

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ AG-AU РУДОПРОЯВЛЕНИЯ КЫПЛАТАП (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧУКОТКА)

А. Г. Пилицын

ФГБУ Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (Москва, Российская Федерация)

А. В. Волков

ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (Москва, Российская Федерация)

Т. А. Пилицына

ФГБУ Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 15 июня 2022 г.

*Рассмотрены геохимические особенности нетрадиционной для Охотско-Чукотского вулканогенного пояса Ag-Au минерализации во вторичных кварцитах рудопроявления Кыплатап. В результате геохимических исследований установлено, что рудопроявление находится в эпицентре концентрически-зональной минералообразующей системы, при этом Au локализуется как в ядерной зоне, формируя здесь Ag-Au минерализацию, так и в периферийной части, образуя проявления-сателлиты Au-редкометалльного типа. Уровень эрозионного среза рудопроявления Кыплатап, по данным факторного анализа, оценивается как умеренный. Наличие крупной изометричной аномалии серебра позволяет предполагать развитие в пределах рудопроявления большеобъемного оруденения.*

**Ключевые слова:** Центральная Чукотка, рудопроявление Кыплатап, геохимические особенности, аномалии, зональность, серебро, золото.

### Введение

В 1990 г. в результате геохимических работ по потокам рассеяния масштаба 1:200 000 Мильгувемский геохимический отряд Чаунской геолого-разведочной экспедиции открыл перспективное Ag-Au рудопроявление Кыплатап.

Экономический интерес к рудопроявлению в настоящее время обусловлен его близостью (8 км) к круглогодичной автодороге Певек — Билибино и ЛЭП 110 кВт (35 км). Расстояние до Певека по автодороге составляет 270 км (рис. 1).

Лицензию на проведение геолого-разведочных работ в пределах Кыплатапского рудного поля (КРП) в 2018 г. получила юниорная компания ООО «Терра Инвест». Прогнозные ресурсы Кыплатапской лицензионной площади оценены в 28,9 т золота и 4641,5 т серебра.

В 2020—2022 гг. в отделе геологии и геохимии Арктики Института минералогии, геохимии и кри-

сталлохимии редких элементов (ИМГРЭ) была составлена база геохимических данных по результатам работ предшественников, выполнена ее переинтерпретация с применением статистического, корреляционного и факторного методов анализа. В настоящей статье обсуждаются результаты этих работ.

Стремительный рост добычи золота в последние годы в мире из крупных эпитермальных месторождений высокосульфидизированного типа, а также успешная разработка компанией «Полиметалл» месторождения этого типа Светлое на западном фланге Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) стимулировали развитие прогнозно-поисковых работ, направленных на открытие аналогичных месторождений в других районах ОЧВП, в частности в его Чукотском отрезке.

Выявленная на рудопроявлении Кыплатап вкрапленная Ag-Au минерализация во вторичных кварцитах и в аргиллизитах — индикаторный признак крупных

© Пилицын А. Г., Волков А. В., Пилицына Т. А., 2023

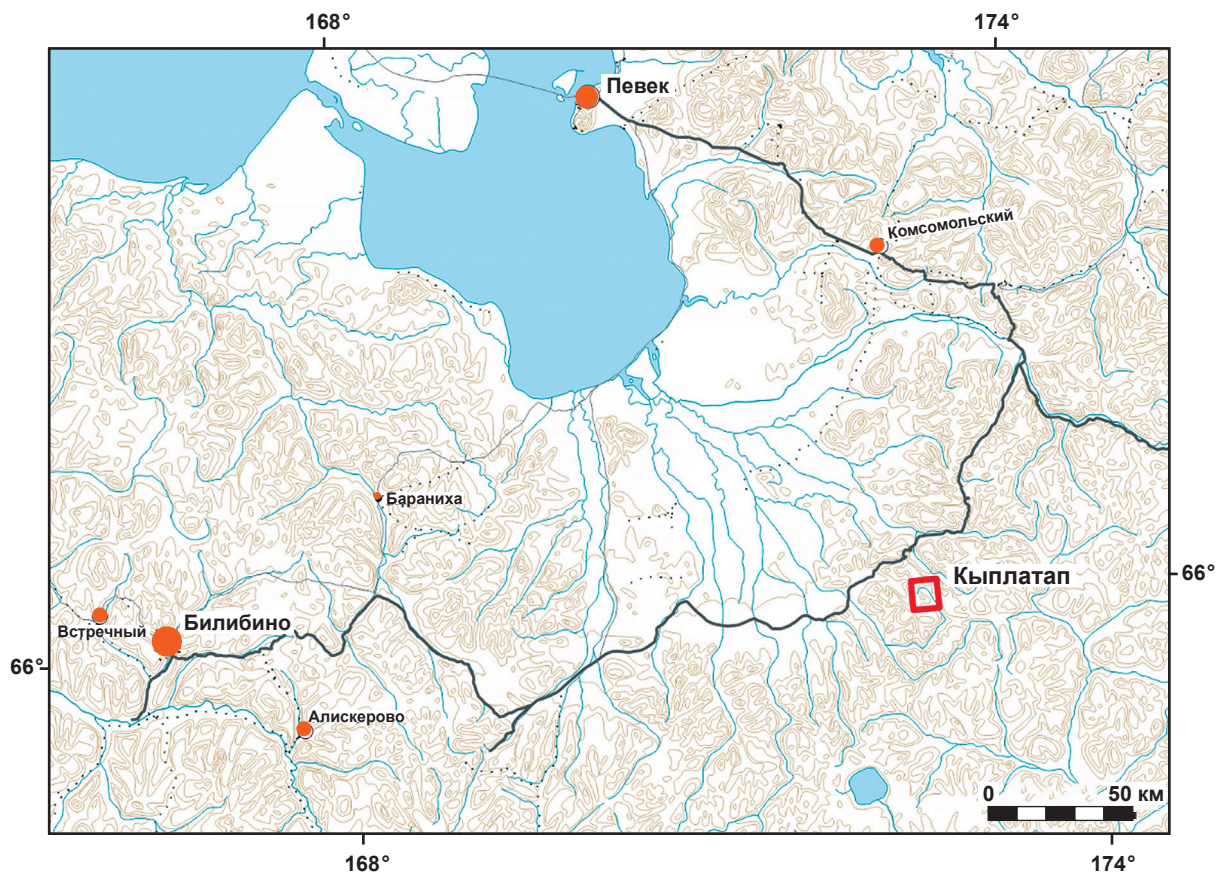


Рис. 1. Схема расположения Кыплатапского рудного поля  
Fig. 1. Location of the Kyplatap ore field

эпитермальных месторождений HS-типа. Поэтому главная цель данной статьи — изучение геохимических особенностей нетрадиционной для ОЧВП Ag-Au минерализации для уточнения ее прогнозно-поисковой модели и экономического потенциала.

### Особенности геологического строения

Au-Ag эпитермальные месторождения Чукотки контролируются разновозрастными вулканическими поясами, наложенными на ансамбль террейнов (рис. 1). Аккреция террейнов закончилась в послеготеривское-предальбское время и зафиксировала положение новообразованной континентальной окраины, фундаментом которой в подавляющем большинстве случаев служит докембрийская континентальная кора [1]. Аккрецированные террейны включают Чаунский и Анюйский субтеррейны пассивной континентальной окраины, Южно-Анюйский террейн — фрагмент юрско-раннемеловой зоны субдукции, а также фрагменты раннемеловых островных дуг и позднепалеозойско-раннемезозойской континентальной окраины, которые создают гетерогенное основание для вулканических поясов [2].

ОЧВП развивался параллельно современному положению Курило-Камчатского глубоководного желоба. Олойский вулканический пояс (ОВП) расположен параллельно северной палеоокраине кон-

тинента в позднеюрское время [2] — перпендикулярно по отношению к ОЧВП (см. рис. 1). На ОВП и другие структуры к юго-западу и северо-востоку от Южно-Анюйской сутуры наложены континентальные вулканические впадины аптского возраста, которые образовались после готерив-барремского закрытия Южно-Анюйского океанического бассейна в результате коллизии Чукотского микроконтинента с активной окраиной Сибирского континента, что сопровождалось прекращением надсубдукционного магматизма в Олойском поясе [3]. Таким образом, вулканические толщи ОЧВП перекрывают в пределах западной Чукотки породы вулканических впадин аптского возраста и ОВП.

**Кыплатапское рудное поле** расположено на юго-восточном фланге одноименной крупной вулканокупольной структуры (ВКС), осложняющей Паляваам-Пыкарваамскую вулканотектоническую депрессию, входящую в состав Чаунской зоны Центрально-Чукотского сектора ОЧВП (см. рис. 2). В плане КРП площадью 45 км<sup>2</sup> имеет изометричную форму и оконтурено кольцевыми разломами. В геологическом строении рудного поля и прилегающих к нему площадей принимают участие ранне-поздне-меловые стратифицированные вулканогенные покровные образования и субвулканические тела, прорванные поздне-меловыми дайками ичувеевского комплекса.

