МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РГБ ОД
1 4 АПР 1998

На правах рукописи

Савва Наталья Евгеньевна

УДК 549: 553.411 (5717.76)

ЭВОЛЮЦИЯ ВИДООБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ СЕРЕБРА В ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Специальность 0.4.00.20-минералогия, кристаллография

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва 1998 г.

Работа выполнена в Северо-Восточном комплексном научно-исследовательском институте ДВО РАН

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор М.С.Сахарова (МГУ)
доктор геолого-минералогических наук, Г.Н.Гамянин (ЯФ РАН)
доктор геолого-минералогических наук, М.И.Новгородова (Минералогический Музей им. А.Е.Ферсмана)

Ведущее предприятие - Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт (ЦНИГРИ)

Защита диссертации состоится "15" мая 1998 г. в "15" 00 час на заседании специализированного совета Д.053.05.26 при геологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова

Адрес: 119899, Москва, МГУ, Геологический факультет

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке геологического факультета МГУ.

Автореферат диссертации разослан "7" апреля 1998 г.

Ученый секретарь
Специализированного Совета
доктор геол.-мин. наук В.И.Фельдман

Введение

Настоящая работа является обобщением многолетних детальных и региональных минералогических исследований сереброрудных месторождений северо-западного сектора Тихоокеанской металлогенической провинции.

Магаданская область долгие годы считалась исключительно золотодобывающей, и только с открытием Дукатского месторождения в 1968 году на ее территории появился повышенный интерес к серебру. Автору довелось в составе Омсукчанской геологоразведочной экспедиции, а затем работая в Северо-восточном комплексном НИИ ДВО РАН, провести минералогические исследования на многих сереброрудных месторождениях региона в полевых и лабораторных условиях.

Минералогия серебра представляется интереснейшим и неисчерпаемым источником для изучения эволюции видообразования минералов, т.к. серебро - один из немногих металлов, обладающих способностью легко вступать в реакции, чутко реагировать на различные изменения минералообразующей среды, а главное - создавать широкий спектр природных химических соединений. Типы его месторождений в регионе весьма разнообразны. Они известны в геологических образованиях различного возраста - от древних до молодых эпох.

Актуальность работы имеет научный и практический аспекты. Научный состоит в разработках, относящихся к области теоретической минералогии, одному из важных ее направлений - эволюции минерального мира. Исследования затрагивают главнейшую проблему эволюционной систематизации - проблему выбора универсального вектора, объединяющего всю совокупность изменяющихся во времени физико-химических параметров минералообразующей среды. Практическим и не менее важным аспектом является изучение особенностей минерального состава руд отдельных объектов, их типизация, выяснение региональных особенностей распространения серебряной минерализации, в связи с вовлечением в эксплуатацию месторождений серебра, постановкой геологоразведочных работ, технологических испытаний руд и подсчетом их запасов.

Цель исследований состояла в установлении эволюционных закономерностей, на уровне минеральных видов для минералов серебра в эпитермальном рудообразовании, с главным акцентом на выяснении роли дифференциации в этом процессе.

Основные задачи в соответствии с поставленной целью включали: расшифровку пространственно-временных отношений минеральных видов серебра и их сообществ с четкой градацией на преобладающие, второстепенные и редко встречающиеся для эпитермальных сереброрудных месторождений различного геохимического профиля; оценку роли главных факторов, определяющих смену во времени и пространстве минеральных видов

серебра при формировании руд; выявление вариаций их состава, построение эволюционных рядов минеральных видов Ag.

