

А.А.Пляшкевич



**Минералогия и геохимия
олово-серебро-полиметаллических
месторождений Северо-Востока
России**

Магадан - 2002

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
FAR EAST BRANCH
NORTH-EAST SCIENTIFIC CENTER
NORTH-EAST INTERDISCIPLINARY SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE

А. А. Пляшкевич
A. A. Plyashkevich

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ
ОЛОВО-СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY
OF TIN-SILVER-POLYMETALLIC DEPOSITS THROUGHOUT
NORTHEASTERN RUSSIA

Магадан
Magadan
2002

УДК [553.412.45:549:550.4] (57-18)

ББК 26.341+26.31

П 407

Пляшкевич А. А. Минералогия и геохимия олово-серебро-полиметаллических месторождений Северо-Востока России. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – 72 с. – ISBN 5-94729-023-5.

Рассмотрены некоторые особенности концентрирования серебра в рудах и эндогенных ореолах оловорудных месторождений региона и выявлены высококонтрастные по серебру руды месторождений оловянного ряда. Олово-серебро-полиметаллические месторождения Омсукчанской и Тенькинской металлогенических зон Северо-Востока подразделены на сульфоантимонитовый и сульфостаннатный минеральные типы. Охарактеризованы их геологическая позиция, последовательность минералоотложения и уровни концентрирования основных рудогенных элементов. Выявлен ряд типоморфных свойств главных сульфидных и серебросодержащих минералов. Сопоставлены геолого-минералогические признаки исследуемого типа оруденения Северо-Востока, Якутии, Дальнего Востока и Боливии и сформулированы его минералогическо-геохимические поисковые признаки.

Для широкого круга специалистов в области региональной металлогении, геологии рудных месторождений и минералогии.

Ил. 17. Табл. 12. Фототабл. 7. Библиогр.: 132 назв.

Ключевые слова: олово, серебро, полиметаллы, коэффициент контрастности оруденения, металлогеническая зона, минерал.

Ответственный редактор

канд. геол.-минерал. наук **В. А. Приставко**

Рецензент

канд. геол.-минерал. наук **В. Г. Шахтыров**

Печатается по решению Ученого совета СВКНИИ ДВО РАН

UDC [553.412.45:549:550.4] (57-18)

Plyashkevich A. A. Mineralogy and geochemistry of tin-silver-polymetallic deposits throughout north-eastern Russia. – Magadan: NEISRI FEB RAS, 2002. – 72 p. – ISBN 5-94729-023-5.

This book represents some aspects of silver occurrences in ores and endogenous aureoles of tin lodes; high-contrast silver minerals are established at tin lodes. Tin-silver-polymetallic deposits occurring throughout the Omsukchan and Tenka metallogenic areas of northeastern Russia are distinguished into sulfostibnite and sulfostannite mineral types. The book contains the descriptions of their geologic settings, stages of mineralization and principal ore-forming elements. A number of typomorphic characteristics have been established for the main sulfide and silver-bearing minerals. Geologic and mineralogical characteristics of examined mineralization type in the North-East, Yakutia, Far East and Bolivia are compared; its mineralogical and geochemical searching criteria have been formulated.

This book is intended for specialists in regional metallogeny, geology of ore deposits and mineralogy.

Ills. 17. Tables 12. Phototables 7. Refs.: 132 titles.

Key words: tin, silver, polymetals, mineralization contrasting gamma, metallogenic zone, mineral.

Edited by

Dr. V. A. Pristavko

Reviewed by

Dr. V. G. Shaktyrov

ISBN 5-94729-023-5

© Пляшкевич А. А., 2002
© СВКНИИ ДВО РАН, 2002
© Plyashkevich A. A., 2002
© NEISRI FEB RAS, 2002

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и примыкающих к нему территорий широко распространено разномасштабное оловянное и серебряное оруденение различной формационной принадлежности, причем серебро является характерным элементом любых оловянных руд. Омсукчанский и Тенькинский районы были одними из первых известных оловоносных территорий Северо-Востока. Серебряное оруденение здесь было выявлено несколько позже. Но уже на ранних этапах проведения специализированных исследований оловянных руд месторождений Омсукчанского и Пестринского рудных узлов Омсукчанского рудного района отмечались их повышенная сульфидность и комплексный характер, в том числе и повышенная сереброносность. При ведущей роли Sn промышленных концентраций в рудах могут достигать W, Bi, Se, Co, Ag, Au и другие элементы [Матвеевко, 1957, 1959].

Т.И. Трениной [1959] была установлена постоянная примесь серебра в рудах двенадцати оловянных месторождений различной формационной принадлежности из различных точек Северо-Востока. Серебро присутствует во всех сульфидных минералах, преимущественно в виде изоморфной примеси, хотя выявлены были и собственные минеральные формы серебра – самородное серебро, пираргирит, полибазит (?) – чаще в виде включений в галените. Максимальные концентрации серебра связаны с халькопиритом и галенитом, т.е. тенденция к увеличению содержания серебра с нарастанием концентраций меди и свинца отчетлива. Золото обычно сопутствует серебру и также связано с сульфидами, концентрируясь, например, в арсенопирите (Илинтас, 20 г/т).

В конце 30-х – начале 40-х гг. проводились геологические работы в районе Кулу (Тенькинский рудный район), итоги которых были позднее обобщены С. С. Смирновым [1962]. В этой работе месторождение Токичанское названо полиметаллическим оловосодержащим и отмечено сходство его руд с рудами Синанчинского месторождения, указано на присутствие в районе ряда “термальных” оловосодержащих месторождений. Позднее, при составлении геологической карты масштаба 1 : 200 000 П. П. Лычагиным [1967], оруденение района разделено на оловянное, полиметаллическое и золото-серебряное, сделан вывод об общности происхождения названных типов оруденения и некотором их геохимическом сходстве. Глубина формирования месторождений и проявлений района была оценена в пределах 600–700 м.

Исследования минерального состава оловянных руд региона, выявившие в них более 140 минеральных видов, позволили отметить более позднее отложение сульфидов и сульфосолей по отношению к продуктивным на олово ассоциациям и, соответственно, более позднее по отношению к простым сульфидам отложение сложных сульфидов и сульфосолей [Зильберминц и др., 1973]. Помимо самородных золота и серебра в рудах выявлены сульфoантимониты и сульфостаннаты Pb и Ag.

Комплексный характер оловянных руд, присутствие олова в рудах серебро-полиметаллического состава и устойчивая ассоциация в пределах рудных узлов или крупных зон касситерит-силикатно-сульфидных серебросодержащих и серебро-полиметаллических оловосодержащих месторождений и проявлений вызвали естественный интерес к проблеме формационной самостоятельности олово-серебряного оруденения [Найбородин и др., 1974]. Отмечены его основные особенности: широкое развитие сфалерит-галенит-блеклорудной и сульфосольной минеральных ассоциаций; широкие вариации содержания серебра в рудах, в среднем составляющие сотни г/т; выделение подавляющей части серебра в виде собственных минералов; постоянное присутствие сульфостаннатов, а в оловорудных метасоматитах – железистого хлорита; проявление концентрической вертикальной зональности. Подчеркнуты также проявление олово-серебряного оруденения в пределах Тихоокеанского рудного пояса в различные эпохи (поздний мел, палеоген, неоген) в связи с развитием континентальных вулканогенных поясов и зон и пространственная ассоциация в Северо-Восточной Азии с месторождениями золото-серебряной формации. Отмечается и минералого-геохимическое и структурно-генетическое родство между олово-серебряными (Малый Кэн) и золото-серебряными (Дукат) месторождениями. Предполагается, что олово-серебряная формация занимает связующее положение между касситерит-сульфидной и золото-серебряной и все эти типы составляют единый рудноформационный ряд.

Выделение самостоятельной олово-серебряной формации поддерживается не всеми исследователями оловорудных месторождений. В крупной монографии, посвященной оловянному оруденению СССР [Геология ..., 1986], представлено, как более обоснованное, рассмотрение этих руд в качестве минерального типа оруденения касситерит-сульфидной формации. В ее составе выделены два доминирующих минеральных типа: сфалерит-галенит-сульфостаннатный (оловянно-полиметаллический или станнин-сульфидный) и пирит-серебряно-сульфосольный (оловянно-серебряный, местами с примесью золота). Эта классификация наследует

разработанную ранее на основе исследований оловорудных месторождений Северо-Востока [Лугов и др., 1972], где в составе касситерит-сульфидной формации выделялись две фации – оловянно-полиметаллическая с широким развитием станнина и сульфосольная.

В монографии, посвященной оловорудным месторождениям Яно-Колымской складчатой области [Флеров, 1976], в составе касситерит-сульфидной формации выделены четыре минеральных типа – сульфидно-турмалиновый, сульфидно-хлоритовый, арсенопирит-пирротинный и галенит-сфалеритовый. Отмечено также, что в субвулканической фации сульфидно-хлоритового типа касситерит отлагается совместно с хлоритом, галенитом и другими сульфидами, имеет игольчатый габитус (“термальный” касситерит по С. С. Смирнову) и часто колломорфное строение.

Касситерит-силикатные, олово-серебряные и серебро-полиметаллические месторождения Омсукчанской металлогенической зоны рассматриваются как члены единого генетического ряда рудных формаций в статье Ю. Н. Роднова и Ю. И. Зайцева [1985], посвященной соотношению оловянной и серебряной минерализации Балыгычано-Сугойского района. В этой работе выделена самостоятельная серебро-полиметаллическая формация, близкая к серебро-свинцовой по К. Ф. Кузнецову, Р. В. Панфилову [1978]. Все месторождения объединяет общность геолого-структурной позиции, пространственно-временная сопряженность формирования, связь с единым магматическим источником, закономерное взаиморасположение и сходство минералого-геохимических характеристик. Отмечается отчетливый структурный и литологический контроль разноформационного оруденения. Серебро-полиметаллические и олово-серебряные рудные поля чаще приурочены к краевым частям вулканотектонических депрессий и склонам интрузивных куполов, локализуясь в субвулканических телах и вулканитах среднего и кислого состава. Оловорудные месторождения чаще локализуются в сводовых частях интрузивно-купольных поднятий, размещаясь в терригенных породах и гранитоидах, реже – в вулканитах.

Исследованиями Ново-Джагынской интрузивно-купольной структуры [Калинин и др., 1984] установлено, что по насыщенности гидротермальными образованиями она сопоставима с Дукатским рудным полем. Авторы предполагают, что существовал ранний донаяханский цикл гидротермальной деятельности. Возможно, это ранний цикл оловянного оруденения таватумского возраста. Месторождение Тидид считается полным аналогом Гольцовского, Мечта несколько отличается по структурным и минералогическим особенностям. Отмечается сходство этих месторождений с серебро-полиметаллическим оруденением Южного Верхоянья.

И. Я. Некрасовым в монографии, посвященной фазовым соотношениям в оловосодержащих системах [1984а], предложен вариант классификации оловорудных месторождений, в той или иной мере учитывающий все разнообразие минеральных форм Sn в природе и генетических связей оруденения с магматическими породами. Среди месторождений касситерит-сульфидной формации выделены четыре минеральных типа: станниновый (Хета), колчеданно-полиметаллический (Синанча), сульфидно-сульфосольный, или “боливийский” (Оуро, Потози), и золото-блеклорудно-теллуридный. Исследуя вещественный состав, последовательность и физико-химические условия образования олово-серебряных руд (в большой степени на примере месторождений северо-восточной Якутии [Некрасов, 1984б]), автор, как решающий фактор, определивший разнообразие минерального состава руд месторождений этого типа, выделяет закономерное изменение активности металлов в растворах. В начале гидротермального процесса наиболее активны соединения Sn и Zn, затем их активность снижалась, а активность Ag, Pb, и позже Sb нарастала. Одноэтапные руды олово-серебряного состава формировались из полиметалльных растворов в условиях резкого температурного градиента.

В результате дальнейших исследований оловосодержащих систем установлено, что в комплексных месторождениях Тихоокеанского рудного пояса Sn, Ag и Au часто содержались в одном рудоносном растворе [Некрасов, 1990]. Руды таких месторождений могли отлагаться в течение одного или нескольких этапов. Многоэтапные, т. е. полигенные, объекты являются результатом пространственного совмещения разновозрастных минеральных ассоциаций – продуктов деятельности разновозрастных магматических комплексов разного состава, совмещенных в единых рудообразующих структурах. Пример таких месторождений – Карамкен, на котором проявлена стадийная вертикальная зональность и, при существенно золото-серебряном составе руд верхних горизонтов, руды нижних горизонтов имеют серебро-оловянную специализацию, как результат активизации вулканической деятельности на позднем этапе рудообразования. В одноэтапных рудах, как правило, преобладает или Sn, или Au, а Ag, Pb, Zn, Cu и другие элементы являются попутными компонентами.

В рамках концепции “базовых” рудных формаций выделяются олово-(серебро)-порфировый и серебро-сульфидный (допорфировый) рудноформационные ряды [Серебро..., 1989]. В них одноименные рудные формации, примерами которых являются соответственно Хета и Дукат, выделяются как “базовые”. При этом олово-серебряная (Малый Кэн) и олово-серебро-полиметаллическая формации, принадлежащие разным рудноформационным рядам, рассматриваются как продукты родственных рудогенерирующих систем.

На примере Омсукчанского рудного района Р. Г. Кравцова с соавторами [1996] выделили региональные и локальные геохимические поля концентрирования трех типов – олово-редкометалльные, олово-серебряные и серебро-полиметаллические. Отмечаются пространственная совмещенность серебро-полиметаллической и олово-

серебряной минерализации, сходство геолого-структурной позиции рудных полей месторождений, одинаковый возраст и минералогическая и геохимическая близость. При “верхнем” положении серебро-полиметаллической минерализации по отношению к олово-серебряной авторы представляют возможным выделить единую олово-серебро-полиметаллическую формацию.

В последних публикациях [Колесников, Шатков, 1994; Шатков, 1997] на примере месторождений Кэнского, Джагынского и Пестринского рудных узлов выделяются олово-серебряные месторождения в экструзивно-субвулканических массивах риодацитов. Месторождения представляются как полигенные и полихронные образования, возникшие в результате телескопирования двух самостоятельных типов оруденения, представляющих собой продукты двух обособленных этапов рудогенеза. При этом серебро-полиметаллическое оруденение считается более ранним, основным источником рудного вещества в этом случае служат вмещающие риодациты. Оловосодержащая минерализация, по мнению этих авторов, носит наложенный характер. Таким образом, эти месторождения не могут представлять самостоятельную олово-серебряную формацию.

В приведенном кратком обзоре учтены лишь некоторые обобщающие публикации, в той или иной степени являющиеся результатом исследований олово- и серебросодержащего оруденения региона. В лаборатории геохимии СВКНИИ ДВО РАН в результате проведенных в 60-е – 70-е гг. на оловорудных месторождениях Магаданской области работ был накоплен большой материал по вещественным особенностям разноформационного оловянного оруденения, в том числе и по его сереброносности. В конце 70-х – начале 80-х гг. проводились исследования на золото-серебряных и серебряных месторождениях Примагаданья, Омсукчанского и Тенькинского районов. Результаты этих исследований, проведенных с участием автора настоящей монографии, положены в ее основу.

Предлагаемая работа посвящена выявлению минералого-геохимических поисковых признаков олово- и серебросодержащего близповерхностного оруденения и места этого оруденения в ряду оловорудных формаций на основе минералого-геохимических исследований руд ряда месторождений и проявлений Омсукчанского и Тенькинского рудных районов. В качестве главных объектов исследований были выбраны слабо оловоносные серебряные руды месторождений, лежащих на периферии оловорудных узлов и зон Омсукчанской металлогенической зоны – Мечта, Тидид, Порфиновый – с привлечением данных по месторождениям Гольцовый, Ирча и Малый Кэн, а также олово-серебро-полиметаллические руды месторождений Токичанское, Тигрец-Индустрия, Кочевой Тенькинской металлогенической зоны. Материал был представлен штуфами или сколками, отобранными из рудных тел или зон с поверхности, в подземных горных выработках или из их отвалов. Часть штуфа использовалась для минералогических исследований, часть – для получения геохимической характеристики материала. Минералогические исследования, помимо обычных методов микераграфии, включали в себя локальный рентгеноспектральный анализ сульфидов и сульфосолей, в небольшом количестве – и карбонатов (общий объем – около 2000 точечных анализов), и определения некоторых минеральных видов с помощью рентгеноспектрального анализа. Основой геохимической характеристики явились результаты экспрессного количественного спектрального анализа (ЭКСА) [Приставко и др., 1981] на 14 элементов, пробирного на Au и Ag и атомно-абсорбционного на Au анализов. Полученные данные позволяют выделить дополнительные минералого-геохимические поисковые признаки сереброносности региона и комплексности руд близповерхностных месторождений и выявить некоторые типоморфные свойства основных минералов руд месторождений разных типов.

Глава 1. СЕРЕБРО В ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РЕГИОНА

Серебро – характерный элемент оловорудных месторождений любой формационной принадлежности. Распределение его концентраций отличается высокой неравномерностью, а содержания изменяются от субкларковых до промышленных. Его роль в индикации оловянного оруденения и ореолообразующая способность достаточно высоки. Это определило научный и практический интерес к изучению закономерностей распределения серебра в оловорудных месторождениях, где оно может играть заметную роль в комплексе полезных компонентов оловянных руд [Найбородин, Приставка, 1980].

В результате проведения минералого-геохимических работ на десяти оловорудных месторождениях (рис. 1) Колымы и Чукотки накоплен значительный материал по геохимии и минералогии серебра на этих объектах. Прежде всего, это количественные определения серебра более чем в 20 тыс. проб, характеризующих руды и ореолы месторождений, методом ЭКСА [Приставка и др., 1981].

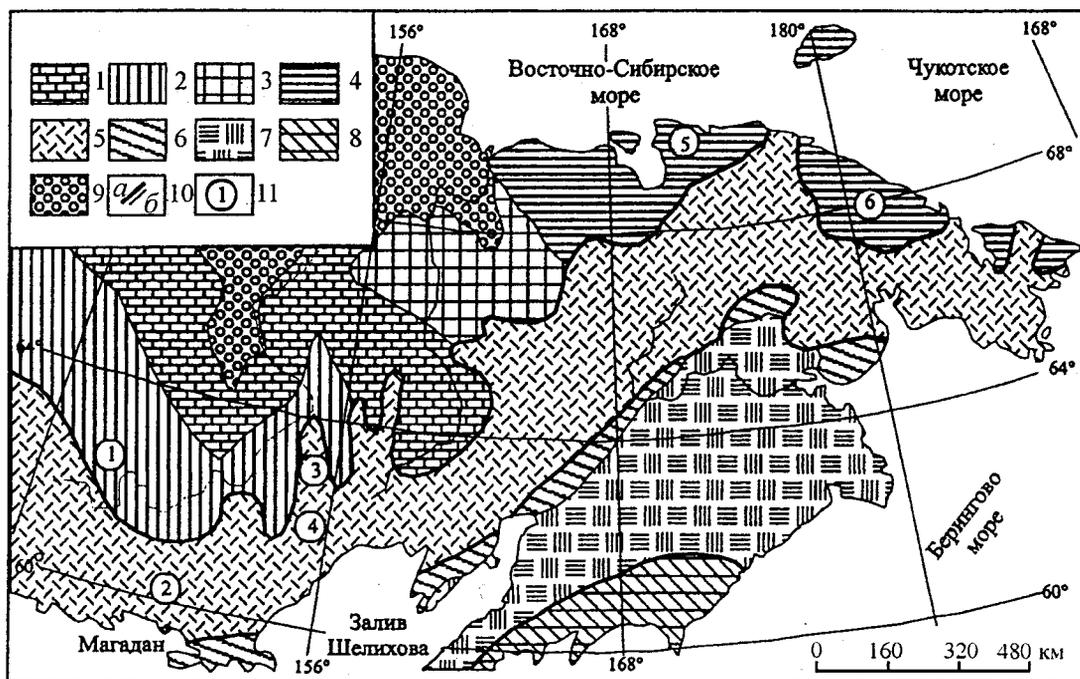


Рис. 1. Схема размещения месторождений (структурно-металлогеническая основа по Тильману, Богданову [1994]): 1–4 – подразделения Верхояно-Чукотской металлогенической провинции; 5 – Охотско-Чукотский металлогенический пояс; 6–8 – подразделения Корякско-Камчатской металлогенической провинции; 9 – районы с неясной металлогенической специализацией, перекрытые рыхлыми отложениями; 10 – границы: а – ОЧМП, б – металлогенических систем; 11 – оловорудные и олово-серебро-полиметаллические месторождения: 1 – Токичанское, Тигрец-Индустрия, Кочевой, 2 – Кандычан. 3 – Малый Кэн, Мечта, Тидид, 4 – Ирча, Гольцовый, Порфиновый, 5 – Валькумей, г. Разведочная, 6 – Иультин. Светлое

Содержания серебра на всех месторождениях значительно варьируют как вблизи рудных тел, так и на участках без видимых проявлений гидротермальной минерализации.

Из данных статистических оценок распределения серебра в оловорудных месторождениях региона [Пляшкевич, Приставка, 1992] следует, что неравномерность распределения серебра в рудных телах и эндогенных ореолах положительно взаимосвязана, причем в рудных телах она выше, чем в эндогенных ореолах. Наибольшей неравномерностью распределения серебра отличаются руды месторождений Ирча, Охотничье, Верхний Тап, Кандычан. Средние концентрации серебра в ореолах оловорудных тел варьируют от 2 до 50 кларков, а в рудных телах – от 5 до 5000. По соотношению концентраций серебра

в рудах и ореолах все рассматриваемые объекты могут быть разбиты на несколько самостоятельных групп разной численности (табл. 1). Руды и ореолы по концентрациям серебра в каждой из групп четко взаимосвязаны, и пропорциональность между этими величинами может быть выражена с помощью характеристического коэффициента. Этот коэффициент индивидуален для конкретных месторождений и определяется отношением концентраций серебра в рудных телах и ореолах. Сопоставим два близких прогрессивных ряда чисел и полученные значения коэффициента контрастности рудных тел:

$$1,25 : 5 : 20 : 80 : 320$$

$$1 : 4 : 16 : 64 : 256$$

$$(1,43 - 5) - 18 - 71 - (236 - 375).$$

Таблица 1

Средние концентрации серебра на оловорудных месторождениях, г/т

№ п/п	Месторождение	Руды	Ореолы		Контрастность рудных тел
			в магматических породах	в осадочных породах	
1	Иультин	1,60	0,81	0,32	1,98–5,0
2	Светлое (Чукотка)	1,00	0,57	0,34	1,75–2,94
3	г. Разведочная	3,00	–	2,10	1,43
4	Валькумей	0,77	0,22	–	3,50
5	Индустриальное	0,35	0,19	–	1,84
6	Малый Кэн	9,60	0,51	–	18,8
7	Ирча	21	1,20	–	17,5
8	Охотничье (Турман)	250	–	3,5	71,4
9	Верхний Тап	330	0,88	–	375
10	Кандычан	170	0,72	–	236

Примечание. Прочерк – нет данных.

Это сопоставление показывает, что распределение вычисленных коэффициентов контрастности по группам месторождений отвечает прогрессивному ряду с модулем 4. Отметим, что диапазон изменения контрастности рудных тел в группе месторождений 1–5 велик и позволяет предположить, что группа эта неоднородна, но дальнейшее ее разделение на основе более точного определения контрастности рудных тел вряд ли возможно, поскольку здесь велико влияние даже небольших ошибок в геологическом разделении рудных тел и ореолов. На месторождениях с более контрастными рудами эти ошибки сказываются меньше, поэтому остальные месторождения по коэффициенту контрастности очень близки последующим членам приведенного числового ряда.

Таким образом, в группировке оловянных месторождений по контрастности распределения серебра в рудах по отношению к ореолам проявляется отчетливая закономерность: группы месторождений образуют дискретный ряд с соотношением предыдущих и последующих членов ряда по коэффициенту контрастности как 1 : 4 (рис. 2). Исследованные месторождения распределяются по первым пяти членам этого ряда (рангам), но есть основания предполагать, что указанный ряд не ограничивается пятью рангами. Имеющиеся в нашем распоряжении данные о распределении серебра на серебро-полиметаллических объектах Мечта и Порфиновый, расположенных в непосредственной близости к оловорудным месторождениям Малый Кэн и Ирча, позволяют ориентировочно оценить контрастность рудных тел около 1000, что очень близко к предполагаемой оценке шестого ранга 1024–1280. Подобные месторождения, часто возникающие на периферии оловорудных узлов, в известной работе Л. Н. Индолева и Г. Г. Невоисы [1974] отнесены к галенит-сфалеритовой формации, представляющей третий, наиболее поздний, этап серебро-свинцовой минерализации мезокайнозоя и являющейся завершающим гомологом генетического ряда оловорудных формаций. Вероятно, более контрастных по серебру оловянных и генетически связанных с ними руд не существует.

Рассмотрим особенности распределения серебра в выделенных группах оловорудных месторождений.

Месторождения первой группы включают I и II ранги и локализованы в эндо- или экзоконтактах гранитоидных массивов позднемелового возраста. Эндоконтактовые фации гранитоидов представлены

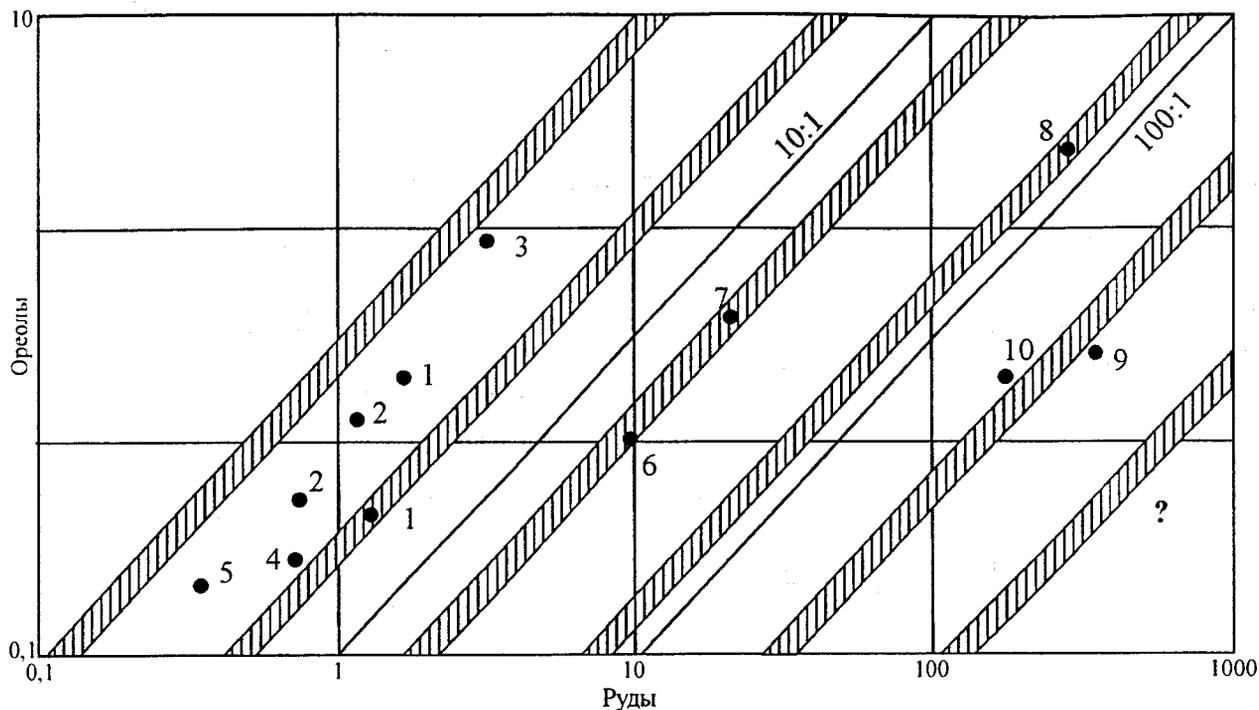


Рис. 2. Распределение уровней концентрации серебра в рудах и ореолах оловянных месторождений различной формационной принадлежности: 1 – Иультин; 2 – Светлое; 3 – г. Разведочная; 4 – Валькумей; 5 – Индустриальное; 6 – Малый Кэн; 7 – Ирча; 8 – Охотничье; 9 – Верхний Тап; 10 – Кандычан

гранодиоритами (Валькумей), грейзенизированными равномернозернистыми лейкократовыми гранитами (Иультин) или мелкозернистыми биотитовыми гранитами, гранит-порфирами и гибридными меланократовыми гранитами (Хатарен-Индустриальное). Рудные тела располагаются в гранитоидах, редко выходя в экзоконтактные роговики (Валькумей, Индустриальное [Кокорин, Коростелев, 1980; Соколов, 1980]); преимущественно в ороговикованных породах, изредка продолжаясь в гранитоидах эндоконтакта (Иультин, Светлое); только в ороговикованных породах (г. Разведочная). Эти рудные тела представлены простыми и сложными жилами и жильными зонами кварцевого (Иультин, Светлое), турмалин-кварцевого (Валькумей), кварц-турмалин-хлоритового (Индустриальное) и кварц-хлоритового (г. Разведочная) состава. Характерно кулисное расположение жил, апофизы; в некоторых случаях морфология рудных тел очень сложна и изменчива, с раздувами, ветвлением, зонами сетчатого прожилкования (г. Разведочная). Степень околожильных изменений вмещающих пород различна – от слабых окварцевания и сульфидизации (Иультин, Светлое) до широкого развития зон турмалинизации, хлоритизации, окварцевания, в меньшей степени сульфидизации и карбонатизации (Валькумей, Индустриальное).

В эту группу вошли месторождения кварцевого типа касситерит-кварцевой и турмалин-кварцевого типа касситерит-силикатной формаций (за исключением месторождения г. Разведочная, отнесенного к хлорит-турмалин-кварцевой фации касситерит-силикатной формации достаточно условно).

Минералы сульфидных ассоциаций во всех случаях являются более поздними по отношению к минералам касситерит-кварцевых или касситерит-вольфрамит-кварцевых парагенезисов. На месторождениях касситерит-кварцевой формации к числу наиболее распространенных (т. е. слагающих до 3–5% объема рудных тел) относятся леллингит и арсенопирит, халькопирит и станнин более редки. В меньших количествах отмечаются пирротин, пирит, марказит, галенит, сфалерит, молибденит, висмутин и самородный висмут, количество которых в рудах не превышает долей процента. Степень сульфидности руд месторождений касситерит-силикатной формации в целом значительно выше, причем заметно варьирует на различных месторождениях. Так, рудные тела месторождений Валькумей и г. Разведочная содержат до 5% арсенопирита, распространенными являются также антимонит (только на Валькумее), пирит, пирротин, халькопирит, станнин, галенит, сфалерит, блеклые руды, молибденит и сульфосоли свинца. В то же время руды Хатарен-Индустриального сравнительно бедны сульфидами, широко

проявлены только пирит и марказит, остальные сульфиды встречаются редко [Шнайдер и др., 1979]. Зональность в распределении сульфидных ассоциаций в целом выражается в приуроченности поздних сульфидных парагенезисов (станнин-халькопиритового, галенит-сфалеритового) к самым верхним горизонтам рудных тел; арсенопирит и леллингит обычно распределены по разрезу более равномерно, хотя в их соотношениях также возможны вариации – арсенопирит может преобладать на верхних, а леллингит – на нижних уровнях рудных тел (Светлое).

Средние содержания серебра в рудах и эндогенных ореолах этих месторождений колеблются от 0,35 до 3 г/т. Эти содержания минимальны в рудах месторождений, рудные тела которых локализованы преимущественно в изверженных горных породах (гранодиоритах на Валькумее, гранитах – участке “Пионер” месторождения Индустриальное), и максимальны в рудах месторождения, локализованного в осадочных породах (г. Разведочная). В этом проявляется и определенная тенденция поведения серебра в зависимости от глубины формирования оловянных руд: снижение концентраций серебра в рудах и ореолах с увеличением глубины их формирования. Эта же тенденция может быть отражением и степени удаленности области оловянных руд от предполагаемого интрузивного рудогенерирующего очага.

Сереброносность оловянных руд месторождений этой группы невысока, и серебро находится в них по преимуществу в рассеянном состоянии как изоморфная примесь в сульфидах различных минеральных ассоциаций (табл. 2). Так, на Иультинском месторождении арсенопирит и леллингит содержат серебро в количестве 4–5 г/т с вариациями до 30 г/т (по данным анализа 490 проб, отобранных по всему разрезу), те же концентрации серебра отмечаются и в арсенопирит-леллингитовых агрегатах месторождения Светлое. В образованиях станнин-халькопиритовой минеральной ассоциации на этом месторождении возможно содержание серебра до 10 г/т [Наумов, Наumenко, 1979]. Собственные минералы серебра для руд этих месторождений не характерны, самородное серебро отмечено на Иультине как минералогическая редкость [Лугов и др., 1972]. Входящие в рассматриваемую группу месторождения касситерит-силикатной формации отличаются более богатым видовым набором сульфидов и сульфосолей, но и в их рудах собственные минералы серебра редки. В различных минеральных ассоциациях Хатарен-Индустриального рудного поля концентрации серебра не превышают 10–20 г/т [Шнайдер и др., 1979]. Только в рудах самого крупного и сложного в этой группе Валькумейского месторождения обнаружены стефанит, пираргирит, ассоциирующие с сульфосолями свинца, и минералы группы блеклых руд, возможно, серебряносодержащие [Лугов и др., 1972], а также, по данным Б. Л. Флерова, штернбергит. Все эти минералы отнесены к категории редких и не вносят заметного вклада в концентрацию серебра в рудах.

Таблица 2

Признаки сереброносности руд оловянных месторождений

Признаки	Группа месторождений		
	I (ранги 1 и 2)	II (ранг 3)	III (ранги 4 и 5)
Степень сульфидности руд, %	До 3–5	3–5 и выше	5–7 и выше
Концентрации Ag в сульфидах или их ассоциациях, г/т	Леллингит, арсенопирит – 3–5 (до 30); станнин-халькопирит до 10	Пирит – 30; арсенопирит, сфалерит, халькопирит до 300; галенит – 300 и выше	Кальцит-галенитовая до 5×10^4 ; галенит до 250
Собственные минералы Ag	Редки стефанит, пираргирит, фрейбергит (?), штернбергит	Фрейбергит, пираргирит, полибазит, штернбергит, аргентит, Ag самородное	Ag-содержащая блеклая руда, акантит, Ag самородное, пираргирит, стефанит, полибазит

Месторождения III ранга локализуются в покровных вулканитах позднемелового возраста, секущихся габбродиоритами, диоритовыми порфиритами и невадитами позднего мела (Ирча) и зонами эксплозивных брекчий, более поздними дайками фельзит-порфиоров, трахириолитов и перлитов (Малый

Кэн). И в том и в другом случаях в пределах рудных полей закартированы экстрезивные риолиты и палеогеновые дайки базальтов, андезибазальтов и диабазовых порфиритов. Осадочные породы юры, подстилающие покровные вулканы в рудном поле Ирчи, метаморфизованы с образованием зон альбит-хлоритовых, альбит-хлорит-эпидотовых, биотит-актинолитовых метасоматитов, что связывается с возможным наличием на глубине нескрытого гранитоидного массива. Вмещающие оруденение породы претерпели изменения и в пневматолито-гидротермальный этап: грейзенизацию невадитов и площадную турмалинизацию и хлоритизацию на Ирче и образование зон гидромусковит-кварц-хлоритового состава и полей слюдисто-кварцевых или каолинит-алунит-кварцевых метасоматитов на Малом Кэне.

Рудная зона Ирчинского месторождения состоит из нескольких мелких минерализованных зон штокеркового типа с прожилково-жилными и метасоматическими телами касситерит-кварцевого, турмалин-касситерит-кварцевого, турмалин-хлорит-кварц-сульфидного, кварц-касситерит-сульфидного и сульфидного состава [Ананьин и др., 1980]. На участке "Паук" Мало-Кэнского месторождения выделены три рудовмещающие зоны метасоматитов и рудные тела, кроме кварц-хлоритовых, кварц-хлорит-сульфидных или хлоритовых жил, включают и метасоматически измененные породы (хлоритизированные, окварцованные, сульфидизированные).

Оба месторождения являются близповерхностными образованиями касситерит-силикатной формации, но представляют различные минеральные типы: Мало-Кэнское месторождение относят к хлоритовому минеральному типу [Политов, 1980], а месторождение Ирча по этой классификации следует относить к турмалиновому или хлорит-турмалиновому. Степень сульфидности руд этих месторождений различна, хотя последовательность минералоотложения в постпродуктивный этап, вероятно, близка. Наиболее распространенными сульфидами Малого Кэна являются пирит и халькопирит; сфалерит, галенит и арсенопирит отнесены к числу второстепенных (данные Н. Е. Саввы и М. С. Шнайдера), а число редких сульфидов, арсенидов и самородных элементов около десяти. Общее количество сульфидов в рудах Ирчи достигает 3–5%, но на отдельных участках минералы сульфидных ассоциаций (кварц-арсенопиритовой и пирротин-халькопиритовой) резко преобладают. Максимум сульфидной минерализации отмечен в приконтактной зоне субвулканического тела. К числу главных отнесены арсенопирит, халькопирит, пирротин, пирит, марказит. Станнин, галенит и сфалерит являются второстепенными. Редки минералы серебра, никеля и кобальта.