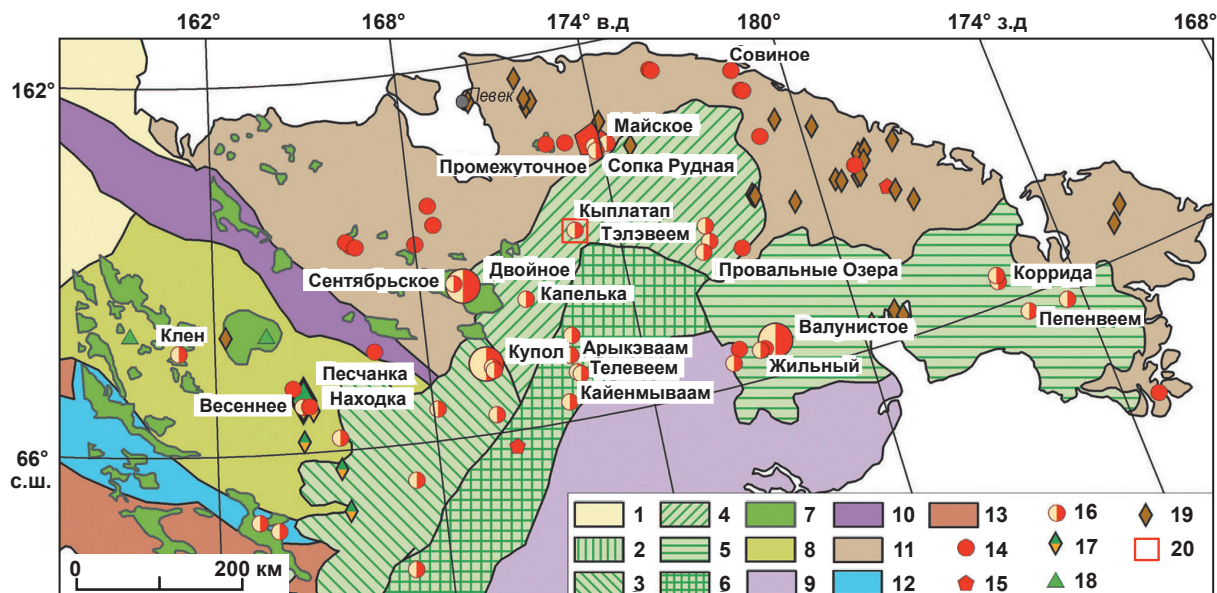


Рис. 2. Вулканические пояса и Au-Ag эпитермальные месторождения Чукотки. Схема составлена с использованием материалов [1–3]: 1 – кайнозойский чехол; 2–6 – ОЧВП: 2–4 – секторы ОЧВП (2 – Пенжинский, 3 – Анадырский, 4 – Центрально-Чукотский); 5 – Восточно-Чукотская фланговая зона; 6 – внутренняя зона ОЧВП; 7 – раннемеловые вулканические впадины; 8 – Олойский вулканический пояс; 9 – Корякско-Камчатская складчатая система; 10 – Южно-Ануйская сутура; 11 – Чукотская складчатая система; 12 – палеозойско-мезозойские островодужные комплексы; 13 – деформированные палеозойско-мезозойские комплексы чехла Омолонского массива; 14–19 – рудные месторождения (большие значки – крупные объекты, маленькие – средние и мелкие): 14 – золото-кварцевые жильные, 15 – золото-сульфидные (вкрапленные), 16 – эпитермальные золото-серебряные, 17 – медно-молибден-порфировые, золото- и серебросодержащие, 18 – колчеданно-полиметаллические в вулканических породах, 19 – оловорудные; 20 – рудопоявление Кыплатап

Fig. 2. Volcanic belts and Au-Ag epithermal deposits of Chukotka. The scheme was compiled using materials from [1–3]. 1 – Cenozoic cover; 2–6 – Okhotsk-Chukotka Volcanic belt (OChVB): 2–4 – OChVB sectors (2 – Penzhinsky, 3 – Anadyrsky, 4 – Central Chukotka); 5 – East Chukotka flank zone; 6 – inner zone of OChVB; 7 – Lower Cretaceous volcanic depressions; 8 – Oloi volcanic belt; 9 – Koryak-Kamchatka fold system; 10 – South Anyui Suture; 11 – Chukotka fold system; 12 – Paleozoic-Mesozoic island-arc complexes; 13 – deformed Paleozoic-Mesozoic complexes of the Omolon massif cover; 14–19 – ore deposits (large icons – major, small – medium and small objects); 14 – gold-quartz vein; 15 – gold-sulfide (disseminated); 16 – epithermal gold-silver; 17 – copper-molybdenum-porphyry; 18 – pyrite-polymetallic in volcanic rocks; 19 – tin-ore; 20 – Kyplatap ore occurrence

Вулканические толщи представлены алькаквуньской и пыкарваамской свитами. Пестроцветные трахириолиты верхнеалькаквуньской подсвиты слагают верхние части разреза, согласно перекрывая вулканы средней подсвиты и трахириолит-трахидациты Кыплатапского субвулканического тела (рис. 3). Отложения среднеалькаквуньской подсвиты занимают значительную площадь в юго-восточной части КРП и характеризуются переслаиванием тонкофлюидальных риодацитов, трахириолитов, их игнимбри-тов и туфов риолитов. Отложения пыкарваамской свиты имеют локальное распространение и представлены биотитовыми риолитами с туфами дацитов и риолитов в подошве.

Кыплатапская ВКС была сформирована в результате внедрения в алькаквуньские вулканы крупного лакколитообразного субвулканического тела, сложенного риолит-трахириолит-трахидацитами (см. рис. 3).

Главную роль в геологическом строении КРП играют разрывные нарушения субширотного направления — крутопадающие сбросы с амплитудами перемещений 20–100 м. Этими разломами рудное

поле расчленено на серию субпараллельных блоков (см. рис. 3). Эта же система разломов контролирует положение позднемиловых даек, широко распространенных в юго-западной части КРП и представленных андезитобазальтами, трахибазальтами, монцодиоритами и кварцевыми монцонитами.

**Метасоматические изменения.** На площади КРП рудовмещающие вулканы испытали дорудный щелочной метасоматоз — формация фельдшпатофиров, кислотный метасоматоз — формация вторичных кварцитов (рудный этап) и пострудную пропилитизацию. В пределах рудопоявления Кыплатап на фоне регионально слабопроявленных фельдшпатофиров выделяются тела площадной и линейной формы от слабо- и среднеизмененных до полнопроявленных аргиллизитов с телами вторичных кварцитов и мономинеральных кварцитов во внутренних зонах. В приповерхностных условиях метасоматиты, особенно аргиллизиты в зонах повышенной трещиноватости, подвергаются сильному ожелезнению и каолинизации. Такие зоны на местности выделяются ярко-желтыми, рыжими, оранжевыми, красными пятнами и полосами.



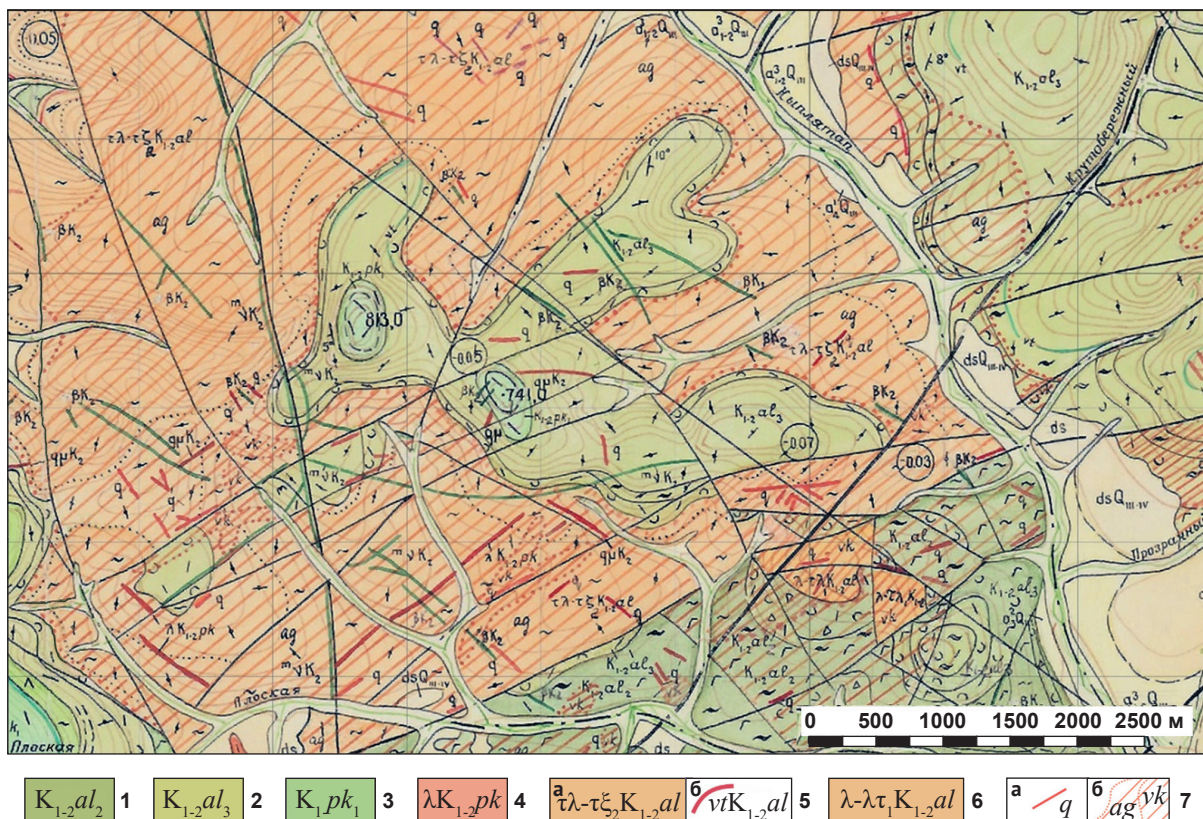


Рис. 3. Геологическая карта Кылатапского рудного поля: 1 — нижний и верхний отделы средне-Алкаквунской подсвиты. Пироксенитовые риодациты, риолиты, трахириолиты; 2 — нижний и верхний отделы верхне-Алкаквунской подсвиты. Пироксенитовые трахириолиты; 3 — нижняя подсвита Пыкарваамской свиты. Биотитовые риолиты; 4 — Пыкарваамский комплекс. Субвулканические тела и дайки биотитовых риолитов; 5, 6 — Алкаквунский комплекс: 5 — I фаза: а — субвулканические тела и дайки пироксенитовых трахириолитов-трахидацитов, б — дайки и субпластовые тела витрофиров; 6 — субвулканические тела риолитов-трахириолитов (II фаза); 7 — кварцевые жилы, зоны брекчирования и прожилкования (а), вторичные кварциты (б): аргиллизиты (ag), кварц-серцитовые метасоматиты и мономинеральные кварциты (vk)

Fig. 3. Geological map of the Kyplatap ore field: 1 — lower and upper sections of the Middle Alkakvun sub-formation. Pyroxenite rhyodacites, rhyolites, trachyriolites; 2 — lower and upper sections of the Upper Alkakvun sub-formation. Pyroxenite trachyriolites; 3 — lower sub-formation of the Pykarvaam formation. Biotite rhyolites; 4 — Pykarvaam complex. Subvolcanic bodies and dikes of biotite rhyolites-trachyriolites (I phase); 5, 6 — Alkakvun complex: 5 — phase I: a — subvolcanic bodies and dikes of pyroxenite trachyriolites-trachydacites, b — dikes and substratal bodies of vitrophyres; 6 — subvolcanic bodies of rhyolites-trachyriolites (phase II); 7 — quartz veins, breccia and veining zones (a), secondary quartzites (b): argillites (ag), quartz-sericite metasomatites and monomineral quartzites (vk)

**Рудопроявление Кылатап** занимает площадь 3 км<sup>2</sup> в юго-западной части КРП и приурочено к узлу пересечения разломов северо-западного, северо-восточного и субширотного направлений (см. рис. 3). Среди них важная роль в локализации Ag-Au минерализации принадлежит серии субпараллельных разломов северо-восточного простирания (60—70°), к которым приурочены основные рудные зоны.

