

ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ ЭКУГ-ТУМАНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ЧУКОТКА)

Н.А. Бородкин, В.А. Приставко

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Магадан

Подробно рассмотрено геологическое строение известного в Восточно-Чукотском регионе Экуг-Туманинского рудного поля с оловянным и золото-сурьмяным оруденением. По результатам геолого-геохимических исследований выявлены: комплекс из 28 элементов, уровень местного геохимического фона и индикаторная роль каждого элемента по отношению к оловянному, золотому и полиметаллическому оруденению; аномальность рудного поля по Au, W, b, Sn, As, Pb, Zn, Aq, Mo, Bi, Li, Be; четыре характерных геохимических ассоциации: олово-редкометаллическая, мышьяково-редкометаллическая, полиметаллическая и золото-сурьмяная; геохимическая структура Экуг-Туманинского рудного поля с закономерным сочетанием олово-редкометаллических, золото-сурьмяных и вольфрам-полиметаллических таксонов; концентрическая латеральная зональность в распределении основных металлов Sn → Au → W; генетическая связь оловянного, золотого и вольфрамового оруденения, обусловленная кристаллизацией металлоносной гипабиссальной интрузии.

Ключевые слова: геохимия, оловянное и золото-сурьмяное, вольфрамовое оруденение, генезис, рудное поле, зональность, Чукотка.

ГЕОЛОГИЯ РУДНОГО ПОЛЯ

Оловорудное месторождение Экуг и золото-сурьмяное месторождение Туманное находятся в юго-восточной части Иульгинского рудного района (Восточная Чукотка) на водоразделе рр. Экугваам – Рекууль. Они, и расположенное вблизи них полиметаллическое проявление, являются центром Экугского рудного узла и вместе составляют единое поле площадью около 50 км².

В региональном плане Экуг-Туманинское рудное поле (ЭТРП) располагается в Чаунской зоне Чукотской мезозойской складчатой области, в пределах Экитикского прогиба Паляваамской синклинали зоны. Интенсивные пликативные дислокации пород в этом районе сочетаются с многочисленными разрывными нарушениями, среди которых выделяются: глубинного заложения, крупные и более мелкие (опережающие) разломы. Крупные разломы контролируют гранитоидные интрузивы, дайковые пояса, минерализованные зоны смятия, поля эффузивов и многочисленные кварцевые жилы.

ЭТРП приурочено к пересечению крупных разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного направления (соответственно Экугского и Куветского). В его строении принимают участие осадочная толща триасового возраста, меловые интрузивы,

дайковые и субвулканические тела различного состава (рис. 1).

Почти всю площадь рудного поля занимают отложения карнийского яруса и лишь на юго-западном фланге картируются породы амгуэмской свиты. Отложениям этой свиты свойственно квазиритмичное переслаивание песчаников, алевролитов и глинистых сланцев. Мощность слоев – от первых сантиметров до 1 м. По всему ее разрезу распространены известковистые песчаники и алевролиты, которые в большом количестве содержат известковистые конкреции округлой формы до 0,5 см в диаметре. Мощность свиты равна 1000 м.

Карнийские отложения, представленные алевролитами, песчаниками и глинистыми сланцами, характеризуются преобладанием в разрезе алевролитов и наличием в породах растительного детрита и пиритовых конкреций размером от 1 до 10 см в поперечнике. Нередко отмечаются слои известковистых песчаников с содержанием карбонатного материала до 35% (по данным Л.А. Воронцовой, 1968 г.).

Интрузивные породы обнажаются на западе, в центре и на северо-восточном фланге рудного поля. По времени образования они делятся на:

– раннемеловой (тауреранский) комплекс гранитоидов – массив руч. Кривого и небольшие дайковые тела около месторождения Туманное;

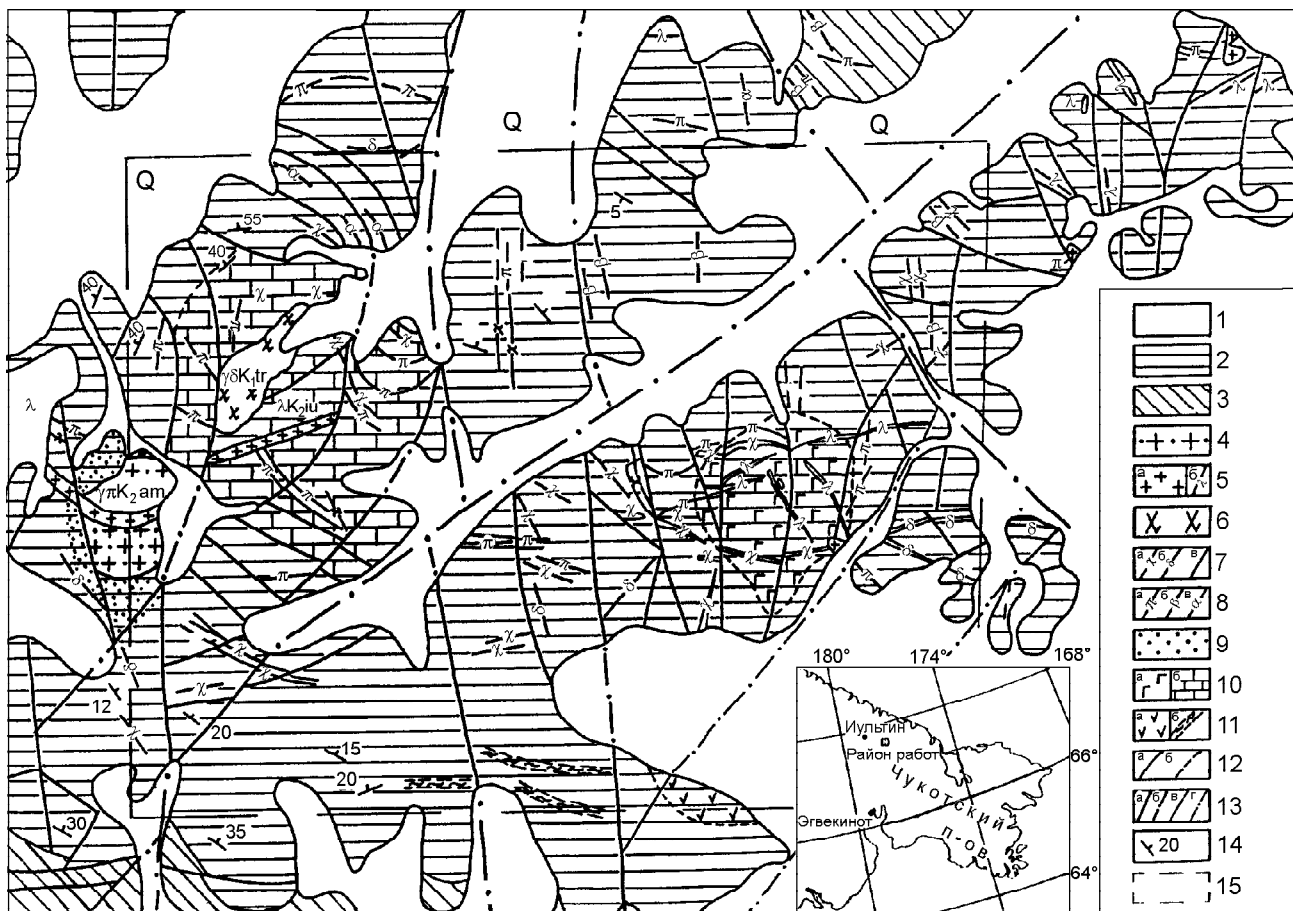


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Экуг-Туманинского рудного поля (по материалам Восточно-Чукотской ГРП, 1991 г.).

