // Отечественная геология. – 2020. – № 1. – С. 66–79.
32. *Петров О. В., Киселёв Е. А., Шпикерман В. И., Змиевский Ю. П.* Прогноз размещения месторождений золото-медно-порфирового типа в вулcano-плутонических поясах восточных районов России по результатам работ составления листов Госгеолкарты-1000/3 // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 8. – С. 50–73.
33. *Савва Н. Е.* Медно-порфировые металлогенические пояса Северо-Западной окраинноморской провинции Тихого океана // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2005. – С. 38–59.
34. *Скибин Ю. П.* Медно-молибденовое оруденение. Северного Приохотья // Советская геология. – 1982. – № 1. – С. 78–85.
35. *Скуратов В. Н.* Изотопный состав серы и геологические особенности месторождений меди // Геологический сборник. – 2000. – № 1. – С. 101–102.
36. *Соколов С. Д.* Очерки тектоники Северо-Востока Азии // Геотектоника. – 2010. – № 6. – С. 60–78.

37. Старикова Е. В., Гагиева А. М., Коновалов А. Л., Ватрушкина Е. В., Акинин В. В. Верхнеюрско-нижнемеловые отложения восточной части Олойской зоны: стратиграфия, геохимия, возраст и геодинамические обстановки формирования // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 64. – С. 3–29. – DOI: 10.30911/0207-4028-2023-42-4-3-29.
38. Тихомиров П. Л. Меловой окраинно-континентальный магматизм Северо-Востока Азии и вопросы генезиса крупнейших фанерозойских провинций кремнекислого вулканизма. – М. : ГЕОС, 2020. – 376 с.
39. Трунилина В. А., Орлов Ю. С., Роев С. П. Магматические ассоциации Уяндино-Ясачненского вулканоплутонического пояса и его геодинамическая природа // Отечественная геология. – 2004. – № 4. – С. 61–67.
40. Умитбаев Р. Б. Охотско-Чаунская металлогеническая провинция (строение, рудоносность, аналогии). – М. : Наука, 1986. – 273 с.
41. Фролова Т. И., Бурикова И. А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 146 с.
42. Шаповалов В. С. Признаки единой РМС на примере сложноформационного оруденения // Проблемы рудно-формационного анализа и поисковой минералогии на Северо-Востоке России. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1994. – С. 73–81.
43. Шарпенко Л. Н., Костин А. Е., Кухаренко Е. А. TAS-диаграмма сумма щелочей-кремнезем для химической классификации и диагностики плутонических пород // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 56. – С. 40–50.
44. Шатова Н. В., Серегин С. В. Новые данные о возрасте интрузивных пород викторинского и намындыканского комплексов южной части Омолонского массива (Магаданская область) // Региональная геология и металлогения. – 2023. – № 93. – С. 5–27.
45. Шевченко В. М. Интрузивные комплексы верховьев реки Колымы и Примагаданья. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1996. – 95 с.
46. Шпикерман В. И. Домеловая минерагения Северо-Востока Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 333 с.
47. Шпикерман В. И., Горячев Н. А., Раткин В. В., Чугаев А. В. Геология изотопов рудного свинца юга Омулевского террейна (Циркумалазский металлогенический пояс) // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит : Материалы Третьей Всероссийской конференции с международным участием, Владивосток, 20–23 сентября 2016 г. – Владивосток : Дальнаука, 2016. – С. 386–388.
48. Шпикерман В. И., Чернышев И. В., Агапова А. А., Троицкий В. А. Геология изотопов рудного свинца центральных районов Северо-Востока России. – Магадан : СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1993. – 67 с.
49. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах». [Электронный ресурс]. – URL: http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/. (дата обращения 24.05.2022)
50. Batchelor R. A., Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters // Chemical Geology. – 1985. – V. 48. – P. 43–55.
51. Cao K., Yang Z. M., Xu J. F., Fu B., Li W. K., Sun M. Y. Origin of dioritic magma and its contribution to porphyry Cu–Au mineralization at Pulang in the Yidun arc, eastern Tibet // Lithos. – 2018. – V. 304. – P. 436–449.