Средние содержания серебра в рудах этих месторождений значительно выше, чем на месторождениях I и II рангов (см. табл. 1). Максимальные концентрации его в рудах, по геохимическим данным, могут достигать 260 г/т на Мало-Кэнском месторождении и 17 г/т на Ирче. Это определяется повышенными концентрациями изоморфной примеси серебра в основных сульфидах руд и появлением собственных минералов серебра, по преимуществу из группы сульфоантимонитов. Спектральный анализ монофракций сульфидов из руд месторождения Малый Кэн, по данным Н. Е. Саввы и М. С. Шнайдера, выявляет в них высокие содержания серебра: от 30 в пирите до 300 г/т в арсенопирите, сфалерите и халькопирите. В галените содержания серебра еще выше, что обусловлено присутствием микроворостков самостоятельных минералов серебра, пространственно тяготеющих к образованиям полиметаллической ассоциации. Кроме того, обнаружены пираргирит и полибазит, возможно, отлагавшиеся в самостоятельную стадию серебряной минерализации, после минералов полиметаллической ассоциации [Нагорная, 1979]. В рудах Ирчинского месторождения повышенные содержания серебра выявлены в образованиях двух минеральных ассоциаций полисульфидной стадии – пирротин-халькопиритовой и галенит-сфалеритовой. Халькопирит, по данным спектрального анализа, содержит 0,03–0,1% серебра, а в галените, ассоциирующем с железистым сфалеритом и кальцитом, выявлены микроворостки Феррейбергита и штроемерита.

Объекты IV ранга – месторождение Турман (Охотничье) и V ранга – месторождения Верхний Тап и Кандычан – имеют много общего в геологическом строении. В рудных полях этих месторождений развиты осадочные и вулканогенно-осадочные толщи триасового (Турман) и юрского возраста, перекрытые вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами мела. На участке "Турман" дорудные интрузивные образования представлены штоками и дайками диабазов и субвулканическими телами андезитов и андезибазальтов позднемелового возраста. Стратифицированные толщи в рудном поле Верхне-Тапского месторождения прорваны гранодиорит-порфирами и невадитами и вмещают

субвулканические тела андезитов, андезитовых порфиров, риолитов и фельзориолитов позднего мела [Ананьин, Придатко, 1978]. Осадочные породы метаморфизованы с формированием биотитовых роговиков и сланцев, актинолит-биотитовых роговиков, альбит-хлоритовых и альбит-хлорит-эпидотовых метасоматитов, что может быть связано с наличием на глубине нескрытого гранитоидного массива. На территории Арманского оловорудного узла, к которому относится месторождение Кандычан, стратифицированные образования прорваны интрузиями гранитоидов габбро-диорит-гранодиоритовой формации позднего мела, субвулканическими гранитами и липаритами. Рудовмещающими являются субвулканические риолитовые игнимбриты, рассеянные дайками микродиоритов, андезибазальтов и долеритов позднего мела – палеогена.

Рудные тела месторождений приурочены к зонам повышенной трещиноватости, катаклаза и милонитизации вмещающих пород и представлены телами минерализованных гидротермальных брекчий и маломощными жилами друзовидного кварца с касситеритом (Турман), минерализованными зонами и жилами кварц-хлоритового, кварц-турмалинового, кварц-карбонатного и кварц-актинолитового состава (Верхний Тап). Вмещающие породы часто гидротермально изменены: окварцованы, хлоритизированы, гематитизированы, сульфидизированы, карбонатизированы. На Кандычанском месторождении рудные тела представлены четковидными жилами, переходящими в зоны сетчатого прожилкования или брекчирования и имеющими хлорит-кварц-сульфидный состав.

Месторождения Верхний Тап и Турман отнесены к хлоритовому минеральному типу касситерит-силикатной формации [Политов, 1980]. Формационная принадлежность Кандычанского месторождения четко не определена, но представляется правомерным отнести его к хлоритовому минеральному типу касситерит-силикатной формации с обилием сульфидов [Лугов и др., 1974] или сульфидно-хлоритовому типу касситерит-сульфидной формации [Флеров, 1976].

В рудах всех месторождений группы широко проявлены касситерит-хлорит-кварцевая минеральная ассоциация и, с разной интенсивностью, образования сульфидных стадий. Здесь возрастает роль халькопирита, пирротина, галенита и сфалерита, на Турмане и Кандычане относимых к числу главных минералов руд. Средние содержания серебра в рудах месторождений этой группы самые высокие среди всех рассмотренных месторождений (см. табл. 1). Максимальные содержания серебра в рудах, по данным геохимии, могут достигать 15 000 (Кандычан), 22 000 (Турман) и 30 000 г/т (Верхний Тап), что свидетельствует о наиболее высокой сереброносности руд месторождений IV и V рангов, хотя минералогически они наименее исследованы. Месторождение Турман выделено в самостоятельный ранг только по критерию контрастности руд. Ранние хлорит-гематит-касситеритовая и кварц-вольфрамит-касситеритовая минеральные ассоциации Турмана сопоставимы с кварц-турмалиновой, хлоритовой, кварц-касситеритовой и кварц-вольфрамитовой ассоциациями Ирчинского месторождения, а поздняя сереброносная галенит-сфалеритовая ассоциация Ирчи с кальцит-галенитовой на Турмане, руды которой содержат до 50 000 г/т серебра (стадийность и концентрации серебра на Турмане по данным М. С. Шнайдера). Есть сведения о присутствии в рудах поздних сульфидных ассоциаций самородных золота и серебра, причем золото, вероятно, может концентрироваться и в раннем арсенопирите (около 50 г/т, Ирча). Сопоставимы стадийность процесса минералоотложения и минеральный состав поздних сульфидных парагенезисов Верхне-Тапского и Кандычанского месторождений, где сереброносна одна из самых поздних галенит-сфалеритовая минеральная ассоциация. Так, галенит кварц-аксинитовых жил Верхне-Тапского месторождения содержит до 250 г/т серебра (данные М. Р. Придатко).

Для оловорудных месторождений низких рангов (первых трех и, может быть, IV) характерна ассоциация в пределах рудного узла с серебро-полиметаллическими месторождениями, руды которых содержат широкий спектр минералов серебра – по преимуществу сульфоантимонитов, ассоциирующих с галенитом, сфалеритом и сульфосолями свинца, и повышенные концентрации олова, обычно реализующиеся в виде станнина, реже – касситерита, канфильдита.

Таким образом, по соотношению серебра в рудах и эндогенных ореолах все рассматриваемые месторождения разбиваются на несколько самостоятельных групп разной численности. Коэффициент контрастности рудных тел при группировании объектов обнаруживает свойство регулярности: группы месторождений образуют дискретный ряд, состоящий из пяти членов (рангов), при этом возможно существование шестого ранга, к которому могут быть отнесены олово-серебро-полиметаллические

месторождения. В рудах месторождений от низких к высоким рангам с нарастанием роли сульфидных минеральных ассоциаций нарастают и концентрации серебра, что определяется переходом от изоморфной примеси в сульфидах (преимущественно в арсенопирите) в месторождениях I и II рангов к собственным минеральным формам и расширением видового спектра этих форм в месторождениях высоких рангов. Ранее отмечалось, что в близповерхностных оловянных месторождениях могут быть обнаружены представители всех групп минералов серебра (за исключением селенидов), т. е. самородные элементы и интерметаллиды, сульфиды, теллуриды, сульфоантимониты и сульфоарсениды серебра и меди, сульфоантимониты свинца и серебра, сульфовисмутиды и сульфостаннаты [Волярович и др., 1979]. На самом деле к тому времени была известна поздняя свинцово-висмут-селеновая минерализация месторождения Невское (данные П. В. Бабкина). Кроме того, селен выделен как типоморфный элемент – примесь касситерита и вольфрамита (0,01–0,04%) – минералов ранних ассоциаций оловянных руд (Индустриальное, Малый Кэн, Охотничье, Ирча – данные М. С. Шнайдера, В. С. Фридланд, М. Р. Придатко). Возможно, элемент в целом типоморфен для близповерхностного оруденения Омсукчанской металлогенической зоны, проявляясь в разных формах на разных этапах оруденения – селениды и сульфоселениды серебра и примесь селена в сульфоантимонитах Дуката и месторождений Кэнского и Джагынского рудных узлов [Раевская и др., 1977; Сахарова, Брызгалов, 1981]. “Сквозными” для рассматриваемых рангов месторождений являются минералы группы блеклых руд – преимущественно Fe-фрейбергит, пираргирит и, возможно, стефанит.

Предположение о существовании высококонтрастных по серебру руд оловянного ряда дало основания для рассмотрения минералого-геохимических особенностей таких месторождений на примере двух крупных и своеобразных регионов Северо-Востока – Омсукчанской и Тенькинской металлогенических зон, в которых близповерхностная оловянная и серебряная минерализация связана во времени и пространстве со становлением структур Охотско-Чукотского вулканогенного пояса.

Глава 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, ГЛАВНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОМСУКЧАНСКОЙ И ТЕНЬКИНСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ЗОН

Геолого-структурная позиция месторождений Омсукчанской и Тенькинской металлогенических зон

Омсукчанская металлогеническая зона территориально совпадает с Балыгычан-Сугойской (Омсукчанской) рифтогенной впадиной [Умитбаев, 1986], называемой также грабеном [Белый, 1978] или прогибом, относимым к поперечным структурам Северного Приохотья [Политов, 1972, 1980]. В "Очерках металлогении..." [1994] структура в целом названа Омсукчанским континентальным рифтом и, как и Охотско-Чукотский вулканогенный пояс (ОЧВП), отнесена к постаккреционным образованиям. Она приурочена к крупному Омсукчанскому глубинному разлому, определяющему положение обширного поля позднемеловых вулкаников кислого состава – Главной линейной вулканоструктуры, или Кэнской вулканической полосы [Умитбаев, 1986; Гельман и др., 1986; Политов, 1980].

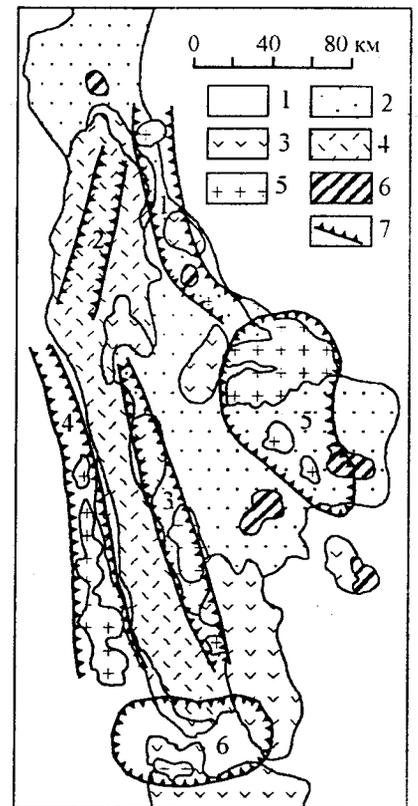
Своеобразие металлогенической специализации региона определяется сочетанием разнообразных минеральных типов золото-серебряных и серебряных, оловорудных и серебро-полиметаллических месторождений. Оловосодержащее оруденение сосредоточено в линейных рудных зонах – Джагынской, Кэнской, Невской и Останцовской и рудных узлах – Егорлыкском, Омсукчанском и Пестринском [Политов, 1980; Геология ..., 1986] (рис. 3).

Рис. 3. Схема металлогенического районирования Омсукчанской металлогенической зоны [Политов, 1980]: 1 – образования геосинклинали комплекса (Т–J); 2 – континентальные эффузивные и осадочные образования (K_1); 3 – вулканики кислого и среднего состава (K_1 – K_2); 4 – риолиты Главной линейной вулканоструктуры; 5 – оловоносные граниты; 6 – прочие интрузивные породы; 7 – контуры оловоносных площадей. Рудные зоны: 1 – Джагынская, 2 – Кэнская, 3 – Невская, 4 – Останцовская; рудные узлы: 5 – Омсукчанский, 6 – Пестринский

Исследуемые месторождения размещены в северной части Главной вулканоструктуры и к востоку от нее в пределах Кэнской (Малый Кэн, Мечта) и Джагынской (Тидид) рудных зон, а также в южной части Омсукчанской впадины на ее сочленении с зоной субширотных разломов, являющихся продолжением разлома Улахан [Геология ..., 1986], в Пестринском рудном узле (Ирча, Гольцовый, Порфиновый).

Джагынская рудная зона

Ново-Джагынское интрузивно-купольное поднятие располагается в узле пересечения глубинных разломов: одной из ветвей широтного Буюндино-Гижигинского, меридионального Омсукчанского и разрывов северо-восточного и северо-западного простирания [Калинин и др., 1984]. Ядро структуры – центральный лакколит, сложенный двумя разновидностями пород: олигофировыми и афировыми фельзитовидными риолитами и витрокластическими пепловыми игнимбритами. Есть указания на фациальный характер связи между этими двумя разновидностями пород. Достаточно часты ороговикованные ксенолиты осадочных пород и андезибазальтов кровли, а также породы группы мобилизитов: брекчии и туффзиты. Отмечен субщелочной характер пород, аналогичный характеру



пород аскольдинской свиты Дукатского рудного поля, но при этом породы центрального лакколита, видимо, более молодые и могут иметь даже посленаыханский возраст. Породы рамы представлены стратифицированными образованиями омсукчанской и наяханской свит. Центральный лакколит обрамляется “кольцевыми дайками”, которые большая часть исследователей определяют как покровные образования омсукчанского возраста.

Гидротермальные образования в пределах Ново-Джагынского купола представлены метасоматическими и жильными, причем по количеству жильных образований структура сопоставима с Дукатским рудным полем. Метасоматиты подразделяются на автосоматиты, контактовые метасоматиты и низко- и среднетемпературные пропилиты, среди которых преобладают кварц-серицитовые, хлорит-гидрослюдистые и альбит-эпидотовые. Жильные тела характеризуют два крупных этапа оруденения: касситерит-силикатный и серебро-полиметаллический, проявленные в пределах соответственно Ново-Джагынского и Тидидского рудных полей. При этом считается возможным существование раннего донаыханского цикла гидротермальной деятельности, к которому может быть отнесен ранний цикл оловянного оруденения (предположительно таватумского возраста). По составу выделяются следующие жилы: кварцевые, хлорит-кварцевые, эпидот-кварцевые, актинолит-кварцевые, альбит-кварцевые, турмалин-хлорит-кварцевые, магнетит-гематит-кварцевые, сульфидно-кварцевые и собственно сульфидные.

Рудное поле месторождения Тидид (рис. 4) находится на северо-западном замыкании Ново-Джагынской интрузивно-купольной структуры и имеет двухъярусное строение: в нижнем ярусе – дислоцированные осадочные отложения омсукчанской свиты, в верхнем – недислоцированные покровы игнимбритов наяханской свиты. Структура рудного поля и месторождения определяется сочетанием до- и постэффузивных нарушений, причем рудоконтролирующими являются широтные и субширотные разломы доэффузивной системы.

В пределах месторождения выделены две группы рудных зон – размещенные в пологопадающих и в крутопадающих разломах. Ведущая роль принадлежит пологопадающим рудным зонам, либо размещенным в контакте отложений омсукчанской и наяханской свит, либо рассекающим игнимбриты наяханской свиты. Зоны с промышленным оруденением являются типичными зонами прожилково-вкрапленной минерализации мощностью от долей метра до 10–12 м с согласной стержневой жилой сложного строения мощностью до 0,5–0,7 м.

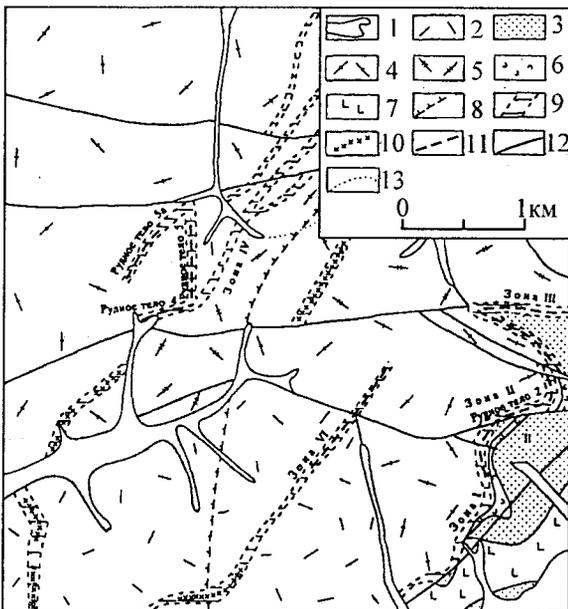


Рис. 4. Схематическая геологическая карта месторождения Тидид [Колесников, Шатков, 1994]: 1 – аллювиальные отложения Q; 2 – полифировые риодациты покровной фации K_2 ; 3 – алевриты, песчаники K_1 ; 4,5 – экструзивно-субвулканический массив полифировых риодацитов K_2 ; 4 – экструзивная фация, 5 – субвулканическая фация; 6,7 – вулканические породы субвулканической фации; 6 – олигофировые риолиты K_2 ; 7 – андезибазальты $K_{1,2}$; 8 – контур расположенного на глубине гранитного массива (по геофизическим данным); 9 – околорудные аргиллизиты; 10 – зоны сульфидного прожилкования; 11 – сульфидные и кварц-сульфидные жилы; 12 – разрывные нарушения; 13 – межфациальные границы риодацитов

Кэнская рудная зона

Рудное поле месторождения Мечта (рис. 5) находится на удалении от Ново-Джагынской структуры, в 15 км к западу, в узле сочленения субмеридионального Мечтинского разлома с Кэнской ветвью Буюндино-Гижигинского глубинного разлома (по данным А. И. Калинина, 1981 г.; Ю. С. Бочарникова, Ю. Н. Роднова). Вмещающими оруденение являются кристаллокластические игнимбриты верхней толщи наяханской свиты, залегающие субгоризонтально. В поле игнимбритов размещаются многочисленные дайки фельзитов и порфировых риолитов позднего

Рис. 5. Схематическая геологическая карта месторождения Мечта [Колесников, Шатков, 1994]: 1 – полифировые риодациты покровной фации K_2 ; 2,3 – вулканические породы дайкового комплекса: 2 – андезибазальты $P(?)$; 3 – афировые и олигофировые риолиты субвулканической фации K_2 ; 4 – афировые риолиты субвулканической фации K_2 ; 5 – полифировые риодациты экструзивной фации K_2 ; 6 – околорудные аргиллизиты; 7 – зоны сульфидного прожилкования; 8 – сульфидные и кварц-сульфидные жилы; 9 – разрывные нарушения

мела, сгруппированные в три субширотных пояса, а также не столь многочисленные дайки базальтов палеогена, встречающиеся в этих же дайковых поясах. И те и другие являются пострудными. К западу от центральной части рудного поля находится субвулканическое тело позднемеловых невадитов.

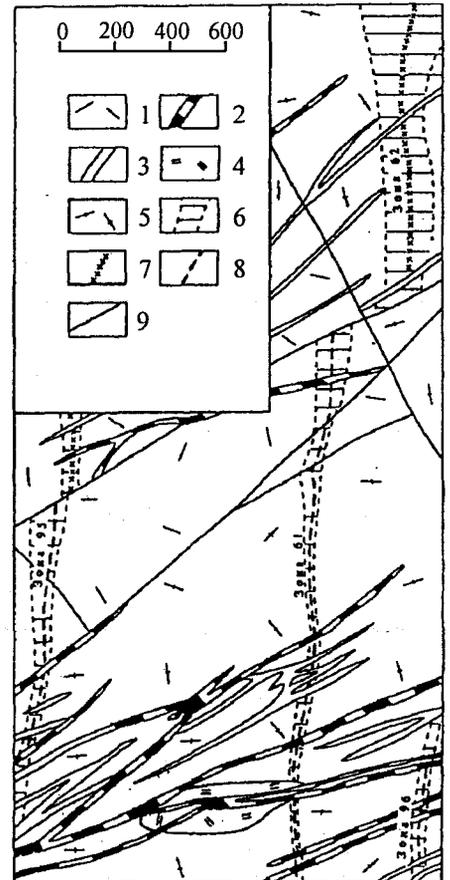
Собственно месторождение представляет собой протяженную субмеридиональную зону гидротермально измененных игнимбритов наяханской свиты. В пределах площади пропилитизированных пород отчетливо проявлены линейные зоны интенсивной каолинизации, серицитизации, лимонитизации, окварцевания. Рудовмещающими являются крутопадающие субмеридиональные протяженные разрывы, сгруппированные в полосу шириной около 1,5 км.

Промышленное оруденение сосредоточено в трех зонах, осевой частью которых являются жилы сульфидно-хлорит-кварцевого (реже с полевым шпатом) состава, с пережимами и раздувами. Протяженность зон до 6 км. Сульфиды, составляющие до 30% объема жилы, слагают гнезда, линзы, прожилковые обособления (фототабл. 1).

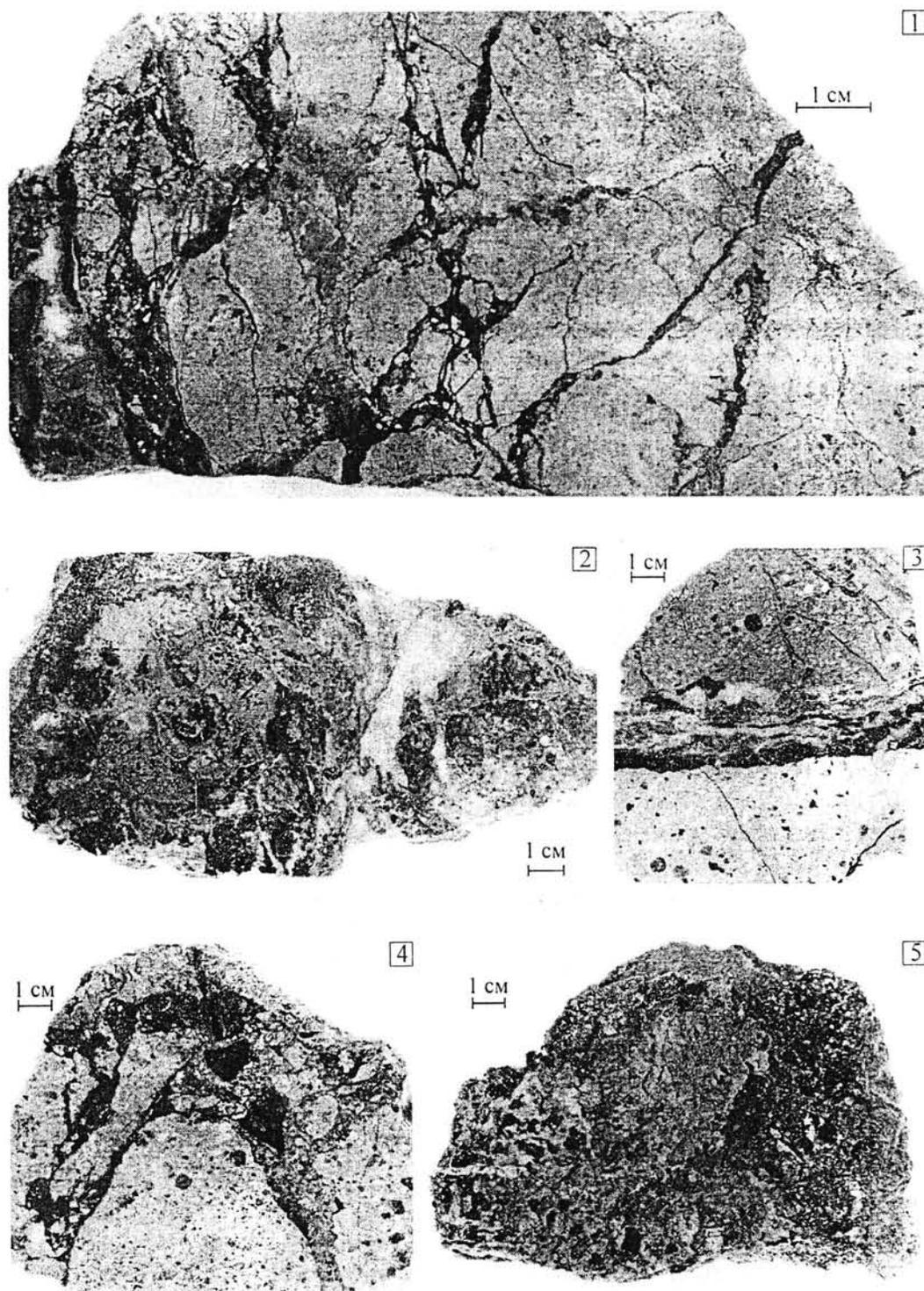
Рудное поле Мало-Кэнского месторождения, располагающегося в 8 км к югу от месторождения Мечта, находится в той же зоне пересечения субмеридиональных структур Омсукчанского рифтогенного прогиба субширотной Буюндино-Гижигинской зоной разломов. По данным М.Р.Придатко, О.И.Чухровой, М.С.Шнайдера, в строении рудного поля, представляющего собой локальную вулканоструктуру обрушения [Сидоров и др., 1989], участвуют преимущественно ксенокластолавы и игнимбриты риолитов наяханской свиты. Интрузивные образования представлены в основном позднемеловыми дайками кислого состава, сгруппированными в два пояса северо-восточного простирания. В пределах рудного поля отмечаются пропилитизация (от слабой до умеренной) и локальные, более интенсивные аргиллизитовые изменения вдоль рудных зон. Протяженность рудных зон с промышленным оруденением от первых сотен до 1700 м (рудная зона № 1 участка “Паук”) при мощности до 100 м и вертикальном размахе до 300 м. Это зоны интенсивного перетиранья покровных и экструзивных вулканитов, претерпевшие неоднократные подновление и приоткрывание и гидротермально проработанные, в которых размещены серии жильных тел сложного строения. Предполагают, что рудоносные тела, приуроченные к минерализованным зонам дробления, в разрезе образуют сходящийся на глубине пучок. Состав жил хлорит-кварцевый с касситеритом, полевым шпатом, сульфидами и карбонатами. Руды преимущественно тонкозернистые, обладающие всеми признаками метасоматического формирования.

Пестринский рудный узел

Из месторождений этого узла, территориально совпадающего с Пестринской интрузивно-купольной структурой, рассматриваются Ирчинское оловорудное месторождение, серебро-полиметаллическое месторождение Гольцовый и проявление Порфиоровый.



Фототаблица 1



Текстуры руд месторождения сульфoантимонитового минерального типа (Мечта): 1 – прожилково-брекчиевая, вмещающие – риодациты, прожилки кварцево-сульфидного состава; 2 – метасоматического замещения, светлое – кварц, сульфиды – сфалерит, пирит, халькопирит, галенит; 3 – прожилковая, кварцево-сульфидный прожилок в риолитах; 4 – брекчиевая, обломки риолитов и осадочных пород цементируются кварцем и сульфидами; 5 – пятнистая и цементная текстуры руды существенно сульфидного состава

Рудное поле месторождения Ирча расположено в юго-восточной части Пестринского рудного узла, в Верхне-Кальянском вулкано-тектоническом блоке, отграниченном долгоживущими разломами от Пестринской интрузивно-купольной и Тапской и Герамрынской вулкано-тектонических структур. На площади выделяются породы двух структурных ярусов: нижнего, представленного сложно дислоцированными вулканогенно-осадочными толщами верхоянского комплекса, и верхнего, представленного вулканогенно-осадочными породами кальянской свиты раннего мела и позднемеловыми покровными эффузивами таватумской и наяханской свит [Ананьин и др., 1980]. В центральной части рудного поля располагается вытянутый в субмеридиональном направлении шток, сложенный диоритами и габбро K_2 , рассеченный субвулканическим телом невадитов K_2 и базальтовыми дайками F .

Оруденение концентрируется преимущественно в породах таватумской свиты, подразделяемых на два горизонта – нижний (переслаивающиеся андезиты, их туфы, туфобрекчии с прослоями и линзами туфопесчаников) и верхний (игнимбриты и туфы риолитов). В плане это линейно вытянутый в северо-западном направлении на 3,5 км пояс гидротермально измененных вулканогенных и осадочных пород, положение которого контролируется Невским глубинным разломом, определившим и локализацию субвулканических тел. Главная рудная зона месторождения представляет собой линейный штокверк (простираение СЗ 330° , падение ЮЗ $\angle 65-80^\circ$) с прожилково-вкрапленной минерализацией, а также линзовидными послойными, гнездообразными и трубчатыми метасоматическими телами. Преобладающие минералы руд в центральной части – сульфиды, касситерит, кальцит, кварц; на периферии также турмалин и хлорит, количество сульфидных минералов при этом заметно сокращается.

Рудное поле проявления Порфиоровый в 3 км к юго-западу от месторождения Ирча (данные Н.Т. Дорофеева, 1969 г.) имеет также двухъярусное строение, стратифицированные толщи прорваны субвулканическими телами андезитового и андезидацитового состава, более поздним жильнообразным телом невадитов K_2 и дайками базальтов палеогена. На площади преобладают две системы нарушений – северо-западного и северо-восточного простирания, причем северо-восточные сдвиги и сбросо-сдвиги по простиранию совпадают с направлением Невской зоны. Зоны дробления и повышенной трещиноватости северо-западного простирания представляют собой систему субпараллельных разрывов примерно 300–400 – 500–600 м в центральной части площади. Гидротермальные кварц-карбонатные, кварцевые, турмалин-кварцевые и сульфидно-кварцевые жилы и прожилки имеют линзо- или четковидную форму и приурочены преимущественно к разрывам северо-западного простирания. Мощности незначительны – 10–15 см при протяженности в пределах первых десятков метров (не более 70–100 м).

На месторождении Гольцовый (данные А. И. Калинина, Ю. С. Бочарникова, Ю. Н. Роднова) оруденение размещается на ряде участков, расположенных вдоль Верхне-Тапского глубинного разлома (к северо-северо-западу от Пестринского массива). Структурная зональность рудного поля определяется наличием двух структурных ярусов – нижнего терригенного складчатого и верхнего вулканогенного недислоцированного – и слоистостью вулканогенной толщи. Выделены три основных типа рудоносных образований: пологие зоны прожилково-вкрапленной минерализации и жилы (в том числе и в стратиграфических контактах); крутые продольные зоны прожилково-вкрапленной минерализации и жилы; крутые поперечные зоны прожилково-вкрапленной минерализации. Наиболее продуктивное серебряное оруденение характеризует пологие зоны менее нарушенных блоков, в более нарушенных блоках отмечено прерывистое оруденение в стратиграфическом контакте андезитов и туфов. Отчетлив литологический контроль оруденения – наиболее благоприятны терригенные верхнетриасовые отложения и игнимбриты наяханской свиты. На территории рудного поля широко развиты сложные по форме тела невадитовых гранит-порфиров: крутопадающие дайки в зоне Верхне-Тапского разлома и мощные силлы в вулканиках наяханской свиты. На отдельных участках комбинации этих тел образуют структуры типа брахиантиклинальных складок, куполов или пологих мульд. Наиболее продуктивное оруденение размещается непосредственно под экраном гранит-порфиров. Состав руд по преимуществу полисульфидно-кварцевый, поздние прожилки имеют кварц-кальцитовый состав. Рудные зоны сопровождаются линейными гидрослюдисто-кварцевыми аргиллизитами, окаймленными карбонатом. Мощности рудных зон от первых до десятков метров, их протяженность до сотен метров. Гольцовый в структурном и вещественном отношении считается полным аналогом месторождения Тидид (данные А. И. Калинина).

Тенькинская рудная зона

Тенькинская рудная зона является одной из наиболее крупных среди составляющих Аян-Юряхскую металлогеническую зону Яно-Колымской металлогенической системы [Гельман и др., 1986]. Территориально она совпадает с тенькинским фрагментом зоны крупного Адыча-Тенькинского глубинного разлома ([Шахтыров, 1997], рис. 6) области "рассеянного рифтогенеза". Рудоносность зоны разлома определяют золотые, золото-серебряные, оловорудные и олово-серебро-полиметаллические месторождения.



Рис. 6. Схема геологического строения Тенькинского глубинного разлома (по В. Г. Шахтырову [1997]): 1 – синклинали; 2 – антиклинали; 3 – тектономагматогенно-рудные купола; 4 – гранитоидные массивы; 5 – покровные вулканиты; 6 – золоторудные месторождения; 7 – олово-серебро-полиметаллические месторождения. Цифры на схеме – месторождения: 1 – Родионовское, 2 – Игуменовское, 3 – Павлик, 4 – Наталка, 5 – Дегдекан, 6 – Токичан, 7 – Токичанское, 8 – Тигрец-Индустрия

По данным В. Г. Шахтырова, Тенькинская антиклиналь является надразломной структурой и по латерали расчленяется на серию овальных куполов (Дегдекан-Арга-Юряхский, Омчакский, Пионерский), с которыми пространственно совпадают золоторудные узлы. Исследуемые месторождения и проявления (Тигрец-Индустрия, Кочевой, Токичанское) размещаются в самом северном из этого ряда куполов – Дегдекан-Арга-Юряхском.

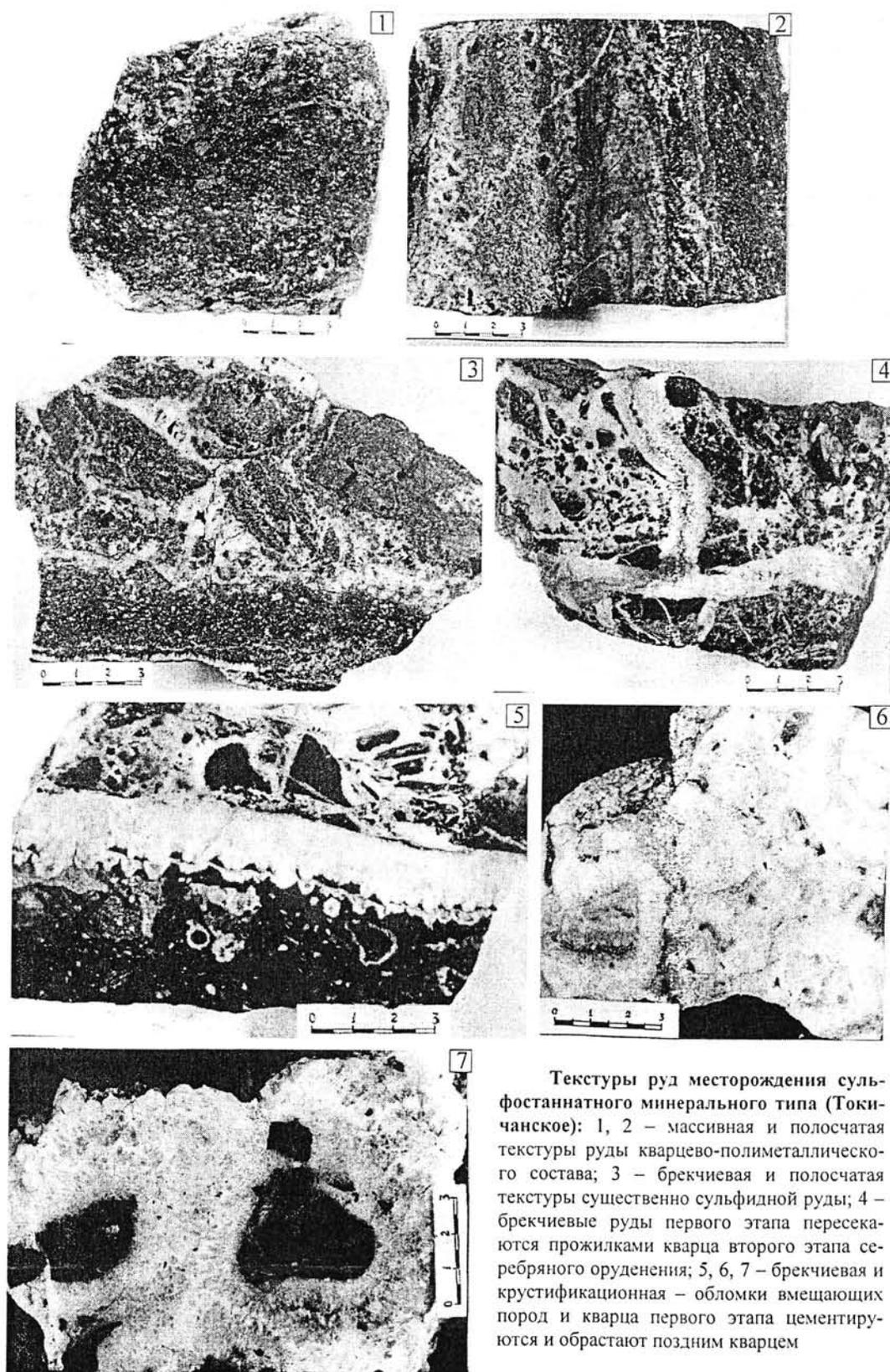
В рудном поле месторождения Тигрец-Индустрия (рис. 7) оруденение пространственно ассоциирует с лакколитообразным вулканическим телом (около 1,5 км в поперечнике), прорывающим и метаморфизиующим песчано-глинистые сланцы тасской свиты P_2 (ядро Тенькинской антиклинали [Лычагин, 1967]). Субвулканическое тело сложено преимущественно гранит-порфирами с обломками вулканического стекла, в эндоконтакте широко развиты эксплозивные брекчии с обломками вмещающих пород. Гранит-порфиры аргиллизированы, причем снизу вверх степень аргиллизации возрастает (до полного замещения глинисто-слюдястым материалом вкрапленников полевых шпатов). Новообразованные минералы – альбит, серицит, кварц, карбонат – соответствуют изменениям по типу вторичных кварцитов.