1 - четвертичные отложения нерасчлененные (Q); 2 - карнийский ярус (Т₃k); 3 - амгуэмская свита (Т₁₋₂ am); 4 - амгеньский субвулканический комплекс (γπК₂ am); штоки гранит-порфиров (γπ); 5 - иульгинский интрузивный комплекс (λ К₂iu): а - штоки гранит-порфиров (γπ), б - дайки кварцевых порфиров (λ); 6 - тауреранский интрузивный комплекс (γδК₁tr). Среднезернистые порфиоровидные роговообманково-биотитовые граниты (γ) и гранодиориты (γδ); 7 - правотелекайский интрузивный комплекс (χК₁pt): а - лампрофиров (χ), б - диоритовые порфиристы (δ), в - диориты; 8 - позднемереловые дайки: а - гранит-порфиров (π), б - базальто-долеритов (β), в - андезитов (α); 9 - породы контактового метаморфизма мусковит-роговообманковой фации; 10 - грейзены мусковит-топаз-кварцевые (а), березиты (б); 11 - метасоматически (гидротермально) измененные породы (а), минерализованные зоны дробления (б); 12 - границы разновозрастных геологических образований (а) и метасоматически измененных пород (б); 13 - крупные разрывные нарушения (а), то же, закрытые четвертичными отложениями (б), средние и мелкие разрывные нарушения (в), то же, закрытые четвертичными отложениями (г); 14 - наклонное залегание горных пород; 15 - контуры площади, на которой проводился отбор геохимических проб.

– раннемеловой (правотелекайский) интрузивный комплекс – дайки лампрофиров, диоритовых порфиров и диоритов, развитые на площади всего рудного поля;

– позднемереловой (иульгинский) комплекс – гранит-порфиры, кварцевые и риолит-порфиры Экугского месторождения;

– риодацит-порфиры (позднемереловой амгеньский комплекс), слагающие небольшое экструзивное тело на месторождении Туманное.

Многочисленные мелкие жильные тела, представленные рудными и безрудными жилами кварца, дайками лампрофиров, гранит-порфиров, гранодиорит-порфиров, диорит-порфиров, кварцевых монцодиорит-порфиров, базальтов, андезитов, риодацитов и дацитов, исследователи соотносят с интрузивными комплексами по-разному.

Осадочные и магматические породы метаморфизованы и гидротермально изменены. Проявления регионального метаморфизма выражены биотитовой

стадией зеленосланцевой фации (зеленый биотит, кварц, ильменит, углеродистое вещество).

Месторождение Экуг находится на своде Экуг-ваамской антиклинали, а Туманное – в мульде синклинали. Северные и южные крылья этих структур оборваны разломами. Анти- и синформы, в свою очередь, осложнены более мелкой складчатостью преимущественно субширотного простирания. Углы наклона малых складок от 35 до 65°.

Крупные и средние разрывные нарушения делят рудное поле на ряд блоков (Западный, Центральный и Восточный), а мелкие – нарушают целостность этих блоков. Протяженность первых достигает 10 км, малых – колеблется от 300 м до 2 км.

В Западном блоке расположено месторождение Туманное. Здесь на сравнительно небольшой площади полно и наиболее интенсивно проявлен магматизм. На незначительном удалении друг от друга залегают два соразмерных между собой (0,45 км²) штока: несколько удлиненный в северо-восточном направлении шток гранодиоритов тауреранского интрузивного комплекса (шток руч. Кривого) и экстрезивное тело округлой формы риодацит-порфиоров амгеньского комплекса (шток руч. Удачного). Вокруг этих тел и в них самих имеются многочисленные дайки разных величины и состава. Штоки имеют крутые (70–80°) углы падения под осадочные породы и сопровождаются довольно широкими (200–1000 м) зонами экзоконтактовых изменений.

Шток руч. Кривого сложен массивными среднезернистыми порфировидными биотитовыми и роговообманково-биотитовыми гранодиоритами и гранитами. Вкрапленники – калиевый полевой шпат и плагиоклаз. Минеральный состав этих пород, %: плагиоклаз – 30–35, кварц – 15–20, КППШ – 10–15, биотит – 10–12, роговая обманка – 5–7 и аксессуарные (апатит, сфен, циркон, рутил, ортит). Южнее, рядом со штоком, картируется дайка среднезернистых порфировых биотитовых гранитов схожего состава. Длина ее достигает 1100 м, мощность – 200 м.

Шток руч. Удачного представлен риодацит-порфирами. Порфировая структура породы обусловлена вкрапленниками кварца, плагиоклаза, санидина, биотита. Минеральный состав этих пород, %: санидин – 30–35, кварц и андезин по 25–30, биотит – 5–7, роговая обманка – 2–3, пироксен – ед. зн. Из аксессуарных отмечаются сфен, циркон, апатит, турмалин, ортит.

Купол риодацитов пересекается дайкой лейкократовых гранит-порфиоров северо-восточного простирания. Структура пород порфировая, основной

массы – микрозернистая. Вкрапленники – кварц, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, биотит – составляют до 20%. Остальные дайки этого блока – раннемеловые лампрофиры и позднемеловые гранит-порфиры, которые широко распространены и в других блоках рудного поля.

Осадочные породы месторождения Туманное – позднетриасовые темноокрашенные песчаники, алевролиты и аргиллиты, смятые в складки восток–северо-восточного простирания.

Контактовые изменения пород обозначены главным образом филлитизацией и биотитизацией. Наиболее интенсивно они проявлены в центральной части месторождения. Новообразования этой зоны составляют бурый биотит (10–15% объема породы), кварц-углеродистое вещество (0,5–7%), ильменит. Песчаники и алевролиты сохраняют внешне свой первоначальный облик, а аргиллиты приобретают пятнистую текстуру вследствие выделения “зародышей” кордиерита и стяжений углеродистого вещества.

Структура Западного блока, по данным В.И. Голика (1982 г.), представляется как сложно построенный купол (с куполовидным интрузивом в центральной части), возникший на пересечении ортогональных складчатых структур (В-СВ) и минерализованных зон смятия (З-СЗ). Эта куполовидность подчеркивается многочисленными признаками кольцевых тектонических нарушений, концентрически облегающих на расстоянии 1–3 км центральное гранодиоритовое тело, и геоморфологией местности.

На месторождении Туманное известны два вида оруденения – сурьмяное и золотое. Оруденение локализовано в минерализованных зонах смятия с кварцевыми прожилками и в более поздних кварцевых жилах. Содержание сурьмы – от 0,01 до 27%, золота – от следов до 76 г/т. Основная часть золота сконцентрирована в минерализованных зонах мощностью 0,5–7,5 м, длиной 300–1200 м. Сурьмяное оруденение связано с кварцевыми прожилками и жилами, их мощность – 0,1–1,3 м, длина – 50–250 м. Минеральный состав рудных тел приведен в табл. 1.

В южной части Западного блока выявлено полиметаллическое рудопроявление. По геофизическим данным, этот район характеризуется локальной аэрогамма-спектральной и обширной положительной магнитной аномалиями.

В Центральном блоке находится оловорудное месторождение Экуг. Осадочные породы месторождения расчленены на четыре согласно залегаю-

Таблица 1. Минеральный состав руд месторождения Экуг-Туманинского рудного поля (По данным Л.А. Воронцовой (1968 г.), А.В. Волкова (1990 г.), А.И. Грешилова [2]).

Распространенность	Минералы месторождения Экуг	Минералы месторождения Туманное
Гипогенные минералы		
Широко распространенные (более 10%)	Арсенопирит, кварц, мусковит, полевой шпат, серицит, топаз, флюорит	Кварц
Распространенные (от 1 до 10%)	Вольфрамит, галенит, касситерит, пирит, сфалерит, халькопирит, хлорит (тюрингит)	Арсенопирит, гематит, пирит, полевой шпат, флюорит, эпидот
Редкие (от 0,1 до 1%)	Андалузит, берилл, гематит, кальцит, колумбит, ильменит, магнетит, молибденит, пирротин, рутил, станный, сидерит, циннвальдит	Шеелит, рутил, мусковит, серицит, кальцит, хлорит, углеродистое вещество
Крайне редкие (менее 0,1%)	Анаказ, антимонит, апатит, бравоит (?), висмут самородный, висмутин, гранат, деревянистое олово, клиноцоизит, леллингит, селаит (?), сфен, турмалин, циркон, эпидот	Антимонит, анаказ, апатит, аргентит, блеклая руда, висмутин, вольфрамит, галенит, гранат, джемсонит, золото самородное, ильменит, касситерит, магнетит, молибденит, муассанит, пирротин, серебро самородное, сфалерит, сфен, теннантит, титаномагнетит, халькопирит, хромит, турмалин, циркон
Гипергенные минералы		
Широко распространенные (более 10%)	Гетит, каолинит, лимонит, марказит, мелантерит, мельниковит, скородит	–
Распространенные (от 1 до 10%)	Борнит, биотит, гипс, фиброферрит	Гетит, лимонит
Редкие (от 0,1 до 1%)	Ковеллин, повеллит, пизанит, псиломелан, тунгстит, халькозин, халькантит, церуссит, эпсомит, ярозит	Анкерит, биотит, гипс
Крайне редкие (менее 0,1%)	–	Англезит, валентинит, кермесит, марказит, повеллит, скородит, ярозит

Примечание. Рудные минералы выделены.