Проведенные работы позволили выделить в пределах рудопроявления четыре рудные зоны северо-восточного простирания, включающие 35 рудных тел, средние параметры которых составили: протяженность — 105 м, мощность — 3,1 м, средние содержания Au — 3,1 г/т, Ag — 375 г/т. Рудные тела представлены минерализованными зонами брекчирования и дробления, сопряженными с кварцевыми прожилково-жильными образованиями. Величина Au/Ag отношения в рудных телах варьирует от 1:1

до 1:3000 и более. В целом по рудопроявлению она составляет 1:450, по первой рудной зоне — 1:500, по второй — 1:450, по третьей — 1:350.

**Рудная минерализация** в основном вкрапленная, реже прожилковая, часто приурочена к кавернам в мелкокристаллическом кварце. Наблюдается также тонкая рудная пыль в перекристаллизованном кварце и в зальбандах жил и прожилков. Концентрация рудных минералов обычно составляет от 1% до 2—5%. Размеры рудных минералов варьируют от первых тысячных долей до первых миллиметров. Минерализованы не только прожилки, но и метасоматиты, преимущественно вблизи зальбандов жил и значительно слабее на удалении от них. В рудах преобладают прожилково-вкрапленные, пятнистые и кавернозные текстуры, менее развиты колломорфно-полосчатые, каркасно-пластинчатые и брекчиевые текстуры [4].



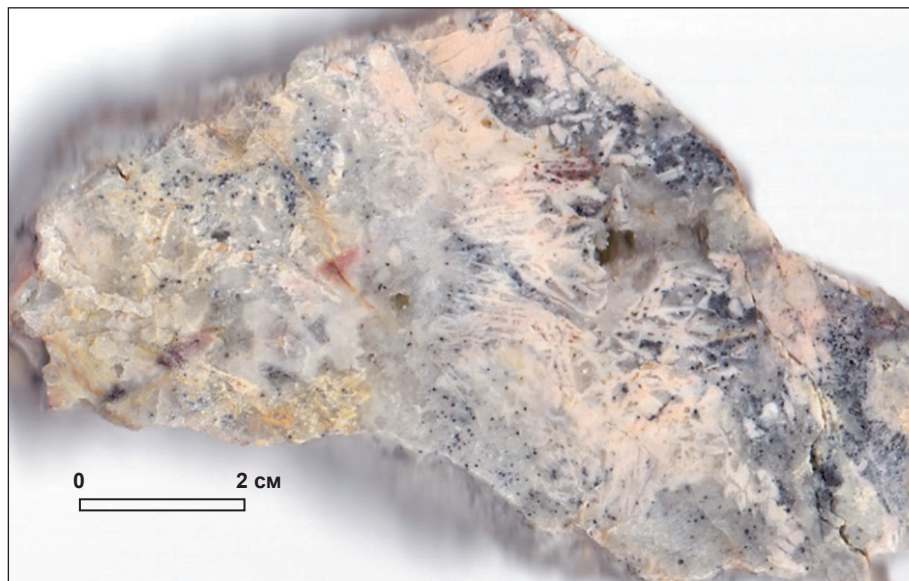


Рис. 4. Богатая серебряная руда рудопроявления Кыплатап (рудная зона 3). В руде преобладает акантит, селенистый полибазит и самородное серебро — темно-серые полосы и пятна в апориолитовом кварците

Fig. 4. Rich silver ore from the Kyplatap ore occurrence (ore zone 3). The ore is dominated by acanthite, selenium polybasite and native silver — dark gray stripes and spots in aporiolite quartzite

В составе рудных тел установлены жильные минералы — кварц (30—70%), гидрослюда (15—20%), серицит, каолинит, адуляр, железистый карбонат, циркон, хлорит и алунит. Основные рудные минералы представлены пиритом, арсенопиритом, полибазитом, акантитом, самородным серебром и низкопробным самородным золотом. В зоне окисления развиты гидроокислы железа, скородит, сульфаты меди и акантит.

В результате минераграфических исследований в рудах выделены четыре последовательно образовавшиеся минеральные ассоциации: кварц-арсенопирит-пиритовая, халькопирит-сфалеритовая, блеклорудно-сульфосольная, а также гидроокисно-сульфатная гипергенного этапа [4].

**Серебряная минерализация** (преобладает акантит) в виде многочисленных темно-серых мелких (< 1 мм) вкраплений находится в светло-сером апориолитовом кварците (рис. 4), в котором наблюдаются реликты белого аргиллизита, образованного по полевым шпатам основной массы риолита, благодаря привносу калия в дорудную стадию метасоматоза. Аргиллизит пылеватый, в виде прожилок и пятен по всей массе кварцита. Кварцит образован в результате окварцевания основной массы риолита.

#### Результаты геохимических работ

В районе КРП о наличии золота известно с 1976 г. В рамках работ по составлению Государственной геологической карты масштаба 1:200 000 (листы R-59-XXXV—XXXVI) шлиховым опробованием в долинах ручья Завитой и на левобережье реки Пыкарваам было обнаружено самородное золото в виде единичных знаков.

В 1987—1990 гг. на территории листов R-59-XXXV—XXXVI была проведена геохимическая съемка по потокам рассеяния масштаба 1:200 000 и открыто рудопроявление Кыплатап. Основным критерием для его выделения послужили контрастные геохимические ореолы Au (до 0,02 г/т), Ag (до 3 г/т) и As (до 3673 г/т) (рис. 5).

В то же время северо-восточнее рудопроявления было околонушено аномальное поле Au с более высокими содержаниями до 0,1 г/т, кроме того, на этой же площади была установлена контрастная аномалия Sn (до 984,5 г/т). Такое сочетание аномалий Au и Sn типично для месторождений золото-редкометалльной рудной формации, которые в пределах ОЧВП встречаются редко по сравнению с другими формационными типами месторождений. При этом они отличаются бедными рудами с содержанием золота, не превышающим 1,5—2,5 г/т [5].

В результате поисковых работ (1991—1995 гг.) на рудопроявлении Кыплатап выявлены вторичные литохимические ореолы золота с содержаниями до 0,039 г/т (см. рис. 6а) и серебра до 10 г/т и более (см. рис. 6б). Кроме того, по результатам ступенчатого опробования были установлены высокие содержания Au до 35,6 г/т и Ag до 11 893 г/т. Аномалии Ag и Au линейные, вытянутые в северо-восточном направлении более чем на 3 км при ширине до 1 км. Важный рудоуправляющий фактор — приуроченность аномалий к зоне крупного Крутобережного разлома северо-восточного простирания. Этими же работами в пределах участка Плоский было выделены три рудные зоны и пройдены пять пересекающих их канав, а также девять скважин колонкового бурения (рис. 6в).

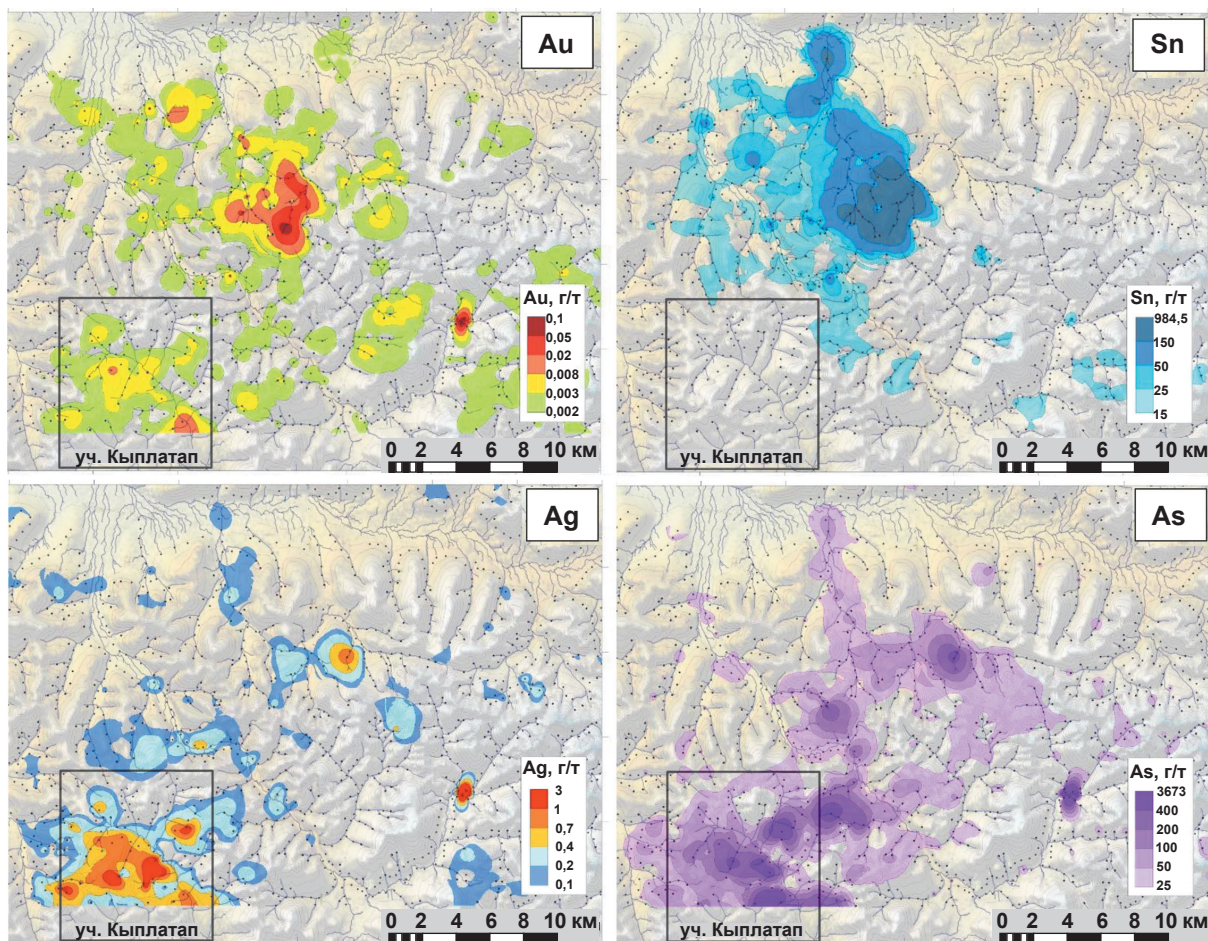


Рис. 5. Аномальные геохимические поля Au, Ag, Sn и As по потокам рассеяния масштаба 1:200 000 Кыплатапского рудного поля  
Fig. 5. Anomalous geochemical fields of Au, Ag, Sn and As according to scattering fluxes of scale 1:200 000 of the Kyplatap ore field

Одна из скважин вскрыла в интервале глубин 9,0—13,5 м рудную минерализацию в окварцованных брекчированных породах со средними содержаниями золота 23,15 г/т и серебра 2521,3 г/т.