52. Chang Z., Ross L. R., Maslennikov V. Sulfur isotopes in sediment-hosted orogenic gold deposits: Evidence for an early timing and a seawater sulfur source // Geology. – 2008. – V. 36, № 12. – P. 971–974.
53. Frost B. R., Arculus R. J., Barnes C. G. A geochemical classification of granitic rocks // Journal of Petrology. – 2001. – V. 42. – P. 2033–2048.
54. Lowell J. D., Guilbert J. M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits // Economic Geology. – 1970. – V. 65, № 4. – P. 373–408.
55. Mudd G. M., Jowitt S. M. Growing Global Copper Resources, Reserves and Production: Discovery Is Not the Only Control on Supply // Economic Geology. – 2018. – V. 113, № 6. – P. 1235–1267.
56. Ohmoto H., Goldhaber M. B. Sulfur and carbon isotopes // Geochemistry of hydrothermal ore deposits. – 3rd ed. – New York : John Wiley and Sons, 1997. – P. 517–612.
57. Peccerillo A., Taylor S. R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey // Contributions to mineralogy and petrology. – 1976. – V. 58. – P. 63–81.
58. Rogacheva L., Baksheev I. Mineralogy of metasomatic rocks and geochronology of the Olhovka porphyry-copper deposit, Chukotka, Russia // Geophysical Research Abstracts. – 2010. – V. 12. – P. 34.
59. Stacey J. S., Kramers J. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth and planetary science letters. – 1975. – V. 26, № 2. – P. 207–221.
60. Wilson A. J., Cooke D. R., Harper B. J., Deyell C. L. Sulfur isotopic zonation in the Cadia district, southeastern Australia: exploration significance and implications for the genesis of alkalic porphyry gold–copper deposits // Mineralium Deposita. – 2007. – V. 42. – P. 465–487.

REFERENCES

1. *Akinin V. V., Miller E. L.* Evolyutsiya izvestkovykh magm Okhotsko-Chukotskogo vulkanogenogo poyasa [Evolution of calc-alkaline magmas of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt], *Petrologiya*, 2011, V. 19, No. 3, pp. 249–290. (In Russ.)
2. *Andreyev A. V., Avilova O. V., Vasyukov V. Ye., Zvezdov V. S., Minina O. V., Stolyarenko V. V., Chernov Ye. Ye.* Medno-porfirovyye proyavleniya Yugo-Zapadnoy Chukotki i perspektivy vyavleniya promyshlennykh ob'yektov [Porphyry copper occurrences in Southwestern Chukotka and prospects for identifying industrial facilities], *Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology]*, 2014, No. 6, pp. 32–47. (In Russ.)
3. *Baksheyev I. A., Nikolayev YU. N., Prokof'yev V. Yu., Marushchenko L. I., Nagornaya Ye. V., Chitalin A. F., Sidorina Yu. N., Kal'ko I. A.* Zoloto-molibden-medno-porfirovo-epitermal'naya sistema Baimskoy rudnoy zony, Zapadnaya Chukotka [Gold-molybdenum-copper-porphyry-epithermal system of the Baim ore zone, Western Chukotka], *Miass, IMin UrO RAN publ.*, 2014, pp. 108–112. (In Russ.)
4. *Berlimble D. G., Gorodinskiy M. Ye.* Rudonosnyy gabbrosiyenitovyy kompleks Zapadnoy Chukotki [Ore-bearing gabbro-syenite complex of Western Chukotka], *Materialy po geologii i poleznym iskopayemym Severo-Vostoka SSSR*, 1978, Is. 24, pp. 61–67. (In Russ.)
5. *Ganelin A. V., Luchitskaya M. V., Maskayev M. V.* U-Th-Pb (SIMS)-vozrast i usloviya formirovaniya vulkanitov Indigirskogo razreza Uyandino-Yasachenskogo vulkanicheskogo poyasa (Severo-Vostok Azii) [U-Th-Pb (SIMS) - age and formation conditions of volcanics of the Indigirsky section of the Uyandina-Yasachensky volcanic belt (North-East Asia)], *Doklady Rossiyskoy Akademii Nauk. Nauki o Zemle*, 2021, V. 496, No. 1, pp. 11–16. (In Russ.)