щие алевролитопесчаные пачки. Они образуют брахисинклинальную складку третьего порядка, осложняющую северо-западное крыло более крупной структуры – Экугваамской антиклинали. Ядро брахисинклинали, сложенное алевролитовой пачкой, практически совпадает с размерами месторождения. Углы падения пород на крыльях в среднем – 25–30° при разбросе от 15 до 60°, что обусловлено развитием здесь серии складок более высокого порядка с размахом крыльев от первых десятков до 100–150 м.

Интрузивные породы по относительному возрасту и составу разделяются на три группы:

- лампрофиры и диоритовые порфиры;
- гранит-порфиры и кварцевые порфиры;
- фельзиты.

Первая группа расположена в основном на периферии месторождения, на его западном и южном флангах. В плане дайки этой группы имеют дугооб-

разную форму и залегают с углами падения 40–45° в северных румбах. Протяженность их – около 2 км, мощность – до 50 м. Лампрофиры представляют собой зеленовато-серые до черных среднезернистые породы с массивной текстурой и панидиоморфной структурой. Порфиновые выделения представлены биотитом, плагиоклазом, роговой обманкой. Апатит, циркон и сфен – наиболее типичные аксессуарные минералы.

Диоритовые порфиры – серые порфиroidные породы, плотные и массивные. Порфирующие вкрапленники образованы плагиоклазом и кварцем, их объем достигает 35% от общей массы породы.

Дайки кварцевых порфиров и фельзитов прорывают (иногда со смещением) дайки лампрофиров и диоритовых порфиров. По данным К – Аг метода, абсолютный возраст одной из даек лампрофира – 101–102 млн лет, что соответствует рубежу раннего и позднего мела [3, 4].

Тела гранит-порфиров и кварцевых порфиров тяготеют к центральной и западной частям месторождения. Для них характерны прямолинейность, отсутствие апофиз, резкие контакты с вмещающими породами, выдержанность по простиранию. Размеры этих образований и элементы залегания такие же, как и у даек лампрофиров и диоритовых порфиров. В центре месторождения кварцевые порфиры подвергались интенсивному метасоматическому замещению и превращены в оловоносные топаз-кварцевые грейзены. Постмагматическими разрывами дайки разбиты на отдельные блоки, располагающиеся кулисообразно.

Кварцевые порфиры – желтовато-белые порфировидные, с микрогранитовой структурой основной массы. Вкрапленники кварца сохраняются хорошо, а полевой шпат замещен новообразованным кварцем или полностью каолинизирован. Порфировые выделения – размером от 0,5 до 2 см, они занимают 15–50% от объема породы. Основная масса состоит из кварца, полевого шпата и серицита с аксессуарными цирконом, монацитом, гранатом. На месторождении закартированы штоки кварцевых порфиров: “Центральный” площадью 600 м² и “Новый” – 125 м².

Судя по геологическим взаимоотношениям и абсолютному возрасту (94 млн лет), образование кварцевых порфиров происходило в позднем мелу. В 7 км к югу от месторождения дайки кварцевых порфиров, аналогичные по облику и составу экугским, прорывают фаунистически охарактеризованные породы куманинской свиты сеноманского возраста. Абсолютный возраст грейзенизированных кварцевых порфиров дайки “Основная” определен в 77 млн лет, что, по-видимому, отражает возраст гидротермальных изменений [3, 4].

Дайки фельзитов распространены ограничено в восточной части месторождения, протяженность их – 100–150 м, мощность – 1–2 м, падение даек – в западных румбах под углами 65–80°, простирание – от северо-западного до субширотного. Это самые молодые породы на рудном поле. Наблюдались пересечения ими даек кварцевых порфиров и ксенолиты оруденелых кварцевых порфиров в теле фельзитовых даек.

Структура месторождения довольно сложная: первоначально моноклиналиное залегание осадочных пород с послойными телами лампрофиров нарушено и осложнено при формировании вулканоплутонического комплекса. В итоге здесь совмещены элементы субгоризонтальной и концентрически-радиальной (соответственное расположение даек фельзитов и кварцевых порфиров) структур.

В рудном поле месторождения нашли отражение и линейменты регионального плана в виде разломов северо-восточного простирания, и позднейшие небольшие трещинные структуры близмеридионального направления, смещающие дайковые тела.

Наиболее значимыми для месторождения Экуг, по данным О.Г. Кузиной (1982 г.), являются формировавшиеся в три этапа регрессивные изменения:

- хлоритизация;
- серицитизация и грейзенизация;
- карбонатизация и пиритизация.

Хлоритизация распространена на рудном поле повсеместно. Развитие в породах светлой слюды и образование в центральной части месторождения минерального парагенезиса грейзенового типа – результат второго этапа метасоматоза. Грейзенизация наиболее ярко проявлялась вокруг штока кварцевых порфиров “Центральный” в осадочных и интрузивных породах, образуя грейзеновое поле 500×250 м. К периферии месторождения она прослеживается линейными зонами вдоль даек и зон трещиноватости в осадочных породах. Регрессивный метаморфизм завершился карбонатизацией и пиритизацией пород.

Метасоматическая колонка, по данным буровых работ, выглядит следующим образом (сверху – вниз): метасоматиты хлоритовые и хлорит-серицитовые – 0–300 м; грейзены флюорит-кварц-топазовые – 300–650 м; роговики биотит-турмалиновые – ниже 650 м [6].

Жильные гидротермальные образования на месторождении представлены мелкими жилами и прожилками дорудного мелкозернистого кварца, прожилками касситерит-кварцевого состава, сульфидно-флюоритовыми прожилками и жилами пострудного шестоватого кварца.

Оловянная минерализация широко распространена во всех грейзенизированных породах, для грейзенов по осадочным породам характерна вкрапленность касситерита. Повышенные концентрации олова в этих грейзенах контролируются трещинными структурами и дайками. В дайках гранит-порфиров в пределах грейзеновой залежи наиболее высокие содержания олова увязываются с участками пересечения этих даек оловоносными штокверковыми зонами.

На флангах месторождения Экуг в хлорит-серицитовых и хлоритовых метасоматитах развиты штокверковые системы из оловоносных флюорит-кварцевых прожилков. Здесь и в центре выявлены оловоносные минерализованные зоны дробления, в которых зафиксированы максимальные для месторождения концентрации олова.

В рудах месторождения обнаружено более 60 минералов (табл. 1). При общей схожести минеральных комплексов экугские руды отличаются от туманинских преобладанием рудных минералов олова, вольфрама, ниобия, бериллия, свинца, цинка, молибдена и слюды, в том числе литиевых. Отличительная черта туманинских руд от экугских – сравнительное преобладание минералов Au и Ag.

Строение Восточного блока более простое. В его юго-восточной части картируются все четыре алевритито-песчаниковые пачки карнийского яруса, а северо-западная сложена породами амгуэмской свиты. Дизъюнктивная тектоника и магматизм блока в сравнении с первыми двумя развиты незначительно. Перспектив в отношении рудоносности согласно геологическим и геохимическим данным здесь нет.

МЕТОДИКА РАБОТ

Геохимическое изучение площади рудного поля выполнялось в варианте исследования эндогенных ореолов. На площади 35 км² по коренным обнажениям, элювиальным развалам и всем видам горных выработок было отобрано около 4500 лито-геохимических проб. Опробовались магматические образования, жильные и гидротермальные тела, метаморфизованные и неизмененные осадочные породы.

Из общего числа геохимических проб 4463 по рудному полю количество проб с месторождения Экуг составляет 2375 (53,2%), 841 (35,4%) из них взяты с поверхности, а остальные 1534 (64,6%) – по скважинам и в штольне. На месторождении Туманное опробованность поверхности и разреза примерно одинаковое – из 2011 проб с поверхности отобраны 1093 (54,4%) и 918 (45,6%) по скважинам. Полиметаллическое рудопроявление опробовано только с поверхности 77 пробами.