#### Методика исследований

В 2019 г. на рудопроявлении Кыплатап геохимический отряд ИМГРЭ по договору с ООО «Терра Инвест» провел геохимические работы по первичным ореолам масштаба 1:10 000 и поисковые геологические маршруты в пределах всей площади КРП.

В восточной части КРП (рудопроявление Кыплатап) выделена серия контрастных субпараллельных комплексных аномалий (Au, Ag, As, Sb, Bi и др.) северо-восточного простирания протяженностью до 3 км и шириной до 200 м (см. рис. 6а, 6б). Аналогичные по составу, но менее контрастные комплексные аномалии были локализованы в периферийной части Кыплатапской ВКС. Наиболее интенсивные аномалии были выделены на участке Ударный, расположенном западнее от Крутобережного глубинного разлома. Форма аномальных полей — линейная, направленная по касательной к кольцевой структуре.

Центральная жерловая часть Кыплатапского субвулканического тела также выделяется аномальными геохимическими полями изометричной формы (1000×500 м). Наряду с Au, Ag и As в них представлены Mo, Mn и Cu аномалии. По штучным пробам с аномальными концентрациями Au, Ag и элементов-спутников в пределах рудопроявления Кыплатап, как отмечалось выше, были околонтурены четыре рудные зоны, три ранее известные и одна новая (рис. 6в).

В процессе геохимических работ ИМГРЭ 2019 г. было отобрано 2000 штучных проб массой от 0,5 до 2 кг. Опробование первичных ореолов масштаба 1:10 000 проводилось по шести субмеридиональным профилям, пересекающим рудные зоны рудопроявления Кыплатап, по сети 100(200)×10(20) м, кроме того, по всей площади КРП проводились поисковые геологические маршруты. Опробовались выходы коренных пород на поверхность (20% всех проб), а также глыбовые и грубощебнистые отложения на склонах и пологих вершинах сопков (80% всех проб) (рис. 7а, 7б). Штучные пробы из обнажений или развалов кварца, кварцитов, ожелезненных измененных вулканитов, а также зон аргиллизации и ок-



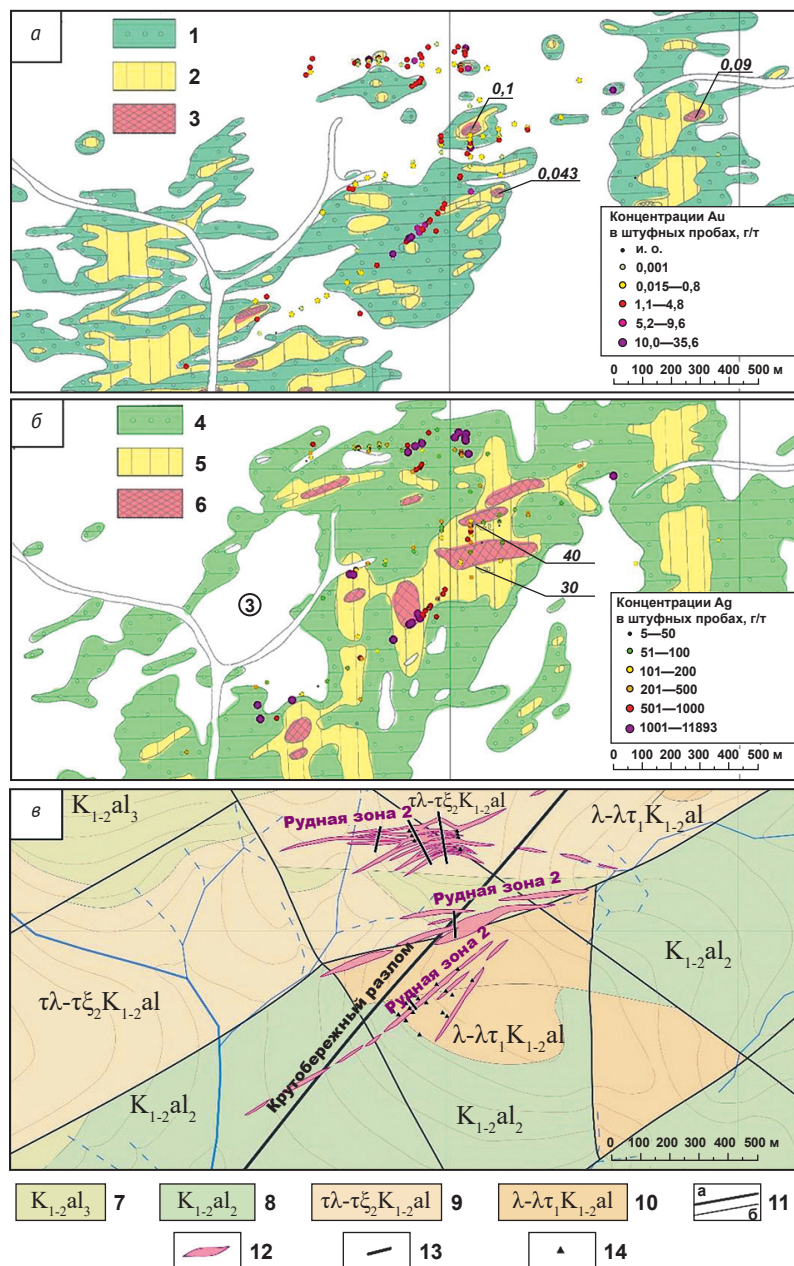


Рис. 6. Аномальные геохимические поля золота (а) и серебра (б) по вторичным ореолам рассеяния с концентрациями этих элементов в штучных пробах и положение рудных зон на геологической схеме рудопоявления Кыплатап: 1–6 – аномальные геохимические поля по вторичным ореолам рассеяния: 1–3 – концентрации Au (г/т): 1 – 0,005–0,009, 2 – 0,01–0,029, 3 – > 0,029; 4–6 – концентрации Ag (г/т): 4 – 1–2, 5 – 3–9,9, 6 – > 10; 7 – пироксенитовые трахириолиты; 8 – пироксенитовые риодациты, риолиты, трахириолиты; 9, 10 – алькаквунский комплекс: 9 – субвулканические тела и дайки пироксенитовых трахириолитов-трахидацитов (I фаза), 10 – субвулканические тела риолитов-трахириолитов (II фаза); 11 – тектонические нарушения: а – глубинные разломы; б – разломы; 12 – Au-Ag рудные зоны (1995 г.); 13 – канавы (1995 г.); 14 – скважины (1995 г.)

Fig. 6. Anomalous geochemical fields of gold (a) and silver (b) according to secondary scattering halos with concentrations of these elements in massive samples and the position of ore zones on the geological scheme of the Kyplatap ore occurrence: 1–6 – anomalous geochemical fields along secondary scattering halos: 1–3 – Au concentrations (g/t): 1 – 0,005–0,009, 2 – 0,01–0,029, 3 – > 0,029; 4–6 – Ag concentrations (g/t): 4 – 1–2, 5 – 3–9,9, 6 – > 10; 7 – pyroxenite trachyriolites; 8 – pyroxenite rhyodacites, rhyolites, trachyriolites; 9, 10 – Alkavun complex: 9 – subvolcanic bodies and dykes of pyroxenite trachyriolites-trachyriolites (phase I), 10 – subvolcanic bodies of rhyolites-trachyriolites (phase II); 11 – tectonic disturbances: a – deep faults; б – faults; 12 – Au-Ag ore zones (1995); 13 – ditches (1995); 14 – wells (1995)

варцевания отбирались как серии сколков на площади не более 1 м<sup>2</sup> или в виде единичной глыбы.

Особенность геохимических работ заключалась в применении портативного рентген-флуоресцентного анализатора X-MET-7500 производства «Oxford Instruments» (см. рис. 7в), который оперативно за 100 с в полевом лагере или непосредственно на обнажении позволяет определить содержание 28 элементов (S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, Ba, W, Pb, Bi, Th, U) по эмпирической калибровке, созданной в ИМГРЭ (нижние пределы определения приведены в табл. 1).

Рентгенофлуоресцентный экспресс-анализ позволил в ходе работ задавать уточняющие поисковые маршруты для оконтуривания и детализации выделяемых рудных зон и тел, а также проводить разбраковку проб. Из отобранных 2000 проб в лабораторию для дальнейших исследований было отправлено 580 проб, которые по результатам экспресс-анализа содержали повышенные концентрации рудных компонентов или элементов-спутников: Ag (> 50 г/т), As (> 25 г/т), Sb (> 100 г/т), Cu (> 20 г/т), Bi (> 30 г/т), S (> 0,1 %) и т. д.

Отобранные для дальнейших исследований пробы были направлены на базу Бронницкой лаборатории ИМГРЭ для полуквантитативного спектрального анализа и химико-спектрального анализа на Au с нижним пределом обнаружения Au 0,002 г/т.