Рудные тела представлены сульфидными, кварц-сульфидными и карбонатно-сульфидными жилами и прожилками и минерализованными зонами дробления, преимущественно северо-восточного простирания. Отмечается отчетливая латеральная зональность в размещении рудных тел различного состава (по данным Э. Г. Абисалова). В центральной части субвулканического тела

известны кварц-касситерит-пирит-арсенопиритовые жилы и прожилки ранней стадии и вкрапленность мелких кристаллов и колломорфных агрегатов касситерита, а в северном эндоконтакте – жилы, прожилки и зоны вкрапленности пирит-халькопирит-пирротинового состава. Кварц-карбонатно-сульфидные тела размещены в глинистых сланцах, длина отдельных жил примерно 100–150 м при мощности от первых десятков сантиметров до 1,5 м. Эти тела и представляют собственно продуктивные на серебро образования полисульфидной стадии, следующей за кварц-касситеритовой (фототабл. 2).

Необходимо отметить ореолы пиритизации и карбонатно-полисульфидные (пирротин, сфалерит, в меньшей степени галенит) прожилки в плотике руч. Индустрия и жилы друзовидного кварца, представляющие второй этап серебряного оруденения, в восточной части рудного поля.

Фототаблица 2



Текстуры руд месторождения сульфостаннатного минерального типа (Токичанское): 1, 2 – массивная и полосчатая текстуры руды кварцево-полиметаллического состава; 3 – брекчиевая и полосчатая текстуры существенно сульфидной руды; 4 – брекчиевые руды первого этапа пересекаются прожилками кварца второго этапа серебряного оруденения; 5, 6, 7 – брекчиевая и крустификационная – обломки вмещающих пород и кварца первого этапа цементируются и обрастают поздним кварцем

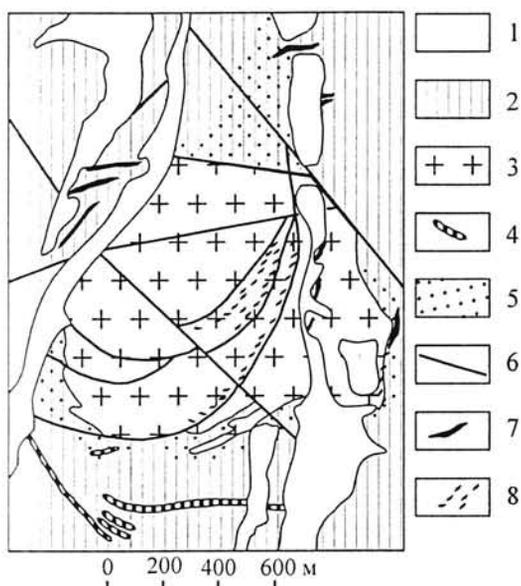


Рис. 7. Схематическая геологическая карта рудного поля Тигрец-Индустрия (по материалам Ю. П. Карелина, А. И. Бельцова, Л. С. Киселевой [1986 г.]): 1 – четвертичные отложения; 2 – верхнепермские песчано-сланцевые отложения тасской свиты; 3 – верхнемеловые субвулканические тела гранит-порфиров; 4 – дайки грейзенизированных верхнемеловых гранодиорит-порфиров; 5 – зоны контактовых изменений; 6 – тектонические нарушения; 7 – жилы; 8 – жильные зоны

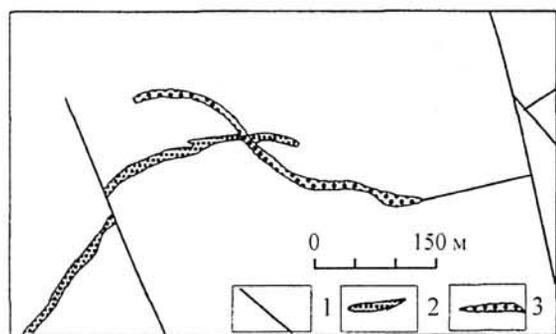


Рис. 8. Соотношение рудных тел двух этапов серебряного оруденения Тенькинской металлогенической зоны (Токичанское месторождение): 1 – разрывные нарушения; 2 – олово-серебро-полиметаллические жилы раннего этапа; 3 – жилы второго этапа с Se-канфильдитом

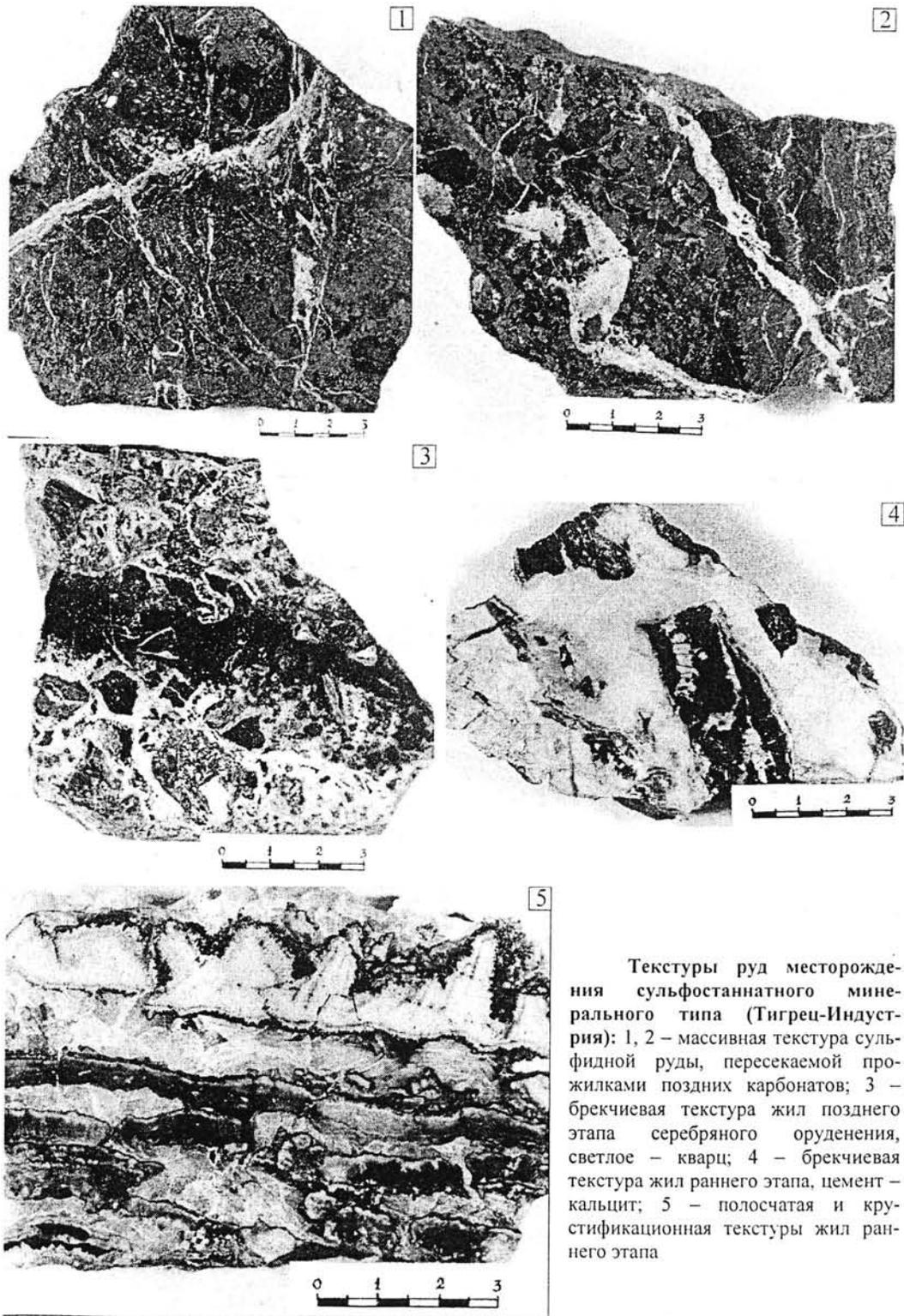
Рудное поле месторождения Токичанское находится в 12 км к югу от месторождения Тигрец-Индустрия также в песчано-глинистых сланцах тасской свиты P_2 , местами слабо ороговикованных (данные Б. А. Иванова). В них прослежена прожилково-жильная зона, вытянутая в северо-восточном направлении на 350 м, имеющая мощность от 5–6 до 15–20 м и состоящая из кулисообразно расположенных кварц-сульфидных жил и линзовидных тел. Мощность наиболее крупной жилы достигает 10 м. Простираение жил северо-восточное, падение 30–70°. Эти рудные тела отнесены к полисульфидной стадии рудоотложения. Еще при первых исследованиях руд месторождения было выделено не менее двух этапов последующего дробления и цементации кварцевым и кварц-гидрослюдистым материалом. При этом важно, что второй этап представляет собой самостоятельную фазу оруденения со своеобразной станнин-селеноканфильдитовой минерализацией, достаточно широко проявленную в пределах рудного узла (фототабл. 3). На рассматриваемом месторождении это секущая кварц-полиметаллические тела кварцевая жила (рис. 8) брекчиевой текстуры, слагаемая обломками сланцев и кварц-сульфидных руд, цементируемые “друзовидным” кварцем с редкой вкрапленностью сульфидов и станнин-селеноканфильдитовых сростаний. Поздний Mn-кальцит, отлагавшийся в мелких друзовых полостях, завершил второй этап рудогенеза.

Подобна ситуация на рудопроявлении руч. Кочевой, располагающемся в верховьях руч. Индустрия, в 8 км к югу от месторождения Тигрец-Индустрия, в породах тасской и атканской свит перми. В приустьевой части известна жильная зона небольшой протяженности общей мощностью не менее 40 м северо-западного простираения. Мощность отдельных жил от 30–40 см до 1–1,5 м, текстуры по преимуществу брекчиевые и полосчатые, состав полевошпат-кварцевый, часты небольшие друзовые полости (фототабл. 4). Кварц содержит редкую вкрапленность мелких выделений сульфидов и сростаний станнин-селеноканфильдитового состава. В средней части русла вскрыта жильная зона с серебро-полиметаллической минерализацией, но степень сульфидности руд здесь значительно ниже, чем на месторождениях Тигрец и Токичанское. В верховьях отмечаются кварцевые с незначительной сульфостаннатной минерализацией или кварц-кальцитовые с пластинчатым Mn-кальцитом прожилки. Таким образом, и здесь наблюдаются рудные тела двух этапов.

Схемы последовательности минералообразования

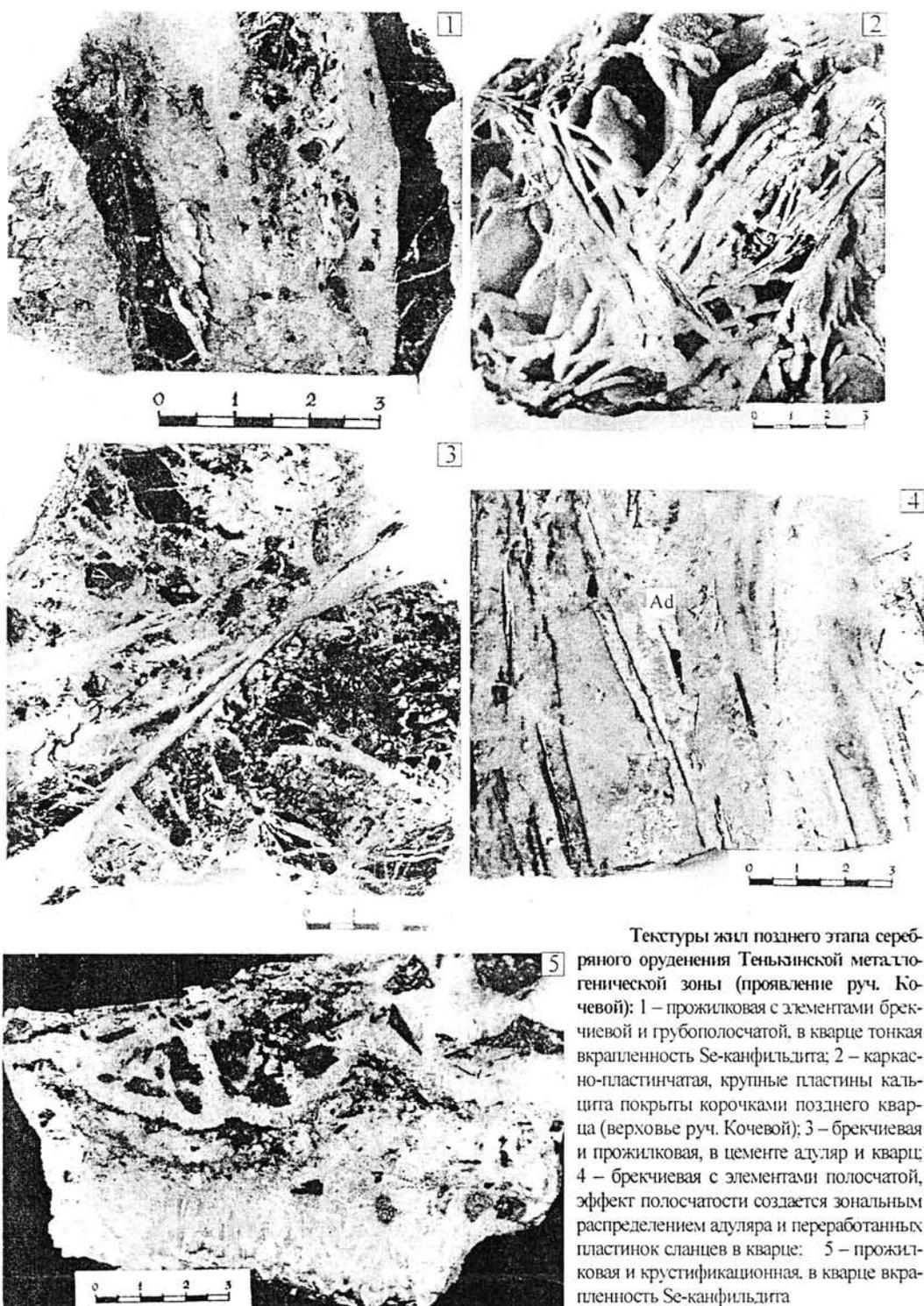
Схемы последовательности минералообразования разработаны для руд различных месторождений с разной степенью детальности. На основе собственных материалов автора и с использованием опубликованных и фондовых работ составлены обобщенные схемы стадийности и последовательности отложения парагенетических ассоциаций минералов (табл. 3) и проведено сопоставление этих схем по месторождениям рассматриваемых металлогенических рудных зон и узлов.

Фототаблица 3



Текстуры руд месторождения сульфостаннатного минерального типа (Тигрец-Индустрия): 1, 2 – массивная текстура сульфидной руды, пересекаемой прожилками поздних карбонатов; 3 – брекчиевая текстура жил позднего этапа серебряного оруденения, светлое – кварц; 4 – брекчиевая текстура жил раннего этапа, цемент – кальцит; 5 – полосчатая и крустификационная текстуры жил раннего этапа

Фототаблица 4



Текстуры жил позднего этапа серебряного оруденения Теньзинской металлогенической зоны (проявление руд. Кочевой): 1 – прожилковая с элементами брекчиевой и грубополосчатой, в кварце тонкая вкрапленность Se-канфилдита; 2 – каркано-пластинчатая, крупные пластины кальцита покрыты корочками позднего кварца (верховье руд. Кочевой); 3 – брекчиевая и прожилковая, в цементе адюляр и кварц; 4 – брекчиевая с элементами полосчатой, эффект полосчатости создается зональным распределением адюляра и переработанных пластинок сланцев в кварце; 5 – прожилковая и кристаллизационная, в кварце вкрапленность Se-канфилдита

Таблица 3

**Последовательность минералообразования в рудах
олово-серебро-полиметаллических месторождений Северо-Востока России**

Металлогеническая зона				
Омсукчанская		Тенькинская		
Стадия минералообразования	Минеральный парагенезис	Этап	Стадия минералообразования	Минеральный парагенезис
Арсенопирит-хлорит-кварцевая	Хлорит-кварцевый	Касситерит-силикатно-сульфидный	Кварц-касситеритовая	Касситерит-кварцевый
	Арсенопирит-кварцевый (пирит, касситерит)			Пирит-арсенопиритовый
Полисульфидная	Арсенопирит-кварцевый (пирротин, гудмундит)	Олово-серебро-полиметаллический	Полисульфидная	Кварц-арсенопиритовый
	Халькопирит-станнин-сфалеритовый			Сфалерит(пирротин)-халькопиритовый
	Буланжерит-галенитовый с фрейбергитом, пираргиритом			Касситерит-галенитовый с минералами Ag
(Сульфоантимонитов Ag)	(Фрейбергит-диафорит-миаргиритовый)			(Марказит-пиритовый) (Гидромусковит-кварцевый)
	(Пираргирит-стефанитовый)		(Карбонатная)	(Кальцит-Fe-доломитовый)
Кварц-карбонатная	Кварц-кальцитовый (Арагонит, сидерит, Mn-сидерит, анкерит)			
		Селеноканфилдит-кварцевый	Друзовидного кварца	(Адуляр-кварцевый)
			Карбонатная	Станнин-селеноканфилдит-кварцевый Кварц-кальцитовый (Mn-кальцит)

Примечание. В скобки взяты названия минеральных парагенезисов и минералов, установленных на отдельных месторождениях группы.

Омсукчанская металлогеническая зона

Исследователи месторождений Джагынской и Кэнской рудных зон определяют образование руд в течение одного гидротермально-метасоматического этапа, разделяющегося на три-четыре главные стадии, каждую из которых характеризуют два-три минеральных парагенезиса.

Руды месторождения Тидид (по И. С. Раевской, М. Г. Добровольской, а также М. С. Сахаровой и др. [1985], А. А. Пляшкевич [1986]) отличает высокая степень общей сульфидности и сурьмянистости.

В пределах рудного поля различаются образования четырех стадий: кварц-хлорит-сульфидной, халькопирит-галенит-сфалеритовой, сульфосолей серебра и кальцит-арагонитовой. Многостадийность, осложненная периодами внутривстадийного дробления, определила появление разных генераций ряда минералов. В общей сложности выделяется восемь основных парагенетических ассоциаций минералов руд. Кварц-хлорит-сульфидная стадия начинается кварц-пирит-арсенопирит-пирротинным парагенезисом, сменяющимся кварц-хлорит-сфалерит-халькопиритовым, и завершается пирротин-арсенопирит-гудмундитовым. Эти минеральные комплексы наблюдаются в виде брекчиевых обломков в более поздних минеральных агрегатах или образуют отдельные фрагменты полистадийных жил. Минеральные парагенезисы следующей халькопирит-галенит-сфалеритовой стадии уже являются продуктивными на серебро: это халькопирит-станнин-сфалеритовая и буланжерит-галенит-сфалеритовая с пираргиритом и фрейбергитом минеральные ассоциации. Более поздние фрейбергит-диафорит-миаргиритовую и пираргирит-стефанитовую минеральные ассоциации относят к основной сереброносной стадии сульфосолей серебра.

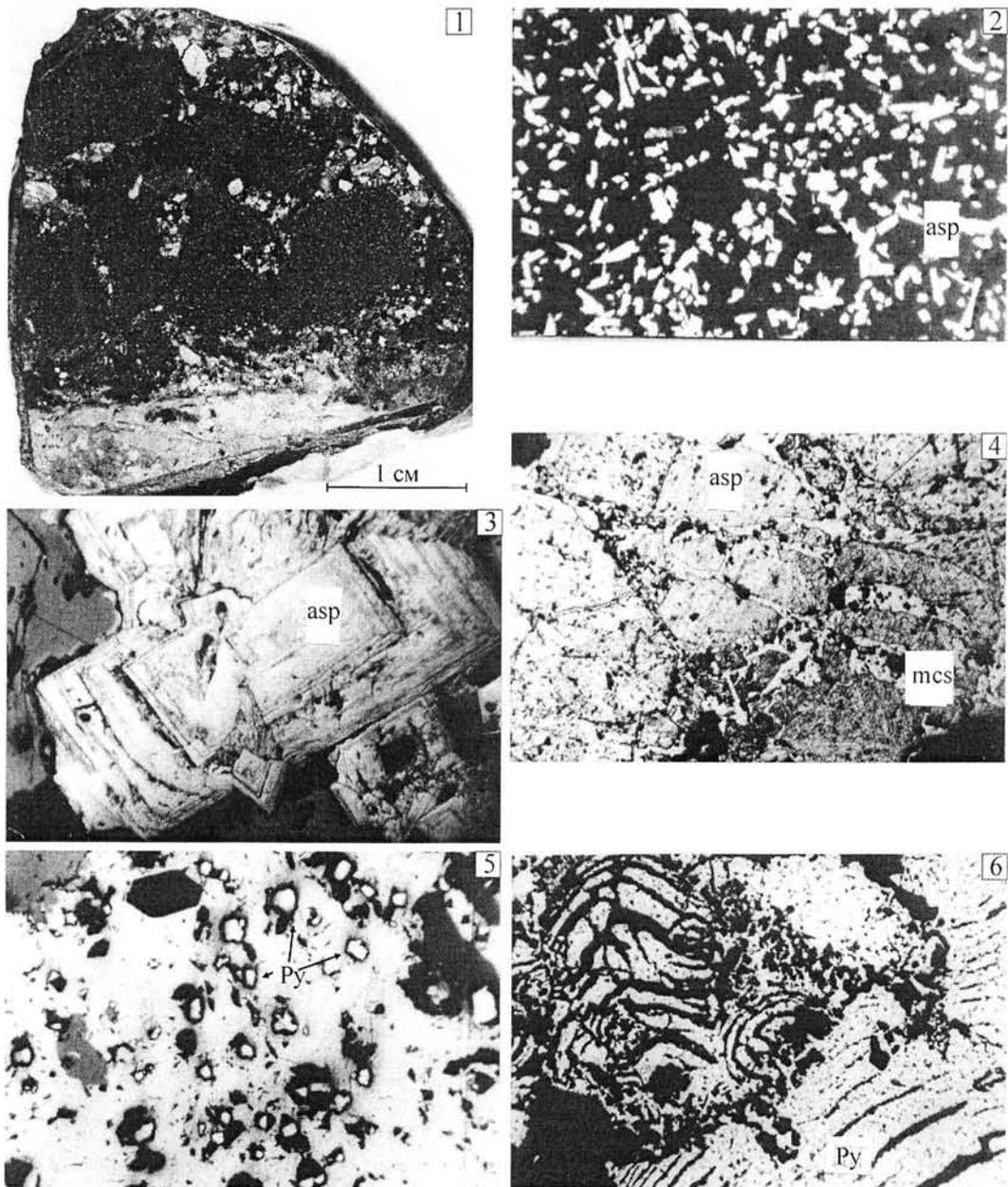
Поздний кальцит-аргонитовый парагенезис отмечен в секущих и согласных жилах и прожилках и является практически бессульфидным. Месторождение по структуре рудного поля, составу руд и парагенетических ассоциаций минералов, по последовательности рудоотложения чрезвычайно близко месторождению Гольцовый (Пестринский рудный узел [Калинин и др., 1984]).

В рудном поле месторождения Мечта выделены образования трех стадий эндогенной минерализации – хлоритовой, полисульфидной и карбонатной, включающих шесть ведущих парагенезисов [Пляшкевич, 1986, 1992; Добровольская, 1989; Сахарова и др., 1985]. Главные парагенетические ассоциации минералов хлоритовой стадии: хлорит-кварцевая, широко проявленная на всех горизонтах месторождения, минералы которой отлагались как метасоматическим путем, так и при заполнении трещин, и арсенопирит-кварцевая, вероятно, с незначительными количествами касситерита, несколько шире проявленная на глубоких уровнях рудных тел и отлагавшаяся метасоматическим путем (фототабл. 5: 1, 2). Образование минералов полисульфидной стадии началось с отложения жильного арсенопирит-кварцевого парагенезиса, роль которого снижается с уменьшением глубины (фототабл. 5: 3, 4). Основной продуктивной на серебро является халькопирит-галенит-сфалеритовая минеральная ассоциация (фототабл. 6: 1, 4) со станнином и сульфосолями серебра, причем возможно ее подразделение на галенит-сфалеритовую с сульфосолями серебра и халькопирит-фрейбергитовую (в порядке отложения). Главные минералы серебра – Fe-фрейбергит и пираргирит. Этот парагенезис развит широко по всему вертикальному разрезу с тенденцией к увеличению его роли на верхних уровнях рудных тел. Пирит-марказитовая парагенетическая минеральная ассоциация, роль которой с глубиной возрастает, является наиболее поздней полисульфидной стадии (см. фототабл. 5: 4–6) и представляет собой результат изменений минералов ранних парагенезисов (глобулярный пирит, мельниковит-пирит, марказит-сидеритовый агрегат, цементирующие раздробленный арсенопирит). Поздний карбонатный парагенезис выражен слабо, положение его обычно – тонкие прожилки, секущие все образования более ранних стадий.

На месторождении Малый Кэн два последовательных минеральных парагенезиса кварц-хлорит-касситеритовой стадии – серицит-кварцевый и касситерит-хлорит-полевошпат-кварцевый основные продуктивные на олово (Н. Е. Савва [1980]; данные М. Р. Придатко, О. И. Чухровой, М. С. Шнайдера). Наиболее интенсивно они развиты в экструзивном теле северо-восточной части рудного поля (участок “Паук”). Минеральные парагенезисы полисульфидно-кварцевой (сульфидной [Политов, 1980]) стадии – кварц-арсенопиритовый, кварц-халькопиритовый, сфалерит-галенитовый – шире всего проявлены на юго-востоке, на участке “Баргузин”. Сереброносность руд определяется как присутствием собственных минералов серебра – Ag-содержащей блеклой руды, сульфоантимонитов, акантита, Ag самородного, так и повышенными содержаниями серебра в основных сульфидах: халькопирите, арсенопирите, сфалерите, галените (до 0,11%).

В рудном поле месторождения отмечается отчетливая минералогическая зональность: по латерали с запада на восток возрастает роль аргиллизитов и поздних минеральных ассоциаций, в том числе и завершающей анкерит-кварц-кальцитовой с антимонитом, а сверху вниз увеличиваются содержания в рудах сульфидов и касситерита; наиболее богатые руды характеризуют интервал 900–750 м, ниже концентрации олова и серебра падают. Строение отдельных рудных тел также зонально: от центра к зальбандам жил и флангам происходит смена ранних оловосодержащих парагенезисов сульфидным (часто с заметным преобладанием халькопирита) и кварц-карбонатным.

Фототаблица 5



Взаимоотношения основных сульфидов руд месторождения сульфоселенитового минерального типа (Мечта): 1 – обломки вмещающих пород с тонкой вкрапленностью арсенопирита 1 цементируются кварц-сульфидным агрегатом поздних стадий, $\times 2,5$; 2 – фрагмент обломка с фото 1, $\times 90$; 3 – зональное строение арсенопирита 2, протравлено, $\times 120$; 4 – арсенопирит 2 раздроблен и цементируется марказитом, $\times 120$; 5 – замещение халькопирита глобулярным пиритом, $\times 150$; 6 – мельниковит-пирит, $\times 120$

Пестринский рудный узел

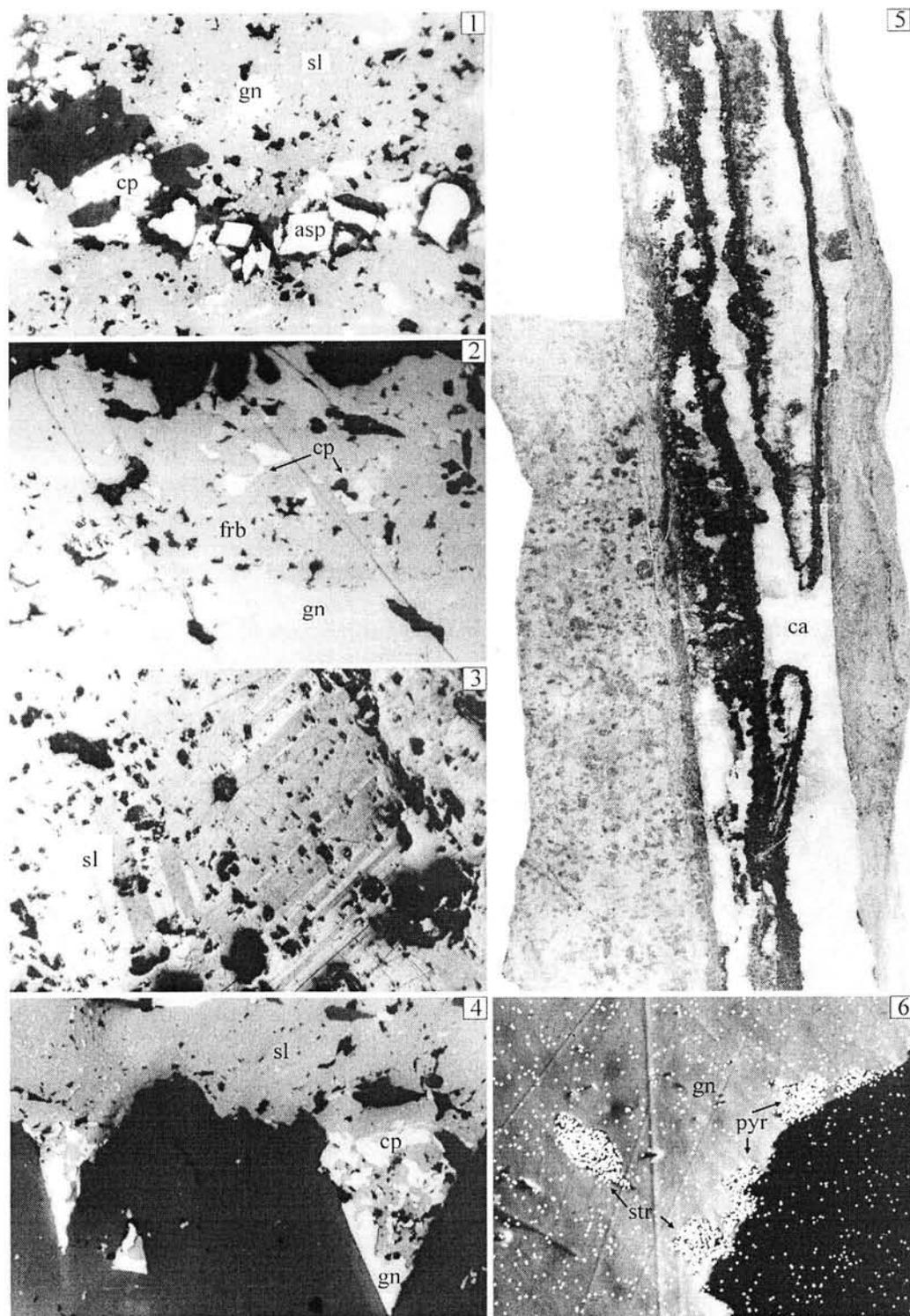
Проведение минералогических исследований руд Главной рудной зоны Ирчинского месторождения позволило несколько уточнить и дополнить составленную ранее [Ананьин и др., 1980] схему последовательности минералообразования, выделив три стадии эндогенной минерализации и шесть основных парагенетических минеральных ассоциаций. Самая ранняя – касситерит-турмалиновая стадия – главная продуктивная на олово. В течение этой стадии отлагались два основных минеральных парагенезиса: хлорит-турмалиновый “предрудный” и касситерит-кварцевый. Хлорит-турмалиновая минеральная ассоциация широко проявлена по всему вертикальному разрезу со значительными колебаниями в соотношениях турмалина и хлорита (возрастание роли хлорита с уменьшением глубины и в центральных частях рудной зоны), с образованием плотных “турмалинитов”, интенсивно хлоритизированных пород и хлорит-турмалиновой оторочки кварцевых прожилков. После умеренных подвижек и дробления этих метасоматитов отлагались минералы касситерит-кварцевого парагенезиса. Среди минеральных образований полисульфидной стадии выделяются три минеральных парагенезиса: кварц-арсенопиритовый, пирротин-халькопиритовый и галенит-сфалеритовый. Образования кварц-арсенопиритовой минеральной ассоциации шире всего развиты на нижних горизонтах, особенно в “турмалинитах”, а минералы пирротин-халькопиритового парагенезиса – на средних и верхних горизонтах рудной зоны, в приконтактной зоне субвулканического тела. Они цементируют раздробленный арсенопирит, выполняют осевые части и мелкие полости прожилков касситерит-турмалиновой стадии, образуют самостоятельные прожилки и сопровождающую их метасоматическую вкрапленность. Пирротин этой ассоциации интенсивно дисульфидизирован. Галенит-сфалеритовая серебросодержащая минеральная ассоциация развита локально, количество кварца весьма ограничено, а центральные части прожилков выполнены кальцитом (фототабл. 6: 5, 6). Минералы серебра по времени выделения одни из самых поздних, но докарбонатные. Флюорит-сидерит-кальцитовая минерализация (образования флюорит-карбонатной стадии) встречается почти на всех участках локализации сульфидных ассоциаций и на верхних горизонтах рудной зоны.

Рудопроявление Порфиоровый изучено значительно слабее, но, используя данные Н. Т. Дорофеева и Ю. Ф. Нехорошкова, можно достаточно уверенно выделить три главные стадии минерализации – турмалин-кварцевую, полисульфидно-кварцевую и кварц-карбонатную и ряд минеральных парагенезисов. При этом продуктивными на серебро являются образования полисульфидно-кварцевой стадии (сфалерит-халькопиритовый и, главное, галенит-кварцевый парагенезисы). Размах оруденения по вертикали не менее 150–200 м.

Гольцовское рудное поле характеризуется отчетливой зональностью в распределении основных минеральных ассоциаций, выраженной в обособлении последовательных парагенезисов минералов на различных гипсометрических уровнях. Процесс минералообразования разделяется, по данным А. П. Епифановой и М. С. Сахаровой и др. [1985], на четыре стадии (см. табл. 3), из которых продуктивны на серебро фрейбергит-сфалерит-сидеритовая и сульфоантимонит-галенитовая. Минеральные ассоциации этих двух стадий: сфалерит-пирротин-манганосидеритовая, проявленная на нижних горизонтах и флангах, фрейбергит-галенитовая и буланжерит-галенитовая с сульфоантимонитами серебра, отлагавшиеся в интервале 800–1100 м и выше. Отмечается пологое склонение границы минеральных ассоциаций на северо-восток.

Зональность осложнена совмещением минеральных парагенезисов разных стадий. Так, самая ранняя арсенопирит-пирит-кварцевая ассоциация на отдельных участках проявлена на всех горизонтах, а сфалерит-пирротин-манганосидеритовая – часто на верхних горизонтах минерализованных зон. К прямым указаниям на возможность существования на глубоких уровнях оловянного оруденения относят находки там касситерита и относительно более высокотемпературной халькопирит-пирротиновой минерализации.

Фототаблица 6



Сульфиды и минералы серебра оловянных (Ирча) и сульфоантимонитовых (Мечта) руд: 1 – взаимоотношения сфалерита, халькопирита, галенита и арсенопирита в сульфоантимонитовых рудах, $\times 120$; 2 – фрейбергит с эмульсионным халькопиритом в кайме выделения галенита, $\times 150$; 3 – полисинтетическое двойникование сфалерита, протравлено, $\times 120$; 4 – взаимоотношения сфалерита, галенита и халькопирита, фон – кварц, $\times 90$; 5 – поздняя сереброносная ассоциация в рудах Ирчи – корки галенит-сфалеритового состава сорваны и цементируются кальцитом, нат. вел.; 6 – фрагмент образца с фото 5 в характеристическом излучении Ag – штрмейерит и пираргирит в галените, $\times 500$, Камебак

Тенькинская металлогеническая зона

В пределах рудных полей месторождений Тенькинской металлогенической зоны известны образования двух этапов минерализации – собственно олово-серебряного и (предположительно) золото-серебряного (см. фототабл. 3, 4, 7), подразделяющиеся на пять главных стадий (см. табл. 3).

В рудном поле месторождения Тигрец-Индустрия отмечается зональное размещение рудных тел разных этапов и стадий минерализации по отношению к субвулканическому телу аргиллизированных гранит-порфиров. В нем известны минерализованные зоны пирит-арсенопирит-касситерит-кварцевого состава. Жилы и прожилки полисульфидной и карбонатной стадий, являющиеся олово- и сереброносными, локализованы в глинистых сланцах на северо-западе и западе рудного поля ([Лычагин, 1967; Смирнов, 1962], данные Э. Г. Абисалова). Рудные тела по правому борту руч. Индустрия (см. рис. 7), вероятно, могут быть отнесены к образованиям второго этапа серебряной минерализации (данные А. И. Бельцова). Оловоносны касситерит-кварцевый и касситерит-галенитовый с минералами серебра парагенезисы, последний является и главным сереброносным.

В верховьях руч. Индустрия (руч. Кочевой) известны жильные тела двух этапов олово- и сереброносной минерализации: полевошпат-сульфидно-кварцевые жилы с акантитом и канфилдитом и кварцевые жилы с адуляром, станнином и селеносодержащим канфилдитом, а также жилы и прожилки каркасно-пластинчатой текстуры с манганокальцитом.