Наиболее детально геохимическое картирование проводилось в центральных частях месторождений Экуг, Туманное и рудного проявления полиметаллов, здесь опробованию подверглись все поверхностные горные выработки: канавы, траншеи, буровые площадки, а также штольня и большинство скважин колонкового бурения. Между горными выработками и на флангах опробование велось по коренным выходам пород и элювиальным развалам. Пробы отбирались с переменным шагом от 5 до 50 м. На флангах месторождений опробование проводилось по более редкой сети, в среднем через 250 м.

На поверхности в пробу включались несколько сколков пород с площадки 2×2 м по методу конверта, общей массой 200–300 г. По керну скважин сколки

отбирались с 5-метровой секции методом пунктирной борозды.

Все пробы имеют координатную привязку в трехмерном пространстве. Пробы анализировались в спектральной лаборатории СВКНИИ по методике ЭКСА на 32 элемента [7–10]. Данные по золоту получены методом атомной абсорбции.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В пробах обнаружено 28 элементов с различной частотой встречаемости (табл. 2). По приведенным данным можно судить о геохимической специфике рудного поля в целом и каждого его объекта отдельно. Для Экуга более типичны Be, W, Ge; для Туманного – Ba, Sb, и Au, а для проявления полиметаллов – Mo и In.

Таблица 2. Частота встречаемости элементов в породах геологических объектов Экуг-Туманинского рудного поля (в %).

Элемент	Э – Т	Э	Т	П
	n = 4463	n = 2375	n = 2011	n = 77
Литий	86,4	97,9	78,4	94,8
Бериллий	23,3	45,5	0,0	0,0
Бор	99,9	99,8	100	100
Хром	97,7	97,5	98,2	100
Никель	95,5	99,8	98,2	66,2
Медь	96,9	100	100	100
Цинк	96,7	99,6	100	98,7
Галлий	99,9	100	99,8	100
Германий	32,1	36,4	30,1	24,7
Мышьяк	43,7	48,8	42,2	14,3
Иттрий	1,2	2,01	0,4	0,0
Цирконий	55,6	30,3	88,1	88,3
Ниобий	1,1	0,3	1,7	9,1
Молибден	81,5	85,1	83,2	95,0
Серебро	96,9	99,1	98,8	100
Индий	0,3	0,4	0,1	3,9
Олово	96,5	99,4	99,8	100
Сурьма	31,6	4,2	65,9	22,1
Барий	28,9	12,9	50,3	27,3
Вольфрам	37,3	44,2	34,1	28,8
Золото А*	11,8	0,0	27,2	0,0
Свинец	99,8	99,6	100	100
Висмут	72,9	76,3	75,4	62,3
Магний	100	100	100	100
Кальций	94,5	92,0	97,2	100
Титан	96,8	99,7	100	100
Марганец	100	100	100	100
Железо	96,9	100	100	100

Примечание. Э-Т – Экуг-Туманинское рудное поле; Э – Экугское месторождение олова; Т – месторождение золота Туманное; П – рудопроявление полиметаллов; n – количество проб; А* – здесь и далее в табл. 3, 4 – данные абсорбционно-го анализа, n = 911.

Содержаниям обнаруженных элементов присущи значительные вариации на всех геохимических профилях как вблизи рудных зон, так и на участках без видимых проявлений гидротермальной минерализации. Содержания элементов удовлетворительно аппроксимируются логнормальным законом (табл. 3). Некоторые отклонения от этого закона наблюдаются по эксцессу у элементов с пониженной встречаемостью, что характерно для многих рудных объектов Северо-Востока России.

Для оптимального выделения геохимических типов эндогенных ореолов и руд вычислена оценка местного геохимического фона и определена индикаторная роль элементов [8] по отношению к оловянно-золотому и полиметаллическому оруденению.

Таблица 3. Оценки распределения содержаний элементов в Экуг-Туманинском рудном поле (n = 4463).

Элемент	\bar{C}	σ	A	E	$\overline{\ln C}$	$\sigma \ln C$	A	E
Оценки в г/т								
Литий	147	299	7,7	93,3	4,3	1,0	0,66	0,94
Бериллий	3,9	9,2	15,0	378	0,68	0,93	1,7	1,6
Бор	70,5	48,4	2,4	11,6	4,1	0,68	-0,44	0,53
Хром	32,2	39,6	16,7	544	3,2	0,71	-0,26	2,8
Никель	47,1	35,1	2,8	18,8	3,6	0,75	-0,79	2,1
Медь	30,0	34,0	8,2	109	3,2	0,62	0,89	2,0
Цинк	132	1134	36,5	1650	4,0	0,84	1,6	7,0
Галлий	14,9	7,4	2,5	20,8	2,6	0,47	-0,30	2,1
Германий	1,0	1,6	4,2	30,8	-0,62	1,0	1,1	-0,37
Мышьяк	821	4897	16,7	383	3,5	2,3	0,97	-0,13
Иттрий	6,5	3,4	13,3	211	1,8	0,18	9,2	90,6
Цирконий	44,0	28,5	8,0	189	3,6	0,55	0,20	-1,1
Ниобий	0,97	1,6	19,8	464	-0,15	0,28	8,8	85,1
Молибден	0,83	2,5	11,6	176	-0,83	0,87	1,3	3,9
Серебро	0,62	1,6	8,8	105	-1,4	1,1	0,98	1,0
Индий	0,11	0,34	32,9	1198	0,11	0,34	32,9	1198
Олово	98,1	318	7,4	70,3	2,5	2,0	0,58	-0,84
Сурьма	76,2	1135	21,4	487	1,3	1,3	2,2	7,1
Барий	45,5	43,2	4,3	40,3	3,6	0,62	1,4	0,58
Вольфрам	3,5	45,7	55,4	3356	-0,45	1,4	1,3	0,81
Золото	1,6	12,3	30,4	993	-0,12	0,49	5,9	43,3
Золото А*	0,42	2,7	17,2	367	-4,4	2,4	0,95	0,38
Свинец	44,6	327	38,1	1634	2,6	1,2	0,88	1,1
Висмут	10,0	19,3	7,2	97,6	1,6	1,1	0,55	0,14
Оценки в %								
Магний	1,4	0,57	2,6	14,3	0,23	0,38	-0,19	2,2
Кальций	1,7	2,4	4,7	32,8	-0,09	1,1	0,25	-0,41
Титан	0,56	0,46	1,9	4,2	-0,86	0,76	-0,04	0,55
Марганец	0,10	0,04	2,4	15,8	-2,4	0,37	0,34	0,29
Железо	5,2	1,9	1,8	6,1	1,6	0,34	0,15	1,36

Примечание. \bar{C} – среднеарифметическое содержание; σ – среднеквадратичное отклонение; A – асимметрия; E – эксцесс; $\overline{\ln C}$ – средний логарифм содержаний; $\sigma \ln C$ – среднеквадратичное отклонение логарифмов содержаний.

В качестве оценки содержаний элементов в геофоне принималось среднее гармоническое [1]. По соотношению фоновых содержаний с кларками (табл. 4) выделяются три группы элементов:

- группа с повышенными содержаниями (2,1–322);
- субкларковых (0,7–1,5);
- фон которых ниже кларка (0,1–0,6).

По отношению к местному геохимическому фону ЭТПП наиболее аномально по Au, W, Sb, Sn, As, Pb, Zn, Ag, Mo, Bi, Li, Be (рис. 2). Для одних элементов характерны высококонтрастные локальные аномалии (Be, Li, Bi, Ag на Экуге, Au на Туманном), для других (Sn, Sb, As, W, Mo, Pb, Zn) – на двух или даже на всех трех рудных объектах. Распределение остальных элементов более монотонное, иногда ос-

Таблица 4. Оценка местного геохимического фона Экуг-Туманинского рудного поля.