Научная новизна работы состоит в том, что на основании детальных и региональных минералогических исследований сереброрудных месторождений впервые:

▫ установлена закономерность эволюции видообразования минералов Ag в эпитермальном рудообразовании и показана определяющая роль в этом физико-химической дифференциации;

▫ показана роль термо- и динамометаморфизма руд в локальном концентрировании Ag, как результат дифференциации ;

▫ впервые для Северо-Востока России, при региональном обобщении минералогических данных по серебру, показана связь между минералогическими и металлогеническими особенностями крупной сереброрудной провинции;

▫ разработана систематика минеральных видов серебра по уровню концентрации Ag в них, генетической основой которой является фундаментальное свойство планет - вещественная дифференциация (в данном случае физико-химическая дифференциация, сопровождающая рудное минералообразование), на фоне которой в координате времени рассматриваются вариации принципиально нового, не использовавшегося ранее типоморфного признака, а именно - уровня концентрации Ag в его последовательно возникающих минеральных видах;

▫ разработаны универсальные эволюционные ряды минеральных видов Ag для эпитермальных сереброрудных месторождений;

▫ составлена топоминералогическая карта серебра Северо-Востока России масштаба 1 : 5 000 000.

Практическая значимость. Проведенные исследования позволяют в комплексе с геолого-структурными данными проводить оценку перспективности месторождений серебра по уровню дифференцированности руд, а предложенная систематика дает возможность прогнозировать обнаружение труднодиагностируемых минеральных видов серебра при минераграфических исследованиях.

Методологической основой работы послужили историко-генетические реконструкции минеральных объектов, выполненные автором при топоминералогическом картировании сереброрудных месторождений северо-восточного региона России, а также анализ опубликованных данных, использованный как независимая экспертиза для подтверждения установленных тенденций и закономерностей.

Методика работы включала минералогическое картирование, стадиальный минералогический анализ, позволивший выявить пространственно-временные отношения минералов и минеральных парагенезисов в рудах месторождений, проследить смену минеральных видов серебра во времени, отделить первичные и наложенные процессы минералообразования, создать

динамичную картину формирования руд во времени. Полученная информация обработана методами статистики и сравнительного анализа различных объектов. Из аналитических методов наиболее широко использован локальный рентгеноспектральный анализ химического состава минералов, в меньшей степени - спектрохимический, атомной абсорбции, рентгеноструктурный, спектрофотометрический, в небольшом объеме выполнена изотопия свинца.

Фактический материал. В основу работы положены результаты детального изучения минералого-геохимических особенностей 60 сереброрудных объектов северо-западного сектора Тихоокеанской металлогенической провинции, из которых на 35-ти автором лично отобран оригинальный каменный материал, проведены геологическая документация, детальные лабораторные исследования. В процессе обобщения учтены и осмыслены результаты минералогических исследований, проводившихся на рассматриваемой территории группой М.С.Сахаровой (МГУ), а также работы А.Н.Некрасовой, Ю.С.Бермана, Л.Н.Шишаковой (ЦНИГРИ), Н.А.Костырко, И.С.Раевской, А.П.Епифановой (ПГО "Севвостгеология"), Р.А.Еремина, В.И.Найбородина, А.А.Сидорова, В.И.Гончарова, Е.Э.Тюковой, А.А.Пляшкевич (СВКНИИ ДВО РАН), со многими из них автор обсуждал различные аспекты раскрываемой проблемы. В процессе проведения работы выполнено более 2000 микрозондовых анализов, около 500 спектральных, 300 атомно-абсорбционных на серебро, около 100 рентгеноструктурных.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из Введения, 8 глав основного текста и Заключения. Общий объем 214 страниц, включая 12 таблиц, 60 иллюстраций и 2 приложения (аналитические данные и "Топоминералогическая карта серебра Северо-Востока России масштаба 1:5 000 000"). Библиография насчитывает 225 наименований.