Далее к югу на месторождении Токичанское в рудных телах этих двух этапов выделен ряд минеральных парагенезисов, среди которых олово- и сереброносными являются касситерит-сфалерит-галенитовый с минералами серебра (полисульфидная стадия первого этапа серебряной минерализации, центральная часть рудного поля) и станнин-селеноканфилдит-кварцевая жила второго этапа серебряной минерализации (см. рис. 8, табл. 3). Поздняя сереброносная минеральная ассоциация тяготеет к более высоким гипсометрическим уровням, а особенности строения и состава руд и минералов, ее слагающих, позволяют относить эту ассоциацию к образованиям приповерхностной зоны.

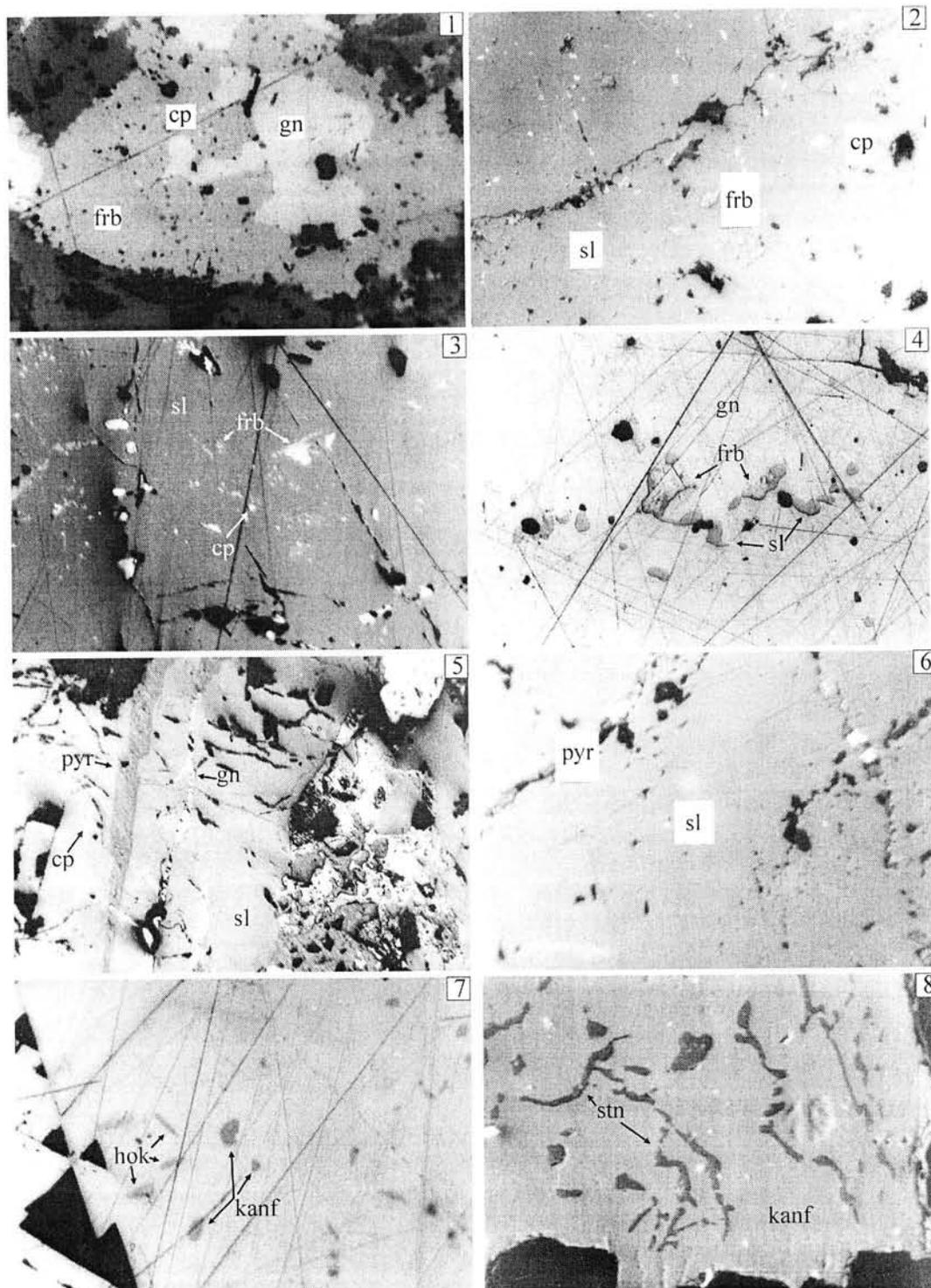
Среди рассматриваемых месторождений отчетливо выделяются по вещественному составу руд, последовательности отложения минеральных парагенезисов и составу сереброносных ассоциаций минералов два – Ирча и Малый Кэн, выбранные в качестве собственно оловянных реперов. По этим же характеристикам остальные месторождения могут быть объединены в две группы, получившие название по преобладающей серебряной минерализации. К сульфосольным (или сульфоантимонитовым) отнесены месторождения Джагынского (Мечта и Тидид) и Пестринского (Гольцовый и Порфиновый) рудных узлов Балыгычан-Сугойской структуры, к сульфостаннатным (или канфилдитовым) – месторождения Арга-Юряхского рудного узла (Тигрец-Индустрия и Токичанское). При этом некоторым особняком стоят кварцевые жилы со станнин-селеноканфилдитовой минерализацией, известные в рудном поле месторождения Токичанское, проявления руч. Кочевой и в пределах Арга-Юряхского рудного узла в целом и представляющие наиболее позднее оруденение района.

Таким образом, ряд исследуемых месторождений – это образования трех этапов позднемелового–раннепалеогенового сереброносного оруденения: касситерит-силикатно-сульфидные месторождения Ирча и Малый Кэн [Лугов и др., 1972; Политов, 1980], полисульфидные стадии которых, возможно, совпадали во времени с началом образования полисульфидных руд сереброносных галенит-сфалеритовых месторождений Балыгычан-Сугойской структуры (Мечта, Тидид, Гольцовый, Порфиновый), хотя более вероятным кажется существование самостоятельного серебро-полиметаллического этапа оруденения, к которому относятся и сульфостаннатные месторождения Арга-Юряхского рудного узла; третий, самый поздний, этап сереброносного оруденения представляют станнин-селеноканфилдит-кварцевые жилы Тенькинского рудного района.

Геохимическая типизация руд

При геохимическом исследовании руд были использованы результаты анализа на 14 элементов по методике ЭКСА [Приставка и др., 1981] 257 рудных и литогеохимических проб. Из них более 50%

Фототаблица 7



Сульфиды и минералы серебра в рудах сульфостаннатного минерального типа: 1 – фрейбергит с эмульсионным халькопиритом обрастает галенит, $\times 220$; 2 – вкрапленность халькопирита и Ag-тетраэдрита в сфалерите, Токичанское, $\times 150$; 3 – то же, Тигрец-Индустрия, $\times 150$; 4 – фрейбергит и сфалерит в галените, Тигрец, $\times 220$; 5 – “просечки” пираргирита и галенита в сфалерите, Токичанское, $\times 220$; 6 – пираргирит и халькопирит в сфалерите, Тигрец, $\times 150$; 7 – канфильдит и окартит в галените, Тигрец, $\times 220$; 8 – микроструктура распада твердого раствора Se-канфильдит-станнин, Кочевой, поздние жилы, в отраженных электронах, Камебакс, $\times 550$

представляют руды и ореолы месторождения Ирча, 30 проб – сульфоантимонитовых месторождений, а 65 – сульфостаннатный тип. Анализируемые элементы Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Mo, As, Sn, Sb, W, Pb, Bi.

Методика геохимической типизации апробировалась на геологических объектах разного ранга – от рудного тела и отдельного месторождения до больших групп геологических образований определенного региона [Колесниченко, Приставко, 1992], позволяя получать комплексную геохимическую характеристику разных типов оруденения с разной степенью детальности.

Ограниченное количество проб в нашем случае дало возможность подтвердить правильность разделения месторождений по минеральному составу руд и несколько детализировать картину, соотнося с геохимическими типами один или несколько минеральных парагенезисов и подчеркивая комплексный состав руд исследуемых месторождений.

Для выявления геохимических типов руд были использованы комбинированные методы кластер-анализа в 14-мерном пространстве (по числу исследуемых элементов). Наиболее детальный результат – тринадцать геохимических типов, которые при обобщении сводятся к девяти (рис. 9, табл. 4) и далее – к шести (табл. 5).

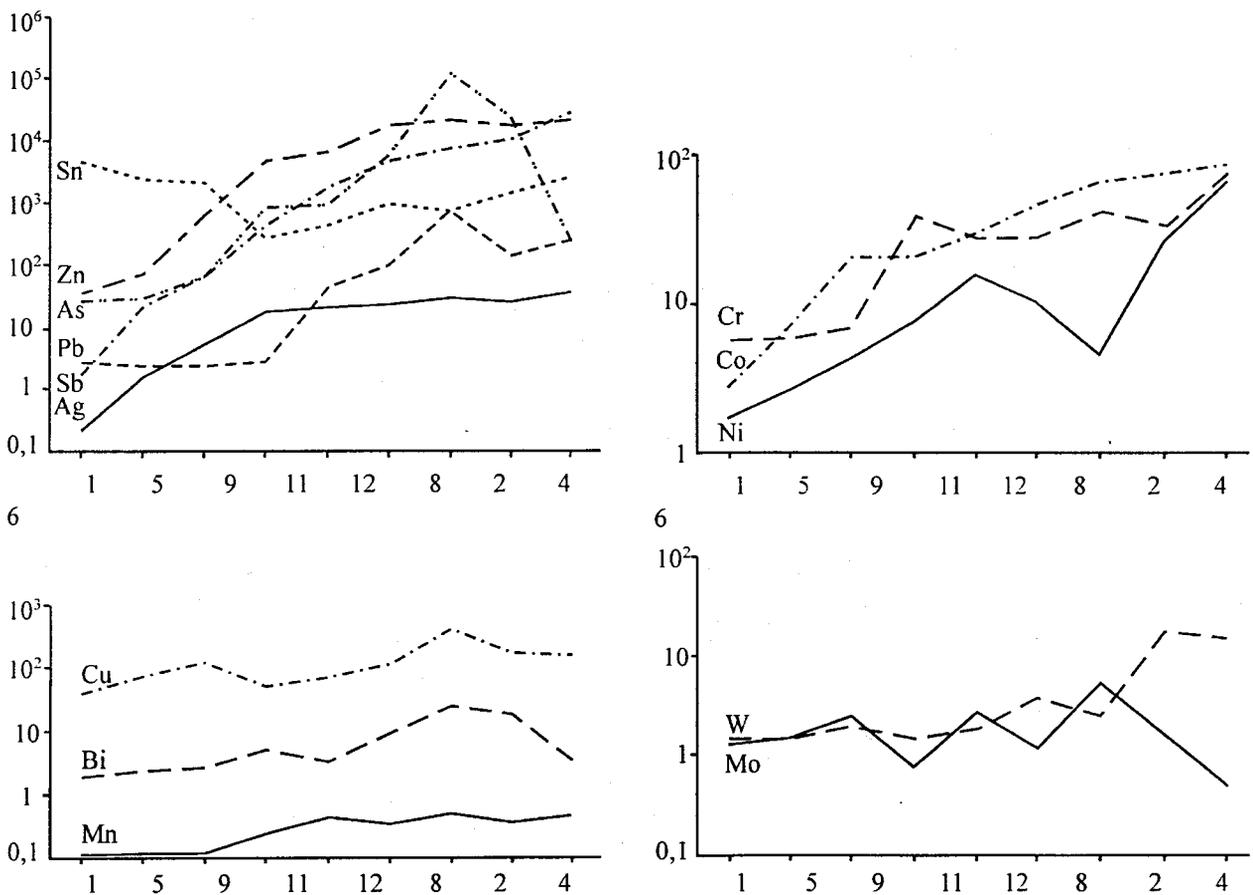


Рис. 9. Средние содержания элементов в рудах различных геохимических типов: по вертикали – содержание элементов, г/т; по горизонтали – геохимические типы

При рассмотрении уровней концентрирования элементов в выделенных геохимических типах руд (см. рис. 9, табл. 4) необходимо отметить следующее:

- руды всех месторождений характеризуются отчетливо выраженной оловянной и серебряной специализацией, т. е. и олово, и серебро достигают рудных концентраций. При этом в рудах Ирчинского месторождения, где концентрации олова наиболее высоки, от типа 1 к типу 9, на фоне некоторого их снижения, нарастают концентрации большинства рудогенных элементов. Это нарастание особенно отчетливо для Ag, Zn, Pb и менее резко для Cu, Mo, W, Co, Ni. В этой выборке Ирча является оловянным эталоном;

Таблица 4

Оценки средних содержаний элементов в рудах различных геохимических типов, г/т

Тип	Sn	W	Mo	Bi	Cu	Sb	As	Ni	Co	Cr	Mn	Ag	Pb	Zn
1	4355	1,36	1,29	1,88	38,64	2,64	27,5	1,74	2,68	5,9	0,121	0,214	1,68	36,6
5	2420	1,46	1,46	2,37	74	2,34	27,5	2,63	6,84	5,95	0,121	1,56	18,9	72,5
9	1990	1,87	2,3	2,65	124,4	2,4	67	4,3	19,5	7	0,123	5,08	64	694
11	274	1,36	0,74	4,87	51,6	2,88	852	7,1	19,4	36,9	0,259	18,60	448	5040
12	428	1,75	2,47	3,4	71	44,4	1018	14,6	26,6	26	0,48	21,2	1616	7420
8	871	3,5	1,07	9,4	118	98,8	5244	9,9	26,5	43,5	0,353	24,11	4216	17582
2	743	2,38	4,84	25,3	423	743	116664	4,5	38,2	61	0,528	29,72	7240	22778
4	1340	16,5	1,45	18,4	175	135,6	23771	24,3	30,7	69	0,389	25,34	9763	19014
6	2468	14,0	0,45	3,46	161	227	213	58,2	64,3	77	0,48	36,29	26320	22390

Таблица 5

Количественные соотношения геохимических типов руд и их минеральный состав

Месторождение	Геохимические типы руд						Минеральный состав руд	Основные тенденции
	1,5,9	11	12	8	2	4,6		
Омсукчанская металлогеническая зона								
Ирча	100%						Касситерит-силикатно-сульфидный	
Тидид		70%	15%	15%			Станнин-галенит-арсенопирит-сфалеритовый с халькопиритом, сульфосолями Pb и Ag	
Порфировый			40%	60%			Станнин-арсенопирит-сфалерит-галенитовый с халькопиритом, сульфосолями Ag	
Мечта				20%	80%		Галенит-сфалерит-арсенопиритовый со станнином, халькопиритом, сульфосолями Ag	
Тенькинская металлогеническая зона								
Кочевой		40%	40%	20%			Арсенопирит-галенит-сфалеритовый с халькопиритом, минералами Sn и Ag	
Индустрия		20%	50%		10%	20%	Арсенопирит-галенит-сфалеритовый с халькопиритом, минералами Sn и Ag	
Токичанское		10%		25%		65%	Халькопирит-касситерит-галенит-сфалерит-арсенопиритовый с сульфостаннатами и сульфосолями Ag	
Тигрец				20%		80%	Касситерит-сфалерит-галенитовый с арсенопиритом, халькопиритом, сульфостаннатами и сульфосолями Ag	

- руды месторождения Мечта в основном относятся к геохимическому типу 2, также обладающему индивидуальными чертами. Его отличают максимальные уровни концентрирования всех элементов за исключением Sn, W и Ni. При этом Sn, Sb, Pb, Zn, As, Ag (по нарастанию) достигают уровня рудных концентраций, а Co и Cu – уровня возможных руд;

- на месторождениях Порфиоровый, Тидид, Кочевой, Тигрец-Индустрия, Токичанское проявлено от двух до четырех геохимических типов руд при преобладании одного или двух. Наиболее сложными являются 11-й, 12-й и 8-й геохимические типы, включающие в себя руды всех названных месторождений. Большая часть руд месторождений Токичанское и Тигрец-Индустрия отнесена к 4-му и 6-му геохимическим типам. Отметим, что при проведении геохимической типизации руды месторождения Тигрец-Индустрия разделились и рассматриваются отдельно;

- определение уровней концентрирования серебра для всех рассматриваемых месторождений (за исключением Ирчи) ограничено возможностями ЭКСА. Результаты пробирных определений содержания серебра в 40 рудных пробах показывают, что в 21 пробе эти содержания составляют от 100 до 1000 г/т, а в 10 – более 1000 г/т (максимальное 3758,8 г/т).

Каждому выделенному геохимическому типу соответствует определенный минеральный комплекс или группа минеральных парагенезисов (см. табл. 5). В рудах Ирчи геохимический тип 1 представляет образования ранних парагенезисов – хлорит-полевошпат-турмалин-кварцевого и касситерит-кварцевого. В рудах, относимых к 5-му и 9-му типам, возрастает роль сульфидных парагенезисов, каждый из которых в той или иной степени является серебросодержащим. Арсенопирит содержит примесь серебра и кобальта; пирротин – никель, в том числе и в виде самостоятельных минеральных фаз (брейтгауптит и ульманнит); халькопирит – серебро; а в прожилках галенит-сфалерит-карбонатного состава известны собственно серебряные минералы – фрейбергит, штромейерит, пираргирит, акантит.

Геохимический тип 11 (+13), представляющий преимущественно руды Тидида и Кочевого (и в значительно меньшей степени Индустрии и Токичанского), характеризует руды арсенопирит-галенит-сфалерит-кварцевого состава с халькопиритом, станнином, сульфостаннатами и сульфоантимонитами серебра и фрейбергитом. Геохимический тип 12 (+10) также достаточно сложен, поскольку включает в себя часть руд Порфиорового, Кочевого и Индустрии (в незначительной степени и Тидида). Это пирротинсодержащие галенит-сфалеритовые руды с касситеритом, арсенопиритом, халькопиритом, сульфоантимонитами и(или) сульфостаннатами серебра. Следующий, 8-й геохимический тип также является сложным и включает в себя разновидности руд почти всех исследуемых месторождений (кроме Ирчи и Индустрии). Это галенит-сфалерит-кварцевые руды с сульфоантимонитами и сульфостаннатами серебра, хлоритом, арсенопиритом и халькопиритом.

Геохимический тип 2 отчетливо индивидуален и включает в себя большую часть руд месторождения Мечта, преимущественно полисульфидной и в несколько меньшей степени хлоритовой стадий минерализации. Это руды галенит-сфалерит-арсенопирит-кварцевого состава с хлоритом, гидрослюдами и каолинитом, широким спектром сульфоантимонитов серебра, станнином и халькопиритом. Повышенные концентрации Co и V определяются их примесью в арсенопирите.

Геохимические типы 4 и 6 рассматриваются совместно и представляют руды месторождений Индустрия, Токичанское, Тигрец. Во всех случаях это кварц-галенит-сфалеритовые руды с сульфоантимонитами и сульфоантимонитами серебра, пирротином и дисульфидами железа и железо-магnezийными карбонатами. Отметим существенную роль карбонатов в рудах этого типа в сравнении с сульфоантимонитовыми. По количеству и вещественному составу карбонатов эти руды напоминают серебро-полиметаллические месторождения Верхоянья [Гамянин и др., 1998], но в них снижается количество арсенопирита, а объемы касситерита и особенно пирротина и дисульфидов Fe возрастают.

Таким образом, среди рассматриваемых месторождений Ирча и Малый Кэн, представляющие касситерит-силикатно-сульфидный тип оловянного оруденения, выделены как собственно оловянные “реперы”. Остальные месторождения разделяются на две группы по следующим параметрам: вещественному составу руд, последовательности отложения минеральных парагенезисов, составу серебряносных минеральных ассоциаций. Группы месторождений названы по преобладающему типу серебряной минерализации – сульфоантимонитовые (месторождения Балыгычан-Сугойской структуры –

Мечта, Тидид, Порфиновый, Гольцовый) и канфильдитовые или сульфостаннатные (месторождения Тенькинской зоны – Токичанское, Тигрец-Индустрия, Кочевой). Сульфоантимонитовый тип руд характеризуется развитием широкого спектра сульфоантимонитов серебра и свинца и общей высокой сурьмянистостью руд. Олово если и присутствует, то преимущественно в форме станнина, основные серебросодержащие фазы – Fe-фрейбергит, пираргирит, полибазит и стефанит. Выделен ряд типоморфных парагенезисов сульфосолей серебра. Канфильдитовый тип руд близок к касситерит-сульфидным рудам Приморья типа Синанчи, если не является их прямым аналогом, что отмечал еще С. С. Смирнов [1962]. Этот тип отличает преобладание сульфидов полиметаллов, к которым может присоединиться пирротин, над другими минералами. Основные минералы серебра – канфильдит, окартит и Fe-фрейбергит. Месторождения сходны и по такому параметру, как уровни концентраций олова и серебра в рудах. Рассмотрение комплекса рудогенных элементов в целом выделяет месторождения сульфосолевого типа по высоким концентрациям сурьмы и мышьяка, а канфильдитовый тип – по редкометалльной группе элементов, что, возможно, объясняется общим золото-кварцевым фоном более молодого серебросодержащего оруденения Тенькинской металлогенической зоны.

При этом руды месторождений сульфоантимонитового типа образовались в течение одного гидротермально-метасоматического этапа, подразделяющегося на три-четыре стадии минералоотложения. Группа сульфостаннатных месторождений неоднородна, так как в пределах их рудных полей проявлен ряд этапов и типов оруденения, из которых два – серебро- и оловоносные: олово-серебряный и (условно) золото-серебряный. Собственно олово-серебряный этап разделен на две стадии – полисульфидную и карбонатную.

Следует подчеркнуть, что руды месторождений обоих минеральных типов образовались в градиентных условиях близповерхностной и приповерхностной зон, о чем свидетельствуют и характер минерализации, и текстурно-структурные особенности руд. Условия образования отразились и на строении и составе основных рудных минералов.

Глава 3. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ГЛАВНЫХ СУЛЬФИДОВ И СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ

Поскольку руда являлась основным объектом исследований, то наибольший интерес представляли сходство и различие главных минералов руд – сульфидов, набор которых стандартен для всех рассматриваемых месторождений. При изучении вещественного состава были выделены для выявления их типоморфных (в первую очередь и преимущественно типохимических) свойств следующие минеральные виды: арсенопирит, халькопирит, сфалерит, станнин, галенит, в меньшей степени пирит и пирротин. Кроме того, чрезвычайно важным представлялось и изучение вариаций состава собственно серебросодержащих минералов как “сквозных”, т. е. известных в рудах практически всех рассматриваемых месторождений, так и образующих ряд типоморфных парагенезисов на месторождениях сульфосольного и канфилдитового минеральных типов. К первым относятся минералы из группы серебросодержащих тетраэдритов и пираргирит, ко вторым – сульфоантимониты и сульфостаннаты серебра.

В основе исследования – результаты примерно 2000 единичных микрорентгеноспектральных анализов минералов, преимущественно по материалам коллекций автора.

Арсенопирит

Во всех исследуемых месторождениях арсенопирит характеризует ранние парагенезисы полисульфидных стадий (см. табл. 3), причем вследствие сжатости процесса рудоотложения во времени преобладает одна генерация минерала. Вторая генерация возможна в поздних парагенезисах этой же стадии и достоверно известна на месторождении Ирча (тонкокristаллический арсенопирит в пирротине) и Малый Кэн (в образованиях кварц-халькопиритовой стадии (данные М. С. Шнайдера, 1976 г.). В рудах месторождения Мечта арсенопирит первой генерации отмечается в виде тонкой вкрапленности в кварц-серцитовых метасоматитах (см. фототабл. 5: 1, 2), а ведущую роль играет арсенопирит II, являющийся одним из ранних минералов полисульфидной стадии (см. фототабл. 5: 3, 4) [Пляшкевич, 1986]. Учитывая малые глубины формирования месторождений и относительно небольшие вскрытые вертикальные интервалы, зависимость вариаций состава минерала и глубины формирования практически установить невозможно, но взаимосвязь вариаций состава и принадлежности к определенному минеральному типу, а значит, и условий формирования достаточно отчетлива. При исследовании арсенопирита важно было определить, насколько выдержан состав минерала в пределах зерна и отдельной пробы, поэтому уже на стадии минераграфии руд уделялось внимание характеристике внутренней неоднородности минерала, которая наиболее отчетливо оказалась выражена преимущественно в виде тонкой зональности в арсенопирите месторождений Ирча, Мечта и Малый Кэн. Эта тонкая зональность обусловлена, с одной стороны, существованием зон, достигающих данаитового состава, т. е. содержащих до 3,1 мас.% Co, а Ni до 0,8 мас.% (Ирча), а с другой – достаточно широкими (до 3–5 мас.%) колебаниями концентраций As и S (Мечта) в отдельных зонах. Эта зональность и примесь кобальта характерны в целом для омсукчанских месторождений. Учитывая, что зональность арсенопирита отражает только незначительные и краткие состояния неравновесия в процессе роста кристаллического зерна [Kretschmar, Scott, 1976], и для зонального, и для более однородного арсенопирита в дальнейшей работе использовалось среднее 3–9 анализов по трем зернам для каждой отдельной пробы из 37 проанализированных. Для сопоставления привлечены данные по 42 пробам арсенопирита касситерит-кварцевого месторождения Светлое (Чукотка), ассоциирующего с леллингитом [Кулешов и др., 1988]. В исследуемых месторождениях обычен арсенопирит из двух стандартных парагенезисов [Kretschmar, Scott, 1976; Heinrich, Eadington, 1986; Холмогоров и др., 1977]: арсенопирит-касситеритового, характеризующего руды месторождений Ирча

и Малый Кэн, и арсенопирит-пиритового, установленного в месторождениях Тигрец-Индустрия, Токичанское, Гольцовый. В рудах Мечты арсенопирит обычно встречается с более поздними замещающими его сульфидами полиметаллов.

Общее повышение сернистости арсенопирита в оловорудных месторождениях от касситерит-кварцевых к касситерит-сульфидным достаточно хорошо известно по результатам исследований месторождений региона [Флеров и др., 1971; Холмогоров и др., 1977], и эта тенденция вполне отчетлива в рассматриваемых месторождениях в сопоставлении с касситерит-кварцевым (Светлое). В то же время средние составы арсенопирита рассматриваемых месторождений (не включены Малый Кэн, Тидид, Порфиновый, Гольцовый) разделяются на две, если не на три, группы (рис. 10). В одну входят арсенопириты месторождений Ирча и Мечта, составы которых близки к нормальному, отклоняясь в области “мышьяковистых” и “сернистых” примерно на 1,5 ат.%, в другую – арсенопириты месторождений Теньки, практически все находящиеся в “сернистой” области, т. е. содержащие более 33,3 ат.% серы. Эта группа не столь однородна – в ней также особняком стоят шесть высокосернистых образцов в области состава $FeAs_{0,9}S_{1,1}$ и, возможно, также в области концентраций серы 34,8–35,3 ат.%.

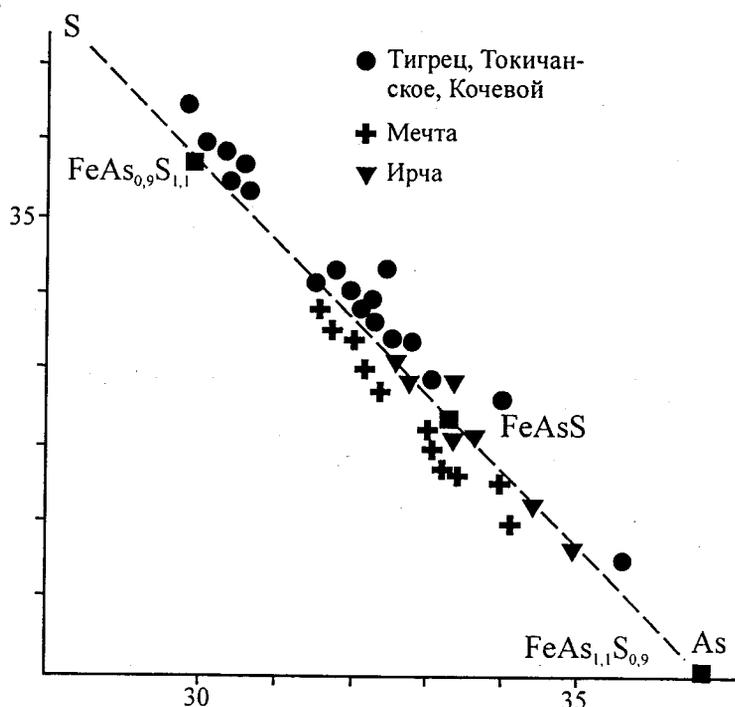


Рис. 10. Вариации состава арсенопирита, ат.%

Считая, что состав минерала отражает прежде всего геохимические особенности рудообразующих растворов, такие как aS_2 и fo_2 [Холмогоров и др., 1977; Bril, 1985; Heinrich, Eadington, 1986; и др.], мы можем, наряду с другими минералого-геохимическими данными, использовать соотношение As/S в арсенопирите при определении формационной принадлежности исследуемых месторождений. Исследования арсенопирита касситерит-силикатно-сульфидных руд показали, что растворимость минерала зависит гораздо более от fo_2 , чем от $T^\circ C$, и наблюдающаяся обычно последовательность парагенезисов касситерит + арсенопирит – пирротин + сульфиды полиметаллов реализуется при очень низкой fo_2 , когда соосаждение касситерита с арсенопиритом является эффективным механизмом экстракции олова из растворов [Heinrich, Eadington, 1986]. Такая последовательность фиксируется в рудах Ирчи и возможна, хотя выражена гораздо менее отчетливо, в рудах Мало-Кэнского месторождения. Средние составы арсенопирита Ирчи и Мечты очень близки, что позволяет предполагать близость состава рудообразующих растворов. Необходимо при этом оговорить следующее: положение касситерита, чрезвычайно редкого в рудах Мечты, в общей последовательности минералов может оцениваться по-разному. Существует и мнение о позднем наложенном характере касситерита в рудах Мечты и Тидида [Колесников, Шатков, 1994]. Состав арсенопирита сульфостаннатных месторождений Теньки отражает общие закономерности повышения aS_2 в растворах, приводящего к высокой сульфидности руд, в ряде случаев приобретающих “колчеданный” характер (например, Тигрец); очень близок арсенопириту полиметаллических месторождений Якутии [Холмогоров и др., 1977] и, видимо, в целом олово-серебро-полиметаллических руд (например, месторождения Фурниаль [Bril, 1985]). Следует отметить также чрезвычайное сходство его с арсенопиритом позднего сереброносного комплекса золоторудных месторождений Пионерского рудного узла [Тюкова, 1989].

Халькопирит

В исследуемых рудах халькопирит – один из главных минералов полисульфидной стадии, но обычно отмечается и существование более ранней и значительно слабее проявленной генерации халькопирита. Так, в рудах Ирчи и Малого Кэна основная масса халькопирита выделяется в парагенезисе с пирротинном и высокожелезистым сфалеритом, причем минерал характеризуется отчетливо выраженной анизотропией, часты ланцетовидные или полисинтетические двойники, тельца сфалерита, пирротина, станнина в виде продуктов распада. Пирротин и станнин наблюдаются также и в виде “реакционных” кайм на контакте с кварцем, турмалином, хлоритом. Минерал характеризует невыдержанность микротвердости и параметра “с” кристаллической решетки; исходные концентрации ZnS, судя по постоянному присутствию эмульсионного сфалерита и концентрациям изоморфного Zn, не превышающим 0,5 мас. %, могли изменяться от 3 до 10 мол.% [Воробьев, 1975].

На Мечте халькопирит часто образует эмульсионную вкрапленность в сфалерите и фрейбергите, но в основном отмечается в парагенезисе со сфалеритом или самостоятельных выделениях, замещаемых глобулярным пиритом. Минерал не содержит эмульсионного сфалерита, а концентрации изоморфной примеси Zn не превышают 0,6 мас.%, что является свидетельством низких исходных концентраций ZnS – не более 3 мол.%. Микротвердость минерала в целом ниже, а параметры элементарной ячейки более выдержаны, чем у халькопирита руд Ирчи. Концентрации изоморфной примеси серебра, распределенной крайне неравномерно и отмечающейся в локальных точках, могут достигать первых процентов.

В рудах Тидида и Гольцового преобладает одна генерация халькопирита, отлагавшегося в парагенезисе со сфалеритом, галенитом и фрейбергитом как в виде самостоятельных выделений, так и в результате распада твердого раствора – эмульсионной вкрапленности, просечек и кайм в сфалерите, содержащем также эмульсионный пирротин.

Руды сульфостаннатного типа характеризуются в целом несколько более низкими концентрациями меди, чем сульфоантимонитовые, и халькопирит отмечается в меньших количествах, чаще в виде эмульсионной вкрапленности и просечек в железистом сфалерите. в парагенезисе с эмульсионным пирротинном.

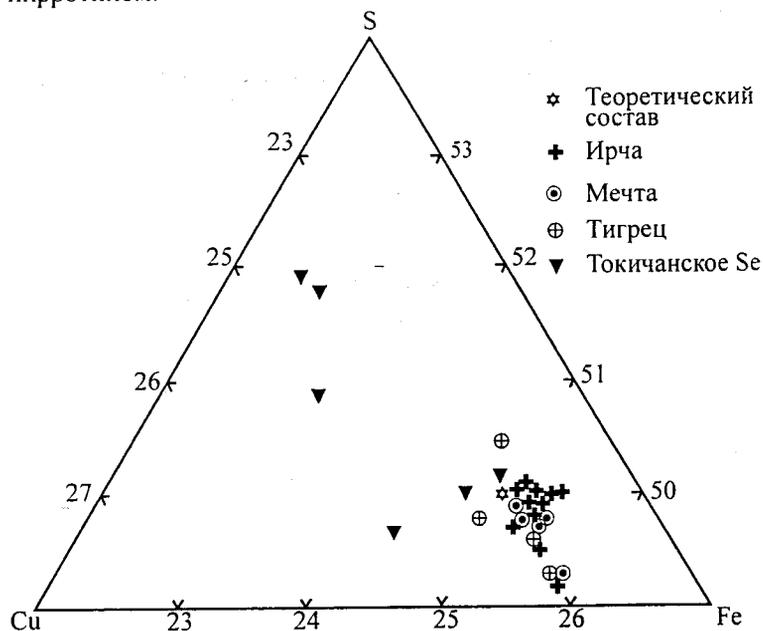


Рис. 11. Вариации состава халькопирита, ат.%

двойников, обычных для халькопирита рудных месторождений различных интервалов температур.

Столь же обычна и побежалость, быстро возникающая на полированной поверхности минерала и типичная для халькопирита серебросодержащих руд [Chen et al., 1980; Cabri, Haggis, 1984], объясняемая поверхностной диффузией Ag в халькопирит и возникновением пленки Ag_2S .

И в том и в другом случае минерал не содержит эмульсионного сфалерита, а содержания изоморфной примеси Zn варьируют от 0,1 до 1,0 мас.%. Концентрации изоморфного Ag, как правило, ниже чувствительности микро-рентгеноспектрального анализа и повышены в двух случаях. Один из них – руды месторождения Мечта, где на одном из участков рудного тела выявлен халькопирит, локально обогащенный серебром (до 2,7 мас. %); другой – жилы позднего селенканфилдит-кварцевого этапа Тенькинской зоны, где минерал часто содержит примеси Sn, Se и Ag (0,2–0,4 мас. %).

Во всех случаях для минерала обычна слабая анизотропия и внутренняя неоднородность, проявившаяся в возникновении ланцетовидных, значительно реже – полисинтетических

Сопоставление средних составов минерала месторождений Ирча, Мечта, Тигрец и поздних жил Токичанского рудного поля (рис. 11) позволяет отметить их близость для трех первых месторождений, проявленную в слабовыраженных дефиците S и избытке Fe, и сравнительно широкие вариации в поздних жилах, где состав халькопирита так же невыдержан, как и состав других рудных минералов. При этом и внутри выделенных по месторождениям групп минерал является весьма однородным. Это объясняется чрезвычайно высокой способностью халькопирита к гомогенизации и свидетельствует лишь о подвижном поведении серы, обычном для большинства природных минералообразующих систем [Lafitte, Maury, 1982; Воробьев, Борисовский, 1980; Бартон, Скиннер, 1970]. Исключением в нашем случае является только халькопирит поздних жил Теньки, где, в парагенезисе со станнином и селеноканфилдитом, он представляет собой, видимо, результат распада твердого раствора.

Сфалерит

Сфалерит также является одним из ведущих минеральных компонентов рассматриваемых руд, отлагаясь в парагенезисе с халькопиритом, пирротинном и станнином, и близок во времени к галениту. Как правило, в нем наблюдаются в качестве продуктов распада твердого раствора халькопирит, пирротин, станнин и серебросодержащий тетраэдрит. Часты субграфические, ориентированно – эмульсионные структуры, подчеркивающие обычное полисинтетическое двойникование округло-полигональных зерен средне- и мелкозернистых, реже – крупнозернистых агрегатов. В месторождениях касситерит-силикатно-сульфидного типа (Ирча, Малый Кэн) известны две генерации сфалерита: I – в ассоциации с халькопиритом, станнином, а на Ирче и с пирротинном, причем в нем обычны эмульсионные тельца и мелкие выделения всех этих минералов, и II – с галенитом и серебросодержащими минералами. При этом сфалерит относится к второстепенным минералам, количественно уступая пирротину и халькопириту на Ирче и пириту и халькопириту на Малом Кэне. В рудах Sn-Ag-Pb-Zn месторождений генерации не выделяются, но в сульфоантимонитовых месторождениях обычны и клейофан, и марматит в совместных зональных выделениях – темные ядра и светлая периферия. При этом зональным может быть и размещение эмульсионного халькопирита – или только центральная часть зерен, или периферия (руды месторождения Мечта). В сульфостаннатных рудах встречен только марматит, отчетливо преобладающий над галенитом, возможен при этом и парагенезис с железистыми карбонатами (Тигрец, Индустрия).