Элемент	Оценка местного фона	Кларк по А.П. Виноградову (1962 г)	Отношение к кларку
Литий	48,7	32,0	1,5
Бериллий	1,5	3,8	0,4
Бор	44,3	12,0	3,7
Хром	18,3	83,0	0,2
Никель	25,4	58,0	0,4
Медь	19,9	47,0	0,4
Цинк	42,5	83,0	0,5
Галлий	11,9	19,0	0,6
Германий	0,38	1,4	0,8
Мышьяк	9,3	1,7	5,5
Иттрий	6,2	2,9	2,1
Цирконий	32,0	170	0,2
Ниобий	0,84	2,0	0,4
Молибден	0,33	1,1	0,3
Серебро	0,16	0,07	2,3
Индий	0,10	0,25	0,4
Олово	3,6	2,5	1,4
Сурьма	2,4	0,5	4,8
Барий	30,8	650	0,1
Вольфрам	0,36	1,3	0,3
Золото А*	0,003	0,004	0,8
Свинец	7,9	16,0	0,5
Висмут	2,7	0,009	322
Магний	1,2	1,9	0,6
Кальций	0,56	2,9	0,2
Титан	0,31	0,45	0,7
Марганец	0,08	0,10	0,8
Железо	4,6	4,7	1,0

Примечание. Оценка Mg, Ca, Ti, Mn, Fe в %, остальных элементов – в г/т.

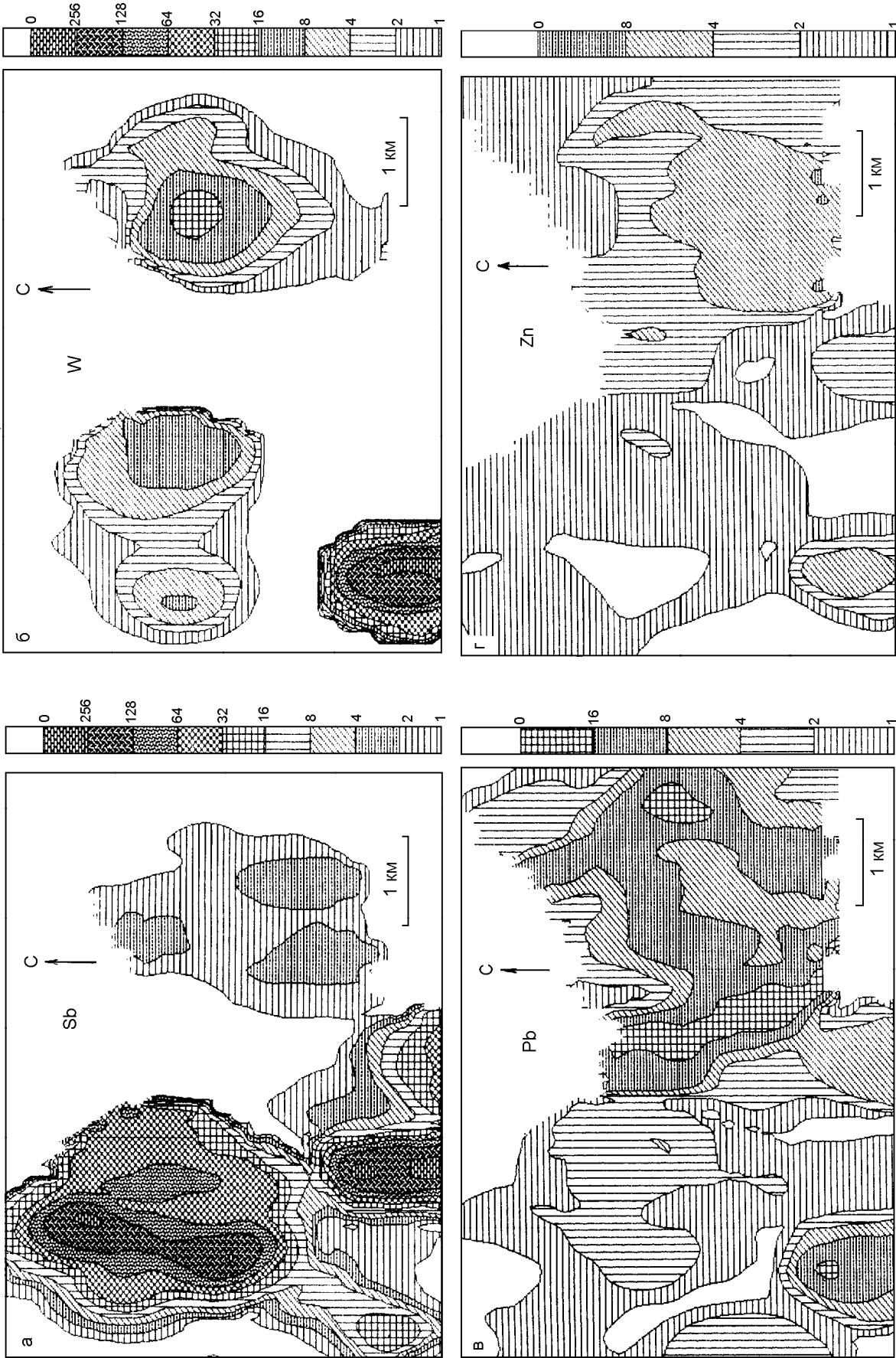


Рис. 2. Распределение содержаний элементов и геохимических таксонов на Экур-Туманинском рудном поле. а-г - карты распределения отдельных элементов, м - карта распределения геохимических таксонов (орельно-рудных зон).