Для оценки использования в полевых условиях портативного анализатора X-MET-7500 и качества его калибровки был проведен корреляционный анализ пар химических элементов, полученных экспресс-РФА и ПКСА, который показал, что высокая корреляция между методами прослеживается для большинства элементов. Наиболее важные рудные элементы Ag и As в используемой выборке проб для ПКСА и ХСА имеют высокую



Рис. 7. Места отбора геохимических проб (а, б) и портативный рентген-флуоресцентный анализатор X-MET-7500 производства «Oxford Instruments» (в)

Fig. 7. Geochemical sampling sites (a, b) and portable X-ray fluorescence analyzer X-MET-7500 manufactured by Oxford Instruments (c)

и среднюю корреляцию с экспресс-РФА. Таким образом, последний допустимо использовать для предварительной оценки содержаний и разброски проб. Слабая и низкая корреляция для РФА и ПКСА связана прежде всего с неоднородностью в структуре измеряемого образца, попаданием или непопаданием при замере экспресс-РФА в единичные зерна минерализации, тогда как при ПКСА анализируется истертая гомогенизированная проба. На завершающем этапе лабораторных исследований для 10 проб с высокими содержаниями Au и/или Ag был выполнен пробирный анализ на Au и Ag (табл. 2).

Корреляционный анализ показывает, что для Au корреляция между данными пробирного анализа и ХСА очень высока (0,96), а по уровню содержаний результаты анализа близки; для Ag корреляция между пробирным анализом и ПКСА также высока (0,74), а для РФА — средняя (0,58). По данным ПКСА, уровень концентраций Ag на порядок занижен, а для РФА сильно завышен в 5—10 раз.

На основе полученных анализов была составлена представительная сводная база геохимических данных, включающая результаты экспресс-РФА, ПКСА и ХСА с координатами и составом пород.

### Результаты статистического анализа

**Коэффициенты парной корреляции.** На площади КРП был проведен корреляционный анализ сводной базы данных для 580 проб коренных пород, которые были проанализированы отмеченными выше методами. Составление матрицы парных коэффициентов корреляции (табл. 3) проводилась в программе Microsoft Excel.

Выполненный анализ показал положительную связь между Au и Ag, а также Sb, что характерно для рудной минерализации. Необходимо отметить отрицательную корреляцию упомянутой выше рудной ассоциации элементов с породной группой

Таблица 1. Нижние пределы определения (НПО) анализатора X-MET 7500

Определяемый элемент	НПО	Определяемый элемент	НПО, г/т
S	0,05%	Sr	10
K	0,10%	Y	10
Ca	0,50%	Zr	10
Ti	0,10%	Nb	10
V	200 г/т	Mo	10
Cr	150 г/т	Ag	50
Mn	0,03%	Sn	20
Fe	1,20%	Sb	100
Ni	15 г/т	Ba	250
Cu	15 г/т	W	20
Zn	15 г/т	Pb	15
Ga	10 г/т	Bi	20
As	10 г/т	Th	15
Rb	10 г/т	U	15

элементов Ti, Y, Zr, Nb и Yb, которые также имеют высокую корреляцию друг с другом и, по всей видимости, выносились в процессе рудообразования. Кроме того, породная ассоциация также включает вторую группу элементов (K, Ga, Sn, Ba, V, W, Pb, Sc, La и B), которые характеризуются средней и слабой корреляцией с элементами первой породной группы.

Отдельно от остальных элементов по коэффициентам парной корреляции выделяются ассоциации:



Таблица 2. Результаты пробирного анализа на Au и Ag, сопоставление их с данными экспресс-РФА и ПКСА

№ п/п	Номер пробы	Ag РФА, г/т	Ag ПКСА, г/т	Ag пробирный, г/т	Au ХСА, г/т	Au пробирный, г/т
1	P-159/1	6	20	12,1	2,51	2,9
2	A-33/1	18	30	26,9	1,14	1,3
3	P-17/1	4772	> 100	850	15,0	15,5
4	K-11/3	2884	> 100	1845	6,53	8,1
5	K-54/1	14466	> 100	806	8,11	13,5
6	K-49/2	2668	> 100	1547	1,47	1,8
7	SH-3/1	9979	> 100	2974	5,03	5,1
8	P-89/1	4548	80	78,6	0,504	0,4
9	P-84/1	22914	> 100	1422	2,16	2,8
10	P-135/1	16768	> 100	1269	0,051	0,2

Fe-S (0,54), которая связана с сульфидной минерализацией как пиритовой, так и арсенопиритовой, и Cu-Ni (0,55) и Ni-Cr (0,42), обнаруженная в нескольких образцах даек базальтов.

Также следует отметить As, который не имеет корреляционных связей с другими элементами, хотя его содержания в 20% отобранных проб > 1000 г/т. Этот факт объясняется присутствием As как в составе рудных тел, так и в безрудных околорудных метасоматитах.

**Коэффициенты обогащения.** Для 349 проб, отобранных в пределах рудных зон рудопроявления Кыплатап, были рассчитаны коэффициенты обогащения и дефицита рудообразующих элементов. Для этого концентрации элементов в каждой пробе были нормированы на средние значения для верхней коры [6]. Полученные минимальные, максимальные и средние значения отношений были вынесены на гистограмму распределения химических элементов (рис. 8) и разделены на пять групп:

- *Группа экстремального обогащения* включает элементы, средние содержания которых в 100 и более раз, а минимальные концентрации не менее чем в 2—10 раз превышают средние содержания в верхней коре [6]. В эту группу входят рудная ассоциация Au-Ag-Sb, а также Bi и As.
- *Группа нормальная* включает элементы, средние содержания которых в 2—10 раз, а максимальные концентрации в 5—100 раз превышают концентрации верхней коры [6]. В эту группу входят Sn, Cu, Zn, Mn, Mo и Pb, не связанные с рудной минерализацией, однако обогащающиеся благодаря метасоматической проработке; сюда входит также S, которая связана с сульфидной минерализацией; остальные элементы этой группы, такие как Li, U, Be, Ge, Rb, Yb и Ba, входят в состав вмещающих пород.

- *Группа нейтральная* включает элементы, содержания которых находятся в области средних концентраций верхней коры [6]. В эту группу входят Th, B, W, Ga, Nb и La.
- *Группа дефицитная* включает элементы, средние содержания которых в 5—10 раз ниже концентраций в верхней коре [6]. В эту группу входят Fe, Ni и Cr, которые дефицитны для вулканических пород, а также Sc и Zr — элементы выноса.
- *Группа экстремального дефицита* включают элементы, средние содержания которых в 10—100 раз ниже концентраций в верхней коре [6]. В эту группу входят K, Ti, Sr, V, Ca, Co, большинство из которых также входят в ассоциацию элементов выноса.

### Результаты факторного анализа

Для выделения геохимических ассоциаций и анализа геохимической зональности проведен факторный анализ в программе Statistica данных опробования потоков рассеяния 1:200 000 масштаба КРП.

В результате было выявлено семь факторов (табл. 4), главная особенность которых — наличие Au в первом и шестом из них.

**Фактор 1** кроме Au включает Ag, As, Sb и Cu и в меньшей степени Pb и Mo, которые обычно входят в состав ядерных частей геохимических аномалий золотосеребряных (золотосульфосольных) рудных полей и приурочены к умеренно эродированным вулканоструктурам [7]. Пространственно рудопроявление Кыплатап расположено в области максимальной интенсивности первого фактора (рис. 9а).

**Факторы 2 и 3** фиксируют породные аномалии, относящиеся к субвулканическим телам альпакуньского комплекса, такие элементы, как Ba, Y, Sc, Zr, присутствуют в каждом факторе в разной про-

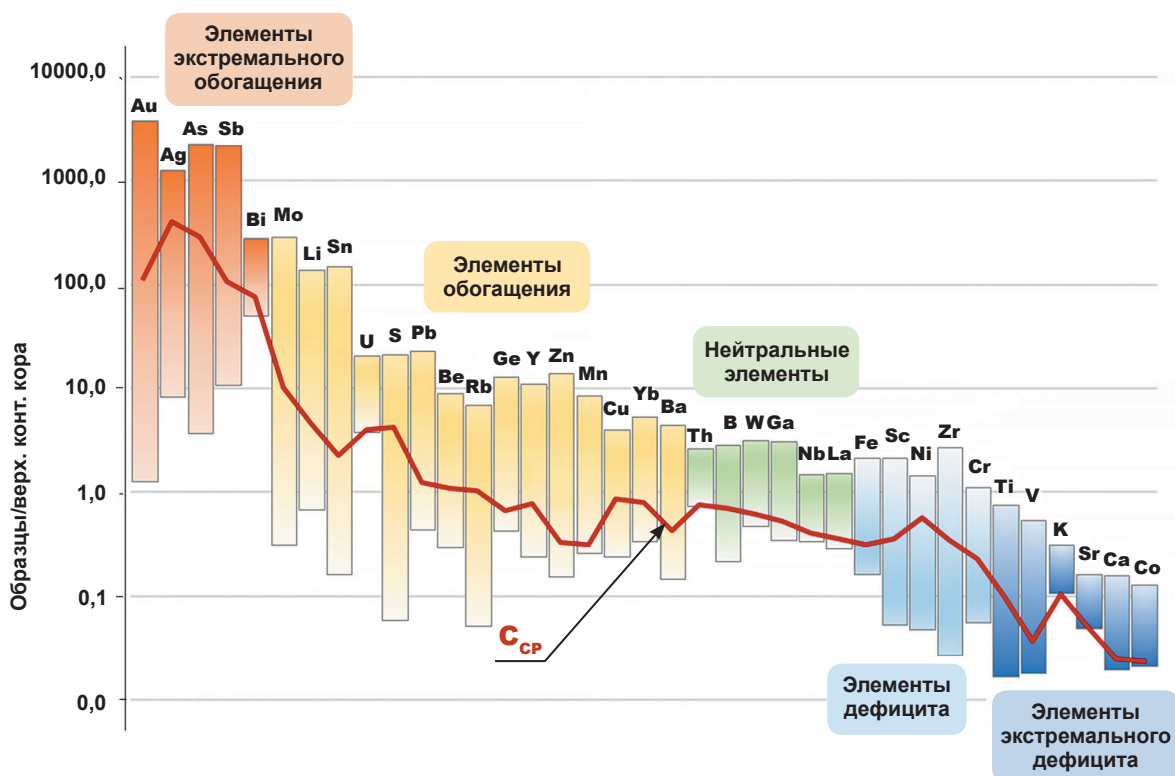


Рис. 8. Распределение химических элементов (минимум — максимум и среднее значение) для рудных образцов (349 проб) рудопроявления Кыплатап, нормированных по отношению к средним содержаниям для верхней коры [6]

Fig. 8. Distribution of chemical elements (minimum — maximum and average value) for ore samples (349 samples) of the Kyplatap ore occurrence, normalized with respect to the average contents for the upper crust [6]

порции. Фактор 2 больше тяготеет к ранним субвулканитам, а фактор 3 — к поздним.