Содержания Fe в сфалерите оловянных руд достаточно высоки для обеих генераций – от 8 до 10 ат.%. Mn и Cd также являются обычными примесями, концентрации которых варьируют от 0,01 до 0,5 мас.%.

При исследовании вариаций состава минерала в Sn-Ag-Pb-Zn рудах определялись концентрации пяти характерных элементов-примесей: Mn, Cd, Sn, Cu и Fe. Концентрации первых четырех по преимуществу не превышают 0,5 мас.% на всех рассматриваемых месторождениях, причем Mn и Cd являются примесями постоянными и достаточно устойчивыми во всех типах руд, а Cu и Sn несколько варьируют на разных месторождениях. Так, в сфалеритах Тидида они встречаются в единичных случаях, на других сульфосольных месторождениях обычны, а на месторождениях сульфостаннатного типа встречаются в 50–60% анализов*. Но наиболее показательными являются вариации содержания примеси Fe, хотя и высоких в целом, различающиеся на месторождениях разных минеральных типов (рис. 12). Сфалериты месторождений с сульфоантимонитовым типом минерализации разделяются на две группы преимущественно в областях концентраций 3–6 и 9–12 ат.% Fe. В рудах сульфостаннатных месторождений преобладают высокожелезистые разности с резко выраженным максимумом в области 9–12 ат.% Fe, при этом особенно высоки концентрации Fe в сфалеритах жил участка “Индустрия” (12–15 ат.%). В поздних селеноканфилдит-кварцевых жилах сфалерит содержит примеси Ag, Se (0,2–0,5) и Fe 3–4 ат.%.

* Отмечается прямая зависимость между Cu и Sn, что объясняется постоянным в рудах обоих типов парагенезисом халькопирит–сфалерит–станнин.

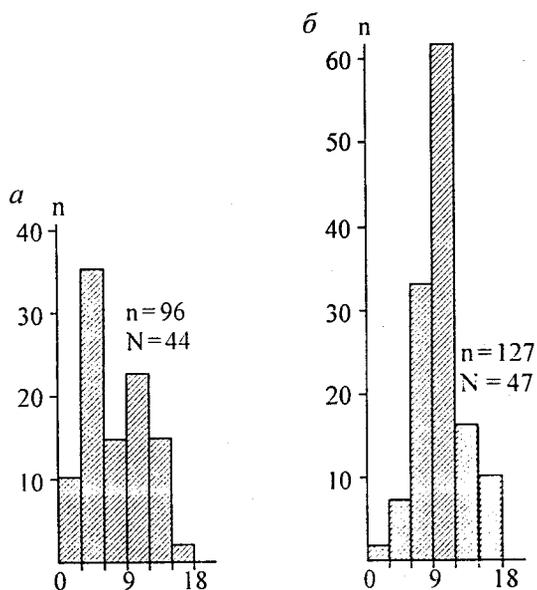


Рис. 12. Распределение Fe в сфалерите (усредненные анализы по зернам, мас.%) в месторождениях сульфoантимонитового (а) и сульфостаннатного (б) типов: n – количество зерен; N – количество проб

Исходя из способности сфалерита (в противоположность халькопириту) плохо поддаваться последующим изменениям, состав сфалерита и уровень концентраций в нем железа можно достаточно уверенно считать первичными и связанными с генетическими процессами [Воган, Крейг, 1981; Lafitte, Maury, 1982]. Широкие вариации содержаний Fe являются свидетельством кристаллизации сфалерита в быстро меняющихся условиях, а достаточно высокий уровень этих содержаний определяется более всего активностью FeS. При этом в рудах полисульфидной стадии обычно присутствие ограниченных количеств пирита и малых – пирротина. Пирротин – один из ведущих минералов только в рудах месторождения Тигрец-Индустрия, сфалериты которого наиболее высокожелезистые (моноклинный пирротин, первичный пирит не выявлен). На месторождении Токичанское количество пирротина в рудах значительно меньше, он представлен смесью моноклинной и гексагональной разновидностей.

Наблюдаемые соотношения концентраций железа в сфалерите и ассоциирующем с ним пирротине характерны для низкотемпературной области [Scott, Kissin, 1973].

Станнин

Минерал представлен, хотя всегда и в ограниченных количествах, в рудах минеральных парагенезисов полисульфидной стадии всех рассматриваемых типов месторождений. При этом в собственно оловянных рудах (Малый Кэн, Ирча) станнин отмечается в ассоциации с халькопиритом и сфалеритом как эмульсионный в сфалерите, халькопирите, пирротине, так и в виде самостоятельных выделений в этих минералах и галените, а также реакционный, замещающий касситерит. На всех остальных рассматриваемых месторождениях станнин наблюдается в виде более или менее крупных эмульсионных телец в сфалерите или сростаний со сфалеритом и халькопиритом. Во всех случаях станнин содержит примесь Zn, неравномерно в нем распределенную и несколько варьирующую в рудах месторождений разных типов (хотя это могут быть и индивидуальные особенности месторождений): Мечта – 2,1–5,9; Тигрец и Токичанское – 0,5–3,8; поздние “канфильдитовые” жилы Токичанского – 1,4–3,6 ат.% Zn (рис. 13).

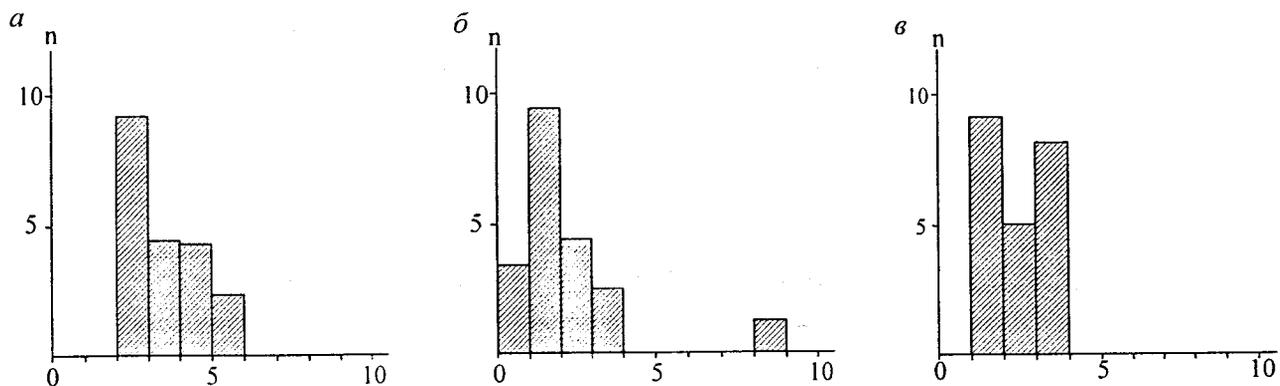


Рис. 13. Распределение содержаний Zn в станнине (ат. %) сульфoантимонитовых (а), n = 19; сульфостаннатных (б), n = 19; поздних канфильдитовых (в), n = 22 руд

В двух случаях проведена оценка температур образования ассоциации с использованием станнин-сфалеритового геотермометра [Осадчий, Сорокин, 1989]. Для месторождения Тигрец по одному из образцов температура составляет 220–278, а по другому – 320°C. В поздних жилах месторождения Токичанское по одному образцу – 163–183, по второму – 123–150°C. Оценки эти весьма приблизительны, но вполне соответствуют температурам образования парагенезиса, определенным для руд близких типов [Некрасов, 1976; Осадчий, Сорокин, 1989; Shimizu, Shikazono, 1985].

Галенит

В оловянных рудах количества галенита сравнительно невелики, он является наиболее поздним сульфидом, с которым преимущественно ассоциируют серебросодержащие минералы: Ag-тетраэдрит, пираргирит, акантит, самородное серебро, на Ирче – штроейерит, хотя акантит и Ag-содержащая блеклая руда отмечаются иногда и в более раннем халькопирите. В ассоциации с галенитом возможны также сульфоантимониты свинца (буланжерит?) и станнин.

В олово-серебро-полиметаллических рудах, за исключением поздних сереброносных жил Теньки, галенит является ведущим минералом руд, в сростаниях с которыми отмечается большинство минералов серебра – блеклые руды, сульфоантимониты, сульфостаннаты. Во всех типах Sn-Ag-Pb-Zn руд галенит известен в разнозернистых (от мелко- до крупнозернистых, в зависимости от размеров выделений), иногда струйчатых (Гольцовое) агрегатах. Преобладающим является галенит-I полисульфидной стадии (см. фототабл. 6: 1, 2, 4; фототабл. 7: 1, 4, 5, 7), который в сульфоантимонитовых рудах ассоциирует с буланжеритом (Тидид, Гольцовый), а в сульфостаннатных – с тонкоигольчатым касситеритом, и в обоих случаях во времени и пространственно близок к сфалерит-халькопиритовому со станнином или пирротинном парагенезису. При этом в сульфоантимонитовых рудах выявлены и еще две более поздние генерации галенита: галенит-II в структурах распада твердого раствора с диафоритом и галенит-III, образующийся при замещении диафорита пираргиритом, но эти генерации распространены чрезвычайно ограниченно [Сахарова и др., 1985] – из Мечты, Тигреца.

В рудах сульфоантимонитовых месторождений в галените и на контакте его со сфалеритом часто отмечаются главные минералы серебра – фрейбергит и пираргирит. В сульфостаннатных рудах исключительно в галените наблюдаются округлые (типа эмульсионных) выделения канфильдита, станнина, сфалерита и фрейбергита или столь же мелкие (сотые доли мм) сростания этих минералов в различных сочетаниях. В обоих случаях выделения минералов серебра могут быть приурочены и к трещинам спайности галенита. При микрорентгеноспектральном анализе серебросодержащих фаз определялось и содержание серебра во вмещающем галените, и всегда оно не превышало 0,1–0,2 мас.%, т.е. практически находилось на уровне чувствительности анализа. Эти результаты находятся в абсолютном соответствии с известным выводом о малой изоморфной емкости структуры галенита в отношении Ag_2S [Рамдор, 1962], а значит, и относительно низкой сереброносности галенита высокосеребристых руд различных типов вообще [Boyle, 1968; Крейг, Воган, 1983] и описываемых в частности [Некрасов, 1984б; Сахарова и др., 1985].

Серебросодержащая блеклая руда

В месторождениях обоих минеральных типов Sn-Ag-Pb-Zn руд серебросодержащая блеклая руда – наиболее широко распространенный минерал серебра. Во всех случаях наблюдается серебросодержащий тетраэдрит, как правило, с заметными концентрациями примесей Fe и Zn, преобладающей разновидностью (по классификации Н. Н. Мозговой, А. Н. Цепина [1983]) является Fe-фрейбергит. Эта же блеклая руда, только с более низкими содержаниями Ag (Ag-Fe-тетраэдрит) известна и в поздних сульфидных и сульфидно-сульфосольных парагенезисах Ирчи и Малого Кэна.

Парагенезисы блеклых руд в рассматриваемых месторождениях достаточно разнообразны. В сульфоантимонитовых рудах наиболее ранние выделения связаны с халькопирит-станнин-сфалеритовым парагенезисом, где блеклая руда образует эмульсионную вкрапленность и тонкие просечки в сфалерите

и халькопирите. Встречаются и крупные (до 5×5 см, месторождение Гольцовое) зернистые скопления блеклых руд в сфалерите и галените (см. фототабл. 6: 2). В рудах Тидида и Мечты М. С. Сахаровой с соавторами [1985] выделены три генерации минерала: I – хаотично расположенные округлые или удлиненные включения в галените (до 10 мкм), II – вросстки по системе спайности галенита и тонкие просечки в сфалерите, III – система тонких прожилков в блеклой руде-II (4–6 мкм) и, возможно, на контакте блеклой руды-II с диафоритом, причем третья генерация – наиболее высокосеребристая. При этом отмечается негомогенность выделений блеклых руд и относительная обогащенность серебром более поздних генераций или краевых зон, характерная и для олово-серебряных руд Якутии [Некрасов, 1984б].

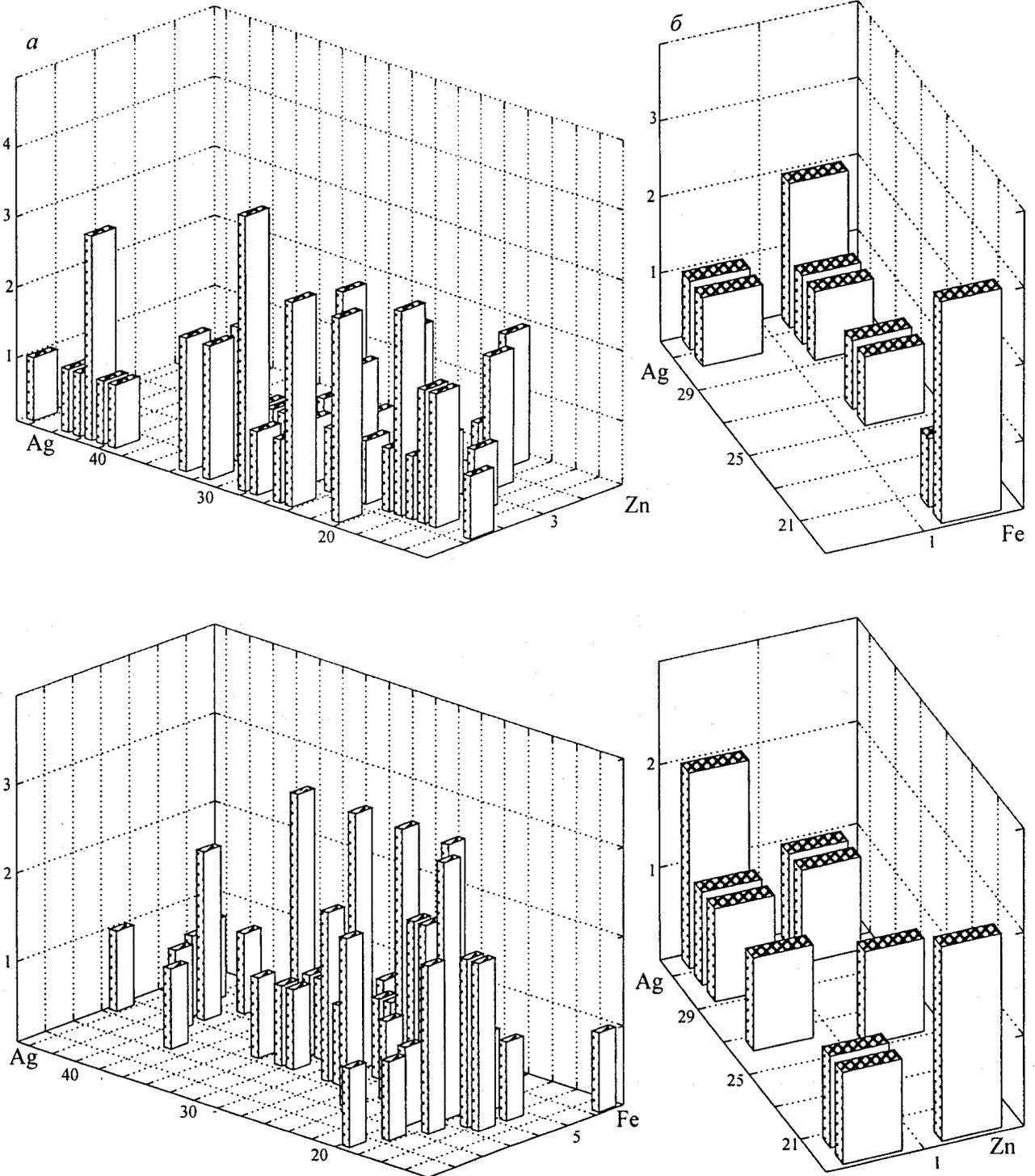


Рис. 14. Соотношение Ag – Fe и Ag – Zn в блеклой руде месторождений сульфoантимонитового (а), n = 61, сульфoстannитного (б), n = 12 минеральных типов, мас. %

В сульфостаннатных рудах блеклая руда встречается в тонких просечках и редких ксеноморфных выделениях в сфалерите, но чаще – в эмульсиевидной вкрапленности в галените (см. фототабл. 7: 2, 3, 4). При этом мелкие округлые тельца (15–20 мкм) часто представляют собой сростания блеклой руды со сфалеритом, станином, канфилдитом. В этих месторождениях блеклая руда количественно уступает канфилдиту.

Исследования состава минерала позволили установить, что в рудах встречаются три разновидности – Fe-фрейбергит, Ag-Fe-тетраэдрит и Ag-тетраэдрит, причем две первые преобладают. Как правило, минерал содержит примесь Zn и спорадически – примеси As и Se, не превышающие долей мас.%. Выделения минерала часто гетерогенны, особенно по серебру, и, как правило, степень гетерогенности выше в блеклых рудах сульфоантимонитовых месторождений [Сахарова и др., 1985; Некрасов, 1984б]. Гетерогенность является характерным свойством гидротермальных серебросодержащих тетраэдритов в целом, и для ее объяснения привлечена модель фракционной кристаллизации [Hackbarth, Petersen, 1984], объясняющая возникновение гетерогенности любого образца процессами эволюции флюида в каждом локальном участке. Эта модель представляется применимой особенно к рудам, образующимся в градиентных условиях. При рассмотрении вариаций состава минерала ($n = 66$) установлено, что в рудах месторождений обоих типов они близки по уровням концентраций Ag, Fe и Zn (рис. 14) и могут быть выделены три группы: Fe-содержащий аргентотетраэдрит, Fe-фрейбергит и высокосеребристый Fe-фрейбергит (Ag соответственно от 1 до 4, от 4 до 7 и от 7 до 9 ф. ед.), причем высокосеребристые разности известны только в сульфоантимонитовых рудах. Максимальная концентрация серебра в Fe-фрейбергите изученной коллекции 46 мас.%, но для минерального вида эта концентрация не предел, поскольку теоретический максимум 51 мас.% Ag, соответствующий 10 ф. ед. при полном замещении меди серебром, был превышен и самая высокая из известных сейчас концентрация Ag составляет 55 мас.% (месторождения Кнаппенштубе [Paar et al., 1978], месторождение Джульетта [Савва и др., 1998]). Отметим, что высокосеребристые Fe-фрейбергиты выявлены именно в свинцово-цинково-серебряных рудах различного генезиса с широким развитием сульфоантимонитов свинца и серебра [Paar et al., 1978; Zakrzewski, Nutgeren, 1984; Schmid et al., 1990].

При этом двухвалентные металлы Fe и Zn являются фактором, стабилизирующим высокие концентрации серебра в блеклых рудах [Мозгова, Цепин, 1983]. Сопоставление областей вариаций состава минерала в рассматриваемых рудах и месторождениях оловянного ряда Якутии [Подольский и др., 1983] позволяет отметить их сходство в целом. Сравнительная “локальность” составов блеклых руд сульфостаннатных месторождений, может быть, объясняется более широким развитием канфилдита, содержащего до 73,6 мас.% Ag.

Сульфоантимониты Pb, Pb-Ag и Ag

Общая сурьмяная специализация руд обусловила широкое развитие в них не только тетраэдрита, но и группы сульфоантимонитов, типоморфных для месторождений Балыгычан-Сугойской структуры. В нее входят из Pb и Pb-Ag сульфоантимонитов буланжерит, диафорит и овихиит, а также значительно более редкие рамдорит и фрейеслебенит, а из сульфоантимонитов серебра – пираргирит, миаргирит, стефанит и полибазит (?). При этом пираргирит является вторым по распространенности после блеклой руды минералом серебра, достаточно обычным и для сульфостаннатных руд. Из выявленных в псевдотройной системе $Ag_2S(Cu_2S) - Sb_2S_3 - PbS$ 29 природных минеральных фаз (рис. 15) в исследуемых рудах известны 11. Кроме того, установлены редко встречающиеся акантит, алларгентум и дискразит, краткие данные о которых приводятся в этом разделе. В оловянных рудах установлены пираргирит, акантит, самородное серебро, возможны буланжерит и штромейерит (известны только на Ирче), ассоциирующие с галенитом и сфалеритом-II.

Буланжерит достаточно широко развит в галените Тидида и Гольцового, где он образует как вкрапленность игольчатых кристаллов размерами до десятых долей миллиметра, так и волокнистые, иногда “струйчатые” агрегаты (от первых миллиметров до 1 см). Минерал относится к соединениям переменного состава, как и все игольчатые сульфоантимониты свинца [Мозгова, 1985].

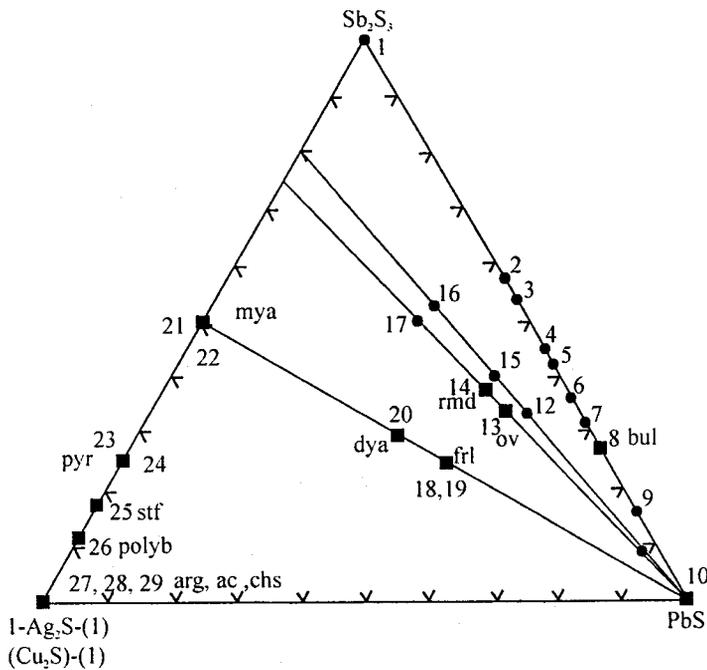


Рис. 15. Природные фазы в псевдотройной системе $\text{Ag}_2\text{S}(\text{Cu}_2\text{S}) - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{PbS}$ (из работы И. Костова, Й. Минчевой-Стефановой [1984]): 1 – антимонит; 2 – фюлепит; 3 – цинкениит; 4 – плагионит; 5 – робинсонит; 6 – гетероморфит; 7 – семсейит; 8 – буланжерит; 9 – геокронит; 10 – галенит; 11 – менегинит; 12 – теремковит; 13 – овихиит; 14 – рамдорит; 15 – физелиит; 16 – накасеит; 17 – андорит; 18 – фрейслебенит; 19 – бурнонит; 20 – диафорит; 21 – миаргирит; 22 – халькостибит; 23 – пираргирит; 24 – пиростильпнит; 25 – стефанит; 26 – полибазит; 27, 28, 29 – аргентит, акантит и халькозин.

Квадратами обозначены фазы, выявленные в олово-серебряно-полиметаллических рудах

Однако имеющиеся в распоряжении автора анализы очень близки и состав варьирует даже в более узких пределах, чем известные для природных образцов, но в области с более низкими концентрациями Pb и более высокими – S.

Вариации для природных образцов [Мозгова, 1985], мас. %: Pb – 54,55–57,51; Sb – 23,92–36,58; S – 18,57–18,87.

Буланжерит

№ п/п	Pb	Sb	S	Fe	Bi	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	53,1	25,0	19,1	-	-	97,2	$\text{Pb}_{4,85}\text{Sb}_{3,88}\text{S}_{11,27}$
2	54,7	24,6	19,9	0,4	0,3	99,9	$\text{Pb}_{4,84}\text{Sb}_{3,78}\text{S}_{11,5}$
3	55,2	24,9	19,5	-	0,5	100,1	$\text{Pb}_{4,93}\text{Sb}_{3,78}\text{S}_{11,5}$
4	53,4	24,1	19,3	0,6	0,4	97,8	$\text{Pb}_{4,87}\text{Sb}_{3,73}\text{S}_{11,38}$

Примечание. Ан. 1 – Тидид; ан. 2–4 – Гольцовое, данные А.П. Епифановой.

Диафорит установлен только в рудах Тидида, где распространен локально, образуя гнездовидные скопления 3–4 мм в диаметре в сростании с фрейбергитом, миаргиритом, пираргиритом. Минерал образует аллотриоморфнозернистые агрегаты полисинтетически сдвойникованных кристаллов.

Эмульсиевидная вкрапленность галенита, обычно наблюдающаяся в нем, интерпретируется М. С. Сахаровой с соавторами [1985] как результат либо распада твердого раствора, либо фазового разложения фрейслебенита (AgPbSbS_3). Эти же авторы наблюдали “перекристаллизованный” диафорит – полисинтетически сдвойникованные изометричные зерна без включений галенита, отмечаемые вдоль микротрещин. Высказано предположение о частичном выносе свинца в процессе перекристаллизации. Возможно, анализы 4 и 5 представляют именно такой диафорит, являющийся второй генерацией минерала.

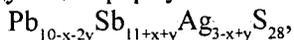
Диафорит

№ п/п	Ag	Pb	Fe	Cu	Zn	Sb	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	26,4	25,3	0,0	0,0	0,3	27,7	18,8	98,5	$\text{Ag}_{3,31}\text{Pb}_{1,66}\text{Sb}_{3,08}\text{S}_{7,95}$
2	27,4	26,2	0,0	0,1	0,1	28,7	17,7	100,2	$\text{Ag}_{3,48}\text{Pb}_{1,73}\text{Sb}_{3,23}\text{S}_{7,57}$
3	24,1	27,9	0,1	0,3	0,2	27,6	19,2	99,4	$\text{Ag}_{3,02}\text{Pb}_{1,86}\text{Sb}_{3,06}\text{S}_{8,1}$
4	32,7	23,6	0,0	0,0	0,0	24,8	18,3	99,4	$\text{Ag}_{4,08}\text{Pb}_{1,52}\text{Sb}_{2,79}\text{S}_{7,67}$
5	28,5	21,9	0,1	0,1	0,0	30,2	18,2	99,0	$\text{Ag}_{3,57}\text{Pb}_{1,42}\text{Sb}_{3,35}\text{S}_{7,66}$

Примечание. Ан. 1–4 – Тидид; ан. 5 – Тидид, данные М. С. Сахаровой, А. В. Ефимова.

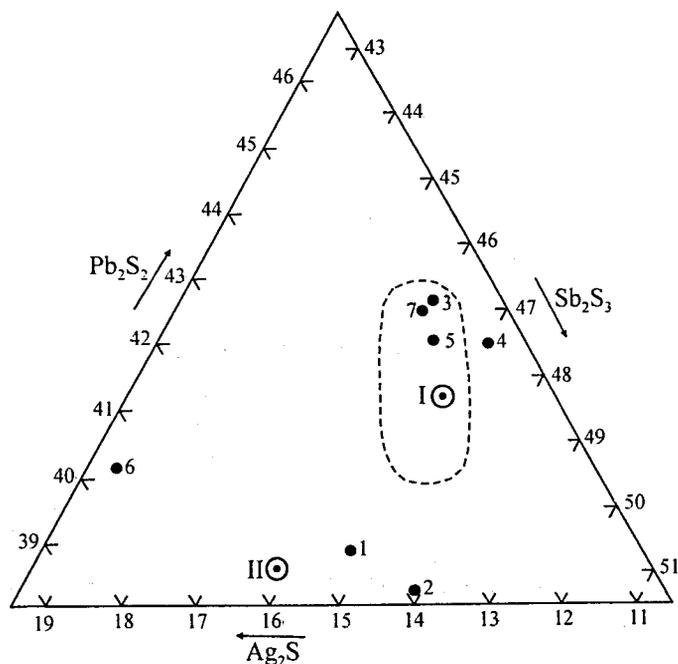
Овихиит, относимый к числу редких минералов вообще, и в нашем случае установлен только в рудах Тидида, в парагенезисе с диафоритом, фрейбергитом, миаргиритом, пираргиритом, развит, видимо, очень локально и по оптическим свойствам и морфологически подобен буланжериту. Минерал также

является нестехиометрическим соединением переменного состава, и при расчете кристаллохимических формул по результатам анализов использовалась предлагаемая Н. Н. Мозговой [1985] следующая формула:



где x варьирует от 0 до 0,20, а y – от 0,17 до 0,15 (рис. 16). При этом обращают на себя внимание анализы 1, 2, 6, где уровень концентрации серебра несколько выше, чем установленный в природных образцах в целом. Кроме того, в пяти из семи анализов содержания серы ниже установленных пределов. Эти отклонения могут объясняться парагенезисом с высокосеребристыми сульфоантимонитами.

Рис. 16. Распределение данных рентгеноспектральных анализов овихнита на диаграмме составов $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Pb}_2\text{S}_2 - \text{Sb}_2\text{S}_3$: I – теремковит, $\text{Pb}_7\text{Ag}_2\text{Sb}_8\text{S}_{20}$; II – формула Шеннона – Робинсона, $\text{Pb}_3\text{Ag}_2\text{Sb}_6\text{S}_{15}$ [Мозгова, 1985]



Овихнит месторождения Тидид

№ п/п	Ag	Pb	Sb	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	8,1	41,7	29,6	20,3	99,8	$\text{Ag}_{1,82}\text{Pb}_{4,89}\text{Sb}_{5,91}\text{S}_{15,38}$
2	7,7	41,3	30,2	19,1	98,3	$\text{Ag}_{1,78}\text{Pb}_{5,23}\text{Sb}_{6,23}\text{S}_{14,95}$
3	6,3	45,2	28,7	18,1	98,3	$\text{Ag}_{1,51}\text{Pb}_{5,68}\text{Sb}_{6,12}\text{S}_{14,69}$
4	6,2	44,6	29,3	17,9	98,0	$\text{Ag}_{1,49}\text{Pb}_{5,62}\text{Sb}_{6,28}\text{S}_{14,61}$
5	6,4	44,5	28,9	17,8	97,6	$\text{Ag}_{1,55}\text{Pb}_{5,63}\text{Sb}_{6,23}\text{S}_{14,61}$
6	9,4	43,6	27,2	17,7	97,9	$\text{Ag}_{2,28}\text{Pb}_{5,5}\text{Sb}_{5,84}\text{S}_{14,42}$
7	6,3	44,9	28,6	17,9	97,7	$\text{Ag}_{1,52}\text{Pb}_{5,67}\text{Sb}_{6,14}\text{S}_{14,65}$

Вариации для природных образцов по данным микрорентгеноспектральных анализов, мас. % [Мозгова, 1985]: Pb – 42,54–46,39; Ag – 5,83–6,86; Sb – 28,13–30,19; S – 18,84–19,98.

Данные о рамдорите и фрейслебените приведены из работы Н. А. Шило и др. [1992]. Эти редкие минералы также были установлены в рудах Тидида, их состав и кристаллохимические формулы приведены ниже.

Рамдорит и фрейслебенит

№ п/п	Ag	Pb	Sb	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	9,9	36,5	33,9	20,2	100,5	$\text{Ag}_{3,43}\text{Pb}_{6,59}\text{Sb}_{10,41}\text{S}_{23,39}$
2	10,4	33,6	36,5	20,4	101,4	$\text{Ag}_{3,54}\text{Pb}_{5,96}\text{Sb}_{11,04}\text{S}_{23,56}$
3	20,2	39,3	23,4	18,4	101,2	$\text{Ag}_{0,99}\text{Pb}_{1,00}\text{Sb}_{1,01}\text{S}_{3,02}$

Эти минералы отмечены в том же парагенезисе и, являясь соединениями переменного состава, сопоставимы с известными в серебро-сурьмяных рудах Верхояно-Колымской складчатой области [Некрасов и др., 1987] аналогичными минералами и с рамдоритом Потози (Ag – 9,6; Pb – 35,7; Sb – 36,1; S – 19,4; сумма 100,8 мас. % [Мозгова, 1985]). При расчете на 13 атомов [Костов, Минчева-Стефанова, 1984] формульные коэффициенты для рамдорита выглядят следующим образом:

1 – $\text{Ag}_{1,02}\text{Pb}_{1,95}\text{Sb}_{3,08}\text{S}_{6,96}$; 2 – $\text{Ag}_{1,05}\text{Pb}_{1,76}\text{Sb}_{3,27}\text{S}_{6,92}$, т. е. с заметным отклонением в “сурьмяную” область составов.

Пираргирит – второй по значимости минерал серебра в рудах всех рассматриваемых месторождений. Минерал отмечается преимущественно в виде мелких включений и прожилковидных обособлений в

галените, иногда – по спайности галенита, а также в сростаниях с фрейбергитом, акантитом, халькопиритом, сфалеритом. Иногда в нем отмечается эмульсионный акантит (Гольцовое; данные А. П. Епифановой). В сульфоантимонитовых рудах выделяются две генерации пираргирита [Сахарова и др., 1985]: 1 – в мелких включениях в галените; 2 – количественно преобладающая и ассоциирующая со многими минералами руд, замещающая галенит, халькопирит, фрейбергит-2, диафорит. Минерал обычно содержит примесь Cu (не выше 0,9 мас.%) и иногда Fe (0,1–0,4 мас.%). Se и As достоверно не устанавливаются (за исключением ан. 10 – As 1,2 мас.%).

Пираргирит

№ п/п	Ag	Fe	Cu	Zn	Sb	Se	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	60,0	0,0	0,9	0,0	21,8	0,0	17,4	100,1	$Ag_{2,61}Sb_{0,84}S_{2,55}$
2	61,5	0,0	0,5	0,0	20,1	0,1	15,9	98,1	$Ag_{2,78}Sb_{0,8}S_{2,41}$
3	60,3	0,1	0,2	0,0	22,4	0,0	17,1	100,1	$Ag_{2,63}Sb_{0,86}S_{2,51}$
4	61,1	0,0	0,3	0,0	20,9	0,1	16,8	99,2	$Ag_{2,7}Sb_{0,81}S_{2,49}$
5	60,0	0,1	0,3	0,2	22,4	0,2	16,1	99,3	$Ag_{2,69}Sb_{0,9}S_{2,43}$
6	57,3	0,4	0,9	0,0	22,7	0,1	16,7	98,1	$Ag_{2,57}Sb_{0,9}S_{2,53}$
7	59,7	0,0	0,0	0,1	21,8	0,0	16,6	99,2	$Ag_{2,66}Sb_{0,86}S_{2,48}$
8	59,8	0,0	0,1	0,0	22,4	0,0	17,1	99,4	$Ag_{2,62}Sb_{0,86}S_{2,52}$
9	67,0	0,0	0,1	0,0	19,0	–	14,7	100,8	$Ag_{3,02}Sb_{0,76}S_{2,23}$
10	57,4	0,0	0,0	0,0	23,7	–	18,3	100,6	$Ag_{2,46}Sb_{0,9}S_{2,64}$
11	58,8	0,1	0,3	0,0	22,0	–	17,4	98,2	$Ag_{2,58}Sb_{0,86}S_{2,57}$
12	62,3	0,0	0,0	0,4	19,3	–	15,8	98,9	$Ag_{2,82}Sb_{0,77}S_{2,41}$
13	58,5	0,0	0,0	0,0	22,6	0,0	17,4	98,6	$Ag_{2,56}Sb_{0,87}S_{2,56}$
14	58,5	0,0	0,1	0,0	21,9	0,0	17,1	97,7	$Ag_{2,57}Sb_{0,84}S_{2,6}$

Примечание. Прочерк – элемент не определялся; ан. 1–8 – Тидид; ан. 9 – Тидид, данные М. С. Сахаровой, А. В. Ефимова; ан. 10 – Гольцовое, данные тех же авторов; ан. 11,12 – Гольцовое, данные А. П. Епифановой; ан. 13,14 – Токичанское.

Стефанит – характерный минерал сульфоантимонитовых руд, уверенно определяемый в рудах Мечты, Тидида, Гольцового и (после пираргирита) самый распространенный минерал серебра. Он часто ассоциирует с пираргиритом в тончайших прожилковидных обособлениях в ранних сульфидах и в виде мелких вростков в галените. В последнем случае возможна ассоциация с акантитом (Гольцовое, данные А. П. Епифановой). Описан агрегат аллотриоморфных зерен стефанита, нарастающих на щетки мелких кристаллов фрейбергита [Сахарова и др., 1985], на Мечте встречен с полибазитом (?). В составе стефанита отмечены примеси Cu, Zn, Cd, Fe и As, в целом же он относительно выдержан.