В *первой главе* по литературным данным охарактеризована металлогения серебра в регионе. *Вторая глава* содержит краткий обзор изученности различных аспектов минералогии серебра в регионе. *В третьей главе* обсуждается роль дифференциации в эволюции видообразования минералов Ag. Здесь анализируются современные знания о законах и механизмах дифференциации минерального вещества. *Четвертая глава* посвящена особенностям концентрирования серебра в рудах месторождений золото-серебряного, олово-серебряного, серебро-свинцово-цинкового геохимического профиля, а также минералогии серебра рудных месторождений несеребряного профиля. В *пятой главе* рассмотрены вопросы влияния различных факторов на видовой спектр минералов Ag, в частности, особенности перераспределения серебра в рудах при метаморфизме и его роль в локальном концентрировании этого металла. *В шестой главе* большое внимание уделено отражению металлогенических черт территории в химическом составе минеральных видов Ag. Обсуждается вопрос гетерогенности источников вещества. В *седьмой главе* приводится обзор минеральных видов серебра,

установленных в рудах эпитермальных месторождений региона, и дана характеристика распространения минеральных типов месторождений Ag в различных металлогенических зонах. *В восьмой главе* обосновывается правомерность систематизации минеральных видов Ag по уровню его концентрации. Рассматриваются генетический и эволюционный аспекты такой систематики, а также тенденции, проявляющиеся в направлении возрастания концентраций Ag.

Апробация результатов исследования. Фактические данные и выводы, в том числе обоснование защищаемых положений диссертации, опубликованы в 5 монографиях, одна из которых персональная и включает в себя основное содержание настоящей работы в сжатой форме, остальные коллективные. Результаты исследований отражены в 60 публикациях, 35 научных отчетах, и докладывались на съездах Всесоюзного минералогического общества (1981, 1986, Ленинград), Всесоюзном совещании по теоретической минералогии (1990, г. Сыктывкар), Всесоюзном семинаре по минералогическому картированию (1983, г.Миасс), Всесоюзном совещании по оруденению в вулканогенных областях (МИНГЕО, 1988, г. Ха-баровск), на региональных совещаниях СВО ВМО, а также на Международном совещании "International conference on Arctic Margins" (1994, г. Магадан), региональном совещании РФФИ (1995, г. Иркутск) и съезде Северо-Восточного отделения ВМО (1997, г. Магадан), с 1994 г. поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований.

Практические рекомендации изложены, как в научных отчетах (более 40 наименований), так и в виде отдельных рекомендаций, рассмотренных и принятых на техсоветах ПГО "Севвостгеология".

Благодарности. Большую помощь в организации и проведении полевых исследований автору оказали геологи ПГО "Севвостгеология" М.Е.Городинский, А.П.Фадеев. Неоценимую помощь в проведении количественного рентгеноспектрального анализа оказала м.н.с. Е.М.Горячева. В процессе работы автор постоянно пользовался консультациями чл.корр. РАН А.А.Сидорова, д.г.-м.н. И.Н.Кот-ляра, д.г.-м.н. Р.Б.Умитбаева, к.г.-м.н. Р.А.Еремина, к.г.-.м.н. В.И.Шпикермана, к.г.-.м.н. Н.А.Горячева, научного сотрудника СВКНИИ А.А.Пляшкевич, ведущего геолога СВ Геолкома И.С.Раевской. Всем названным сотрудникам автор выражает искреннюю благодарность. Автор также благодарен Н.С.Кашиной, с высоким профессионализмом подготовившей топоминералогическую карту серебра, и Н.А.Шиляевой, В.А.Рой , Л.И.Шматовой за помощь в оформлении работы.

Краткая геолого-структурная характеристика и металлогения серебра Северо-Востока России

Регион располагается в пределах Тихоокеанского подвижного пояса, в истории развития которого отмечается чередование двух геодинамических режимов - сжатия и растяжения, оказавших существенное влияние на

металлогеническую зональность. Территориально он приурочен к восточной окраине Евразиатского континента - сочленению с Северо-Американским и разделяет два разнотипных океанических бассейна - Арктический и Тихий (Умитбаев и др., 1989); в тектоническом отношении традиционно делится на три главные провинции: Сибирскую платформу, Верхояно-Чукотскую мезозойскую и Корякско-Камчатскую кайнозойскую складчатые области (рис.1). В пределах Верхояно- Чукотской выделены Яно-Колымская и Чукотская миогеосинклинальные системы, разделенные Алазейско-Олойской эвгеосинклиналью, а в миогеосинклинальных складчатых системах выделяются Охотский и Омолонский массивы, рифейско- палеозойские поднятия, синклинории, антиклинории и разломы пологих дислокаций; орогенные впадины, прогибы и вулканогенные пояса.