6. *Ged'ko M. I.* Uyandino-Yasachenskaya pozdneyurskaya ostrovnaya duga (Severo-Vostok SSSR) [Uyandino-Yasachny Late Jurassic island arc (North-East USSR)], *Geotektonika*, 1988, No. 3, pp. 88–100. (In Russ.)
7. *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii*, V 2 kn. Kn. 1 [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia, In 2 books. Book 1], ed. A. I. Khanchuk, Vladivostok, Dal'nauka publ., 2006, 572 p. (In Russ.)
8. *Glukhov A. N.* Mednoye i polimetallicheskoye orudneniye Prikolym'skogo terreyne i yego geneticheskaya tipizatsiya [Copper and polymetallic mineralization of the Kolyma terrane and its genetic typing], *Litosfera*, 2019, V. 19, No. 5, pp. 717–730. (In Russ.)
9. *Glukhov A. N., Biryukov A. N.* Geokhimitskaya spetsializatsiya gidrotermalnogo orudneniya Prikolym'skogo terreyne (Severo-Vostok Rossii) i yeye svyaz' so strukturoy i sostavom vmeshchayushchikh kompleksov [Geochemical specialization of hydrothermal mineralization of the Kolyma terrane (North-East Russia) and its connection with the structure and composition of the host complexes], *Tikhookeanskaya geologiya*, 2022, V. 41, No. 2, pp. 75–88. (In Russ.)
10. *Glukhov A. N., Kolova Ye. Ye., Savva N. Ye.* Medno-porfirovyye rudnyye sistemy mezozoyskikh vulkanogennykh poyasov Severo-Vostoka Azii – cherty skhodstva i razlichiya [Porphyry copper ore systems of the Mesozoic volcanic belts of Northeast Asia - similarities and differences], Moscow, IGEM RAN publ., 2013, pp. 75. (In Russ.)
11. *Glukhov A. N., Priyemenko V. V., Fomina M. I., Akinin V. V.* Metallogeniya Konginskoy zony Omolonskogo terreyne (Severo-Vostok Azii) [Metallogeny of the Konga zone of the Omolon terrane (North-East Asia)], *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*, 2021, No. 2, pp. 3–16. (In Russ.)
12. *Glukhov A. N., Tyukova Ye. E.* Perspektivy razvitiya mineral'no-syr'yevoy bazy medi Magadanskoj oblasti [Prospects for the development of the mineral resource base of copper in the Magadan region], *Rudy i Metally [Ores and Metals]*, 2013, No. 5, pp. 21–33. (In Russ.)
13. *Gorodinskiy M. Ye., Gulevich V. V., Titov V. A.* Proyavleniye mednogo orudneniya na Severo-Vostoke Rossii [Manifestation of copper mineralization in the North-East of Russia], *Materialy po geologii i poleznym iskopayemym Severo-Vostoka SSSR*, 1978, No. 24, pp. 151–158. (In Russ.)
14. *Goryachev N. A.* Udsko-Murgal'skaya magmaticheskaya duga: geologiya, magmatizm i metallogeniya [Uda-Murgal magmatic arc: geology, magmatism and metallogeny], *Problemy metallogenii rudnykh rayonov Severo-Vostoka Rossii, Magadan, SVKNII DVO RAN publ.*, 2005, pp. 17–38. (In Russ.)
15. *Goryachev N. A., Yegorov V. N., Savva N. Ye., Kuznetsov V. M., Fomina M. I., Rozhkov P. Yu.* Geologiya i metallogeniya fanerozoyskikh kompleksov yuga Omolonskogo massiva [Geology and metallogeny of Phanerozoic complexes of the south of the Omolon massif], Vladivostok, Dal'nauka publ., 2017, 312 p. (In Russ.)