Стефанит

№ п/п	Ag	Cu	Zn	Cd	Au	As	Sb	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	63,8	2,2	0,7	0,3	0,0	0,0	10,3	21,3	98,9	$Ag_{3,97}Sb_{0,56}S_{4,46}$
2	70,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,3	14,3	100,3	$Ag_{4,79}Sb_{0,92}S_{3,29}$
3	70,3	0,1	0,0	0,3	0,3	0,3	13,2	14,9	99,8	$Ag_{4,8}Sb_{0,8}S_{3,41}$
4	71,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	15,6	14,8	101,9	$Ag_{4,76}Sb_{0,92}S_{3,32}$
5	70,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	14,7	100,9	$Ag_{4,74}Sb_{0,93}S_{3,33}$
6	66,1	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	15,4	16,2	98,8	$Ag_{4,43}Sb_{0,91}S_{3,66}$
7	67,2	0,4	1,2	0,0	0,0	0,5	15,4	16,0	100,9	$Ag_{4,49}Sb_{0,91}S_{3,6}$

Примечание. Ан. 1,2 – Мечта; ан. 3 – Тидид; ан. 4,5 – Тидид, данные М. С. Сахаровой, А. В. Ефимова; ан. 6,7 – Гольцовое, данные А. П. Епифановой.

Стефанит – минерал, отлагающийся только в области низких температур, является дополнительным указателем на условия формирования серебросодержащего парагенезиса, поскольку верхний температурный предел устойчивости минерала составляет $155 \pm 10^\circ \text{C}$ [Некрасов, Чевычелов, 1980].

Миаргирит встречается в сростаниях с фрейбергитом (ан. 6, Гольцовое, данные А.П. Епифановой) или диафоритом, в котором часто образует миркепитоподобные выделения [Сахарова и др., 1985], а также с пираргиритом. Состав минерала близок к теоретическому, изредка устанавливаются примеси Cu, Zn и Se.

Миаргирит									
№ п/п	Ag	Fe	Cu	Zn	Sb	Se	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	35,1	0,1	0,4	0,0	40,9	0,0	21,5	98,0	$Ag_{0,49}Sb_{0,5}S_{1,01}$
2	35,2	0,1	0,0	0,0	40,7	0,0	22,3	98,3	$Ag_{0,48}Sb_{0,49}S_{1,03}$
3	35,9	0,1	0,0	0,3	41,1	0,6	21,1	99,2	$Ag_{0,5}Sb_{0,51}S_{0,99}$
4	35,5	0,0	0,0	0,0	42,1	0,0	21,3	99,9	$Ag_{0,49}Sb_{0,51}S_{0,99}$
5	35,9	0,0	0,0	0,0	42,6	0,0	20,9	99,4	$Ag_{0,5}Sb_{0,52}S_{1,02}$
6	35,1	0,1	0,5	0,0	41,9	0,0	21,7	99,3	$Ag_{0,48}Sb_{0,51}S_{1,01}$
7	36,5	0,0	0,0	0,0	41,9	0,0	21,6	100,0	$Ag_{0,5}Sb_{0,81}S_{0,99}$
8	37,4	0,0	0,0	0,0	41,0	0,0	21,1	99,5	$Ag_{0,52}Sb_{0,5}S_{0,99}$
9	37,1	0,0	0,0	0,0	42,1	0,0	21,8	100,8	$Ag_{0,5}Sb_{0,5}S_{0,99}$

Примечание. Ан. 1–3 – Тидид; ан. 4,5 – Тидид, данные М. С. Сахаровой, А. В. Ефимова; ан. 6 – Гольцовое, данные А.П. Епифановой; ан. 7–9 – Гольцовое, данные М. С. Сахаровой, А. В. Ефимова.

Минералы группы **полибазита** в сульфоантимонитовых рудах встречаются редко в мелких полигональных включениях в пираргирите, в сростании со стефанитом (Мечта, ан. 1) или кайме вокруг фрейбергита (Гольцовый; данные А. П. Епифановой, ан. 2). Единственной примесью в составе минерала является Cu, уровень концентрации которой достаточно высок: 2,4–4,5 мас.%, и, судя по этому признаку, минерал относится к структурной разновидности с единичной ячейкой, наиболее распространенной вообще [Костов, Минчева-Стефанова, 1984]. Расчет формулы минерала в этом случае производится по варианту $(Ag_{13-11}Cu_{3-5})Sb_2S_{11}$.

Полибазит							
№ п/п	Ag	Fe	Cu	Sb	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	72,1	0,1	4,5	9,5	12,0	98,2	$Ag_{16,25}Cu_{1,73}Sb_{1,90}S_{9,10}$
2	72,1	0,0	2,4	10,0	14,5	99,0	$Ag_{15,58}Cu_{0,93}Sb_{1,86}S_{10,47}$

Примечание. Ан. 1 – Мечта; ан. 2 – Гольцовое, данные А. П. Епифановой.

Интерметаллиды Ag-Sb

Известны только в рудах с широким спектром сульфоантимонитов серебра (месторождения Балыгачан-Сугойской структуры), но и там относятся к числу малораспространенных минералов. По данным М. С. Сахаровой с соавторами [1985], **алларгентум** по времени образования сопоставим с самородным серебром, но является несколько более ранним (оторочки самородного серебра по периферии выделений алларгентума). В сростаниях с самородным серебром и акантитом минерал встречается в интерстициях между кристаллами кварца. Размер отдельных зерен в аллотриоморфнозернистых агрегатах не более 140 мкм. В таких же образованиях установлен и **дискразит**.

Алларгентум					
№ п/п	Ag	Sb	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	83,8	16,2	0,0	100,0	$Ag_{5,12}Sb_{0,88}$
2	83,6	16,1	0,2	99,9	$Ag_{5,13}Sb_{0,87}$
3	83,5	15,8	0,3	99,6	$Ag_{5,14}Sb_{0,86}$

Примечание. Мечта, Тидид, данные М. С. Сахаровой, А. В. Ефимова.

Состав минералов чрезвычайно близок составу алларгентума и дискразита, установленных в рудах серебро-сурьмяных проявлений Верхояно-Колымской складчатой области Альфа и Тихон [Некрасов и др., 1987], где они отмечаются в близких по составу парагенезисах и являются одними из наиболее поздних рудных минералов.

Дискразит

№ п/п	Ag	Fe	Sb	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	76,5	0,0	24,1	0,2	100,8	$Ag_{6,26}Sb_{1,74}$
2	76,3	0,1	23,2	0,0	99,6	$Ag_{6,31}Sb_{1,7}$
3	70,6	0,0	27,3	0,1	98,0	$Ag_{5,96}Sb_{2,04}$

Примечание. Мечта, Тидид, данные М. С. Сахаровой, А. В. Ефимова.

В комплекс серебросодержащих фаз входят также **акантит**, встреченный хотя и в незначительных количествах и в сульфоантимонитовых, и в сульфостаннатных рудах, и **самородное серебро**. Оба минерала отмечаются и в гипогенных, и в гипергенных образованиях. Акантит пространственно связан с пираргиритом, стефанитом и самородным серебром, образуя в агрегатах этих минералов тончайшие прожилки, нарастая на грани кристаллов пираргирита и стефанита. В рудах месторождения Гольцовое акантит наблюдался в галените и сфалерите в тонкоагрегатных смесях со стефанитом или сростаниях с пираргиритом и фрейбергитом, иногда – в периферических каймах вокруг выделений галенита (данные А.П. Епифановой). Гипергенный акантит в гидроокислах железа образует субмикроскопические выделения или более крупные скопления неправильной формы, содержащие каплевидные включения самородного серебра. При этом и гипогенное, и гипергенное самородное серебро обладает, по данным М. С. Сахаровой с соавторами [1985], однороднозернистой субструктурой без следов зональности.

Сульфостаннаты серебра

Эта группа минералов, в которую входят **окартит**, **канфильдит** и его селенистая разновидность, наблюдалась только в месторождениях Тенькинской зоны, причем Se-содержащий канфильдит – исключительно в жилах позднего сереброносного этапа, где он является главным рудным минералом.

Окартит и **канфильдит** образуют мелкую вкрапленность, напоминающую структуры распада твердого раствора, в галените месторождений Токичанское, Тигрец-Индустрия, проявления Кочевой (см. фототабл. 7: 7, 8). При этом отдельные тельца могут быть как мономинеральными, так и, что наблюдается чаще, представлять собой сростания окартита или канфильдита со станнином, сфалеритом и серебросодержащим тетраэдритом в разных вариациях (табл. 6). Окартит и канфильдит преобладают над блеклой рудой и являются ведущими фазами серебра. Se-содержащий канфильдит образует неравномерно распределенную вкрапленность в кварце поздних жил с размерами выделений преимущественно на уровне первых миллиметров и может содержать мелкие вроски галенита, сфалерита, халькопирита и мирмекитоподобные выделения станнина.

Состав окартита определен в двух образцах (9 анализов) из месторождения Тигрец, весьма однороден и близок к теоретическому и к приводимым в опубликованных работах данным [Некрасов и др., 1978; Чистякова и др., 1979; Добровольская и др., 1984; Некрасова и др., 1986]. Необходимо отметить постоянное присутствие Cu (0,8–0,4 мас.%) и Zn (1,1–4,2 мас.%). Состав канфильдита и его Se-содержащей разновидности, до недавнего прошлого относимых к редким минералам, заслуживает более подробной характеристики.

Минералы диагностированы по оптическим свойствам и рентгенометрическим данным.

Обе разновидности канфильдита характеризуются постоянным дефицитом серебра в сравнении с теоретическим составом, что отмечалось ранее С. М. Сандомирской [1983] при работе с рудами Карамкена. Тогда же ею была предложена формула для расчета состава минерала $Ag_{8-x}SnS_6$, где $X < 2,67$, позднее принятая и в справочнике “Минералы благородных металлов” [1986]. При работе с рассматриваемыми рудами состав канфильдита был определен в 28 точках, а Se-канфильдита – в 33, и

в отдельных случаях дефицит серебра превышает 2,67 ф. ед., причем нарастание концентраций серебра сопровождается снижением концентраций элементов анионной группы. Степень неоднородности минерала по серебру и сере достаточно велика даже в пределах одного зерна – 3–4 ат.%, по олову и селену составы более выдержаны.

Таблица 6

Составы минералов канфилдит- и Se-канфилдитсодержащих парагенезисов, мас.%

Образец, месторождение	Ag	S	Sn	Cu	Fe	Zn	Se	Сумма	Минерал
9/АП-85, Токичанское	58,6	20,2	13,4	3,9	1,4	0,3	–	97,7	Канфилдит
	69,4	17,8	10,5	0,5	0,1	–	–	98,4	То же
	68,5	18,1	12,4	0,3	–	0,5	–	99,7	»
	5,8	28,7	26,0	26,9	9,9	1,7	–	98,9	Станнин
	0,7	29,3	26,3	28,9	10,6	2,5	–	98,4	То же
	0,6	29,4	27,0	28,5	10,4	2,4	–	98,2	»
	–	33,8	0,1	0,2	4,5	59,6	–	98,2	Сфалерит
	–	33,1	–	0,1	4,6	59,7	–	97,6	То же
14в/АП-85, Токичанское, поздние жилы	64,9	14,6	9,5	–	–	–	8,7	97,7	Se-канфилдит
	65,7	14,1	10,2	–	0,1	0,1	8,1	98,3	То же
	0,1	33,8	0,8	0,8	2,9	59,9	0,6	98,9	Сфалерит
	0,8	35,2	0,1	33,6	26,6	0,1	0,6	98,0	Халькопирит
	0,6	35,4	0,1	33,7	27,6	0,1	0,4	98,4	То же
	0,4	29,0	28,2	29,5	11,0	1,8	0,3	100,3	Станнин
	0,2	29,3	27,0	29,6	10,7	1,9	0,6	99,3	То же
	0,1	28,2	28,2	29,3	9,8	2,4	0,6	98,5	»

Примечание. Прочерк – элемент не обнаружен.

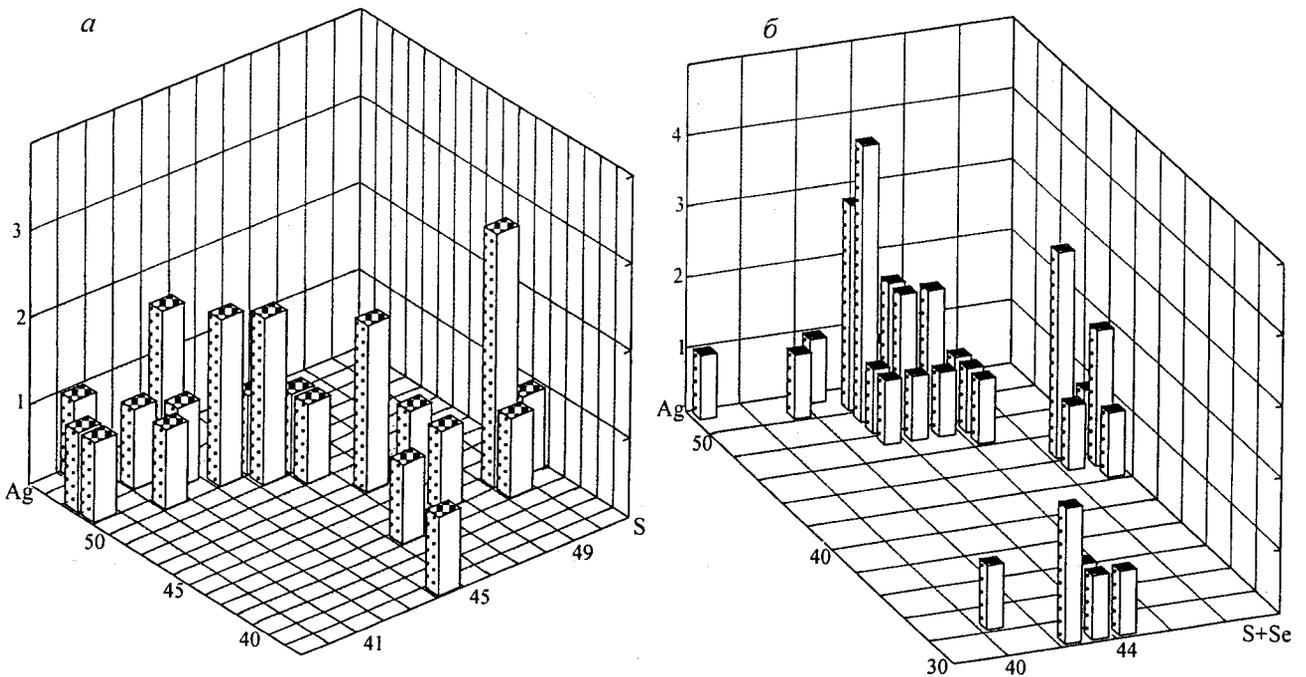


Рис. 17. Соотношение Ag – S в канфилдите (а), $n = 26$ и Ag – S + Se в Se-канфилдите (б), $n = 41$ месторождений сульфостаннатного минерального типа, мас.%

Рассмотрение вариаций состава минералов (рис. 17) позволило выделить две группы составов с близкими для обеих разновидностей значениями концентраций (табл. 7). Необходимо также отметить невыдержанность состава основных сульфидов, ассоциирующих с канфилдитом и Se-канфилдитом:

станнин содержит примеси серебра и цинка, сфалерит – железа, а в поздних жилах все сульфиды, ассоциирующие с селеноканфилдитом, “заражены” серебром и селеном.

Таблица 7

Средние составы селеноканфилдита и канфилдита по группам, ат.%

Элемент	Селеноканфилдит				Канфилдит			
	1		2		1		2	
	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
Ag	43,7	0,7	50	1,8	42,7	1,7	50,1	2,4
Sn	7,3	0,5	7,4	0,8	7,0	1,1	6,1	0,9
Se	8,9	2,7	7,3	1,0	–	–	–	–
S	40,1	2,9	36,2	2,3	48,5	2,2	43,4	2,5

Примечание. \bar{X} – среднее арифметическое, S – стандартное отклонение.

Рассмотрение вариаций состава основных сульфидов, минералов серебра и серебросодержащих парагенезисов позволяет выделить типоморфные парагенезисы, типоморфные составы или вариации составов минералов и, при использовании опубликованных данных об экспериментальных работах, проведенных в олово- и серебросодержащих системах, сопоставить некоторые параметры процесса рудообразования для этих или подобных руд. Прежде всего, необходимо отметить общую для руд обоих типов смену сульфидов железа сульфидами цинка и меди, а затем галенитом с последующей или частично совпадающей с ним во времени серебро- и, отчасти, оловосодержащей минерализацией, общим характером эволюции рудообразующих растворов. Столь же важными являются неоднородность руд – обилие брекчиевых текстур, неравномерность и локальность размещения минеральных парагенезисов и неоднородность слагающих их минералов, как показатели градиентных условий формирования.

Некоторые данные о физико-химических условиях формирования руд

Месторождения с сульфоантимонитовым типом минерализации

Руды арсенопирит-хлорит-кварцевой и ранние парагенезисы полисульфидной стадий, судя по данным о температурах гомогенизации газовой-жидких включений в кварце ранних генераций, формировались при температурах, не превышавших 300°C (кварц-1 – 300–290°C; кварц-2 – 280–260°C [Сахарова и др., 1985]; ранний кварц – 310–280°C) (табл. 8). Дополнительным репером служит гудмундит, также относимый к ранним парагенезисам. Верхний температурный предел устойчивости минерала определяется на уровне 280°C [Clark, 1966; Воган, Крейг, 1981].

Халькопирит-станнин-сфалеритовый и буланжерит-галенитовый с фрейбергитом и пираргиритом парагенезисы полисульфидной стадии отлагались при снижении активности в растворах Cu, Zn и Pb и высокой – FeS. Галенит с включениями минералов серебра мог отлагаться в слабощелочной среде (pH = 6,5) при повышенных значениях Eh [Сахарова и др., 1985; Геохимия ..., 1975].

В образованиях стадии сульфоантимонитов серебра был выделен ряд типоморфных парагенезисов минералов серебра, для которых определены некоторые условия отложения [Сахарова и др., 1985; Сахарова, Ряховская, 1989; Шило и др., 1992]. Так, фрейбергит-диафоритовый и фрейбергит-миаргиритовый парагенезисы отлагались в интервале температур от 300 до 200°C при $f_{S_2} > 10^{10-14}$ атм. и $f_{O_2} > 10^{-33}$ атм. Для пираргирит-стефанитового парагенезиса температуры не превышали 150°C, в условиях $f_{S_2} > 10^{-20}$, $f_{O_2} < 10^{-50}$ атм., в восстановительной обстановке из слабощелочных растворов. Близкие параметры были получены при исследовании системы Ag – Sb – S [Некрасов, Чевычелов, 1980]: интервал температур 120–350°C, а $f_{S_2} < 10^{-11} - 10^{-12}$ атм.

Таблица 8

**Некоторые физико-химические параметры стадийного минералообразования
для месторождений сульфоантимонитового и сульфостаннатного минеральных типов**

Стадия или парагенезис	T, °C	f_{S_2} атм.	f_{O_2} атм.	pH	$P_{фл.} - P_{H_2O}$	Литературный источник
Сульфоантимонитовый тип						
Арсенопирит-хлорит-кварцевая и полисульфидная	Кварц I, 300-290	-	-	~ 6,5	-	
	Кварц II, 280-260					
Фрейбергит-диафоритовый	Гудмунит, до 280					Сахарова и др., 1985; Сахарова, Ряховская, 1989; Шило и др., 1992; Clark, 1966; Воган, Крейг, 1981; Геохимия..., 1975; Некрасов, Чевычелов, 1980
	300-200	$>10^{-14}$	$>10^{-33}$	-	-	
Фрейбергит-миаргиритовый						
Пираргирит-стефанитовый	≤ 260	$>10^{-20}$	$<10^{-50}$	-	-	
Сульфостаннатный тип						
Касситерит-кварцевый и пирит-арсенопиритовый	325-240	$10^{-12} - 10^{-17}$	$10^{-38} - 10^{-28}$	3-5	0,1-0,4	
Полисульфидная-карбонатная	250-80	$10^{-19} - 10^{-10}$	$10^{-50} - 10^{-41}$	3-10	0,01-0,2	Некрасов, 1976, 1980, 1984
“Поздние жилы”	< 200	-	Снижение	-	-	

Примечание. Прочерк – нет данных.

Месторождения с сульфостаннатным типом минерализации

Исходя из данных о смене парагенезисов в рассматриваемых рудах и абсолютной их близости к данным о составе и эволюции руд в олово-полиметаллических месторождениях вообще, можно говорить и о близости условий формирования руд. В работе И. Я. Некрасова, посвященной закономерностям образования эндогенных месторождений [1980], приведены пределы изменения физико-химических параметров растворов при отложении минеральных ассоциаций касситерит-силикатно-сульфидных руд, применимые к образованиям касситерит-силикатно-сульфидного и ранним парагенезисам олово-серебро-полиметаллического этапа. Интервал температур отложения касситерит-кварцевого и пирит-арсенопиритового парагенезисов 325–240°C, pH около 3–5, $f_{O_2} - 10^{-38} - 10^{-28}$, $f_{S_2} - 10^{-12} - 10^{-7}$ атм., $P_{фл.} - P_{H_2O} - 0,1 - 0,4$ кбар. Этот этап проявлен на Тигреце. Следующие за ним полисульфидно-карбонатные ассоциации олово-серебро-полиметаллического этапа отлагались при последовательном снижении температур от 250 до 80°C, нарастании pH 3–10, $f_{O_2} - 10^{-50} - 10^{-41}$, $f_{S_2} - 10^{-19} - 10^{-10}$ атм., $P_{фл.} - P_{H_2O} - 0,01 - 0,2$ кбар. Составы арсенопирита и сфалерита также свидетельствуют о сравнительно высокой a_{S_2} и активности FeS на ранних стадиях.

В этих же пределах варьируют и параметры растворов, из которых отлагались минеральные ассоциации олово-серебряных месторождений Северо-Востока Якутии [Некрасов, 1984б], которые, хотя и не являются полными аналогами, но очень близки к рассматриваемым месторождениям. Полисульфидно-сульфосольные ассоциации этих месторождений отлагались в интервале температур 350–150°C при небольших вариациях f_{S_2} ($10^{-15} - 10^{-6}$ Па) и чрезвычайно низкой f_{O_2} ($10^{-40} - 10^{-48}$ Па), приведшей к образованию тиллита – соединения Sn^{2+} . В нашем случае, хотя тиллит и не диагностирован, встречены характерные касситерит-галенитовые фестончатые сростания, идентичные обнаруженным на Синанче [Радкевич, 1959]. Такие образования интерпретируются как результат разложения тиллита в растворах повышенной щелочности [Некрасов, 1976] на фоне общего снижения температуры.

Но главным фактором, определяющим минеральный состав руд, исследователи месторождений подобного типа считают “закономерное изменение активности металлов в растворах... в условиях, характеризующихся резким перепадом температуры в течение единого этапа минералообразования” [Некрасов, 1984б. С. 85].

Поздний сфалерит-станнин-канфилдитовый (или окартитовый) парагенезис, в котором возможно и участие Ag_2S , мог отлагаться как из Sn и Ag-содержащих растворов, так и при взаимодействии Ag-содержащих растворов с касситеритсодержащими рудами в системе с Sn^{+4} . При этом поле устойчивости канфилдита расширяется по мере снижения температуры и фугитивности H_2O и O_2 в равновесных с канфилдитом растворах [Некрасов, 1976]. Сфалерит-станнин-Se-канфилдитовая ассоциация поздних жил отлагалась в близких условиях, но, судя по невыдержанности составов минералов, в течение еще более короткого гидротермального “импульса” при $T < 200^\circ C$.

Таким образом, налицо и отчетливое сходство физико-химических параметров рудообразующих растворов для руд сульфоантимонитового и сульфостаннатного типов, и, в то же время, заметные различия, определяемые активностью разных металлов в процессе отложения сопоставляемых минеральных парагенезисов. С учетом небольшого вертикального размаха оруденения и нерезко проявленной вертикальной минералогической зональности мы наблюдаем разные фации оруденения: существенно сульфосольную в месторождениях Балыгычан-Сугойской структуры с ведущей ролью на разных стадиях рудоотложения Fe–Cu, Zn, Sn–Pb, Ag, Sb, S и существенно сульфостаннатную в месторождениях Тенькинской зоны с преобладанием на ранней стадии Sn и Fe, затем Fe, Cu и Zn, а на поздней – Pb, Sn, S с присоединением Ag и Sb. Эти фации – а в нашем случае можно говорить и о минеральных типах – совмещены на многостадийных месторождениях с отчетливо проявленной минералого-геохимической зональностью, таких как олово-золото-серебряные (Карамкен) или серебряные (Дукат), существенно серебро-сурьмяные или серебро-свинцово-цинковые (месторождения Верхояно-Колымской области) и олово-серебряные с сурьмой (месторождения Восточной Якутии).

Глава 4. ОЛОВО-СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОКА В РЯДУ ОЛОВОРУДНЫХ ФОРМАЦИЙ

Анализ минералого-геохимических особенностей рассматриваемых месторождений и определенных для руд подобного типа некоторых параметров процесса рудоотложения приводит к выводу о формировании месторождений в градиентных условиях, характеризующих близповерхностное вулканогенное оруденение. При этом отложение собственно олово-серебро-полиметаллических руд происходило в течение одного этапа минералообразования. Каково же положение исследуемого оруденения в генетическом ряду оловорудных формаций? К пониманию этого позволяет подойти рассмотрение последовательности формирования, фациальных особенностей и наиболее контрастных проявлений зональности оловянного и серебряного оруденения Омсукчанского металлогенического пояса и Тенькинской металлогенической зоны (как части Яно-Колымского пояса или южной части Тас-Кыстабытской оловоносной площади по С. Ф. Лугову [Геология..., 1986]) в сравнении со сходными типами оруденения Дальнего Востока и Якутии – регионов с широко проявленной оловянной и серебряной минерализацией различной формационной принадлежности, и мировым эталоном олово-серебряного оруденения – известными боливийскими месторождениями.

Омсукчанский металлогенический пояс

Омсукчанский металлогенический пояс [Nokleberg et al., 1993] или зону [Политов, 1972, 1980; Умитбаев, 1986] многие авторы выделяют как оловоносный район со специфической металлогенией (Балыгычанский оловорудный район [Геология..., 1986; Чайковский, 1960], Балыгычан-Сугойская оловоносная зона [Лугов и др., 1972], Омсукчанский рудный район [Филатов, 1969], Балыгычан-Сугойская структурно-металлогеническая зона [Матвеев, 1960; Умитбаев, 1986]). При этом отмечается приуроченность оловянного и серебряного оруденения района к тектоническим нарушениям так называемого омсукчанского структурного плана [Геология..., 1986] или магмо- и рудоконтролирующим разломам глубинного заложения по С. И. Филатову [1969], В. К. Политовым [1980], вслед за В. Т. Матвеевко и С. И. Филатовым, были выделены линейные рудные зоны и металлогенические площади, в которых сосредоточено оловосодержащее оруденение. Рассматриваемые месторождения локализованы в пределах Кэнской (Малый Кэн и Мечта) и Джагынской (Тидид) зон и Пестринского рудного узла (Ирча, Гольцовый, Порфиновый), т. е. в северной и южной частях Омсукчанской зоны. Исследователи металлогении и отдельных месторождений региона отмечают пространственную и генетическую связь оловянного оруденения с массивами гранитоидов, в которых и вокруг которых сформировались оловорудные узлы. При этом ведущая или даже исключительная роль отводится касситерит-силикатной формации и подчеркивается общий малоглубинный характер оловянного оруденения [Матвеев, 1960; Филатов, 1969; Политов, 1972, 1980; Геология..., 1986], размах которого достигает 300 м, на больших глубинах (до 500 м) оруденение резко затухает. Большая часть месторождений характеризуется отчетливой вертикальной зональностью с проявлением вольфрамовой и молибденовой минерализации на нижних, а сульфидных парагенезисов – на верхних горизонтах рудных тел.

В работах В. Т. Матвеевко отмечался комплексный характер руд касситерит-силикатно-сульфидного состава (W, Pb, Zn, Cu, Bi, Co, Ag; возможен Se), а специфичность для Охотско-Чукотского вулканогенного пояса касситерит-сульфидного (олово-полиметаллического, типа месторождения Хета) оруденения отмечал М. П. Материков [1974]. Ряд исследователей выделяют этапы в процессе образования собственно оловянных руд: магматический, пневматолитовый и гидротермальный [Филатов, 1969] или магматический, включающий пегматиты и грейзены, и гидротермальный [Роднов, Зайцев, 1985]. При этом основные месторождения олова связаны с гидротермальным этапом, многостадийность или

многофазность которого отмечают практически все. Наиболее детальной является схема последовательности минералообразования, разработанная В. К. Политовым [1980], включающая 5 стадий и до 12 характерных минеральных парагенезисов (табл. 9), причем автор подчеркивает формирование касситерит-силикатного оруденения в течение единого этапа в близповерхностных условиях.

В общем ряду касситерит-силикатных месторождений Омсукчанской зоны был выделен ряд фаций [Лугов и др., 1972], или фациальный ряд минеральных типов оловянного оруденения района, причем во всех случаях в нем присутствует сульфидный или сульфидно-кварцевый тип. Это подразделение в известной степени наследует тезис об импульсивной стадийности В. Т. Матвеевко (“рудопроявления вольфрама, молибдена, железа, свинца, обособленные от оловянных месторождений, знаменуют отдельные стадии рудного процесса”), выделявшего шесть главных минеральных типов касситерит-силикатного оруденения, связанных постепенными взаимопереходами [Матвеевко, 1957].

Таблица 9

Стадии и минеральные парагенезисы
касситерит-силикатных месторождений Омсукчанской металлогенической зоны

По С.И. Филатову [1969]	По В.К. Политову [1980]		По Ю.Н. Роднову, В.И. Зайцеву [1985]	
Стадия	Стадия	Парагенезис	Стадия	Парагенезис
Раннехлоритовая Кварц-турмалиновая	Кварц-турмалиновая	Кварц-турмалиновый	Дорудных метасоматитов	
	Кварц-турмалин-касситеритовая	Кварц-касситеритовый Альбитово-слюдистый		Кварц-турмалин-касситеритовый Касситерит-хлорит-кварцевый
Кварц-касситеритовая Позднелхлоритовая	Кварц-хлорит-касситеритовая	Вольфрамитодиарсенидный Касситеритовый Шеелит-сульфидный	Рудная	Сульфидный Пирит-пирротиновый с арсенипиритом, халькопиритом, станнином, блеклой рудой
Кварц-сульфидная (Ag) Каолинит-серицитовая	Сульфидная	Пирит-пирротиновый Халькопирит-галенитовый Сульфосольный Селенидный		
Кварц-карбонатная	Кварц-кальцит-флюорит-каолиновая	Кварц-кальцит-флюорит-каолиновый	Пострудная	

Для понимания взаимоотношений оруденения различных формационных типов очень важны работы, в которых рассматриваются этапность и стадийность минералоотложения на крупнейшем серебряном месторождении района – Дукатском. Это месторождение по-прежнему традиционно относят к золото-серебряному типу [Константинов и др., 1998], хотя там же оно приводится как пример серебро(золото)-свинцово-цинковой формации, а в более ранней монографии “Серебро...” [1989] – базовой серебро-сульфидной (допорфиновой) формации. В процессе минералоотложения исследователи выделяют не менее трех основных этапов – ранний золото-серебряный, поздний золото-серебряный, оловянно-полиметаллический, в каждом из которых – от двух до четырех стадий. Обращают на себя внимание устойчивые высокотемпературные условия формирования руд, признаки прогрессивного температурного режима на раннем этапе и высокие межэтапные и межстадийные перепады температур (до 350°C). Эти

условия определили полипродуктивность рудоотложения с выделением сереброносных минеральных парагенезисов в конце нескольких последовательных стадий минерализации при снижении температуры до 200–250°C [Серебро..., 1989. С. 113].

Оловянно-полиметаллическая минерализация известна в хлорит-сульфидно-кварцевых и адуляр-кварцевых жилах, где в ассоциации со сфалеритом, галенитом и станнином описан канфильдит (данные И. С. Раевской), пространственно обособленный от других минералов серебра. Это, возможно, свидетельствует о разновременном формировании Sn-содержащих и продуктивных сереброносных ассоциаций [Константинов и др., 1998].

Исследователи отмечают длительность формирования руд месторождения – около 20 млн лет, т.е. практически в течение большей части позднемеловой эпохи, что, с учетом длительного этапа “рудодоподготовки”, и определило масштабы и полигенность оруденения [Константинов и др., 1998]. Основная масса руд серебро-полисульфидного состава отнесена к “допорфировым” образованиям, т.е. является более древней, чем касситерит-силикатно-сульфидные месторождения района типа Малого Кэна [Серебро..., 1989].

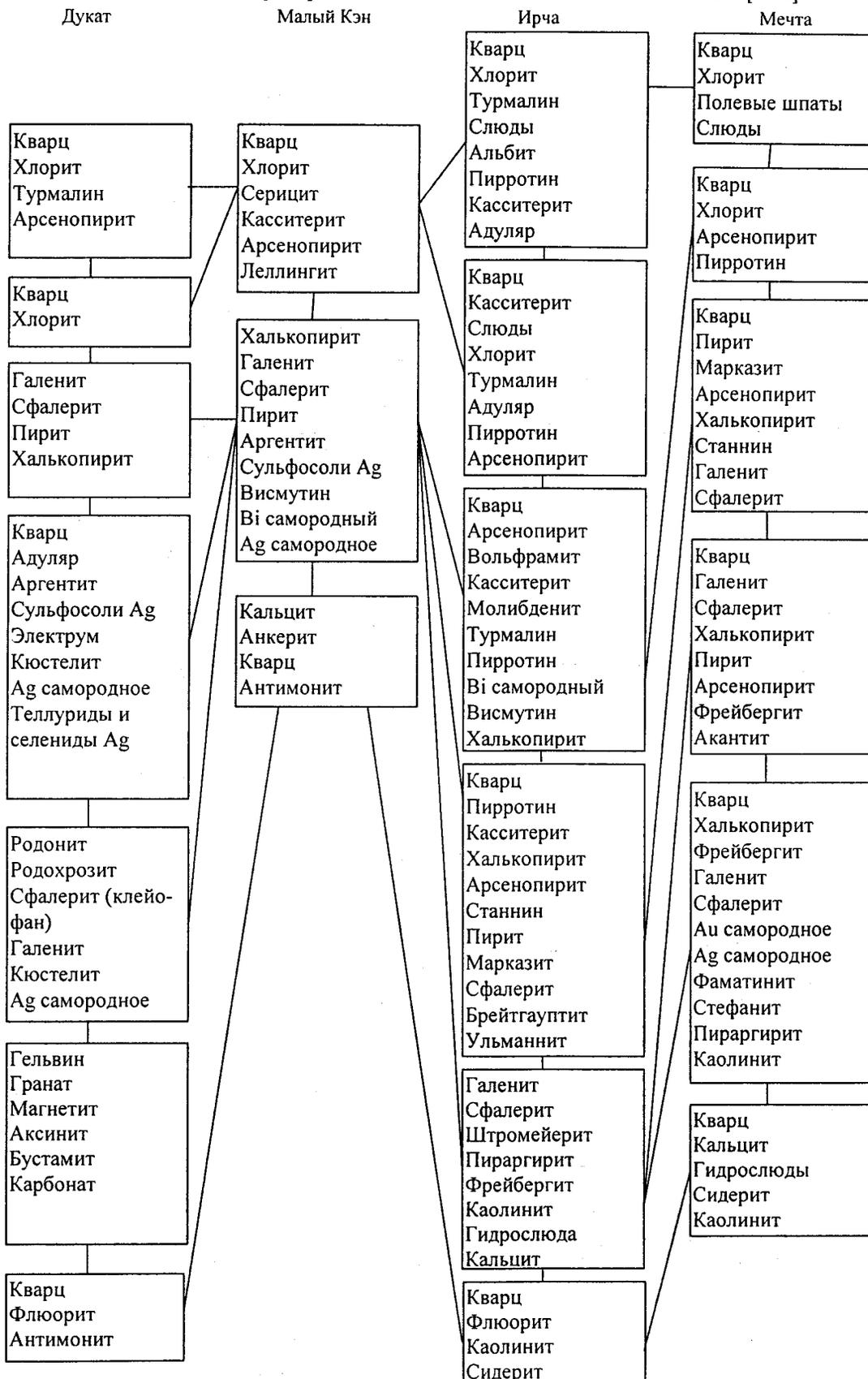
Важным в исследовании связей вулканогенного и плутоногенного оруденения района представляется сопоставление Н. Е. Саввой [1980] последовательных минеральных ассоциаций Дуката и Малого Кэна, относимого ею к вулканогенно-плутоногенной олово-серебряной формации. Подобное сопоставление было проведено и для месторождений Ирча и Мечта [Пляшкевич, 1986], табл. 10. Автору представляется, что такие сопоставления отражают не только и не столько возрастные соотношения минеральных парагенезисов, сколько общие эволюционные закономерности гидротермального процесса близповерхностной зоны. Позже в пределах региона была выделена самостоятельная серебро-полиметаллическая формация (близкая к серебро-свинцовой в понимании К. Ф. Кузнецова и Р. В. Панфилова [1978]), которая завершает единый генетический ряд рудных формаций, типичный для Омсукчанской металлогенической зоны: касситерит-силикатная, олово-серебряная и серебро-полиметаллическая [Роднов, Зайцев, 1985]. Исследователи связывают оловянное и серебряное оруденение района с риолит-гранитной ассоциацией позднего мела, причем три главных парагенезиса рудной стадии (см. табл. 9) с разной степенью интенсивности проявлены на касситерит-силикатных, олово-серебряных и серебро-полиметаллических месторождениях, определяя их формационную принадлежность. Отметим, что и эти авторы, и Н. Е. Савва включают Малый Кэн в группу олово-серебряных месторождений, а М. Г. Добровольская относит месторождения Мечта и Тидид к халькопирит-пирит-галенит-сфалеритовой формации в эффузивных породах [1989].