Факторы 4 и 5 также фиксируют неоднородности, связанные с породной составляющей вулканитов алькаквуньской (фактор 4) и пыкарваамской (фактор 5) свит. Для обеих свит характерны повышенные содержания Pb, Zn и Nb, кроме того, породы алькаквуньской свиты отличаются повышенными содержаниями W и La, а породы пыкарваамской свиты — повышенными содержаниями Ga и Ge.

Фактор 6 включает Au и Sn. Максимальные значения фактора 6 установлены на северо-востоке от рудопроявления Кыплатап за пределами аномального поля фактора 1 (см. рис. 9б). В пределах самого рудопроявления выделяется область пониженных значений этого фактора, что свидетельствует о формировании аномалий элементов факторов 1 и 6 в едином геохимическом процессе, в результате которого осуществлялся привнос Ag, As, Sb и Cu и вынос Sn. Отметим, что Au участвовало в обоих процессах.

Фактор 7. Здесь следует отметить ассоциацию сидерофильной группы элементов V, Co, Ni, Sc и Cr (см. табл. 4). Эта ассоциация элементов в районе рудопроявления выделяется зоной интенсивного выноса (см. рис. 9в). При этом на значительном расстоянии от рудопроявления Кыплатап (10—15 км) выделяются повышенные значения фактора 7 в виде поля

кольцевой формы, обрамляющего внешнюю границу перераспределения химических элементов.

### Обсуждение полученных результатов

В общепринятой классификации [8] эпitherмальные месторождения на основании окислительного состояния серы в гидротермах разделены на два класса: низкосульфидизированный и высокосульфидизированный. Позднее был выделен еще один класс — промежуточный [9].

Рудопроявление Кыплатап кроме рудной ассоциации элементов характеризуется довольно высоким превышением концентраций Bi, Sn, Pb и Cu (с обогащением 5—100 раз), при этом отмечается высокая сереброносность и низкая золотоносность (отношение Au/Ag — 1:450), что характерно для промежуточного класса эпitherмальных месторождений [10].

Полученные значения обогащения и дефицита химических элементов в пределах рудных зон рудопроявления Кыплатап свидетельствуют о довольно интенсивном метасоматозе и рудообразовании.

Металлогеническая зональность ОЧВП от внутренней зоны к внешней (от океана к континенту) имеет вид Cu→Mo→Sn [11]. По отношению к указанному ряду зональности КРП находится в Sn-зоне. Выходы оловоносных гранитоидов, сопровождающиеся геохимической аномалией Sn, отмечаются в центральной части КВП (см. рис. 5).



Таблица 3. Матрица парных коэффициентов корреляции химических элементов пород и руд КРП

	Au	Ag	As	Sb	Bi	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Sr	Y	Zr	
Au	1																		
Ag	0,67	1																	
As	0,08	-0,05	1																
Sb	0,44	0,34	0,17	1															
Bi	-0,13	-0,02	-0,09	-0,09	1														
S	0,06	0,04	0,29	0,09	-0,09	1													
K	-0,15	-0,14	-0,01	-0,14	0,06	0,17	1												
Ca	-0,11	-0,21	-0,17	-0,09	-0,03	-0,04	-0,12	1											
Ti	-0,39	-0,36	0,11	-0,22	0,12	0,02	0,36	0,00	1										
Mn	0,05	-0,02	0,01	0,12	-0,01	-0,01	-0,24	0,21	-0,07	1									
Fe	-0,16	-0,21	0,14	-0,06	0,01	0,54	0,22	-0,01	0,15	0,15	1								
Ni	0,12	0,22	0,07	0,17	0,05	0,03	-0,19	-0,23	-0,14	0,16	-0,07	1							
Cu	0,17	0,27	0,10	0,18	0,03	0,08	-0,12	-0,35	-0,20	0,16	0,02	0,55	1						
Zn	-0,21	-0,19	-0,10	-0,06	0,12	0,01	0,09	0,19	0,18	0,29	0,29	-0,11	-0,12	1					
Ga	-0,15	-0,10	-0,04	-0,05	0,08	0,03	0,55	-0,13	0,51	-0,13	0,10	-0,08	-0,03	0,09	1				
Sr	-0,17	-0,20	-0,11	-0,10	-0,04	0,05	0,01	0,69	0,09	0,15	0,06	-0,21	-0,34	0,22	0,02	1			
Y	-0,38	-0,38	0,08	-0,17	0,13	0,01	0,36	0,13	0,70	-0,01	0,16	-0,17	-0,23	0,31	0,42	0,18	1		
Zr	-0,41	-0,42	0,11	-0,23	0,13	0,02	0,39	0,01	0,90	-0,08	0,17	-0,21	-0,23	0,19	0,49	0,10	0,79	1	
Nb	-0,40	-0,35	0,04	-0,21	0,18	-0,01	0,46	-0,14	0,80	-0,14	0,14	-0,14	-0,13	0,20	0,49	-0,03	0,74	0,83	
Mo	-0,07	-0,09	0,05	0,21	0,01	-0,03	0,09	-0,09	0,19	-0,13	-0,02	0,12	0,08	-0,07	0,26	-0,05	0,13	0,23	
Sn	-0,19	-0,13	0,04	0,02	0,36	0,00	0,28	-0,06	0,50	0,00	0,07	0,11	0,06	0,10	0,48	0,01	0,42	0,46	
Ba	-0,29	-0,25	0,02	-0,21	0,05	0,07	0,53	0,04	0,53	-0,33	0,09	-0,26	-0,20	0,16	0,43	0,20	0,54	0,54	
W	-0,12	-0,06	0,07	-0,04	0,05	0,03	0,27	-0,05	0,36	-0,07	0,09	-0,08	-0,05	0,07	0,25	0,06	0,37	0,35	
Pb	-0,14	-0,11	0,03	0,12	0,16	0,05	0,30	0,09	0,35	-0,01	0,10	0,00	-0,04	0,19	0,41	0,22	0,40	0,38	
Th	-0,19	-0,18	-0,25	-0,17	0,08	-0,07	0,26	0,12	0,22	-0,08	0,02	-0,15	-0,20	0,25	0,21	0,26	0,27	0,22	
U	0,07	0,07	-0,07	0,06	0,02	-0,01	0,26	-0,02	0,00	-0,12	-0,11	-0,04	-0,02	-0,05	0,13	-0,01	-0,02	-0,02	
Li	0,06	-0,01	0,04	0,27	-0,05	-0,06	-0,01	-0,03	0,06	0,03	-0,01	0,22	0,07	-0,09	0,21	-0,06	0,02	0,07	
Cr	0,00	0,03	0,08	0,02	0,00	0,03	0,16	-0,01	0,13	0,04	-0,03	0,42	0,18	-0,05	0,19	0,03	0,07	0,03	
V	-0,05	-0,03	0,07	-0,06	0,06	0,07	0,22	0,07	0,40	0,10	0,16	-0,10	-0,04	0,27	0,38	0,14	0,27	0,33	
Co	-0,08	-0,10	-0,06	-0,04	0,07	0,00	-0,03	0,17	0,10	0,32	0,15	0,23	0,16	0,30	0,03	0,19	0,09	0,03	
Be	0,24	0,17	-0,06	0,18	-0,06	-0,08	-0,26	0,12	-0,19	0,26	-0,04	-0,05	0,00	0,09	-0,18	0,02	-0,18	-0,19	
Tl	-0,07	-0,04	-0,02	-0,06	-0,02	0,03	0,21	-0,02	0,16	-0,29	-0,07	-0,04	-0,01	-0,04	0,19	0,14	0,12	0,14	
Ge	-0,03	-0,08	-0,05	0,27	0,08	-0,09	-0,09	0,00	0,05	0,18	0,11	0,14	0,06	0,13	0,03	-0,03	0,08	0,06	
Sc	-0,30	-0,31	0,17	-0,15	0,08	0,08	0,37	0,07	0,71	0,06	0,19	-0,13	-0,18	0,26	0,55	0,19	0,70	0,72	
Yb	-0,35	-0,35	0,08	-0,17	0,11	0,03	0,37	0,12	0,66	-0,03	0,16	-0,17	-0,22	0,30	0,41	0,18	0,95	0,75	
La	-0,22	-0,20	0,08	-0,11	0,04	0,04	0,29	0,09	0,36	0,05	0,17	-0,12	-0,11	0,31	0,30	0,22	0,45	0,37	
B	-0,05	-0,11	0,12	0,17	-0,01	-0,06	0,17	-0,07	0,26	0,13	0,03	-0,08	-0,05	0,07	0,39	-0,07	0,29	0,32	

  > 0,7 высокая корреляция        0,5–0,7 средняя корреляция

[illegible]

0,3–0,5 слабая корреляция

■ -0,3-0,5 слабая отрицательная корреляция



Таблица 4. Факторные нагрузки химических элементов в потоках рассеяния масштаба 1:200 000 района рудопроявления Кыплатап