16. *Grebennikov A. V., Khanchuk A. I.* Geodinamika i magmatizm transformnykh okrain tikhookeanskogo tipa: osnovnyye teoreticheskiye aspekty i diskriminantnyye diagrammy [Geodynamics and magmatism of Pacific-type transform margins: main theoretical aspects and discriminant diagrams], *Tikhookeanskaya geologiya*, 2021, V. 40, No. 1, pp. 3–24. (In Russ.)
17. *Dylevskiy Ye. F.* Novyye svedeniya o magmatizme Baimskogo rudnogo rayona (Zapadnaya Chukotka) [New information about the magmatism of the Baimsky ore region (Western Chukotka)], *Magmatizm i orudneniye Severo-Vostoka Rossii, Magadan, SVKNII DVO RAN publ.*, 1997, pp. 88–107. (In Russ.)
18. *Kaminskiy V. G.* Formatsionnoye rayonirovaniye i medno-porfirovoye orudneniye tsentral'noy chasti

- Baimskoy zony [Formational zoning and porphyry cop-per mineralization of the central part of the Baim zone], Sovetskaya geologiya [Soviet Geology], 1987, No. 3, pp. 46–54. (In Russ.)
19. Kara T. V. Novyye dannyye o vozraste magmaticheskikh kompleksov Alazeysko-Oloyskoy skladchatoy sistemy (Zapadnaya Chukotka) [New data on the age of igneous complexes of the Alazeya-Oloy fold system (Western Chukotka)], Tikhookeanskaya geologiya, 2018, V. 37, No. 6, pp. 107. (In Russ.)
 20. Karta zakonomernostey razmeshcheniya poleznykh iskopayemykh territorii Rossiyskoy Federatsii. Med', Masshtab 1:5 000 000 [Map of patterns of distribution of mineral resources on the territory of the Russian Federation. Copper, Scale 1:5 000 000], St. Petersburg, VSEGEI publ., 2016. (In Russ.)
 21. Kolova Ye. Ye., Glukhov A. N., Akinin V. V., Polzunenkov G. O., Alenicheva A. A., Priymenko V. V., Kasatkin N. S., Shpikerman V. I. Vozrastnyye rubezhi formirovaniya medno-porfirovogo orudneniya Okhotsko-Chaunskoy metallogenicheskoy provintsii [Age boundaries of formation porphyry copper mineralization of the Okhotsk-Chaun metallogenic province], Moscow, TSNIGRI publ., 2022, pp. 101–104. (In Russ.)
 22. Kolova Ye. Ye., Glukhov A. N., Polzunenkov G. O., Akinin V. V. Medno-porfirovaya mineralizatsiya Tal'nikovogo rudnogo polya (Okhotskiy segment Okhotsko-Chukotskogo vulkanogennoy poyasa) [Porphyry copper mineralization of the Talnikov ore field (Okhotsk segment of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt)], Tikhookeanskaya geologiya, 2023, V. 42, No. 6, pp. 39–61. (In Russ.)
 23. Komarova YA. S., Anosova M. O., Kostitsyn Yu. A., Nikolayev Yu. N., Baksheyev I. A. U-Pb vozrast magmaticheskikh kompleksov Baimskoy rudnoy zony, Zapadnaya Chukotka [U-Pb age of magmatic complexes of the Baim ore zone, Western Chukotka], St. Petersburg, IGGD RAN publ., 2015, pp. 116–118. (In Russ.)
 24. Krivtsov A. I., Zvezdov V. S., Minina O. V., Migachev I. F. Medno-porfirovyeye mestorozhdeniya. Seriya Modeli mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov [Porphyry copper deposits. Series “Models of deposits of non-ferrous and precious metals”], Moscow, TSNIGRI publ., 2001, 232 p. (In Russ.)
 25. Kuznetsov V. M. Geologiya i rudonosnost' Burgachanskogo megauzla Omolonskoy metallogenicheskoy provintsii [Geology and ore content of the Burgachan meganode of the Omolon metallogenic province], Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 2005, pp. 92–109. (In Russ.)