Говоря о формационной принадлежности и минеральных типах, упомянем о характерной для района зональности месторождений. В большей части площадей и линейных рудных зон для оловорудных объектов установлена прямая вертикальная зональность отложения, когда с уменьшением глубины высокотемпературные парагенезисы (кварц-турмалиновый, кварц-касситеритовый, вольфрамитодиарсенидный и т.д.) сменяются парагенезисами относительно низкотемпературных стадий (кварц-хлорит-касситеритовой, сульфидной, кварц-карбонатной с флюоритом и каолинитом). Та же прямая зональность устанавливается в большинстве оловорудных узлов (за исключением Омсукчанского) и по латерали. Прямая вертикальная зональность отложения с такой же сменой парагенезисов характеризует и Ирчинское, и Мало-Кэнское месторождения: от кварц-турмалин- или кварц-хлорит-касситеритового на нижних горизонтах к парагенезисам сульфидной стадии на верхних. На серебро-полиметаллических месторождениях, руды которых часто являются и оловосодержащими (Мечта, Гольцовое), эта зональность выражена слабее. По мнению некоторых исследователей, с уменьшением глубины пирит-пирротинный с арсенопиритом парагенезис сменяется галенит-сфалеритовым с сульфосолями серебра [Роднов, Зайцев, 1985]. На самом деле исследователи вещественного состава руд отмечают совмещение последовательных минеральных ассоциаций, но тенденция к нарастанию с приближением к поверхности количеств галенита и сульфоантимонитов свинца и серебра в целом достаточно отчетлива.

Соотношение минеральных ассоциаций золото-серебряного, касситерит-силикатных и серебро-полиметаллических месторождений Омсукчанской металлогенической зоны

По Н.Е. Савве [1980]

По А.А. Пляшкевич [1986]



Тенькинская металлогеническая зона

В этой зоне размещены исследуемые месторождения сульфостаннатного минерального типа. Тенькинская металлогеническая зона территориально совпадает с зоной Тенькинского глубинного разлома и как золото- и оловоносная известна достаточно давно. Еще Н. И. Ларин [1955] выделил Охотско-Индигино-Колымскую оловоносную зону, включающую Тас-Кыстабытскую и бассейн р. Кулу, а С. С. Смирнов [1962] – крупный Колымо-Верхоянский пояс, основу металлогении которого составляют Au, Ag, Sn, Pb, Zn, As, Sb. В этом поясе проявлены три ведущих типа оловянного оруденения – пегматитовый, пневматолитовый и термальный, причем к последнему отнесены и месторождения типа Токичанского, которые считались высокоперспективными. В той же работе отмечена “региональная зараженность” оловом Колымо-Верхоянского пояса, а также проявление в Кулинском районе особой фации металлогении с золото-олово-полиметаллически-мышьяковой основой и широким развитием полиметаллического оруденения. Б. Л. Флеров [1976] включал этот район в состав Тас-Кыстабытской металлогенической зоны, в пределах которой проявлено касситерит-сульфидное оруденение сульфидно-турмалинового, сульфидно-хлоритового и галенит-сфалеритового типов. К гипабиссальному галенит-сфалеритовому типу им отнесены и месторождения типа Токичанского и Руслановского. С. Ф. Луговым [Геология..., 1986] выделен Аян-Юряхский (Верхне-Колымский) оловоносный район, фактически совпадающий с Тенькинским рудным районом, в который входят Бутугычагский, Севастопольский и Хениканджинский оловорудные узлы. Этот район граничит с Тас-Кыстабытской оловоносной площадью, включающей в себя с юга на север Харанский, Тас-Кыстабытский и прочие рудные узлы. Преобладающими типами оловянного оруденения здесь названы полевошпатовый, касситерит-кварцевый, хлоритовый и турмалиновый типы касситерит-силикатной формации. На их фоне известны проявления оруденения, по классификации С. Ф. Лугова и др. [1972] относимого к сульфосольной фации касситерит-сульфидной формации.

Тенькинская металлогеническая зона может рассматриваться как продолжение Адыча-Тарынской с золото-сурьмяной специализацией к юго-востоку от Сарычевской вулканоплутонической структуры, контролирующей размещение серебряного и олово-серебряного оруденения [Филимонов, Сулейманов, 1994], до Верхне-Арманского рудного узла с отчетливой олово-серебро-полиметаллической специализацией [Шахтыров, 1997]. К юго-востоку металлогеническая зона имеет продолжение как Карамкен-Утеснинская [Пляшкевич, 1967; Умитбаев, Еремин, 1971; Умитбаев, 1986] с известной олово-серебряной минерализацией на Карамкенском месторождении [Некрасова, 1972]. Схемы последовательности минералоотложения на олово-серебро-полиметаллических месторождениях Сарычевской структуры, олово-хлорит-сульфидных Верхне-Арманского и исследуемых месторождениях Арга-Юряхского рудного узла очень близки (табл. 11) обычным проявлением ранней кварц-касситеритовой стадии, часто с хлоритом и небольшим количеством сульфидов (арсенипирит, пирит), и более поздней позицией полиметаллов с серебром и сурьмой. При этом на более крупных (Купольное) объектах проявлены и сульфостаннаты серебра, и сульфоантимониты серебра и свинца; мелкие месторождения Арга-Юряхского рудного узла имеют отчетливо выраженную сульфостаннатную специализацию. Карамкен, несмотря на присутствие в рудах сульфостаннатов, и по составу минеральных ассоциаций продуктивных стадий, и по последовательности минералоотложения гораздо ближе к месторождениям золото-серебряной группы, чем к оловянному ряду. По мнению И. Я. Некрасова [1990], оруденение, подобное карамкенскому, носит полиформационный характер и золотосодержащие минеральные ассоциации с ростом глубины закономерно сменяются серебро- и оловосодержащими.

Отметим также общий малоглубинный характер руд этого типа, причем в зависимости от масштабов проявления вертикальный интервал распространения оруденения может оцениваться от 50–100 м на мелких месторождениях (Кандычан, Светлое [Лугов, 1972]) до 350–400 м на крупных (Купольное [Филимонов, Сулейманов, 1994]). На исследуемых месторождениях, относимых к классу мелких, глубина распространения оруденения вряд ли превышает 100–150 м. В отношении вертикальной и латеральной зональности для них в самых общих чертах справедливы закономерности, установленные на омсукчанских месторождениях: прямая зональность отложения по латерали (Тигрец, возможно,

Индустрия) и совмещение разновременных минеральных парагенезисов по вертикали с тенденцией к нарастанию на верхних уровнях количеств галенита, сульфостаннатов и сульфоантимонитов серебра.

Таблица 11

Главные стадии минералоотложения на олово-серебро-полиметаллических месторождениях Сарычевской и Арманской вулканоструктур, Арга-Юряхского рудного узла и Карамкена

Сарычевская структура		Арманская структура		Тенькинская металлогеническая зона	ОЧВП
Перевальное [Индолев, Невойса, 1974]	Купольное (данные Г.Н. Гамянина, Н.А. Горячева, Ю.Я. Жданова)	Кандычан	Светлое	Арга-Юряхский рудный узел	Карамкен [Некрасова, 1972]
		(данные А.С. Красильникова [Лугов, 1986])			
Касситерит-кварц-сфалеритовая	Касситерит-кварцевая	Кварц-хлорит-касситеритовая	Кварц-хлорит-касситеритовая с сульфидами	Кварц-касситеритовая	Допродуктивная (гребенчатого кварца)
Станнин-сфалерит-галенитовая с Ag	Кварц-касситерит-сульфидная с Ag	Кварц-хлорит-касситерит-сульфидная с Ag	Кварц-карбонат-галенит-сфалеритовая (Ag)	Полисульфидная (Ag)	Ранняя продуктивная (адуляр-кварцевая, Ag и Sn)
Сульфосольная	Серебро-сурьмяная			Карбонатная (Mg)	Поздняя продуктивная (карбонатно-кварцевая с сульфосолями)
Кварц-сфалерит-карбонатная				Друзовидного кварца (Se)	Массивного сахаровидного кварца
				Карбонатная (Mn)	Постпродуктивная (мелкогребенчатого кварца)

Олово-серебро-полиметаллическое оруденение Якутии и Дальнего Востока

Множество аналогий мы находим, сопоставляя исследуемые месторождения с олово-серебро-полиметаллическим оруденением Якутии, подробные данные о котором содержатся в работах Б. Л. Флерова, Л. Н. Индолева, Г. Г. Невойсы, И. Я. Некрасова, Г. Н. Гамянина и многих других исследователей рудных месторождений территории. Это разнообразное по минеральным типам и многоэтапное в масштабе рудных узлов оруденение, широко представленное в Южно-Верхоянской, Западно-Верхоянской и Тас-Кыстабытской металлогенических зонах [Индолев, Невойса, 1974; Флеров, 1976, 1984; Флеров и др., 1971; Гамянин и др., 1998]. Выделяются три этапа его формирования: первый – “догранитный” или “допорфировый” ($J_3 - K_1$), руды месторождений которого, как правило, являются золотосодержащими; второй, в течение которого формировались касситерит-сульфидные месторождения арсенопирит-пирротинового и галенит-марматитового минеральных типов (конец $K_1 - K_2$?); в течение третьего этапа ($K_2 - P$?) отлагались руды месторождений галенит-сфалеритовой формации сульфоантимонит-галенитового и галенитового минеральных типов, размещающихся на периферии оловорудных узлов и “представляющих собой сателлиты касситерит-сульфидных месторождений” [Индолев, Невойса, 1974]. Месторождения третьего этапа представляют наиболее высококонцентрированное серебряное оруденение

и распространены широко, но масштабы оруденения обычно невелики. В их рудах известно восемь последовательных минеральных ассоциаций, проявленных на различных объектах с разной степенью интенсивности. Важно отметить раннее положение сульфоантимонитов свинца, сфалерита и железомagneзиальных карбонатов (буланжерит-анкеритовый и сфалерит-сидерит-кварцевый парагенезисы), с которыми обычно ассоциирует ранний касситерит. Станнин-халькопирит-кварцевая и фрейбергит-кварцевая ассоциация развиты не столь широко, но, если они и не устанавливаются в рудах, станнин, арсенопирит и касситерит-II обычны в составе присутствующей повсеместно сульфоантимонит-галенитовой минеральной ассоциации. Процесс рудоотложения завершали сульфидно-анкеритовый, сфалерит-манганосидеритовый и пирит-кварц-кальцитовый парагенезисы. При отчетливо зональном размещении месторождений в рудных узлах локальная зональность в пределах месторождений и отдельных рудных зон проявлена не контрастно.

Месторождения касситерит-сульфидной формации этих районов отнесены к галенит-сфалеритовому типу, в котором выделены два подтипа – галенит-пирротин-сфалеритовый и сульфоантимонит-галенитовый. Как правило, рудные тела этих месторождений залегают в субвулканических породах, эффузивах или терригенных породах верхоянского комплекса вблизи эффузивных полей. Отмечается пространственная (и, возможно, генетическая) связь оруденения с многофазной андезит-риолитовой вулканоплутонической ассоциацией позднего мела. Исследования вещественного состава руд показывают наличие переходных типов, одни из которых тяготеют к арсенопирит-пирротинному типу касситерит-сульфидной формации, а другие – к полиметаллическим рудам галенит-сфалеритового типа со снижением концентраций олова или сульфоантимонит-галенитового с нарастанием концентраций серебра [Флеров, 1984]. Последовательность отложения минералов олова и серебра при этом стандартна: касситерит отлагался в ранних парагенезисах касситерит-арсенопирит-кварцевой или касситерит-кварц-сфалеритовой с арсенопиритом стадий, хотя возможно существование и более поздних генераций; роль станнина нарастает в сульфидных ассоциациях, а сульфостаннаты серебра синхронны галениту или несколько более поздние. Такое оруденение может квалифицироваться как комплексная олово-серебряная минерализация, проявленная на периферии оловорудных полей. Это одностадийные жилы отчетливо зонального строения со сменой последовательных минеральных ассоциаций от зальбандов к осевым частям. Рудоотложение происходит в условиях резкого температурного градиента, в интервале температур от 450 до 150°C. Разнообразие минерального состава руд определялось закономерным изменением активности металлов в растворах – от соединений Sn и Zn в начале формирования рудных тел к Ag, Pb, а позже Sb, т.е. от касситерита и сфалерита к станнину и сульфостаннатам Pb и Ag, а затем – к сульфоантимонитам Pb и Ag и карбонатам [Некрасов, 1984б].

В главной оловоносной зоне Приморья – Сихотэ-Алинском вулканогенном поясе месторождения касситерит-сульфидной формации выделяются как преобладающие промышленные и сопровождаются оруденением “смежных” формаций – касситерит-сульфидной, касситерит-грейзеновой, оловоредкометалльной, молибденовой и т. д. [Рудные ..., 1989]. Как правило, это оловянное оруденение хлоритового или турмалин-хлоритового минеральных типа (турмалиновый тип в чистом виде практически отсутствует [Финашин, 1986]) связано постепенными переходами с касситерит-сульфидным. На основе классификации Е. А. Радкевич [1953, 1956 и др.] месторождения касситерит-сульфидной формации подразделяются на три минеральных типа: арсенопирит-пирротинный со сфалеритом и галенитом (или колчеданный по Ю. Г. Иванову [1971], В. К. Финашину [1986]); сфалерит-галенитовый с сульфосолями (или сульфо-сульфидный по М. П. Материнову [1964]) и касситерит-карбонатный [Рудные..., 1989]. Эти типы месторождений шире всего представлены в Восточно-Сихотэ-Алинском вулканогенном поясе и его ближайшем обрамлении.

Оба формационных типа отличаются близкими закономерностями локализации, составом минеральных ассоциаций и последовательностью их образования, представляя в большинстве случаев поэтапное оруденение. При этом месторождения касситерит-силикатно-сульфидной формации характеризуются прямой зональностью и обычной последовательностью минералоотложения [Радкевич и др., 1980; Геология..., 1980]. Месторождения приурочены к выступам гранитоидных массивов (гранитоиды повышенной основности типа гранодиоритов) и могут быть размещены как в самих гранитоидах, так и на относительном удалении от них. В первом случае это невыдержанные, быстро выклинивающиеся жилы в биотитовых роговиках и турмалинитах, характеризующиеся телескопированным оруденением

(Темногорское, Ивановское) и сравнительно небольшим вертикальным интервалом его распространения. Во втором – рудные тела лежат во внешнем пропиловом чехле и частью выше, в серицитизированных породах, а с глубиной, с переходом в биотитовые роговики, минерализация достаточно быстро затухает (Дубровское, Хрустальное, Силинское, Высокогорское и т.д. [Радкевич и др., 1980]). И в этом случае размещение разных типов месторождений или образований разных этапов минерализации в пределах одного рудного поля относительно интрузивных тел также характеризуется прямой зональностью: грейзены и касситерит-вольфрамит-кварцевые жилы в роговиках околоинтрузивной зоны, далее – касситерит-силикатно-сульфидные жилы с турмалином и хлоритом, а за пределами роговикового ореола – касситерит-сульфидные жилы с галенитом и сульфосолями серебра (Дорожное).

Данные по абсолютному возрасту оруденения касситерит-силикатно-сульфидного и касситерит-сульфидного типов достаточно однородны и по преимуществу указывают на его образование в позднемеловое время, хотя на ряде месторождений минерализация является полихронной (Высокогорское, 105–46 млн лет [Радкевич и др., 1980]). Необходимо отметить и чрезвычайно существенную особенность отдельных месторождений: наложение образований позднего редкометалльно-касситеритового этапа на рудные тела раннего касситерит-сульфидного с серебром и игольчатым касситеритом (олово-серебряный этап; Силинское, Соболиное I [Финашин, 1986]).

Отчетливо сопоставимы с олово-серебро-полиметаллическими месторождениями Омсукчана и Теньки олово-серебряный и серебро-полиметаллический типы оруденения Восточного Сихотэ-Алиня [Бурьянова, Щеглов, 1985]. Олово-серебряная минерализация известна на большинстве касситерит-силикатно-сульфидных и касситерит-сульфидных месторождений Кавалеровского и Арминского рудных районов [Геология... 1980], причем выделяется несколько типов оруденения. В одном из них кварц-касситерит-турмалиновые жилы с сульфостаннатами серебра, самородным серебром, висмутом и сурьмой, джемсонитом, сульфидами, силикатами марганца проявлены на глубоких горизонтах в пределах биотитовых куполов и разобщены с образованиями главной оловянной стадии. Этот тип оруденения выделяется как самостоятельный сульфостаннатно-турмалиновый и отнесен к раннему позднемеловому этапу [Томсон и др., 1983]. Такие руды могут оцениваться по комплексу элементов – Sn, Ag, Bi, Mn, W, при этом преобладающими минеральными формами олова являются сульфостаннаты или продукты их распада, в меньшей степени первичный касситерит.

Выделяется также группа касситерит-сульфидных месторождений с серебро-сурьмяной минерализацией [Финашин, 1985], парагенетически связанные с трахиандезитовыми вулканоплутоническими комплексами K_2 и представленные жильными телами, сложенными массивными сульфидными рудами. Руды поликомпонентны и содержат Sn, Pb, Sb, Ag, реже Zn, Cu, Au и другие элементы, уровень концентраций которых определяется широким набором минералов от касситерита и сульфидов (пирротин практически отсутствует) до сурьмяно-свинцовых сульфосолей, сульфоантимонитов и сульфостаннатов Ag. Отмечается отсутствие собственных минералов Bi наряду с повышенными его концентрациями в галените. Минерализация близка по составу к серебро-свинцовым рудам Якутии, некоторым рудам Дальнегорского рудного района и отдельным рассматриваемым месторождениям как Тенькинской (Токичанское), так и Омсукчанской (Тидид) металлогенических зон.

Серебряно-полиметаллический и серебро-олово-полиметаллический типы оруденения проявлены и в скарново-гидротермальных залежах Дальнегорского рудного района, где серебряная минерализация (аргентит, акантит, диафорит, миаргирит) сингенетична и сопутствует полиметаллическим рудам или наложена на них. Но наиболее богаты серебром касситерит-сульфидные жилы галенит-сфалеритового типа с сульфосолями серебра в эффузивах и кварц-карбонатно-сульфидные жилы галенит-сфалеритового типа с сульфосолями серебра, хотя есть указания и на довольно высокую сереброносность касситерит-сульфидных жил пирротин-галенит-сфалеритового типа в песчаниках и сланцах [Говоров, 1977; Раткин и др., 1990]. Серебро в этих месторождениях представлено акантитом, пираргиритом, канфильдитом, штернбергитом, блеклыми рудами, самородной формой и, возможно, изоморфной примесью в галените; известны также теллуриды серебра (гессит [Гарбузов, Благодарева, 1983]). По геологическому положению – локализации в кислых эффузивах и близости к эруптивному центру, характеру серебряной и оловянной минерализации эти месторождения ближе всего к рассматриваемым месторождениям Омсукчанской структуры.

Боливийские полиметаллические жилы и олово-порфировое оруденение

Среди боливийских полиметаллических жил, которым посвящено много публикаций [Геология..., 1969; Kelly, Turneure, 1970; Turneure, 1971; Шипулин, Казанский, 1972; Sillitoe et al., 1975; Geology ..., 1992], часть месторождений служит мировым эталоном олово-серебряного оруденения. Они выделяются в группе месторождений металлических полезных ископаемых, связанных с магматической деятельностью. Руды содержат широкий набор металлов и эксплуатировались частью как серебряные, а частью как оловянные. В отдельных случаях полезными компонентами являлись также Pb, Zn, Cu, Mn, W, Bi, Sb, Au, Cd, In. Большая часть месторождений тесно связана с андезитовыми и дацитовыми штоками или комплексами вулканических куполов.

Рудные тела представлены группами жил и прожилков, отдельными жилами, до 90% объема которых слагают сульфиды и сульфосоли. Вещественный состав жил очень богат и разнообразен и включает в себя широкий набор минералов, главные из которых пирит, марказит и пирротин; касситерит и вольфрамит; самородные Au, Ag и Bi; сульфоантимониты и сульфостаннаты Pb и Ag. Наиболее распространенный характер изменений вмещающих пород – превращение их в кварц-пиритовый агрегат, причем оболочка измененных пород может достигать сотен метров. Глубина формирования месторождений от 300 до 2000 м, вертикальный размах оруденения достигает 2000 м, а часто и более. Характерной особенностью формирования руд является прогрессивный температурный режим на ранних стадиях до достижения максимума около 530°C и принадлежность касситерита ранним минеральным ассоциациям. В последних работах [Geology..., 1992] уже не проводится разделение месторождений на касситерит-сульфидные и олово-серебряные – они рассматриваются как единая группа месторождений миоценового возраста с рудами поликомпонентного состава.

Многие месторождения этого района относят к порфировому типу [Sillitoe et al., 1975; Villalpando, 1988], под которым понимаются скопления вкрапленных и(или) прожилково-вкрапленных руд обычно штокверковой формы, ассоциирующие с вулканогенными образованиями или порфировыми интрузивами умеренных глубин становления, входящими в состав окраинно-активизационных вулcano-плутонических поясов [Родионов, Макеев, 1983; Евстрахин, 1984]. В качестве главных общих черт этого типа оруденения выделены связь с вулcano-плутоническими комплексами, гидротермально-метасоматическое происхождение, прожилково-вкрапленный характер оруденения, штокверковый тип рудных тел и комплексный состав руд [Евстрахин, Ициксон, 1980]. Примером типичного олово-порфирового месторождения на Северо-Востоке является Хета [Серебро..., 1989], где роль вкрапленных руд очень существенна, а последовательность минералоотложения обычна для оловосодержащих месторождений региона – от существенно касситеритовых к существенно сульфидным рудам. Заметное место в этих рудах играют и самородные элементы – Ag, Bi, Cu.

Некоторые черты порфирового типа свойственны оловосодержащим рудам Малого Кэна, приуроченного к локальной вулcano-тектонической депрессии и обладающего преимущественно прожилково-вкрапленным характером оруденения, что и позволило рассматривать его в порфировом рудноформационном ряду, отмечая, однако, отсутствие признаков “допорфировой” минерализации и прогрессивного температурного режима [Серебро..., 1989]. В то же время существует геолого-генетическая модель месторождений этого типа, относимых к олово-серебряным, разработанная на основе изучения метасоматических образований месторождений Омсукчанской металлогенической зоны [Шатков, 1997]. Олово-серебряные месторождения представлены как полигенные и полихронные образования, являющиеся результатом телескопирования двух типов оруденения: более раннего серебро-полиметаллического и следующего за ним олово-редкометалльного. Хотя эта точка зрения вызывает несомненный интерес, необходимо еще раз подчеркнуть, что признаки такой “обратной” последовательности в рудах пока не выявлены.

На примере Дальнего Востока с привлечением данных по северо-восточной Якутии, Боливии и др. в пределах касситерит-сульфидной формации были выделены комплексные олово-свинцово-цинковые месторождения серебро-сульфосольного и сульфостаннатного минеральных типов, ассоциирующие с субвулканическими штоками, жерлами и дайками. Отмечается амагматичность многих месторождений

сульфостаннатного типа [Стадийность..., 1979]. Позже примеры этих минеральных типов были выявлены и на Северо-Востоке [Пляшкевич, 1990, 1992].

Группа исследуемых месторождений неоднородна, и, основываясь на данных об их геолого-структурных и минералого-геохимических особенностях, можно выделить в ней касситерит-силикатно-сульфидные – Малый Кэн, Ирча, серебро-полиметаллические – Гольцовый, Порфиновый, Мечта, Тидид и собственно олово-серебряные объекты – Тигрец-Индустрия, Токичанское, Кочевой. Следует отметить как черты их сходства с боливийскими полиметаллическими жилами, так и определенные различия, прежде всего в геологической позиции и масштабах оруденения (табл. 12). Исследуемые месторождения не обязательно жестко связаны с локальными вулканоструктурами (месторождения Тенькинской металлогенической зоны), размах оруденения по вертикали невелик – первые сотни метров, заметно ниже и степень сульфидности руд, и видовое разнообразие минералов, а значит, и степень комплексности руд. В то же время отчетливы связь Sn и Ag, проявившаяся на разных этапах формирования Тихоокеанского кольца, и общее для крупных металлогенических зон образование в их пределах как существенно оловянных серебросодержащих, так и существенно серебряных с оловом руд.

Минералого-геохимические поисковые признаки серебро-полиметаллического и олово-серебряного оруденения

Вещественные характеристики руд занимают свое место в ряду других геолого-минералогических поисковых признаков оруденения подобного типа, среди которых наиболее важными представляются геологическая позиция месторождений и связь их с локальными вулканоструктурами для серебро-полиметаллических объектов вулканогенного пояса, приуроченность к зонам крупных структурных нарушений с соответствующей металлогенической специализацией в перивулканической зоне, характер и степень вторичных изменений вмещающих пород – особенно степень развития линейных аргиллизитов. “Минералогические и химические свойства полезного ископаемого” могут быть выделены как “прямые поисковые признаки” определенных типов оруденения [Геологический..., 1973. Т. 2. С. 135]. Проведенные исследования позволяют выделить некоторые вещественные особенности руд как поисковые признаки близповерхностного олово-серебро-полиметаллического оруденения, дающие, в ряду других геолого-геохимических признаков, возможности прогнозирования высококонцентрированных по серебру и комплексных по составу руд.

Высокая контрастность рудных тел по сравнению с эндогенными ореолами по серебру свойственна всем месторождениям оловянного ряда. Эта контрастность резко увеличивается от касситерит-кварцевых к касситерит-сульфидным месторождениям с нарастанием роли сульфидных ассоциаций и концентраций серебра вообще, что определяется переходом его от изоморфной примеси в сульфидах к собственным минеральным формам. Видовой спектр серебросодержащих минералов расширяется и не менее, если не более, разнообразен в рудах серебро-полиметаллических месторождений, как предполагается, наиболее контрастных по серебру. Таким образом, высокие значения коэффициента контрастности, определяемого отношением концентраций серебра в рудах к концентрациям его в ореолах, являются прямым указанием на высококонцентрированные по серебру руды. Поликомпонентность этих руд определяется высокими концентрациями рудных минералов в сочетании с развитием минералов разных классов – арсенидов, сульфидов и тиосолей. Высокая степень сульфидности (более 5%) характерна для всех рассматриваемых месторождений, причем она увеличивается от сульфоантимонитовых к сульфостаннатным рудам, и на отдельных участках рудных тел сульфиды могут слагать до 40–60% объема рудной массы (Тигрец-Индустрия, Токичанское). При этом к “сквозным” арсенопириту, сфалериту, галениту, халькопириту могут присоединяться гудmundит (Тидид), реже – леллингит, а группа сульфоантимонитов свинца и серебра может быть достаточно обширной в месторождениях с сульфоантимонитовым типом минерализации (Тидид, Гольцовый, Мечта).

Геолого-минералогические признаки олово-серебро-полиметаллического оруденения
(с использованием данных И. Я. Некрасова, Б. Л. Флерова, Г. Н. Гамянина, С.Ф. Лугова, В. К. Политова, Ю. Н. Роднова, В. И. Зайцева, А. И. Калининна, А. А. Сидорова, В. К. Финашина, В. Г. Хомича, С. Людингтона, Д. П. Кокса и др.)

Признаки	Металлогеническая зона				Дальний Восток (Восточный Сихотэ-Алинь, касситерит-сульфидная в эффузивах и кварц-карбонат-сульфидная формации)	Боливийские полиметаллические жилы	
	Омсукчанская		Тенькинская	Южно-Верхоянская, Западно-Верхоянская и Тас-Кыстабытская (Якутия)			
	Месторождения						
1	существенно Sn	существенно Ag	2	3	4	5	6
Структуры рудных районов и узлов	Интрузивно-купольные структуры (Ново-Джагынская и Пестринская)	Крыло (Тенькинской) антиклинали, зона глубинного разлома	Антиклинали, брахиантиклинали, синклинали, зоны влияния крупноамплитудных разломов	Моноклинали	Моноклинали (крылья складок), антиклинали, зона глубинного разлома		
Структуры рудных полей	Моноклинали, зоны крупноамплитудных разломов, зоны трещиноватости. Во всех случаях элементы литологического контроля оруденения	Моноклинали, зоны трещиноватости малоамплитудных разломов	Сводовые части антиклиналей или синклинальные складки, осложняющие крылья крупных структур, элементы литологического контроля	Локальные вулканоструктуры (жерловая и околожерловая зоны)	Локальные вулканоструктуры и в них трещины растяжения, зоны крупноамплитудных разломов. Нет литологического контроля		
Вмещающие породы и их изменения	Преимущественно покровные вулканы K_2 , в меньшей степени – K_1 и образования верхоянского комплекса Площадные: пропилитизация (низко- и среднетемпературная). Линейные: аргиллизация, лимонитизация, окварцевание, карбонатизация	Морские терригенные осадки P_2 . Площадные, пропилитизация (низко- и среднетемпературная). Линейные и локальные: аргиллизация, окварцевание, карбонатизация, лимонитизация	Терригенные толщи Т и J. Слабое ороговикование	Осадочные и эффузивные (покровные), пропилитизация, аргиллизация	Осадочные, вулканогенные и интрузивные породы PZ и MZ; кварцевые латиты (жерловые фации). Площадные: пропилитизация, возможна турмалинизация на глубине, преобладают: кварц, серицит, пирит. Линейные: каолинизация, алунификация, окварцевание		
Магматические породы в рудных полях	Штоки среднего и основного состава, субвулканические невадиты, дайки кислого и основного состава K_2	Субвулканические гранит-порфиры, дайки кислого и основного состава K_2	В пределах влияния крупных интрузивных тел гранит- и гранодиорит-порфиры, дайки того же состава, а также диориты и диоритовые порфиры, лампрофиры (постгранитные)	Кварцевые монцодиориты, дайки трахиандезитов, кварцевые порфиры, дайки микродиоритов	Андезитовые и дацитовые штоки, реже серии даек, иногда комплексы вулканических куполов (SiO_2 60 – 70%, редко более)		

Продолжение табл. 12

1	2	3	4	5	6	
Морфология рудных тел	Штокверки и серии жил сложного строения	Жилы и жильные зоны, зоны прожилково-вкрапленной минерализации	Прерывистые жилы переменной мощности, возможны штокверкоподобные тела	Жилы, жильные зоны, часто сложного строения, штокверки, зоны прожилково-вкрапленной минерализации, минерализованные зоны дробления	Зоны прожилково-вкрапленной минерализации, жилы, жильные зоны	Жилы и жильные зоны, в трещинах растяжения, часто прерывистые, серии субпараллельных жил и прожилков, штокверки
Текстуры руд	Прожилковая, прожилково-вкрапленная, брекчиевая, пересеченная, полосчатая	Прожилковая, прожилково-вкрапленная, брекчиевая, пересеченная, полосчатая, друзовая и микро-друзовая	Выполнения открытых полостей и метасоматического замещения		Прожилково-вкрапленная и т. д. (текстуры выполнения)	
Степень сульфидности руд	0,1–3–5, от 0,п до п%	1–15–20, от п до п×10%	От п до п×10% (до 30–35%)	От 0,п до 10–15%	От п до п×10%	До 90% объема – сульфиды и сульфосоли, в среднем 15–30%
Минералы олово- и сербросодержащие	Касситерит, станнин Ag-тетраэдрит и Fe-фрейбергит, акантит, пираргирит, прустит, штроемейерит, Ag самородное	Станнин (касситерит редок) Ag-Fe(Zn)-тетраэдрит, Fe-фрейбергит, пираргирит, миаргирит, стефанит, акантит, диафорит, овихит, алларгентум, дискразит, фрейеслебенит, рамдорит	Касситерит, станнин, канфильдит, окартит, Se-канфильдит Ag-тетраэдрит, Fe-фрейбергит, пираргирит, акантит	Касситерит, станнин, канфильдит, окартит, франкеит Ag-(Fe,Zn)-тетраэдрит и Fe-фрейбергит, пираргирит, прустит, акантит, диафорит, овихит, штроемейерит, штернбергит, стефанит, полибазит	Касситерит, станнин, канфильдит, франкеит Блеклые руды, акантит, пираргирит, штернбергит, Ag самородное, теллуриды Ag, миаргирит, диафорит, стефанит, фрейеслебенит, матильдогаленит, козалиит	Касситерит, станнин, канфильдит, окартит, тиллит, франкеит, цилиндрит Блеклые руды Ag-содержащие, пираргирит, прустит, акантит, диафорит, овихит, штроемейерит, миаргирит, стефанит, полибазит, Ag самородное, Au самородное, электрум, андорит, аргиродит

1	2	3	4	5	6	
Другие минералы руд (в порядке пространенности)	Кварц, турмалин, серицит, хлорит, кальцит, альбит, сидерит, адуляр, флюорит, анкерит, арсенопирит, пирротин, пирит, марказит, халькопирит, вольфрамит, шеллит, сфалерит, галенит, молибденит, Вi самородный, висмутин, антимонит, брейтгауптит, ульманнит, буланжерит	Кварц, хлорит, кальцит, Мп-кальцит, адуляр, сидерит, арагонит, сфалерит, галенит, арсенопирит, буланжерит, пирротин, гудмундит, пирит, марказит, Sb самородная, фатинит	Кварц, хлорит, серицит, адуляр, кальцит, Мп-кальцит, анкерит, сидерит, арсенопирит, галенит, сфалерит, пирротин, пирит, марказит, халькопирит	Кварц, сидерит, анкерит, кальцит, серицит, хлорит, родохрозит, флюорит, сфалерит, галенит, арсенопирит, пирит, пирротин, халькопирит, бурнонит, буланжерит, джемсонит, марказит, вольфрамит, Au самородное, валлериит	Кварц, хлорит, сидерит, флюорит, серицит, родонит, олигонит, родохрозит, сфалерит, галенит, пирит, халькопирит, арсенопирит, Вi самородный, марказит, пирротин	Кварц, серицит, каолинит, барит, ярозит, пиролюзит, диксит, алунит, галенит, халькопирит, марказит, реальгар, станнин, энаргит, буланжерит, джемсонит, вюртцит, гринокит
Этапность и стадийность оруденения	Одноэтапные, полистадийные (3-4 стадии, 5-8 ведущих минеральных парагенезисов)	Двухэтапные, полистадийные (3 стадии, 7 парагенезисов)	Одноэтапные, полистадийные (5-10 стадий, 8 ведущих парагенезисов)	Одноэтапные, полистадийные	Одно- или двухэтапные, полистадийные (4-7 стадий). 1-й этап - кварц-арсенопирит (пирит)-касситеритовый, 2-й этап - серебро-оловянный	
Температура рудоотложения, °С	350-370-150-120	320-280-120-70	320-300 - 120-70	350-330 - 120-100	400-350-300-150-250	550-70 (от 300 нарастает до 550, затем снижается до 70)

Окончание табл. 12

1	2	3	4	5	6	
Предполагаемая глубина рудотложения	Ближеповерхностные	Ближеповерхностные (до приповерхностных образований второго этапа)	Ближеповерхностные	Ближеповерхностные	0,5–2 км	
Предполагаемый возраст оруденения	K ₂	K ₂ , второй этап K ₂ –P	K ₂ –P	K ₂ –P	P–N	
Примеры месторождений	Ирча, Малый Кэн	Мечта, Тидид, Гольцовый, Порфиновый	Тигрец, Индустрия, Токичанское, рудопроявление Кочевой	Сульфогаленит-галенитовый и галенитовый минеральные типы (Верхне-Менкеченское, Мангазейское, Безымянное, Перевальное, Купольное, Тарын)	Касситерит-сульфидный в эффузивах и кварц-карбонатно-сульфидный типы (Кавалеровский, Дальнегорский рудные районы). Касситерит-сульфидные – Ивановское, Новогорское, Лиственное (колчеданный тип), Соболиное-1, Интересное. Смешанный колчеданный сульфосольный тип – Черемуховое, Красногорское, Кисинское, рудные тела Арсеньевского, Темногорского месторождений	Месторождения Восточной Кордильеры (Вилоко, Караколес, Чикоте, Мороко-Кала, Колкечака, Уануни)

Развитие в рудных телах определенных групп и видов минералов – каолинита и алуниита, адуляра, сульфоантимонитов свинца и серебра и сульфостаннатов серебра также является указанием не только на высокие концентрации серебра, но и на формирование руд в градиентных условиях близповерхностной зоны, что, в свою очередь, приводит зачастую к весьма неравномерному распределению их полезных компонентов. Условия формирования определяют неоднородность руд на разных уровнях, в том числе и на уровне отдельных минеральных зерен. Это проявляется на разных стадиях процесса минералоотложения в зональности отдельных зерен, невыдержанности их составов, высоких концентрациях некоторых металлов-примесей – Ag, Fe, Mn, Zn, Co, свидетельствуя о нестабильности условий рудоотложения и высоких концентрациях металлов в рудогенерирующих растворах, а также о быстром изменении состава растворов в локальных точках рудных тел.

При этом руды всех рассматриваемых месторождений сохраняют отчетливо выраженную оловянную и серебряную геохимическую специализацию и комплексный характер с достижением рудных концентраций также такими элементами, как сурьма, мышьяк, цинк и свинец.