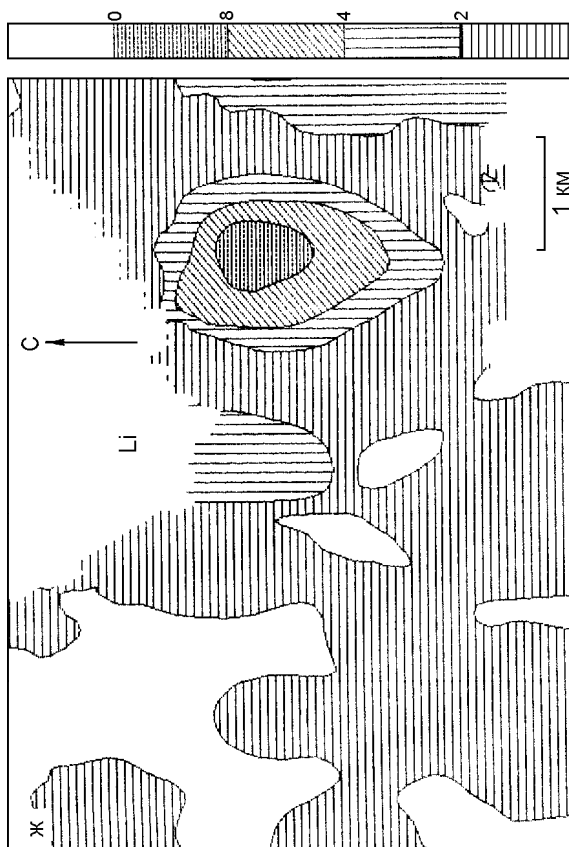
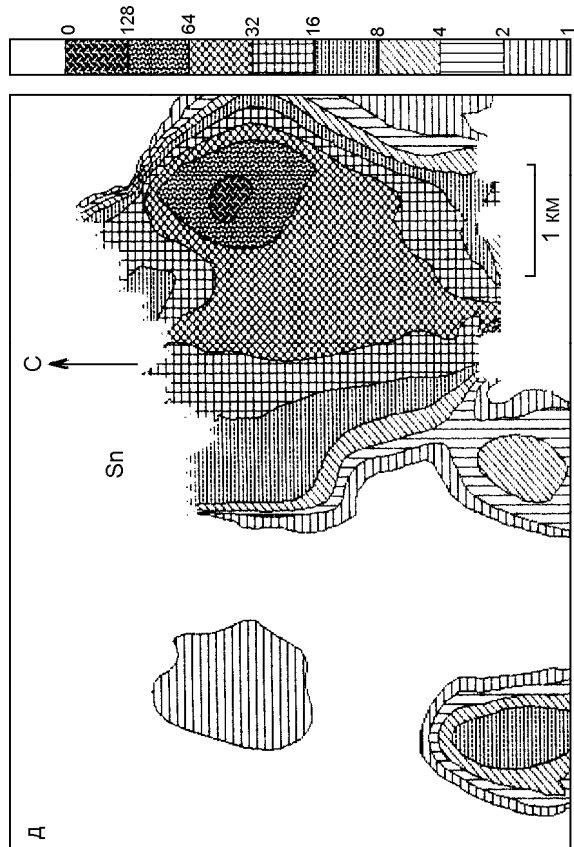
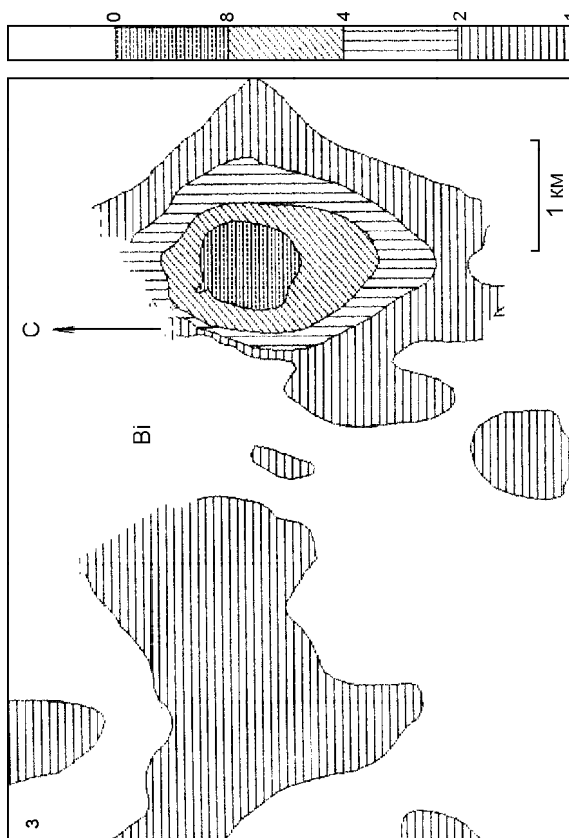
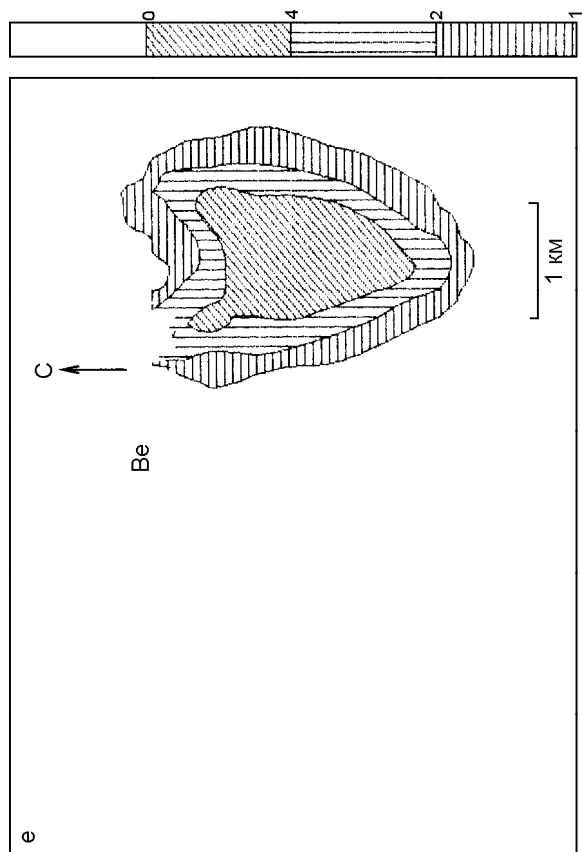


Рис. 2. Продолжение.

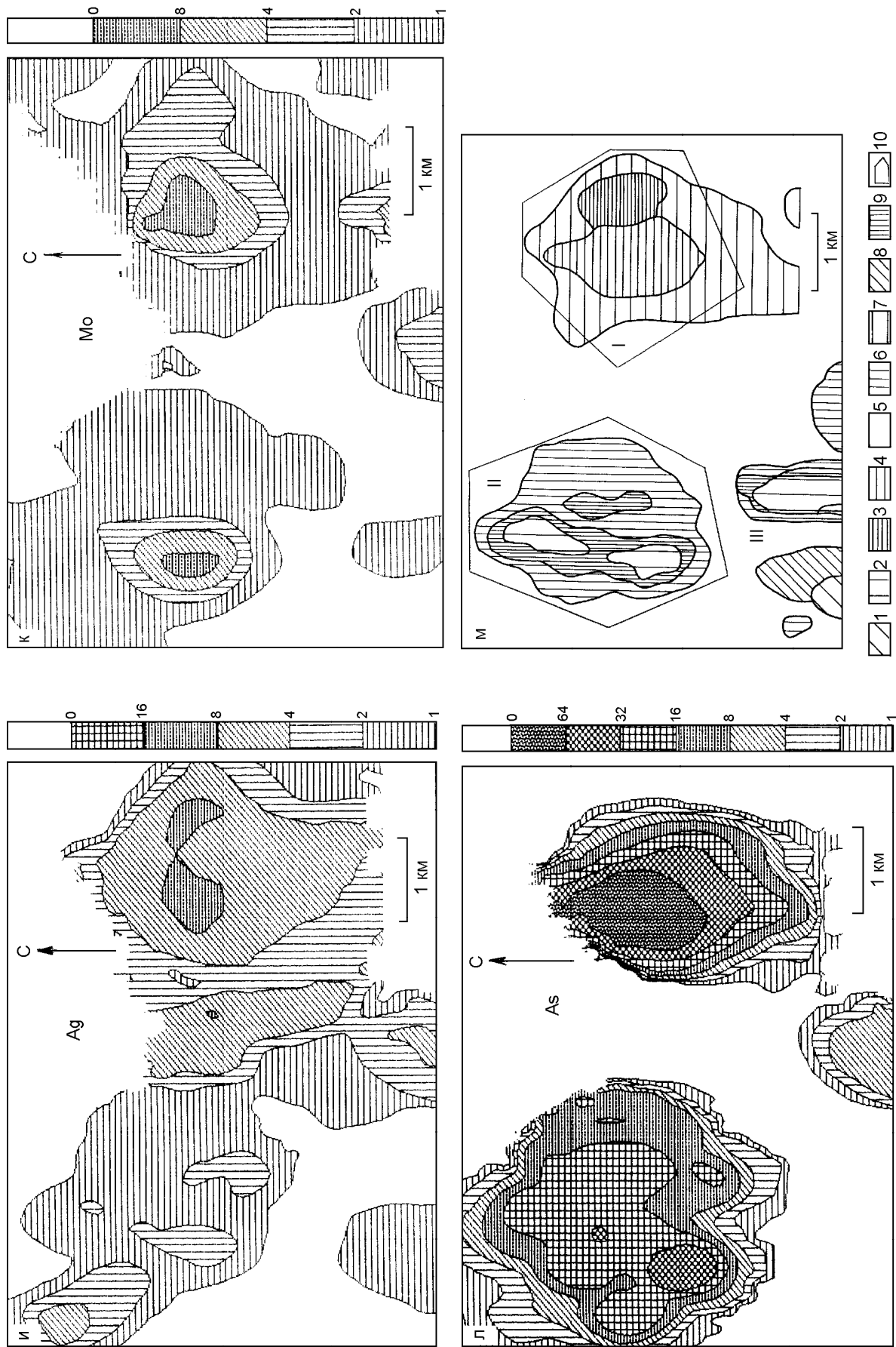


Рис. 2. Продолжение.

На рис. 2м: 1 – первая вольфрам-полиметаллическая зона, 2 – верхнерудная золото-сурьмяная, 3 – верхнерудная оловянная, 4 – рудная мышьяк-олово-редкометаллическая, 5 – геофон рудного поля, 6 – внешняя ореолово-рудная сурьмяно-золотая зона, 7 – внешняя ореолово-рудная олово-полиметаллическая, 8 – вторая вольфрам-полиметаллическая, 9 – рудная сурьмяно-золотая, 10 – контуры рудных объектов: Эжуг (I), Туманное (II), полиметаллическое рудопроявление (III).

Таблица 5. Информативность элементов по отношению к разным типам оруденения.