Согласно Р.Б.Умитбаеву (1986), металлогения Тихоокеанского рудного пояса в значительной мере определяется проявлениями позднемезозойкайно-зойского внегеосинклинального вулканизма, плутонизма и вулканоплутонизма, продукты которых, в одних случаях, сконцентрированы в вулканогенных поясах, а в других - образуют крупные ареалы рассредоточенных выходов в докембрийских и фанерозойских консолидированных складчатых структурах. Области распространения указанных проявлений магматизма в первом приближении отвечают главным позднемезозойкайнозойским металлогеническим провинциям - вместилищам крупных и уникальных месторождений благородных, редких и цветных металлов. В истории формирования указанной территории выделены три эпохи серебряного оруденения, связанные с эпохами магматической активизации (Умитбаев, 1986; Лычагин, Дылевский, Шпикерман и др.,1989).

Наиболее древняя - связана с *девон-карбоновой* активизацией на площади Омолонского срединного массива. Одним из ярких представителей этой эпохи является золото-серебряное месторождение Кубака.

Позднеюрская-неокомовая - выделяется В.Н.Шпикерманом для центральных районов Северо-Востока СССР. С ее изверженными образованиями связано большинство рудных формаций мезозоид Северо- Востока. Среди проявлений серебряной минерализации здесь известны сереброносные скарново-полиметаллические проявления, особенно в пределах Омулевско-Приколымской тектоно-магматической зоны (Кунаревский рудный комплекс). Типоморфной чертой полиметаллических руд является повышенное содержание в них висмута. Они тесно ассоциированы с вулканитами позднеюрской риолитовой, а местами- с гранитоидами одновозрастной гранитной формации ("колымский интрузивный комплекс"). Месторождения этой группы обнаруживают черты сходства с месторождениями Дальнегорской группы Приморья. Золото-серебряные проявления Омулевско-Приколымской тектоно-магматической зоны, относимые к позднеюрским

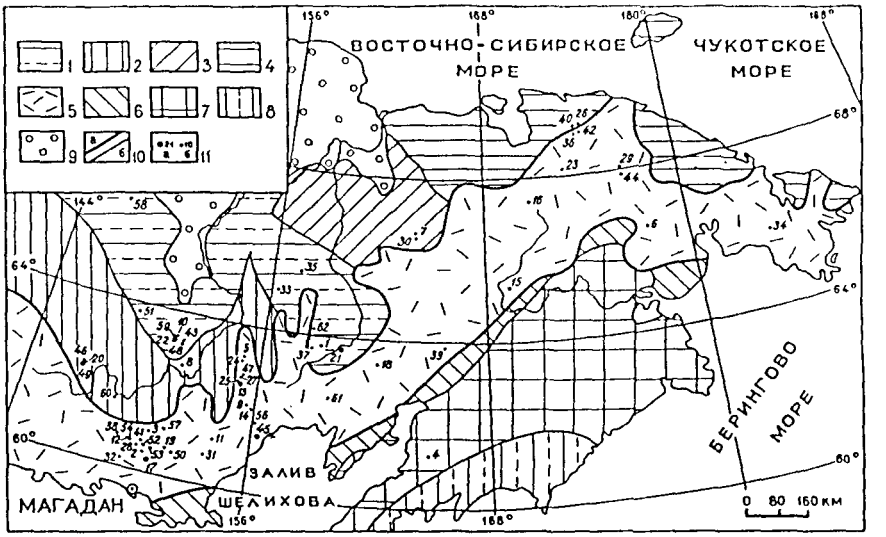

Рис.1. **Схема размещения эпитермальных месторождений серебра на территории Северо-Востока России,** Структурно-металлогеническая основа по "Схеме металлогенического районирования Магаданской области и сопредельных территорий" (Металлогеническая карта..., 1994) с изменениями и упрощениями .