 26. Malysheva G. M., Isayeva Ye. P., Tikhomirov Yu. B., Vyatkin B. V. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1, 1 000 000 (tret'ye pokoleniye). Seriya Chukotskaya. List Q-59 “Markovo”. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1, 1,000,000 (third generation). Chukotka series. Sheet Q-59 “Markovo”. Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI publ., 2012, 226 p. (In Russ.)
 27. Marushchenko L. I., Baksheyev I. A., Nagornaya Ye. V., Chitalin A. F., Nikolayev Yu. N., Kal'ko I. A., Prokof'yev V. Yu. Kvarts-seritsitovyeye metasomatity i argillizity Au-Mo-Cu mestorozhdeniya Peschanka (Chukotka) [Quartz-sericite metasomatites and argillites Au-Mo -Cu deposits Peschanka (Chukotka)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2015, V. 57, No. 3, pp. 239–252. (In Russ.)
 28. Merzlyakov V. M., Dylevskiy Ye. F., Lychagin P. P., Terekhov M. I. Tektonika, magmatizm i metallogeniya Omolonskogo sredinnogo massiva [Tectonics, magmatism and metallogeny of the Omolon middle massif], Geologiya i poleznyye iskopayemye Severo-Vostoka Azii, Vladivostok, DVNTS AN SSSR publ., 1984, pp. 140–151. (In Russ.)
 29. Nevretdinov E. B. Intruzii kavral'yanskogo kompleksa [Intrusions of the Kavralyansky complex], Materialy po geologii i poleznym iskopayemyam Severo-Vostoka SSSR, No. 25, Magadan, Magadanskoye knizhnoye izdatel'stvo publ., 1980, pp. 31–37. (In Russ.)
 30. Nikolayev Yu. N., Baksheyev I. A., Prokof'yev V. Yu., Nagornaya Ye. V., Marushchenko L. I., Sidorina Yu. N., Chitalin A. F., Kal'ko I. A. Au-Ag mineralizatsiya porfirovykh rudnykh sistem Baimskoy zony (Zapadnaya Chukotka) [Au-Ag mineralization of porphyry ore systems of the Baim zone (Western Chukotka)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2016, V. 58, No. 4, pp. 39–345. (In Russ.)
 31. Nikolayev Yu. N., Kal'ko I. A., Baksheyev I. A., Apletalin A. V., Vlasov Ye. A., Khabibullina Yu. N., Dzhezhzheya G. T., Prokof'yev V. Yu., Tikhomirov P. L. Zoloto-serebryanaya mineralizatsiya Oloyskoy zony i yeyo promyshlennyye perspektivy [Gold-silver mineralization of the Oloi zone and its industrial prospects], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2020, No. 1, pp. 66–79. (In Russ.)
 32. Petrov O. V., Kiselov Ye. A., Shpikerman V. I., Zmiyevskiy Yu. P. Prognoz razmeshcheniya mestorozhdeniy zoloto-medno-porfirovogo tipa v vulkano-plutonicheskikh poyasakh vostochnykh rayonov Rossii po rezul'tatam rabot sostavleniya listov Gosgeol'karty-1000/3 [Forecast of the location of gold-copper-porphyry deposits in the volcanic-plutonic belts of the eastern regions of Russia based on the results of compiling sheets of Gosgeol'karta-1000/3], Regional'naya geologiya i metallogeniya, 2019, No. 8, pp. 50–73. (In Russ.)
 33. Savva N. Ye. Medno-porfirovyeye metallogenicheskiye poyasa Severo-Zapadnoy okrainnomorskoy provintsii Tikhogo okeana [Copper-porphyry metallogenetic belts of the North-Western Marginal Sea Province of the Pacific Ocean], Problemy metallogenii rudnykh rayonov Severo-Vostoka Rossii, Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 2005, pp. 38 – 59. (In Russ.)