Ассоциация	Элемент	Оценка индикаторной роли элементов		
		1	2	3
Олово-редкометалльная	Олово	1,70	-0,38	-1,17
	Бериллий	1,20	-0,54	-0,84
	Висмут	1,10	-0,56	-0,51
	Литий	1,06	-0,02	-1,01
	Серебро	1,02	0,06	-0,67
Мышьяк-редкометалльная	Вольфрам	0,44	-0,20	0,02
	Галлий	0,38	-0,52	-0,15
	Мышьяк	0,36	-0,74	0,07
	Молибден	0,32	-0,16	0,07
	Кальций	0,30	-0,70	0,14
	Германий	0,30	-0,38	0,04
	Хром	0,14	-0,27	-0,07
Полиметаллическая	Свинец	0,55	0,84	-0,41
	Медь	0,46	0,23	-0,41
	Марганец	0,30	0,95	-0,11
	Цинк	0,08	0,40	-0,06
	Железо	-0,02	1,08	-0,15
	Магний	-0,09	0,58	-0,20
	Титан	-0,66	1,04	0,05
Золото-сурьмяная	Бор	-0,10	0,004	0,18
	Золото	-0,26	-0,18	0,32
	Барий	-0,48	-0,49	0,78
	Никель	-0,69	0,45	0,50
	Сурьма	-0,91	-0,43	1,19
	Цирконий	-1,10	0,26	1,06

Примечание. Виды оруденения: 1 – олово-редкометалльное; 2 – полиметаллическое; 3 – золото-сурьмяное.



Рис. 3. Индикаторная роль элементов по отношению к оловянному (ΔI) и золотому (ΔII) оруденению на Экуг-Туманинском рудном поле.

$\Delta I, \Delta II$ – нормированные отклонения эталонов оруденений для Экугского и Туманинского месторождений (соответственно).

ложненное небольшими по площади мало контрастными аномалиями на одном из объектов (Cu, Ca, Ti). Все элементы с аномальным распределением представлены в минеральной форме (табл. 1).

Результаты оценки индикаторной роли элементов сведены в табл. 5. Данные свидетельствуют, что все химические элементы, в зависимости от вида оруденения, имеют разную информативность – от очень высокой до малой. Один и тот же элемент может обладать высокой информативностью с положительной тенденцией к одному виду оруденения и отрицательной по отношению к другому виду. Карты распределения Sn, Li, Be, Sb, Ag (рис. 2) подтверждают избирательную и высокую индикаторную роль этих элементов по отношению к проявленному здесь оловянно-золотому и сурьмяному оруденению.

Комбинированными методами корреляционного и факторного анализов в комплексе исследованных элементов выявлены четыре основные геохимические ассоциации, характерные для рудного поля:

1. Олово-редкометалльная, ядро которой составляют Sn, Li, Be, Bi, Ag. Наиболее контрастно проявлена на месторождении Экуг.

2. Мышьяково-редкометалльная (As, Mo, W, Ca, Cr, Ge, Ga), примерно одинаково проявляющаяся на всех трех рудных объектах.

3. Полиметаллическая (Cu, Zn, Pb, Fe, Mg, Mn, Ti), приуроченная в основном к рудопоявлению полиметаллов, хотя распространена по всему рудному полю.

4. Золото-сурьмяная (ядро – Au, Sb, Zr, Ba, B, Ni), свойственная месторождению Туманное.

Первая и четвертая ассоциации находятся в антагонистических отношениях, а вторая и третья служат связующим звеном между золотым и олово-редкометалльным оруденением, что хорошо видно из соотношения индикаторной роли элементов (см. табл. 5 и рис. 3). Как следует из приведенных данных, наиболее контрастно индикаторная роль элементов проявлена у олово-редкометалльной и золото-сурьмяной геохимических ассоциаций.

При сопоставлении среднего уровня концентрации и неравномерности распределения элементов выявляется характер геохимического поля. Эффективными оценками этих параметров в условиях логнормального распределения служат средний логарифм содержаний элемента в геофонах и дисперсия логарифмов этих содержаний. Первый указывает на геохимическую специализацию территории, а вторая – на способность элемента к концентрированию [11]. Учитывая, что эти два параметра при логнормальной аппроксимации независимы, диаграмма в их координатах

Таблица 6. Среднее содержание элементов в геохимических типах ореолов и руд Экуг-Туманинского рудного поля (в геофонах).

Элемент	Геохимические типы ореолов и руд								Геофон
	3	4	7	8	1	2	9	6	5
Олово	110	45,3	33,8	8,3	5,9	0,7	0,8	1,0	3,2
Висмут	2,4	7,1	1,7	0,7	0,9	0,9	1,1	1,0	0,8
Серебро	7,5	6,9	4,3	1,5	1,4	1,4	1,6	1,7	1,9
Литий	2,1	6,3	1,9	1,5	1,6	1,1	1,0	1,1	1,4
Бериллий	2,5	4,5	1,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Мышьяк	14,1	75,5	10,8	0,6	0,5	14,9	19,3	13,5	2,2
Вольфрам	4,7	10,4	1,9	207	93,1	1,4	2,9	4,1	3,4
Молибден	2,6	5,5	1,8	1,0	0,9	1,9	2,4	1,8	1,0
Хром	1,7	2,1	1,7	1,1	1,1	1,2	1,4	1,6	1,4
Кальций	1,6	4,2	1,6	1,0	0,9	1,3	2,0	2,4	1,5
Германий	1,4	1,8	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	1,2	0,9
Галлий	1,3	1,4	1,1	0,9	0,9	0,8	1,0	1,1	1,0
Свинец	13,3	7,5	8,6	12,8	8,8	1,7	1,9	2,4	4,7
Цинк	3,7	3,4	4,5	4,1	3,4	1,0	1,2	1,5	1,8
Медь	1,7	2,2	1,8	1,4	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
Титан	1,7	1,7	1,7	3,0	3,0	2,4	2,3	2,0	2,3
Магний	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,0	1,1	1,2	1,2
Марганец	1,1	1,1	1,3	1,6	1,9	1,0	1,0	1,1	1,2
Железо	1,1	1,1	1,2	1,5	1,6	1,0	1,1	1,1	1,2
Никель	1,7	1,6	1,8	2,1	2,2	1,8	2,1	2,2	2,0
Бор	1,5	1,9	1,6	1,4	1,4	1,2	1,4	1,5	1,2
Сурьма	1,0	1,7	1,6	1,5	1,5	213	100	43	3,5
Золото	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	27,5	1550	1120	1,0
Цирконий	0,8	0,9	0,8	1,2	1,2	1,1	1,3	1,4	1,1
Барий	0,9	1,1	0,9	0,9	0,9	1,0	1,2	1,2	0,9

Примечание. 1–9 – номера таксонов.

“вольфрамовых” таксона приурочены только к рудопроявлению полиметаллов, образуя небольшой локальный и не полностью оконтуренный участок.

В распределении на рудном поле этих трех основных групп таксонов (“оловянных”, “золотых” и “вольфрамовых”) намечается интересная особенность, которая заключается в том, что “оловянные” таксоны образуют локальный, почти изометричный контур на месторождении Экуг. Он окружен концентрической “пустой” зоной (геофон) шириной около 1,5 км. “Золотые” таксоны, локализованные на месторождении Туманное и в безымянном контуре на юге рудного поля, укладываются в сегмент концент-

рической области шириной до 2 км, удаленной от центра Экуга на 2,5-3 км. Участок с “вольфрамовыми” таксонами расположен на расстоянии 5 км от центральной части месторождения Экуг. Этот намечающийся порядок свидетельствует о проявлении на рудном поле концентрической латеральной зональности в распределении основных металлов олова → золота → вольфрама (от центра к периферии). Хотя эта зональность не совсем согласуется с геолого-структурными особенностями линейно-блокового строения рудного поля, однако ее проявление можно объяснить следующим образом.

Как известно, обобщенные ряды геохимической зональности базируются на усредненных эмпирических данных и имеют вероятностный характер. Так что во многих конкретных случаях выявленная геохимическая зональность плохо согласуется с обобщенным рядом. Причины тому – не только оригинальные геологические условия, термодинамический режим процесса образования руд месторождения, а и многие другие факторы и в том числе индивидуальные свойства элементов, составляющих руды. Поэтому не случайны попытки исследовать и уточнить или пересмотреть этот ряд с привлечением фундаментальных свойств элементов. Интересные исследования в этом направлении проведены [2] и [5].