1-4 - подразделения Верхояно-Чукотской металлогенической провинции: 1 - Колымо-Омолонская металлогеническая система; 2 - Яно-Колымская металлогеническая система. 3 - Олойская металлогеническая система. 4 - Чукотская металлогеническая система. 5 - Охотско-Чукотский металлогенический пояс. 6-8 - подразделения Корякско-Камчатской металлогенической провинции: 6 - Охотская металлогеническая система, 7 - Анадырско-Корякская металлогеническая система. 8 - Олюторская металлогеническая система; 9 - районы с неясной металлогенической специализацией, перекрытые современными рыхлыми отложениями; 10 - границы: а - металлогенических провинций Охотско-Чукотского металлогенического пояса, б - металлогенических систем; 11 - эпитермальные месторождения серебра: а - крупные, б - рядовые.

Номера на карте - месторождения: 1 - Абкитской группы, 2 - Аган, 3 - Агатовское, 4 - Аметистовое, 5 - Арыллах, 6 - Валунистое, 7 - Весеннее, 8 - Гай, 9 - Гольцовское, 10 - Дацитовое, 11 - Джульетта, 12 - Друг, 13 - Дукат, 14 - Ирча, 15 - Кавральянское, 16 - Капелька, 17 - Карамкенское, 18 - Кегали, 19 - Колхида, 20 - Кочевое, 21 - Кубака, 22 - Кунаревское, 23 - Кыплатап, 24 - Лунное, 25 - Мало-Кэнское, 26 - Марс, 27 - Мечта, 28 - Мнистое, 29 - Надежда (Мраморное), 30 - Находка, 31 - Нявленга, 32 - Ойра, 33 - Ольча, 34 - Пепеневемское, 35 - Правое Визуальное, 36 - Промежуточное, 37 - Седое, 38 - Сентябрьское, 39 - Сергеевское, 40 - Сильное, 41 - Скарновое (Верхне-Арманское), 42 - Сопка Рудная, 43 - Сфалеритовое, 44 - Телевеемское, 45 - Теплое, 46 - Тигрец-Индустрия, 47 - Тидид, 48 - Тихое, 49 - Токичанское, 50 - Угрюмое, 51 - Урультун-Озерное, 52 - Утесное, 53 - Финиш, 54 - Флюоритовое, 56 - Халали, 57 - Хета, 58 - Хотойдох, 59 - Широкое, 60 - Школьное, 61 - Эвенское, 62 - Юное.

(Сидоров, 1973), связаны с одновозрастной риолитовой формацией. По данным В.И.Найбородина, А.А.Сидорова сюда отнесено Верхне-Урультунское вулканогенное проявление. Детальное изучение вещественного состава руд, проведенное автором, позволило отнести его к серебро-сурьмяно- мышьяковому минеральному типу.

В *мезо-кайнозойскую* эпоху серебряное оруденение связано со становлением и развитием вулканогенных поясов. В северо-западном секторе Тихоокеанского кольца Н.А.Шило, В.Ф.Белым, А.А.Сидоровым (1974) выделяется три класса вулканогенных поясов: интрагеосинклинальный, перигеосинклинальный и протоорогенний. В зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану перигеосинклинальные вулканогенные пояса образуют две гигантские системы структур: Восточно-Азиатскую окраинно-континентальных поясов и приматериковых вулканических дуг. Главная роль в формировании сереброрудных месторождений Северо-Востока России принадлежит Охотско-Чукотскому вулканогенному поясу (ОЧВП), на площади которого разведано боле 20 месторождений различных минеральных типов, часть из которых отрабатывается (Дукат, Карамкенское) и вовлекается в эксплуатацию (Лунное, Джульетта, Нявленга, Эвенское).