34. *Skibin Yu. P.* Medno-molibdenovoye orudneniye. Severnogo Priokhot'ya [Copper-molybdenum mineralization. Northern Okhotsk], *Sovetskaya geologiya* [Soviet Geology], 1982, No. 1, pp. 78–85. (In Russ.)
35. *Skuratov V. N.* Izotopnyy sostav sery i geologicheskiye osobennosti mestorozhdeniy medi [Isotopic composition of sulfur and geological features of copper deposits], *Geologicheskii sbornik*, 2000, No. 1, pp. 101–102. (In Russ.)
36. *Sokolov S. D.* Ocherki tektoniki Severo-Vostoka Azii [Essays on the tectonics of Northeast Asia], *Geotektonika*, 2010, No. 6, pp. 60–78. (In Russ.)
37. *Starikova Ye. V., Gagiyeva A. M., Konovalov A. L., Vatrushkina Ye. V., Akinin V. V.* Verkhneyursko-nizhnemelovyye otlozheniya vostochnoy chasti Oloyskoy zony: stratigrafiya, geokhimiya, vozrast i geodinamicheskiye obstanovki formirovaniya [Upper Jurassic-Lower Cretaceous deposits of the eastern part of the Oloi zone: stratigraphy, geochemistry, age and geodynamic conditions of formation], *Tikhookeanskaya geologiya*, 2023, V. 42, No. 64, pp. 3–29, DOI: 10.30911/0207-4028-2023-42-4-3-29. (In Russ.)
38. *Tikhomirov P. L.* Melovoy okrainno-kontinental'nyy magmatizm Severo-Vostoka Azii i voprosy genezisa krupneyshikh fanerozoyskikh provintsiy kremnekislogo vulkanizma [Cretaceous continental-margin magmatism of Northeast Asia and questions of the genesis of the largest Phanerozoic provinces of silicic volcanism], Moscow, GEOS publ., 2020, 376 p. (In Russ.)
39. *Trunilina V. A., Orlov Yu. S., Royev S. P.* Magmaticheskiye assotsiatsii Uyandino-Yasachnenskogo vulkanoplutonicheskogo poyasa i yego geodinamicheskaya priroda [Magmatic associations of the Uyandino-Yasachnensky volcanic-plutonic belt and its geodynamic nature], *Otechestvennaya geologiya* [Domestic Geology], 2004, No. 4, pp. 61–67. (In Russ.)
40. *Umitbayev R. B.* Okhotsko-Chaunskaya metallogenicheskaya provintsiya (stroyeniye, rudonosnost', analogi) [Okhotsk-Chaun metallogenic province (structure, ore content, analogues)], Moscow, Nauka publ., 1986, 273 p. (In Russ.)
41. *Frolova T. I., Burikova I. A.* Magmaticheskiye formatsii sovremennykh geotektonicheskikh obstanovok [Igneous formations of modern geotectonic settings], Moscow, MGU publ., 1997, 146 p. (In Russ.)
42. *Shapovalov V. S.* Priznaki yedinyo RMS na primere slozhnoformatsionnogo orudneniya [Signs of a unified RMS on the example of complex formation mineralization], *Problemy rudno-formatsionnogo analiza i poiskovoy mineralogii na Severo-Vostoke Rossii*, Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 1994, pp. 73–81. (In Russ.)
43. *Sharpenok L. N., Kostin A. Ye., Kukhareno Ye. A.* TAS-diagramma summa shchelochey-kremnezem dlya khimicheskoy klassifikatsii i diagnostiki plutonicheskikh porod [TAS diagram of the sum of alkalis-silica for chemical classification and diagnosis of plutonic rocks], *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2013, No. 56, pp. 40–50. (In Russ.)
44. *Shatova N. V., Seregin S. V.* Novyye dannyye o vozraste intruzivnykh porod viktorinskogo i namyndykan-skogo kompleksov yuzhnoy chasti Omolonskogo massiva (Magadanskaya oblast') [New data on the age of intrusive rocks of the Victoria and Namyndykan complexes of the southern part of the Omolon massif (Magadan region)], *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2023, No. 93, pp. 5–27. (In Russ.)