Заключение

Широкое развитие в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и перивулканической зоны олово- и серебросодержащего оруденения различной формационной принадлежности, устойчивая сереброносность всех месторождений оловянного ряда, присутствие олова во многих месторождениях и проявлениях с рудами серебро-полиметаллического состава, частая ассоциация в отдельных рудных узлах или зонах касситерит-силикатно-сульфидных и серебро-полиметаллических месторождений продолжают вызывать интерес исследователей к проблемам формационной самостоятельности олово-серебряных месторождений и возрастных соотношений названных типов оруденения. Хотя Омсукчанский и Тенькинский районы старейшие из известных в Магаданской области и исследованиям в этом направлении посвящено немало работ, представлялось интересным провести анализ минерального состава, последовательности минералоотложения и геохимических особенностей собственно руд серебро-полиметаллических месторождений и проявлений в сопоставлении с оловорудными месторождениями.

Исследования оловосодержащих руд 10 месторождений региона позволили установить, что серебро – их характерный элемент – отличается неравномерностью распределения и высокой способностью к образованию ореолов. Неравномерность распределения серебра в рудных телах и ореолах положительно взаимосвязана – вариации средних концентраций в ореолах от 2 до 50, а в рудных телах от 5 до 5000 кларков. Соотношение концентраций серебра в рудах и ореолах представлено в виде коэффициента контрастности, с использованием которого проведено группирование месторождений, причем каждая из групп отличается определенными особенностями поведения серебра.

По нарастанию коэффициента контрастности выделено пять рангов, объединяемых в три группы. Сереброносность месторождений касситерит-кварцевой, касситерит-силикатной и касситерит-силикатно-сульфидной формаций прямо зависит от степени сульфидности руд и определяется как изоморфной примесью в основных сульфидах (прежде всего в арсенопирите), так и возникновением собственных минеральных форм и увеличением числа минеральных видов в месторождениях высоких рангов. Основным минералом серебра – серебросодержащий тетраэдрит, в меньшей степени проявлены пираргирит и стефанит. Характерна ассоциация в пределах рудных узлов оловорудных и серебро-полиметаллических месторождений, часто оловосодержащих, с широким спектром сульфоантимонитов серебра.

Исследования проводились на месторождениях, расположенных в Джагынской и Кэнской рудных зонах (Малый Кэн, Мечта, Тидид) и Пестринском рудном узле (Ирча, Порфиновый, Гольцовый) на севере и юге Омсукчанской металлогенической зоны, а также в пределах Дегдекан-Арга-Юряхского купола Тенькинской металлогенической зоны (Тигрец-Индустрия, Кочевой, Токичанское). Месторождения Омсукчана, как с существенно оловянными серебросодержащими, так и с серебро-полиметаллическими

рудами, представлены рудными зонами, часто со стержневыми жилами, сериями жил сложного строения или зонами прожилково-вкрапленной минерализации, размещенными преимущественно в покровных эффузивах таватумской и наяханской свит K_2 . Рудные тела обычно сопровождаются более или менее выдержанной линейной аргиллизацией, на площади часты пропилитовые изменения пород. Прожилково-жилые зоны месторождений Теньки размещены в слабо метаморфизованных сланцах тасской свиты P_2 . В их рудных полях известны образования двух этапов серебросодержащего оруденения: собственно олово-серебро-полиметаллические жилы и более поздние кварцевые жилы с вкрапленностью сульфостаннатов серебра и редкими сульфидами.

Руды месторождений Омсукчана характеризуются всеми исследователями как полистадийные одноэтапные и сложены образованиями шести-восьми основных минеральных парагенезисов. Для оловоносных руд (Ирча, Малый Кэн) обычны раннее отложение касситерита и арсенопирита и более поздняя позиция полиметаллов и серебра. В сереброносных рудах основными продуктивными являются образования полисульфидной стадии, содержащие сульфоантимониты серебра и часто станнин, в некоторых случаях – и сульфоантимонит-галенитовой или стадии сульфосолей серебра. В рудных полях месторождений Тенькинской зоны сереброносны касситерит-сфалерит-галенитовый с минералами серебра и станнин-селеноканфилдит-кварцевый парагенезисы, соответствующие двум этапам оруденения.

Проведение геохимической типизации руд позволило выделить как эталонные и наиболее однородные оловянные руды Ирчи и серебро-полиметаллические руды Мечты. Руды остальных месторождений более сложные, на каждом из них выделено от двух до четырех геохимических типов руд при преобладании одного-двух. Каждому геохимическому типу соответствует определенный минеральный комплекс или группа парагенезисов.

Геохимические типы 1, 5 и 9 представляют образования ранних касситерит-силикатных ассоциаций оловянных руд Ирчи с нарастанием от 1-го до 9-го типа роли арсенопирита, пирротина, халькопирита и, собственно, концентраций Ag. Типы 11, 12, 48 являются сложными, представляя руды нескольких месторождений существенно сульфидного состава. Различия между ними определяются уровнями концентраций олова и серебра и вариациями соотношений главных сульфидов. Геохимический тип 2, включающий в себя большую часть руд месторождения Мечта, характеризует полисульфидные руды с широким набором сульфоантимонитов Ag и станнином. Руды сульфостаннатных месторождений представлены преимущественно 4-м и 6-м геохимическими типами – это галенит-сфалеритовые руды с пирротинном и дисульфидами Fe, сульфостаннатами и сульфоантимонитами Ag.

Исследования главных сульфидных и серебросодержащих минералов руд позволили выявить как принципиальное сходство их состава в собственно оловянных и олово-серебро-полиметаллических рудах, так и некоторые черты различия, объясняемые в первую очередь активностью разных металлов на разных стадиях процесса рудоотложения. Обращает на себя внимание высокий в целом уровень концентраций некоторых элементов-примесей в главных сульфидных и серебросодержащих фазах: Ni и Co в арсенопирите, Ag и Zn в халькопирите, Mn, Cd, Sn, Cu в сфалерите, Zn в станнине, Ag в галените, Fe и Zn в серебросодержащем тетраэдрите, Cu и Fe в пираргирите.

Рассматривая исследуемые месторождения в ряду оловорудных формаций Тенькинской и Омсукчанской металлогенических зон и сопоставляя их с близкими типами оруденения Северо-Востока Якутии и Восточного Сихотэ-Алиня, необходимо отметить:

- размещение таких месторождений в единых олово- и сереборудных узлах, в ряде случаев зональное по отношению к оловорудному “центру”;
- малоглубинный характер олово- и серебросодержащего оруденения;
- близкую последовательность минералоотложения и сходство составов главных минералов олово- и серебросодержащих руд. В нашем случае некоторым особняком стоят месторождения Теньки, где олово-серебро-полиметаллические руды отлагались в течение короткого единого этапа, когда концентрации Sn, Ag и S в растворах были высоки;
- прямая вертикальная зональность отложения, проявленная в оловорудных месторождениях, в существенно серебряных рудах выражена, но значительно слабее;
- во всех случаях возраст олово- и серебросодержащего оруденения оценивается как позднемеловой;

в нашем случае только руды позднего этапа Тенькинской зоны являются еще более молодыми (поздний мел–палеоген);

- группа исследуемых месторождений на основе данных об их геолого-структурных и минералогических особенностях может быть разделена на два минеральные типа – сульфоантимонитовые или серебро-полиметаллические (Гольцовый, Порфиновый, Мечта, Тидид) и сульфостаннатные – собственно олово-серебряные объекты (Тигрец-Индустрия, Токичанское, Кочевой). Отмечается сходство двух последних групп с некоторыми минеральными типами золото-серебряных месторождений.

Ряд вещественных особенностей руд рассматриваемых месторождений может быть выделен в качестве прямых поисковых признаков комплексного оруденения, в котором в ряду элементов, представляющих промышленный интерес, находятся Sn, Ag, Pb, Zn, Sb и As.

В предлагаемой работе рассмотрен, в сущности, лишь один из аспектов проблемы олово-серебро-полиметаллических месторождений – крупного звена в ряду позднемелового близповерхностного оруденения региона. Целесообразными представляются дальнейшие “вещественные” исследования близповерхностных месторождений для выявления критериев связи разноформационного оруденения, а значит, и расширения возможностей металлогенических построений и прогнозирования олово- и серебросодержащего оруденения.

Автор выражает искреннюю признательность за помощь и поддержку при подготовке работы, ценные замечания и рекомендации чл.-корр. РАН А. А. Сидорову, В. И. Гончарову, д.г.-м.н. Н. Е. Савве, И. Н. Котляру, В. И. Шпикерману, к.г.-м.н. В. А. Приставка, С. М. Родионову. Глубокую благодарность автор приносит чл.-корр. РАН И. Я. Некрасову, к советам и публикациям которого приходилось неоднократно обращаться. За техническую помощь и содействие автор благодарит А. В. Трушнина, А. С. Бурову, Т. Н. Михайлову.

Литература

- Ананьин В. А., Придатко М. Р. Геологическое строение Верхне-Тапского рудного поля // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. – Магадан, 1978. – Вып. 24. – С. 136–141.
- Ананьин В. А., Придатко М. Р., Терентьев В. Б. Новый перспективный тип оловянного оруденения в Омсукчанском районе // Колыма. – 1980. – № 10. – С. 36–38.
- Бартон П. Б., Скиннер Б. Дж. Устойчивость сульфидных минералов // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. – М.: Мир, 1970. – С. 211–285.
- Белый В. Ф. Формации и тектоника Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – М.: Наука, 1978. – 231 с.
- Бурьянова И. З., Щеглов А. Д. Серебряная минерализация Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса // Геология и металлогения рудных районов Дальнего Востока. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР. – 1985. – С. 28–31.
- Воган Д., Крейг Дж. Химия сульфидных минералов. – М.: Мир, 1981. – 575 с.
- Воларович Г. П., Берман Ю. С., Некрасова А. Н. Минеральные ассоциации серебра близповерхностных месторождений // Тр. ЦНИГРИ. – 1979. – № 149. – С. 3–10.
- Воробьев Ю. К. Влияние изоморфной примеси ZnS на температуру фазового превращения в халькопирите // Изоморфизм в минералах. – М.: Наука, 1975. – С. 142–146.
- Воробьев Ю. К., Борисовский С. Е. Фазовое превращение и состав халькопирита // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1980. – № 8. – С. 86–101.
- Гамянин Г. Н., Аникина Е. Ю., Бортников Н. С. и др. Серебро-полиметаллическое месторождение Прогноз, Якутия: минералого-геохимические особенности и генезис // Геол. рудн. месторожд. – 1998. – Т. 40, № 5. – С. 440–458.
- Гарбузов С. П., Благодарева Н. С. Серебряная минерализация в рудах полиметаллических и олово-полиметаллических месторождений Дальнегорского рудного района (Приморье) // Минеральные типы рудных месторождений в вулканогенных поясах и зонах активации Северо-Востока Азии. – Владивосток, 1983. – С. 124–136.
- Гельман М. Л., Ичетовкин Н. В., Сосунов Г. М. Металлогеническая карта Магаданской области и сопредельных территорий м-ба 1:1 500 000: Объяснительная записка. – Магадан: ПГО “Севостгеология”; Мингео СССР, 1986. – Ч. 2. – 80 с.
- Геологический словарь. – М.: Недра, 1973. – Т. 2. – С. 135.
- Геология месторождений олова зарубежных стран / Р. М. Константинов и др. – М.: Недра, 1969. – 328 с.
- Геология, минералогия и геохимия Кавалеровского района / Е. А. Радкевич, А. Н. Кокорин, В. В. Анахов и др. – М.: Наука, 1980. – 252 с.
- Геология оловорудных месторождений СССР / Гл. ред. С. Ф. Лугов. – М.: Недра, 1986. – Т. 2, кн. 1. – 430 с.
- Геохимия серебра сульфидных месторождений Центрального Казахстана и Рудного Алтая. – Алма-Ата: Наука, 1975. – 295 с.

- Говоров И. Н. Геохимия рудных районов Приморья. – М.: Наука, 1977. – 251 с.
- Добровольская М. Г. Свинцово-цинковое оруденение (рудные формации, минеральные парагенезисы, особенности рудообразования). – М.: Наука, 1989. – 216 с.
- Добровольская М. Г., Санди А. К. Э., Малов В. С. и др. Окартит из месторождения Сан-Хосе (Боливия) // Докл. АН СССР. – 1984. – Т. 275, № 3. – С. 720–725.
- Евстрахин В. А. Порфировые месторождения – важный резерв расширения минерально-сырьевой базы // Разв. и охр. недр. – 1984. – № 1. – С. 18–22.
- Евстрахин В. А., Ицксон М. И. Порфиновый тип рудных месторождений // Разв. и охр. недр. – 1980. – № 1. – С. 9–16.
- Зильберминц А. В., Колесниченко П. П., Лабутин А. Н., Приставко В. А. Эндогенный минеральный комплекс оловорудных месторождений Северо-Востока // Оловоносность арктической и субарктической зон советского сектора Восточной Азии. – 1973. – С. 45–158. – (Тр. СВКНИИ ДВНЦ АН СССР; Вып. 48).
- Иванов Ю. Г. Металлогения олова Приморья. – М.: Недра, 1971. – 272 с.
- Индолев Л. Н., Невойса Г. Г. Серебро-свинцовые месторождения Якутии. – Новосибирск: Наука, 1974. – 250 с.
- Калинин А. И., Яранцева Л. М., Наталенко В. Е., Канищев В. К. Геология серебро-полиметаллического оруденения Новоджагынской интрузивно-купольной структуры // Колыма. – 1984. – № 1. – С. 29–31.
- Кокорин А. М., Коростелев П. Г. К вопросу о генезисе оловорудного месторождения Валькумей (Западная Чукотка) // Строение, состав и генезис оловорудных месторождений Дальнего Востока. – Владивосток, 1980. – С. 51–61.
- Колесников Д. И., Шатков Н. Г. Этапы эпигенетических преобразований рудовмещающих пород серебро-полиметаллических месторождений Мечта и Тидид (Северо-Восток России) // Геол. рудн. месторожд. – 1994. – Т. 36, № 3. – С. 250–260.
- Колесниченко П. П., Приставко В. А. Геолого-геохимическая типизация гранитоидов юга Яно-Колымских мезозоид в связи с их рудоносностью // Минералогия и геохимия рудных полей Северо-Востока России. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1992. – С. 93–106.
- Константинов М. М., Наталенко В. Е., Калинин А. И., Стружков С. Ф. Золото-серебряное месторождение Дукат. – М.: Недра, 1998. – 203 с.
- Костов И., Минчева-Стефанова Й. Сульфидные минералы. Кристаллохимия, парагенезисы, систематика. – М.: Мир, 1984. – 280 с.
- Кравцова Р. Г., Захаров М. Н., Иванов О. П. Комплексные геохимические исследования Пестринского рудного поля (Северо-Восток России) // Геол. рудн. месторожд. – 1996. – Т. 38, № 5. – С. 424–436.
- Крейг Дж., Воган Д. Рудная микроскопия и рудная петрография. – М.: Мир, 1983. – 424 с.
- Кузнецов К. Ф., Панфилов Р. В. Месторождения серебра // Рудные месторождения СССР. – М.: Недра, 1978. – Т. 3. – С. 78–95.
- Кулешов Б. А., Приставко В. А., Пляшкевич А. А. Геолого-структурные и минералого-геохимические особенности олово-вольфрамового месторождения Светлого // Тихоокеан. геол. – 1988. – № 4. – С. 65–76.
- Ларин Н. И. К тектонике и металлогении Яно-Колымской складчатой области // Материалы по геологии Северо-Востока СССР. – 1955. – № 9. – С. 3–20.
- Лугов С. Ф., Макеев Б. В., Потапова Т. М. Закономерности формирования и размещения оловорудных месторождений Северо-Востока СССР. – М.: Недра, 1972. – 358 с.
- Лугов С. Ф., Подольский А. М., Сперанская И. М., Титов В. А. Оловоносность Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – М.: Недра, 1974. – 174 с.
- Лычагин П. П. Глубинные фации и относительная температура формирования оловянного и золото-серебряного эпитептермального оруденения в бассейне р. Кулу // Рудоносность вулканогенных образований Северо-Востока и Дальнего Востока. – Магадан, 1967. – С. 88–93.
- Матвеев В. Т. Петрология и общие черты металлогении Омсукчанского рудного узла (Северо-Восток СССР) // Тр. ВНИИ-1. Геология. – 1957. – Вып. 31. – 75 с.
- Матвеев В. Т. Геологическое строение и минерализация Пестринского рудного узла // Тр. ВНИИ-1. Геология. – 1959. – Вып. 45. – С. 1–14.
- Матвеев В. Т. Тектоника, магматизм и оруденение Омсукчанского района Магаданской области // Тр. ВНИИ-1. Геология. – 1960. – Вып. 62. – С. 26–37.
- Материки М. П. Закономерности размещения и геолого-генетические группы оловянных месторождений СССР. – М.: Недра, 1974. – 144 с.
- Минералы благородных металлов: Справочник / О. Е. Юшко-Захарова, В. В. Иванов, Л. Н. Соболева и др. – М.: Недра, 1986. – 272 с.
- Мозгова Н. Н. Нестехиометрия и гомологические ряды сульфосолей. – М.: Наука, 1985. – 264 с.
- Мозгова Н. Н., Цепин А. Н. Блеклые руды. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
- Нагорная Т. В. Сульфосоли серебра на оловорудном месторождении Малый Кэн // Минералогия серебра близповерхностных месторождений. – 1979. – С. 56–59. – (Тр. ЦНИГРИ; Вып. 149).

Найбородин В. И., Приставко В. А. Сереброносность оловорудных месторождений Магаданской области: Тез. науч.-практ. конф. "Минерально-сырьевые ресурсы Магаданской области, направления и организация геолого-разведочных работ". Секц. 1. – Магадан, 1980. – Ч. 1. – С. 31–32.

Найбородин В. И., Сидоров А. А., Толстихин Ю. В. О формационной самостоятельности олово-серебряных месторождений // Докл. АН СССР. – 1974. – Т. 218, № 2. – С. 430–433.

Наумов В. Б., Науменко Б. Н. Условия формирования олово-вольфрамового месторождения Светлое (Чукотка) // Геол. рудн. месторожд. – 1979. – № 5. – С. 84–92.

Некрасов И. Я. Фазовые соотношения в оловосодержащих системах. – М.: Наука, 1976. – 362 с.

Некрасов И. Я. Гидротермальные процессы и некоторые закономерности образования эндогенных месторождений // Очерки физико-химической петрологии. – М.: Наука, 1980. – Вып. 9. – С. 70–97.

Некрасов И. Я. Олово в магматическом и постмагматическом процессах. – М.: Наука, 1984а. – 338 с.

Некрасов И. Я. Минеральные ассоциации месторождений олово-серебряной формации Северо-Востока СССР // Минерал. журн. – 1984б. – Т. 6, № 3. – С. 74–86.

Некрасов И. Я. О причинах совмещения оловянной, серебряной и золотой минерализации в месторождениях Тихоокеанского рудного пояса // Геол. рудн. месторожд. – 1990. – № 1. – С. 98–104.

Некрасов И. Я., Гамянин Г. Н., Горячев Н. А. и др. Минералого-геохимические особенности серебряного оруденения Верхояно-Колымской складчатой области. Минеральные ассоциации руд серебро-сурьмяной и золото-серебряной формаций // Минерал. журн. – 1987. – Т. 9, № 6. – С. 5–17.

Некрасов И. Я., Тронева Н. В., Гамянин Г. Н. и др. Парагенезисы окартита из месторождения Перевального // Докл. АН СССР. – 1978. – Т. 239, № 3. – С. 687–690.

Некрасов И. Я., Чевычелов В. Ю. Парагенезисы серебро-сурьмяных минералов и экспериментальное изучение системы $Ag - Sb - S$ в сухих и гидротермальных условиях при 110–400°C // Очерки физико-химической петрологии. – М.: Наука, 1980. – Вып. 9. – С. 98–133.

Некрасова А. Н. Особенности минерального состава руд Карамкенского золото-серебряного месторождения // Геол. рудн. месторожд. – 1972. – № 3. – С. 45–54.

Некрасова А. Н., Ботова М. М., Чувикина Н. Г. и др. Окартит из олово-серебряного проявления Востока СССР // Минерал. журн. – 1986. – Т. 8, № 3. – С. 79–84.

Осадчий Е. Р., Сорокин В. И. Станнинсодержащие сульфидные системы. – М.: Наука, 1989. – 136 с.

Очерки металлогении и геологии рудных месторождений Северо-Востока России / А. А. Сидоров, Н. А. Горячев, В. И. Шпикерман и др. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. – 106 с.

Пляшкевич А. А. Сравнительная минералогия касситерит-силикатного и серебро-полиметаллического месторождений (Омсукчанский район Магаданской области) // Минералы и минеральные парагенезисы пород и руд Северо-Востока СССР. – Магадан, 1986. – С. 115–128.

Пляшкевич А. А. О канфильдитовом типе олово-серебро-полиметаллического оруденения // Рудные формации Северо-Востока СССР. – Магадан, 1990. – С. 141–151.

Пляшкевич А. А. Минералогия серебра олово-серебро-полиметаллических месторождений (Северо-Восток СССР) // Минералогия и геохимия рудных полей Северо-Востока СССР. – Магадан, 1992. – С. 11–23.

Пляшкевич А. А., Приставко В. А. Систематизация оловорудных месторождений по их сереброносности // Минералогия и геохимия рудных полей Северо-Востока СССР. – Магадан, 1992. – С. 63–79.

Пляшкевич Л. Н. Золотое и золото-серебряное оруденение эпитептермального типа на Северо-Востоке СССР // Рудоносность вулканогенных образований Северо-Востока и Дальнего Востока СССР. – Магадан, 1967. – С. 52–57.

Подольский А. М., Силенко Т. М., Юркина К. В., Рябова Е. Г. Серебросодержащие минералы некоторых оловорудных месторождений Северо-Янского района Якутии // Структура, минералогия и зональность оловорудных месторождений Северо-Востока СССР в связи с вопросами локального прогноза. – М.: ВИМС, 1983. – С. 118–128.

Политов В. К. Тектоническое развитие Балыгычано-Сугойского прогиба // Локальное прогнозирование в рудных районах Востока СССР. – М.: Наука, 1972. – С. 80–88.

Политов В. К. Стадийность и зональность оловянного оруденения Омсукчанского района // Особенности металлогении оловорудных районов Востока СССР. – М.: ВИМС, 1980. – С. 74–96.

Приставко В. А., Устюжин П. В., Сафронов Д. Н., Попова Л. А. Экспрессный количественный анализ геохимических проб на широкий круг элементов // Методы прикладной геохимии: Тез. докл. II Междунар. симп. – Иркутск: ИГ СО АН СССР, 1981. – Ч. 2. – С. 231.

Радкевич Е. А. Касситерит-сульфидные месторождения. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – 320 с.

Радкевич Е. А. К вопросу о классификации оловорудных месторождений // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1956. – № 6. – С. 58–69.

Радкевич Е. А. О сульфостаннатах в касситерито-сульфидном Синанчинском месторождении Южного Приморья // Тр. ИГЕМ. – 1959. – Вып. 18. – С. 30–45.

Радкевич Е. А., Томсон И. Н., Кокорин А. М. и др. Зональность и глубинность оловянного оруденения (на примере Кавалеровского района). – М.: Наука, 1980. – 180 с.

Раевская И. С., Калинин А. И., Наталенко В. Е. О стадийности и этапности минералообразования на золото-серебряном месторождении // *Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР*. – Магадан, 1977. – Вып. 23, кн.1. – С. 149–155.

Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. – М.: ИЛ, 1962. – 1132 с.

Раткин В. В., Симаненко Л. Ф., Кузнецов Д. Н., Король Р. В. Олово-цинковое оруденение Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса // *Геол. рудн. месторожд.* – 1990. – № 2. – С. 68–77.

Родионов С. М., Макеев Н. П. Оловянно-порфировое оруденение Сихотэ-Алиня // *Металлогения олова и вольфрама Дальнего Востока*. – Владивосток, 1983. – С. 136–152.

Роднов Ю. Н., Зайцев В. И. Соотношение оловянного и серебряного оруденения в Балыгычано-Сугойском районе Северо-Востока СССР // *Магматизм рудных районов Дальнего Востока*. – Владивосток: ДВГИ, 1985. – С. 155–167.

Рудные формации вулканоплутонических поясов Дальнего Востока (генетические типы и закономерности размещения). – М.: Наука, 1989. – 232 с.

Савва Н. Е. Минералогические особенности золотого и серебряного оруденения в Омсукчанском районе (Северо-Восток СССР): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – М., 1980. – 20 с.

Савва Н. Е., Пляшкевич А. А., Петров С. Ф. Пояснительная записка к топогеологической карте серебра Северо-Востока России масштаб 1: 5 000 000. – Магадан, 1998. – 132 с.

Сандомирская С. М. Особенности состава минералов золота и серебра по данным локального спектрального анализа: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – М., 1983. – 23 с.

Сахарова М. С., Брызгалов И. А. Минералогия серебра кварц-адуляр-родонитовых вулканогенных гидротермальных жил // *Геол. рудн. месторожд.* – 1981. – Т. 23, № 6. – С. 36–48.

Сахарова М. С., Брызгалов И. А., Ефимов А. В. Минералогия серебра галенит-сфалеритовых жил Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // *Новые данные о минералах*. – М.: Наука, 1985. – Вып. 32. – С. 54–62.

Сахарова М. С., Ряховская С. К. Исследование природного минералообразования в связи с проблемами генезиса близповерхностных месторождений // *Тихоокеан. геол.* – 1989. – № 5. – С. 60–65.

Серебро (геология, минералогия, генезис, закономерности размещения месторождений). – М.: Наука, 1989. – 240 с.

Смирнов С. С. Очерк металлогении и рудные месторождения Охотско-Колымского края // *Рудные месторождения и металлогения восточных районов СССР*. – М.: Изд. АН СССР, 1962. – С. 80–119.

Соколов А. Л. Условия локализации оруденения касситерит-силикатной формации (на примере месторождения Индустриальное) // *Изв. АН СССР. Сер. геол.* – 1980. – № 9. – С. 121–132.

Стадийность минерализации и зональность гидротермальных месторождений / Под ред. А. Д. Щеглова, Д. О. Онтоева. – М.: Наука, 1979. – 332 с.

Томсон И. Н., Полохов В. Л., Полякова О. П. и др. Новый тип оловорудной минерализации в околоинтрузивных зонах Приморья // *Изв. АН СССР. Сер. геол.* – 1983. – № 4. – С. 91–105.

Тренина Т. И. Сереброносность сульфидов некоторых оловорудных месторождений Северо-Востока СССР // *Тр. ВНИИ-1. Геология*. – 1959. – Вып. 43. – 23 с.

Тюкова Е. Э. Минералогическо-генетические особенности месторождений Пионерского рудного узла (Северо-Восток СССР). Ч. 2. Генетические особенности рудообразования: Препринт. – Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1989. – 38 с.

Умитбаев Р. Б. Охотско-Чаунская металлогеническая провинция. – М.: Наука, 1986. – 286 с.

Умитбаев Р. Б., Еремин Р. А. Некоторые особенности Карамкено-Утеснинской рудоконтролирующей структуры (Северное Приохотье) // *Металлогеническая специализация вулканических поясов и вулканотектонических структур Дальнего Востока и других регионов СССР*. – Владивосток, 1971. – С. 34–36.

Филатов С. И. Некоторые особенности локализации оловянного оруденения в Омсукчанском районе // *Новые данные по геологии рудных районов Востока СССР*. – М.: Наука, 1969. – С. 103–113.

Филимонов Ю. А., Сулейманов А. М. Структурный контроль серебряного оруденения в Верхне-Тарынском рудном узле // *Отч. геол.* – 1994. – № 8. – С. 7–24.

Финашин В. К. Минеральные ассоциации и типы серебряной и висмутовой минерализации в оловорудных месторождениях Востока Азии // *Геология и металлогения рудных районов Дальнего Востока*. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. – С. 61–67.

Финашин В. К. Оловорудные месторождения Приморья (геология и генезис). – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. – 176 с.

Флеров Б. Л. Оловорудные месторождения Яно-Колымской складчатой области. – Новосибирск: Наука, 1976. – 284 с.

Флеров Б. Л. Олово-полиметаллическое оруденение юго-востока Якутии. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1984. – С. 6–21.

Флеров Б. Л., Индолев Л. Н., Яковлев Я. В., Бичус Б. Я. Геология и генезис оловорудных месторождений Якутии. – М.: Наука, 1971. – 318 с.

Холмогоров А. И., Яковлев Я. В., Жданов Ю. Я. Типохимизм арсенопиритов Восточной Якутии // *Минералы эндогенных образований Якутии*. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1977. – С. 67–77.

- Чайковский В. К.** Геология оловоносных месторождений Северо-Востока СССР. – М.: Госгеолтехиздат, 1960. – 335 с.
- Чистякова Н. М., Авдонин А. С., Евстигнеева Т. Л.** Окартит из месторождения Чат-Карагай // Зап. ВМО. – 1979. – Ч. 108, № 3. – С. 339–343.
- Шатков Н. Г.** Минералого-геохимические индикаторы олово-серебряного оруденения Омсукчанского района (Северо-Восток России): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – СПб., 1997. – 25 с.
- Шахтыров В. Г.** Тенькинский глубинный разлом: тектоническая позиция, инфраструктура, рудоносность // Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии: Тез. докл. IX сессии СВО ВМО. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. – С. 62–64.
- Шило Н. А., Сахарова М. С., Кривицкая Н. Н. и др.** Минералогия и генетические особенности золото-серебряного оруденения Северо-Западной части Тихоокеанского обрамления. – М.: Наука, 1992. – 450 с.
- Шипулин Ф. К., Казанский В. И.** Оловянный пояс боливийских Кордильер // Геол. рудн. месторожд. – 1972. – № 3. – С. 3–18.
- Шнайдер М. С., Шнайдер А. А., Гордеев Р. А. и др.** Геологическая позиция и особенности строения Индустриально-Хатаренского рудного поля // Закономерности формирования эндогенной минерализации Дальнего Востока. – Владивосток, 1979. – С. 127–137.
- Boyle R. W.** The geochemistry of silver and its deposits // Bull. Geol. Surv. – Canada. – 1968. – Vol. 160. – 264 p.
- Bril H.** Conditions de stabilite des sulfures dans le filons de haute temperature du district de Briou-de-Massiac (Massif Central francais) // Bull. Mineral. – 1985. – Vol. 108. – P. 161–171.
- Cabri L. Y., Harris D. C.** Comments on “silver-bearing chalcopyrite” from Garpenberg Norra // Neues Jahrb. Miner. Monatsh. – 1984. – N 8. – P. 383–384.
- Chen T. T., Dutrizac J. E., Owens D. R., Laflamme Y. H. G.** Accelerated tarnishing of some chalcopyrite and tennantite specimens // Can. Miner. – 1980. – Vol. 18, N 2. – P. 173–180.
- Clark A. H.** Heating Experiments on Gudmundite // Miner. Mag. – 1966. – Vol. 35, N 276. – P. 1123–1125.
- Geology and mineral resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia** // U. S. Geological Survey Bulletin. – 1992. – 365 p.
- Hackbarth C. J., Petersen U. A.** Fractional Crystallization Model for the Deposition of Argentinian Tetrahedrite // Econ. Geol. – 1984. – Vol. 79. – P. 448–460.
- Heinrich C. H., Eadington P. Y.** Thermodynamic Predictions of the Hydrothermal Chemistry of Arsenic, and Their Significance for Paragenetic Sequence of Some Cassiterite – Arsenopyrite – Base Metal Sulfide Deposits // Econ. Geol. – 1986. – Vol. 81, N 3. – P. 511–529.
- Kelly W. C., Turneure F. S.** Mineralogy, paragenesis and geothermometry of the tin and tungsten deposits of the eastern Andes, Bolivia // Econ. Geol. – 1970. – Vol. 65, N 6. – P. 609–680.
- Kretschmar U., Scott S. D.** Phase relation involving arsenopyrite in the system Fe – As – S and their application // Can. Miner. – 1976. – Vol. 14. – P. 364–386.
- Lafitte M., Maury R.** Variations de stoechiometrie de chalcopyrites naturelles // Bull. miner. – 1982. – Vol. 105, N 1. – P. 57–61.
- Lafitte M., Maury R.** Etuole analytique de la teneur en fer des sphalerites de la mine de la Zarza (Espagne) // C. R. Acad. Sci. – 1982. – Ser. 2, Vol. 294, N 21. – P. 1263–1265.
- Nokleberg W. J., Bundzen T. K., Grybeck D. et al.** Metallogenesis of mainland Alaska and the Russian Northeast // Mineral deposit maps, models, and tables, metallogenic belt maps and interpretation, and references cited: U.S. Geological Survey Open-File Report 93–339. – 222 P., 1 map, scale 1:4 000 000, 5 maps, scale 1:10 000 000.
- Paar Von W. H., Chen T. T., Gunther W.** Extremely silver rich Freibergite in lead-zinc-copper ores of the Knappenstube main, Hochtor, Salzburg // Carintia II 168, 1978. – P. 35–42.
- Scott S. D., Kissin S. A.** Sphalerite Composition in the Zn–Fe–S System Below 300°C // Econ. Geol. – 1973. – Vol. 68. – P. 475–479.
- Schmid F. A., Jaffe F. C., Burri M.** La freibergite du gisement de plomb – zink de Praz-Jean (Valais, Suisse) // Miner. Depos. – 1990. – Vol. 25, N 3. – P. 198–204.
- Shimizu M., Shikazono N.** Iron and zinc partitioning between coexisting stannite and sphalerite: a possible indicator of temperature and sulfur fugacity // Miner. Depos. – 1985. – Vol. 20. – P. 314–320.
- Sillitoe R. H., Halls C., Grant J. N.** Porphyry tin deposits in Bolivia // Ibid. – 1975. – Vol. 70, N 5. – P. 913–937.
- Turneure F. S.** The Bolivian Tin-Silver Province // Econ. Geol. – 1971. – Vol. 66, N 2. – P. 215–225.
- Villalpando B. A.** The Tin Ore Deposits of Bolivia / Ed. C. S. Hutchison // Geology of Tin Deposits in Asia and the Pacific: Selected papers from the International Symposium of the Geology of Tin Deposits held in Nanning, China, October 26–30, 1984. United Nations, New York, 1988. Mineral Concentrations and Hydrocarbon Accumulations in the ESCAP Region. – Vol. 3. – P. 201–215.
- Zakrzewski M. A., Nutgeren H. W.** Mineralogy and origin of the distal volcanosedimentary deposit at the Hallerfors silver mine, Bergslagen, central Sweden // Can. Miner. – 1984. – Vol. 22, N 4. – P. 583–593.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. СЕРЕБРО В ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РЕГИОНА	6
Глава 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, ГЛАВНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОМСУКЧАНСКОЙ И ТЕНЬКИНСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ЗОН	13
Геолого-структурная позиция месторождений Омсукчанской и Тенькинской металлогенических зон	13
Джагынская рудная зона	13
Кэнская рудная зона	14
Пестринский рудный узел	15
Тенькинская рудная зона	18
Схемы последовательности минералообразования	20
Омсукчанская металлогеническая зона	23
Пестринский рудный узел	26
Тенькинская металлогеническая зона	28
Геохимическая типизация руд	30
Глава 3. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ГЛАВНЫХ СУЛЬФИДОВ И СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ	34
Арсенопирит	34
Халькопирит	36
Сфалерит	37
Станнин	38
Галенит	39
Серебросодержащая блеклая руда	39
Сульфоантимониты Pb, Pb-Ag и Ag	41
Интерметаллиды Ag-Sb	45
Сульфостаннаты серебра	46
Некоторые данные о физико-химических условиях формирования руд	48
Месторождения с сульфоантимонитовым типом минерализации	48
Месторождения с сульфостаннатным типом минерализации	49
Глава 4. ОЛОВО-СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОКА В РЯДУ ОЛОВОРУДНЫХ ФОРМАЦИЙ	51
Омсукчанский металлогенический пояс	51
Тенькинская металлогеническая зона	55
Олово-серебро-полиметаллическое оруденение Якутии и Дальнего Востока	56
Боливийские полиметаллические жилы и олово-порфировое оруденение	59
Минералого-геохимические поисковые признаки серебро-полиметаллического и олово-серебряного оруденения	60
Заключение	65
Литература	67

Научное издание

Пляшкевич Анна Алексеевна

Минералогия и геохимия
олово-серебро-полиметаллических месторождений
Северо-Востока России

Редактор **Т. А. Фокас**

Технический редактор **Л. М. Русакова**

Редактор-оформитель компьютерной графики **А. В. Трушнин**

Корректор **К. В. Репичева**

Компьютерный набор **Т. И. Михайловой, А. А. Пляшкевич**

Компьютерная правка **Ю. Б. Вельман, Т. И. Михайловой, А. А. Пляшкевич, А. В. Трушнина**

Компьютерная верстка **А. В. Трушнина**

Оригинал-макет **А. В. Трушнина**

Изд. лиц. ИД № 05661 от 22.08.2001 г. Подписано в печать 22. 11. 2002 г. Формат 60×84/8. Бумага «Люкс». Гарнитура «Таймс».
Физ. л. 9,5. Уч.-изд. л. 8,68. Тираж 200. Заказ 25.

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН. 685000, Магадан, ул. Портовая, 16.

Отпечатано с оригинала-макета в МПО СВНЦ ДВО РАН. 685000, Магадан, ул. Портовая, 16.