Типизация рудных месторождений и отнесение их к определенным рудным формациям, являясь неотъемлемой частью учения о рудных месторождениях, в то же время бывает и предметом острых дискуссий. Автор настоящей работы, не подвергая анализу другие рудно-формационные классификации, придерживается в этом вопросе разработок А.А.Сидорова (1987,1990), находя их наиболее прогрессивными и учитывающими наибольшее число факторов, влияющих на процесс рудообразования.

Положение 1. **В ходе эволюции серебросодержащих минеральных систем происходит последовательное увеличение локальной сереброносности руд и последовательная смена форм нахождения Ag от рассеянной в сульфидах к серебросодержащим сульфидно-блеклорудным и далее к собственно серебряным от ранних этапов (стадий) к более поздним. При этом отмечается увеличение концентраций Ag в его последовательно возникающих минеральных видах в группе преобладающих, характеризующих минеральный тип месторождения.**

Главными природными объектами, концентрирующими Ag, являются его рудные месторождения, а механизмом концентрирования - минералообразование при рудогенезе. Для установления эволюционной направленности в этом процессе проведена реконструкция минералогических событий с главным акцентом на последовательности образования минералов-концентраторов Ag.

Рассмотрены примеры концентрирования этого металла в серебро-рудных месторождениях северо-западного сектора Тихоокеанской металлогенической провинции, на территории которой многими исследователями: М.С.Сахаровой (МГУ), А.Н.Некрасовой, Ю.С.Берманом, Л.Н.Шишаковой (ЦНИГРИ), И.С.Раевской, Л.Н.Пляшкевич, Н.А.Костырко (ПГО "Севвостгеология") В.И.Най-бородиным, Т.И.Трениной, Е.Э.Тюковой, А.А.Пляшкевич (СВКНИИ ДВО РАН) и автором на протяжении многих лет детально изучалась минералогия серебра. Приводимый ниже анализ последовательного образования минеральных видов Ag в рудах месторождений базируется на оригинальных материалах с учетом опубликованных данных других авторов.

Au-Ag месторождения

Эти месторождения наиболее широко развиты в указанной металло-генической провинции. Обладая рядом общих минералогических признаков (текстурные особенности, широкий видовой спектр минералов Ag, состав жильных минералов и др.), связанных с вулканогенным генезисом и эпитермальным типом рудоотложения, они также в процессе формирования приобретают и индивидуальные черты, которые отражаются в минералого-геохимических типах руд.

Охотско-Чукотский вулканогенный пояс (ОЧВП)

Месторождения Омсукчанского рифтогенного прогиба: Дукат, Тидид, Гольцовское, Арыллах, Лунное. Вмещающими породами для оруденения служат вулканогенные толщи и субвулканические тела преимущественно кислого состава. В основании структур угленосная моласса верхнеюрского-нижнемелового возраста. Месторождения имеют длительную историю формирования: от раннего до позднего мела. Среди них большинство полистадийные и одно крупное полиэтапное месторождение - Дукат, руды которого в позднемеловое время были метаморфизованы в связи с внедрением мощного гранитоидного плутона (Савва, 1980).

Геохимическая специализация этой группы месторождений Pb-Zn и Mn, типичная, по Антонову (1992), для рифтогенных зон (Очерки металлогении..., 1994). На ранних стадиях минералообразования в рудах этих месторождений Ag концентрируется в галените и сфалерите (Ag - от 100 г/т до 3 мас.%), в пирите (Ag -100-1000 г/т), халькопирите (Ag - от 100 г/т до 1.5 мас.%). В последующих стадиях появляются более мощные концентраторы: фрейбергит (Ag - до 35 мас.%), пираргирит (Ag - 55-60 мас.%). Для большинства месторождений группы характерен пираргиритовый минеральный тип руд. На месторождении Дукат, занимающем надынтрузивное положение, термальный метаморфизм руд, связанный с внедрением плутона, привел к перераспределению первичного вещества руд. В результате в группе преобладающих минералов-концентраторов Ag появились акантит (Ag - 77-87 мас.%) и самородное серебро (Ag - 95-100 мас.%), обусловившие серебро-

акантитовый минеральный тип руд (рис. 2). Позднемеловой гранитоидный магматизм Омсукчанского прогиба, специализированный на Sn, послужил источником привноса Sn в поздние сульфиды, а в рудах месторождений Тидид и Гольцовское в заметных количествах встречены сульфостаннаты Ag - окартит и канфильдит (Пляшкевич, 1989).