Так А.Д. Канищев нашел, что более чем из 30 исследованных им свойств для 28 элементов лишь некоторые согласуются со сводным графом его ряда геохимической зональности (температуры плавления и кипения, ионные плотности, величины твердости, нормальные электродные потенциалы и средние энергии ионизации атомов). Эмпирической базой здесь послужила матрица частот взаиморасположения повышенных концентраций химических элементов в 3041 эндогенных месторождениях мира. А согласующийся с указанными свойствами элементов сводный граф вертикальной зональности построен для ионов.

Е.К. Горелова учитывала 10 основных свойств для ионов и элементов. Ею построен ряд вертикальной зональности для 50 элементов, в котором олово занимает 35, золото – 42, а вольфрам – 49 место. С этим взаиморасположением согласуется выявленная на Экуг-Туманинском рудном поле латеральная зональность в распределении основных металлов (Sn-Au-W).

В этом ряду (Sn-Au-W) закономерно изменяются важнейшие свойства элементов, определяющие их внутренние факторы миграции (миграционную способность). Возрастают в ряду: температура плавления и кипения, теплота плавления, испарения и сублимации, то есть энергетические свойства элементов,

сильно положительно связанные между собой, а убывают: атомный радиус и атомный объём, энтропия и приведенный термодинамический потенциал кристаллического состояния, также тесно связанные между собой. Эти две группы свойств элементов между собой почти независимы (связь между ними положительная, но очень слабая, на грани критической).

По всей видимости, в зональном распределении олова, золота и вольфрама определяющую роль сыграли энергетические внутренние факторы миграции. Это могло произойти только в том случае, если существовала единая энергетическая система для дифференциации элементов. В качестве таковой можно предположить рудно-магматическую систему в виде металлоносной гипабиссальной интрузии. Механизм кристаллизации подобных интрузий и его геохимические последствия для дифференциации металлов обстоятельно и убедительно рассмотрены в гипотезе Л.В. Таусона (1972), согласно которой в процессе кристаллизации интрузии, богатой F и H₂O, олово неизбежно концентрируется в верхнем, а золото и вольфрам – в нижнем очаге расплавов (в полном согласии с их внутренними факторами миграции).

Путь миграции олова с высокотемпературными рудными флюидами из верхнего очага расплавов к месту рудоотложения оказывается короче (и вероятно проходит быстрее), по сравнению с транспортировкой гидротермами золота и вольфрама из нижнего очага расплавов. Такой механизм образования месторождений позволяет объяснить нередкое сонахождение на небольшом расстоянии (4–7 км) от крупных эндогенных месторождений олова месторождений или проявлений золота. В таких случаях можно говорить о закономерной генетической связи оловянного и золотого оруденения (единый рудно-магматический очаг) и о более раннем рудоотложении олова по сравнению с золотом и вольфрамом.

В дальнейшем при более детальном исследовании месторождения Экуг (имеющийся материал позволяет геохимически “вскрыть” его на глубину около 600 м) вопросам геохимической зональности в распределении олова и сопутствующих элементов будет уделено внимание с учетом особенностей кристаллизации металлоносных гипабиссальных интрузий.

Таким образом, концентрическая латеральная зональность в распределении основных металлов на ЭТРП является положительным примером для гипотезы [12] о дифференциации элементов по глубине в процессе кристаллизации металлоносных гипабиссальных интрузий и последующем их транспорте из двух разноразмерных очагов расплавов.

ВЫВОДЫ

Методика исследований и схема обработки данных позволили:

- выявить главные геохимические черты ЭТРП и определить основные элементы-индикаторы трех видов оруденения в его пределах: олово-редкометалльного (Sn, Li, Be, Bi, Ag), золото-сурьмяного (Au, Sb, Zr, Ba, Ni) и вольфрам-полиметаллического (Mo, W, Cu, Zn, Pb, Fe);

- определить “оловянную”, “золотую” и “вольфрамовую” группы геохимических таксонов;

- установить геохимическую структуру ЭТРП, где четко обособляются три структуры меньшего размера: олово-редкометаллическая, золото-сурьмяная и вольфрам-полиметаллическая. Каждая из них обладает индивидуальными геохимическими и типоразмерными характеристиками и территориально соотносится с месторождениями Экуг, Туманное и рудопроявлением полиметаллов;

- выявить латеральную концентрическую зональность, заключающуюся в смене геохимических ассоциаций от центра к периферии (олово-редкометаллическая → золото-сурьмяная → вольфрам-полиметаллическая);

- предположительно установить генетическую связь оловянного, золотого и вольфрамового оруденения с металлоносной гипабиссальной интрузией кристаллизация которой шла одновременно в двух камерах и что механизм становления таких интрузий обуславливает сонахождение в пределах рудного поля месторождений олова и золота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородкин Н.А., Приставко В.А. Основные черты геохимического поля оловорудного проявления Мыслереннет // Геохимия и минералогия рудных месторождений Северо-Востока СССР: Сб. науч. тр. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1989. С. 105–123.
2. Горелова Е.К. О возможности расчета зональности рудных месторождений по совокупности физико-химических свойств элементов // Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых (III Всесоюзное совещание, Самарканд, 1982). М.: ИМГРЭ, 1982. С. 48–51.
3. Грешилов А.И., Козлов Г.П. Некоторые геологические особенности Экугского оловорудного месторождения // Новые данные по геологии рудных районов Востока СССР. М.: Наука, 1969. С. 129–137.
4. Дубинин Е.Г., Маркин Е.А. Иультинский оловоносный район // Оловорудные месторождения СССР. М.: Недра, 1986. Кн. 1. С. 213–222.
5. Канищев А.Д. Главные факторы геохимических ассоциаций и вертикальной геохимической зональности эндогенных рудных месторождений // Геология руд. месторождений. 1977. № 6. С. 80–99.

6. Митропольский П.Б. Новые данные о вещественном составе руд и метасоматической зональности Экугского рудного поля // Колыма. 1992. №1. С. 15–17.
7. Приставко В.А. Картирование эндогенных ореолов оловорудных тел на основе информационных мер // Геохимические карты и их использование при поисках рудных месторождений. Хабаровск, 1979. Ч. 1. С. 129–130.
8. Приставко В.А. Локальный количественный прогноз оловянного оруденения по эндогенным ореолам // Геохимия и минералогия рудных месторождений Северо-Востока СССР, Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1989. С. 3–19.
9. Приставко В.А. О геохимических исследованиях в лаборатории геохимии СВКНИИ // Колымские вести. 2000. № 8. С. 47–51.
10. Приставко В.А., Устюжин П.В., Сафронов Д.В., Попова Л.А. Экспрессный полуколичественный спектральный анализ геохимических проб на широкий круг элементов // Методы прикладной геохимии. Иркутск: Сиб. Геохи, 1981. Ч. 2. С. 231.
11. Таусон Л.В., Дубов Р.И., Козлов В.Д., Кузмин М.И. Геохимическое значение дисперсии концентраций редких элементов в гранитоидах // Вопросы геохимии изверженных горных пород и рудных месторождений Восточной Сибири. М.: Наука, 1965. С. 5–23.
12. Таусон Л.В. О механизме кристаллизации гипабиссальных интрузий // Докл. АН СССР. 1972. Т. 204, № 2. С. 447–450.

Поступила в редакцию 27 ноября 2000 г.

Рекомендована к печати В.И. Гончаровым

N.A. Borodkin and V.A. Pristavko

Geological-geochemical characteristics of the Ekug-Tumaninsky ore field (Chukotka)

The geological composition of the famous in Eastern Chukotka Ekug-Tumaninsky ore field with tin and gold-antimony mineralization is described. By the results of geological-geochemical research the following was established: an assemblage of 28 elements, the level of the local geochemical background and the indicator role of every element with respect to tin, gold and polymetallic mineralization; the anomalous character of the Ekug-Tumaninsky ore field with respect to Au, W, Sb, Sn, As, Pb, Zn, Ag, Mo, Bi, Li and Be: four characteristic geochemical assemblages: tin-rare metal, arsenic-rare metal, polymetallic and gold-antimony; geochemical structure of the Ekug-Tumaninsky ore field where three smaller structures are distinguished: tin-rare metal, gold-antimony and tungsten – polymetallic taxons; concentric lateral zonation in the distribution of the basic metals Sn → Au → W in the ore field; and the genetic relationship of tin, gold and tungsten mineralization caused by crystallization of the metal-bearing hypabyssal intrusion.