45. *Shevchenko V. M.* Intruzivnyye komplekсы verkhov'yev reki Kolymy i Primagadan'ya [Intrusive complexes of the upper reaches of the Kolyma and Primagadanya rivers], Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 1996, 95 p. (In Russ.)
46. *Shpikerman V. I.* Domelovaya minerageniya Severo-Vostoka Azii [Pre-Cretaceous minerageny of North-East Asia], Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 1998, 333 p. (In Russ.)
47. *Shpikerman V. I., Goryachev N. A., Ratkin V. V., Chugayev A. V.* Geologiya izotopov rudnogo svintsya yuga Omulevskogo terreyne (Tsirkumalazeyskiy metallogenicheskii poyas) [Geology of ore lead isotopes in the south of the Omulevsky terrane (Circumalazeya metallogenic belt)], Vladivostok, Dal'nauka publ., 2016, pp. 386–388. (In Russ.)
48. *Shpikerman V. I., Chernyshev I. V., Agapova A. A., Troitskiy V. A.* Geologiya izotopov rudnogo svintsya tsentral'nykh rayonov Severo-Vostoka Rossii [Geology of ore lead isotopes in the central regions of North-East Russia], Magadan, SVKNII DVNTS AN SSSR publ., 1993, 67 p. (In Russ.)
49. *Gosudarstvennyy doklad* “O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'yevykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2016 i 2017 godakh” [State report “On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2016 and 2017”], available at: http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/. (24.05.2022)
50. *Batchelor R. A., Bowden P.* Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters, *Chemical Geology*, 1985, V. 48, pp. 43–55.
51. *Cao K., Yang Z. M., Xu J. F., Fu B., Li W. K., Sun M. Y.* Origin of dioritic magma and its contribution to porphyry Cu–Au mineralization at Pulang in the Yidun arc, eastern Tibet, *Lithos.*, 2018, V. 304, pp. 436–449.
52. *Chang Z., Ross L. R., Maslennikov V.* Sulfur isotopes in sediment-hosted orogenic gold deposits: Evidence for an early timing and a seawater sulfur source, *Geology*, 2008, V. 36, No. 12, pp. 971–974.
53. *Frost B. R., Arculus R. J., Barnes C. G.* A geochemical classification of granitic rocks, *Journal of Petrology*, 2001, V. 42, pp. 2033–2048.

54. *Lowell J. D., Guilbert J. M.* Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits, *Economic Geology*, 1970, V. 65, No. 4, pp. 373–408.
55. *Mudd G. M., Jowitt S. M.* Growing Global Copper Resources, Reserves and Production: Discovery Is Not the Only Control on Supply, *Economic Geology*, 2018, V. 113, No. 6, pp. 1235–1267.
56. *Ohmoto H., Goldhaber M. B.* Sulfur and carbon isotopes, *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 3rd ed., New York, John Wiley and Sons, 1997, pp. 517–612.
57. *Peccerillo A., Taylor S. R.* Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey, *Contributions to mineralogy and petrology*, 1976, V. 58, pp. 63–81.
58. *Rogacheva L., Baksheev I.* Mineralogy of metasomatic rocks and geochronology of the Olhovka porphyry-copper deposit, Chukotka, Russia, *Geophysical Research Abstracts*, 2010, V. 12, pp. 34.
59. *Stacey J. S., Kramers J. D.* Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model, *Earth and planetary science letters*, 1975, V. 26, No. 2, pp. 207–221.
60. *Wilson A. J., Cooke D. R., Harper B. J., Deyell C. L.* Sulfur isotopic zonation in the Cadia district, southeastern Australia: exploration significance and implications for the genesis of alkalic porphyry gold-copper deposits, *Mineralium Deposita*, 2007, V. 42, pp. 465–487.

Статья поступила в редакцию 07.04.24; одобрена после рецензирования 02.05.24; принята к публикации 02.05.24.
The article was submitted 07.04.24; approved after reviewing 02.05.24; accepted for publication 02.05.24.

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.