Элемент	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Фактор 6	Фактор 7
Au	0,49	−0,03	−0,01	0,02	0,02	0,76	0,06
Ag	0,81	0,11	0,06	0,11	0,13	0,04	−0,07
Zn	0,04	−0,07	0,30	0,25	0,65	0,08	0,07
Pb	0,34	0,01	0,11	0,46	0,54	0,05	−0,22
Sn	−0,05	0,00	0,02	0,16	0,05	0,88	−0,08
Mo	0,39	0,29	−0,09	0,31	0,11	−0,12	−0,26
As	0,82	−0,06	0,03	0,05	−0,03	0,07	0,03
Ni	0,07	0,08	−0,09	0,35	0,12	0,01	0,65
V	0,01	0,05	0,05	−0,20	0,14	−0,14	0,74
Cr	0,01	−0,13	0,05	0,16	0,17	−0,06	0,41
Cu	0,54	0,00	−0,05	−0,04	0,05	0,05	0,29
Bi	0,00	0,21	−0,18	−0,10	0,51	0,00	0,01
Mn	0,11	0,39	0,25	0,35	−0,07	−0,03	0,01
Co	0,06	0,28	0,05	0,09	−0,09	0,06	0,73
Be	0,11	−0,04	0,58	0,31	0,18	−0,11	−0,24
W	−0,02	−0,07	−0,09	0,73	−0,08	0,24	0,09
Hg	0,03	0,04	0,03	−0,26	−0,05	0,00	−0,12
Sb	0,66	−0,10	0,00	−0,12	−0,08	0,14	0,12
Ga	0,02	0,49	−0,01	−0,10	0,50	−0,06	0,26
Ge	−0,04	−0,11	0,09	−0,08	0,65	0,09	0,15
Ba	−0,01	0,68	0,29	−0,15	−0,13	−0,13	0,16
Ti	0,12	0,16	0,53	0,00	0,25	−0,21	0,32
Nb	0,18	0,01	0,29	0,65	0,20	−0,01	−0,14
Y	0,00	0,19	0,70	−0,11	0,05	−0,03	−0,04
Li	0,00	0,77	0,01	−0,02	0,07	0,03	0,08
Zr	−0,01	0,09	0,72	−0,04	0,05	0,16	0,12
Sc	−0,08	0,50	0,39	0,01	−0,05	0,18	0,41
La	−0,05	−0,16	−0,21	0,64	0,03	0,21	0,24
Expl, Var	2,67	2,07	2,24	2,35	1,94	1,67	2,47
Prp, Totl	0,10	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,09

Примечание: значимые элементы выделены красным.

Таким образом, заметное влияние на рудообразование в КВП, вероятно, оказывал оловоносный магматизм, в целом характерный для Чаунской зоны ОЧВП [12].

Следует отметить, что результаты факторного анализа коррессируют с данными корреляционного анализа и коэффициентами обогащения. Рудопроявления Кыплатап по геохимическим данным можно считать умеренно эродированными [7] и предполагать продолжение развития минерализации на глубине.

Обращают на себя внимание достаточно крупный размер (4×5 км) и изометричная форма аномалии Ag (см. рис. 5), установленной на площади КРП, которая может фиксировать достаточно крупный минерализованный штокверк.

Для КРП нами предложена модель концентрически-зональной структуры (см. рис. 9г), которую возможно использовать при интерпретации неявно выраженных аномальных геохимических полей для локализации новых поисковых объектов. В ядерной зоне происходит привнос Ag, As, Sb, Cu, Pb, Mo и вы-

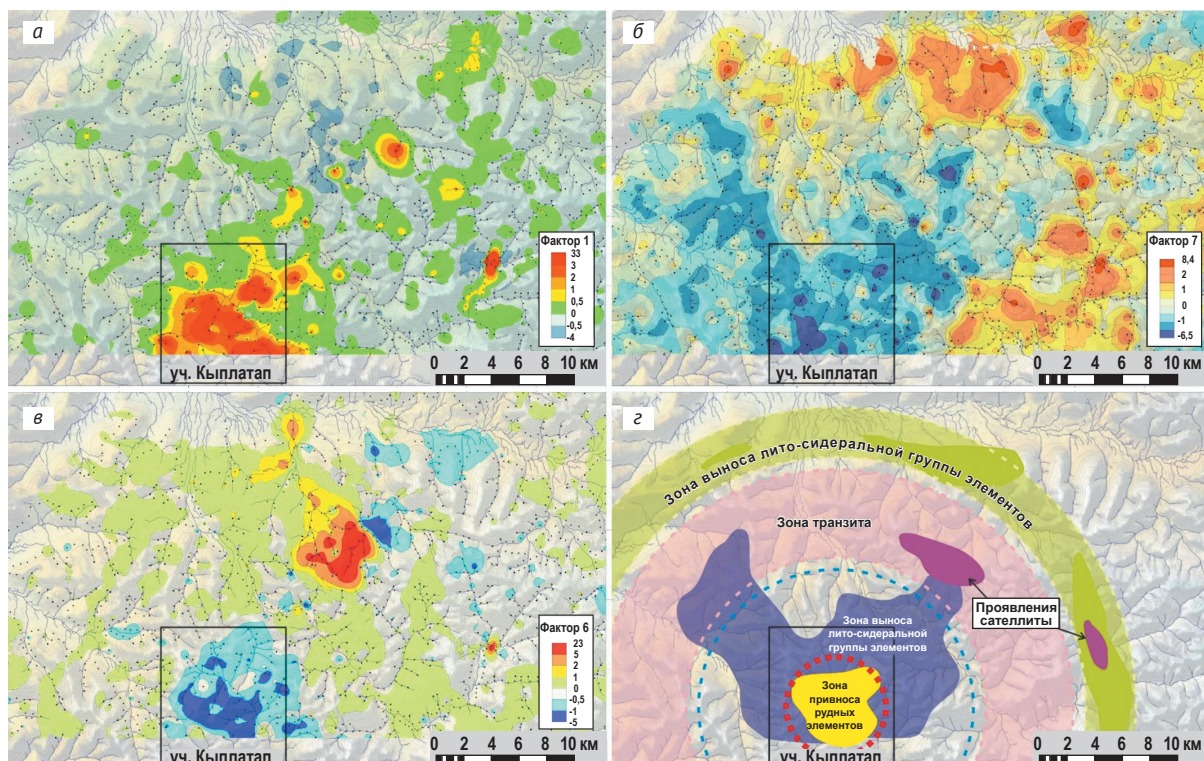


Рис. 9. Схема интенсивности факторов 1 (а), 6 (б) и 7 (г) по потокам рассеяния масштаба 1:200 000 и схема концентрически-зональной ореоловой системы (з) района месторождения Кыплатап  
Fig. 9. Scheme of the intensity of factors 1 (a), 6 (b) and 7 (g) along the scattering fluxes of scale 1:200 000 and the scheme of the concentric-zonal halo system (z) of the Kiplatap area

нос на периферию Sn, V, Co, Ni, Sc и Cr, при этом Au локализуется как в ядерной зоне, формируя здесь Ag-Au минерализацию, так и в периферийной части, образуя Au-редкометалльные проявления-сателлиты.

Следует подчеркнуть, что серебряная специализация эпitherмальной минерализации во вторичных кварцитах рудопроявления Кыплатап — необычный и редко встречающийся феномен в пределах ОЧВП. По геохимическим особенностям, рассмотренным выше, минерализация Кыплатапа обладает большим сходством с таковой рудопроявления Аган [13].

### Заключение

Применение портативного РФА-анализатора в процессе полевых работ значительно повысило их эффективность, оперативный анализ образцов позволил уточнять поисковые маршруты и проводить локализацию рудных зон и тел.

В результате геохимических исследований рудопроявления Кыплатап составлена представительная база данных, включающая результаты анализов экспресс-РФА, ПКСА и ХСА с координатами и составом руд и пород. Корреляционный анализ базы данных показал положительную связь между Au и Ag, а также Sb для рудной минерализации и отрицательную корреляцию этих элементов с ассоциацией элементов породной группы (Ti, Y, Zr, Nb и Yb), которые выносились в процессе рудообразования.

Выделена также вторая породная группа элементов (K, Ga, Sn, Ba, V, W, Pb, Sc, La и B), которая характеризуется средней и слабой корреляцией с элементами первой группы.

Для отобранных в пределах рудных зон рудопроявления Кыплатап проб были рассчитаны коэффициенты обогащения и дефицита рудообразующих элементов. Группа экстремального обогащения включает элементы, средние содержания которых в 100 и более раз, а минимальные концентрации не менее чем в 2—10 раз превышают средние содержания в верхней коре. В эту группу входит рудная ассоциация Au-Ag-Sb, а также Bi и As. Группа нормального обогащения включает элементы S, Sn, Cu, Zn, Mn, Mo и Pb, средние содержания которых в 2—10 раз, а максимальные концентрации в 5—100 раз превышают средние концентрации верхней коры. Полученные значения коэффициентов обогащения свидетельствуют о достаточно интенсивном метасоматозе и рудообразовании в пределах рудопроявления Кыплатап.

В результате исследований установлено, что рудопроявление Кыплатап расположено в эпицентре концентрически-зональной минералообразующей системы. В ядерной зоне происходит привнос Ag, As, Sb, Cu, Pb, Mo и вынос на периферию Sn, V, Co, Ni, Sc и Cr, при этом Au локализуется как в ядерной зоне, формируя здесь Ag-Au минерализацию, так и в пе-



риферийной части, образуя проявления-сателлиты Au-редкометалльного типа.

Результаты факторного анализа коррелируют с данными корреляционного анализа и коэффициентами обогащения. Уровень эрозионного среза рудопоявления Кыплатап, по данным факторного анализа, оценивается как умеренный.

Наличие крупной изометричной аномалии серебра (см. рис. 5 и 6) позволяет предполагать возможность развития в пределах рудопоявления Кыплатап большеобъемного оруденения.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ИГЕМ РАН: «Металлогения вулканогенных и складчатых орогенных поясов. Минеральные системы месторождений стратегических видов минерального сырья. Сравнение российских и мировых примеров».

### Литература

1. Белый В. Ф. Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. — Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. — 76 с.
2. Соколов С. Д., Бондаренко Г. Е., Морозов О. Л., Григорьев В. Н. Зона перехода Азиатский континент — Северо-Западная Пацифика в позднеюрско-раннемеловое время // Теоретические и региональные проблемы геодинамики. — М.: Наука, 1999. — С. 30—82.
3. Тихомиров П. Л., Прокофьев В. Ю., Калько И. А. и др. Постколлизийный магматизм Западной Чукотки и раннемеловая тектоническая перестройка Северо-Востока Азии // Геотектоника. — 2017. — № 2. — С. 32—54.
4. Петров С. Ф. Вещественный состав, текстурно-структурные особенности и вопросы типизации золотосеребряного оруденения Кыплатапской вулканоплутонической структуры (Центральная Чукотка) // Минералогия и генетические особенности место-

рождений золота и серебра. — Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996. — С. 105—119.

5. Волков А. В., Сидоров А. А. Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов, в Арктической зоне России // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 3 (31). — С. 84—99. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-84-99.
6. Тейлор С. Р., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора ее состав и эволюция. — М.: Мир, 1988. — 384 с.
7. Калько И. А. Геохимические параметры и характеристики золотосеребряных полей внешней зоны ОЧВП и критерии выявления в них промышленного оруденения: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — М.: МГУ, 2009. — 197 с.
8. White N. C., Hedenquist J. W. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration // SEG Newsletter. — 1995. — Vol. 23. — P. 1, 9—13.
9. Hedenquist J. W., Arribas A., Gonzalez-Urien E. Exploration for epithermal gold deposits, Gold in 2000 // SEG Rev. — 2000. — Vol. 13. — P. 245—277.
10. Волков А. В., Сидоров А. А., Савва Н. Е. и др. Геохимические особенности вулканогенного рудообразования в северо-западном сегменте Тихоокеанского рудного пояса // Вулканология и сейсмология. — 2017. — № 6. — С. 3—20.
11. Савва Н. Е., Брызгалов И. А., Тюкова Е. Э. Оловпорфировая формация Прикарамкенья (геологоструктурные и минералогические особенности) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. — 2009. — № 4. — С. 2—14.
12. Лугов С. Ф., Макеев Б. В., Потапова Т. М. Закономерности формирования и размещения оловорудных месторождений Северо-Востока СССР. — М.: Недра, 1972. — 360 с.
13. Волков А. В., Савва Н. Е., Сидоров А. А. и др. Эпitherмальное золотосеребряное месторождение Аган и перспективы выявления минерализации высокосульфидизированного типа на северо-востоке России // Геология руд. месторождений. — 2015. — Т. 57, № 1. — С. 25—47.

### Информация об авторах

**Пилицын Алексей Гаврилович**, заведующий отделом геологии и геохимии Арктики, ФГБУ Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (121357, Россия, Москва, ул. Вересаева, д. 15), e-mail: allexpil@yandex.ru.

**Волков Александр Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: tma2105@mail.ru.

**Пилицына Татьяна Андреевна**, заведующая сектором геохимии Арктики, ФГБУ Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (121357, Россия, Москва, ул. Вересаева, д. 15), аспирантка третьего года, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: allafia@yandex.ru.

### Библиографическое описание данной статьи

Пилицын А. Г., Волков А. В., Пилицына Т. А. Геохимические особенности Ag-Au рудопоявления Кыплатап (Центральная Чукотка) // Арктика: экология и экономика. — 2023. — Т. 13, № 1. — С. 34—50. — DOI: 10.25283/2223-4594-2023-1-34-50.

## GEOCHEMICAL FEATURES OF THE KYPLATAP AG-AU ORE OCCURRENCE IN CENTRAL CHUKOTKA

Pilitsyn, A. G.

Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements (Moscow, Russian Federation)

Volkov, A. V.

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

Pilitsyna, T. A.

Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements; Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The article was received on 15 June 2022

### Abstract

The article considers the geochemical features of unconventional mineralization in secondary quartzite's of the Kyplatap ore occurrence, located on the southeastern flank of the volcanic dome structure (VDS) of the same name, complicating the Palyavaam-Pykarvaam volcanotectonic depression (VTD) in the Chaun zone of the Central Chukotka sector of the Okhotsk-Chukotka volcanic Belt (OChVB). The Kyplatap VDS was formed due to the intrusion into the Late Cretaceous Alkaquun volcanites of a large laccolith-like subvolcanic body composed of rhyolite-trachyriolite-trachydacites. Based on the geochemical studies of the Kyplatap ore occurrence, the authors compiled a representative database of geochemical data, including the results of analyses of express-RFA, PKSA and XSA with coordinates and composition of ores and rocks. Correlation analysis of the database showed a positive relationship between Au and Ag, as well as Sb for ore mineralization, and a negative correlation of these elements with the association of the rock group of elements (Ti, Y, Zr, Nb and Yb) that were removed during ore formation. The authors also distinguished the second rock group of elements (K, Ga, Sn, Ba, V, W, Pb, Sc, La and B), characterized by medium and weak correlation of the first group of elements. They calculated the coefficients of enrichment and deficiency of ore-forming elements for the samples taken within the ore zones of the Kyplatap ore occurrence. The extreme enrichment group includes elements Au, Ag, Sb, Bi, As, the average contents of which are 100 times or more, and the minimum concentrations are at least 2-10 times higher than the average contents in the upper crust. The normal enrichment group includes elements S, Sn, Cu, Zn, Mn, Mo and Pb, the average contents of which are 2-10 times, and the maximum concentrations are 5-100 times higher than the average concentrations of the upper crust. The obtained values of the enrichment coefficients indicate a sufficiently intensive metensomatoses and ore formation within the Kyplatap ore occurrence. The Kyplatap ore occurrence is located in the epicenter of a concentric-zonal mineral-forming system. In the nuclear zone, chemical elements Ag, As, Sb, Cu, Pb, Mo are brought in and Sn, V, Co, Ni, Sc and Cr are removed to the periphery, while Au is localized both in the nuclear zone, forming Ag-Au mineralization here, and in the peripheral part, forming satellite dike occurrences of the Au-rare-metal type. The results of factor analysis correspond to the data of correlation and enrichment coefficients. The level of erosion section of the Kyplatap ore occurrence, according to factor analysis, is estimated as moderate. The presence of a large isometric silver anomaly, suggests the possibility of large-volume mineralization development within the limits of the Kyplatap ore occurrence.

**Keywords:** Central Chukotka, Kyplatap ore field, geochemical features, anomalies, zoning, silver, gold.

The work was carried out within the framework of the IGEM RAS State Assignment: "Metallogeny of volcanogenic and folded orogenic belts. Mineral systems of strategic type deposits of mineral raw materials. Comparison of Russian and world examples".

### Reference

1. Bely V. F. Geology of the Okhotsk-Chukchi volcanic belt. Magadan, SVKNII FEB RAS, 1994, 76 p. (In Russian).
2. Sokolov S. D., Bondarenko G. E., Morozov O. L., Grigoriev V. N. The transition zone of the Asian continent — Northwestern Pacifica in the Late Jurassic-Early Cretaceous. Theoretical and regional problems of geodynamics. Moscow, Nauka, 1999, pp. 30—82. (In Russian).
3. Tikhomirov P. L., Prokofiev V. Yu., Kalko I. A. Kalko A. V., Nikolaev Yu. N., Kobayashi K., Nakamura E. Post-collisional magmatism of Western Chukotka and Early Cretaceous tectonic restructuring of Northeast Asia. Geotectonics, 2017, no. 2, pp. 32—54. (In Russian).



4. Petrov S. F. Material composition, textural and structural features and issues of typification of gold-silver mineralization of the Kyplatap volcanoplutonic structure (Central Chukotka). Mineralogy and genetic features of gold and silver deposits. Magadan, SVKNII FEB RAS, 1996, pp. 105—119. (In Russian).
5. Volkov A. V., Sidorov A. A. Predictive prospecting model of gold deposits associated with granitoid intrusions in the Arctic zone of Russia. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2018, no. 3 (31), pp. 84—99. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-84-99. (In Russian).
6. Taylor S. R., McLennan S. M. The continental crust, its composition and evolution. Moscow, Mir, 1988, 384 p. (In Russian).
7. Kalko I. A. Geochemical parameters and characteristics of the gold-silver fields of the outer zone of the OCHVP and criteria for detecting industrial mineralization in them. Dissertation for the degree of Candidate of Geological and Mineralogical Sciences. Moscow, MSU, 2009, 197 p. (In Russian).
8. White N. C., Hedenquist J. W. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration. *SEG Newsletter*, 1995, vol. 23, pp. 1, 9—13.
9. Hedenquist J. W., Arribas A., Gonzalez-Urien E. Exploration for epithermal gold deposits. *SEG Rev.*, 2000, vol. 13, pp. 245—277.
10. Volkov A. V., Sidorov A. A., Savva N. E., Kolova E. E., Chizhova I. A., Murashov K. Yu. Geochemical features of volcanogenic ore formation in the northwestern segment of the Pacific ore belt. *Volcanology and seismology*, 2017, no. 6, pp. 3—20. (In Russian).
11. Savva N. E., Bryzgalov I. A., Tyukova E. E. Tin-porphry formation of the Prikaramkenya (geological-structural and mineralogical features). *Bull. of the North-East Scientific Center of FEB RAS*, 2009, no. 4, pp. 2—14. (In Russian).
12. Lugov S. F., Makeev B. V., Potapova T. M. Regularities of formation and placement of tin ore deposits of the North-East of the USSR. Moscow, Nedra, 1972, 360 p. (In Russian).
13. Volkov A. V., Savva N. E., Sidorov A. A., Chizhova I. A., Kolova E. E., Alekseev V. Yu. Epithermal gold-silver deposit Agan and prospects for the detection of highly sulfidized type mineralization in the North-East of Russia. *Geology of the ore deposits*, 2015, vol. 57, no. 1, pp. 25—47. (In Russian).

#### Information about the authors

**Pilitsyn, Alexey Gavrilovich**, Head of the Department of “Geology and Geochemistry of the Arctic”, Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements (15, Veresaeva str., Moscow, Russia, 121357), e-mail: allexpil@yandex.ru.

**Volkov, Alexander Vladimirovich**, Doctor of Geology and Mineralogy, Chief Researcher, Head of the Laboratory, Institute of Ore Deposit Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS (35, Staromonetny Lane, Moscow, Russia, 119017), e-mail: tma2105@mail.ru.

**Pilitsyna, Tatiana Andreevna**, Head of the sector “Geochemistry of the Arctic”, Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements (15, Veresaeva str., Moscow, Russia, 121357), 3-rd year postgraduate student, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (35, Staromonetny Lane, Moscow, Russia, 119017), e-mail: allafia@yandex.ru.

#### Bibliographic description of the article

**Pilitsyn, A. G., Volkov, A. V., Pilitsyna, T. A.** Geochemical features of the Kyplatap Ag-Au ore occurrence in Central Chukotka. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2023, vol. 13, no. 1, pp. 34—50. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-1-34-50.

© Pilitsyn A. G., Volkov A. V., Pilitsyna T. A., 2023