Месторождения Примагаданского (Охотского) отрезка ОЧВП: Сентябрьское, Джульетта, Нявленга локализованы в субвулканических телах преимущественно среднего состава раннемелового возраста. Для месторождений этой группы характерно влияние Cu- Mo-порфирового вулканизма, обрамляющего с юга зону золото-серебряного оруденения. Руды месторождений характеризуются повышенной сульфидностью (5-10%). Среди сульфидов преобладают пирит, халькопирит, арсенопирит, соответствующие спектру минералов в рудах Cu-порфировых месторождений, а также золотоносностью, широким развитием полибазита и Cu-Ag колчеданов. В ранних сульфидах Ag концентрируется в арсенопирите (Ag - до 1.1 мас%), пирите - (Ag - 100-500г/т), халькопирите (Ag - 500-700 г/т), галените (Ag - до 3 мас.%), а также во фрейбергите (Ag - 18-22 мас.%). Для месторождений Нявленга и Джульетта установлен полиэтапный стиль развития рудного минералообразования (см. рис. 2). Среди минеральных видов Ag раннего этапа преобладают полибазит, электрум (Сентябрьское, Джульетта) и фрейбергит, штромейерит, маккинстриит, электрум (Нявленга). Для позднего этапа характерны акантит, агвиларит, науманнит, самородное серебро, а на Нявленге еще и ялпаит. Дифференциация руд во времени проявлена в повышении их локальной сереброносности, т.е. смене минеральных видов с умеренными и средними концентрациями Ag на высоко-серебросодержащие минеральные виды.

Месторождения Арманской вулканоструктуры и ее обрамления, Карамкенский рудный район: Карамкенское, Утесное, Финиш, Агап, Колхида, Угрюмое, и др. локализованы в вулканогенных толщах и субвулканических телах преимущественно кислого и основного состава, позднемелового возраста. Здесь в рудах отмечаются признаки Sn-порфирового типа минерализации. Так, на месторождении Угрюмое, где отчетливо выражен полиэтапный характер формирования руд с надынтрузивным положением Au-Ag оруденения, внедрение оловоносной экструзии и образование связанных с ней гидротермальных руд, опережает во времени вулканогенный этап. Поэтому схема последовательности минералообразования имеет следующий вид: раннее Sn оруденение глубоких горизонтов переходит в Au-Bi-полисульфидное на среднем горизонте, а наиболее позднее - типичное вулканогенное Au-Ag, связанное с деятельностью субвулкана, - отлагается на верхнем. Высокая дифференциация рудообразующей системы обеспечивается длительностью формирования Угрюминской вулканоструктуры и локализованного в ней оруденения. Это приводит к преобладанию самородного серебра и акантита в рудах.

Рис.2. **Эволюция видообразования минералов серебра на природных объектах**: 1 - степень распространенности минеральных видов Ag в рудах: распространенные *(а)*, преобладающие *(б)*, редко встречающиеся *(в)*; 2 - границы этапов и стадий минералообразования; 3 - тенденция возрастания концентраций Ag в его преобладающих минеральных видах.

Месторождение Карамкенское, в сравнении с Угрюмым, располагается в более крупной и сложной по строению вулканоструктуре, а плутоно-

генный и вулканогенный этапы более сближены во времени, и, соответственно, совмещены зоны (горизонты) минералоотложения (Еремин, 1974; Некрасова, 1972). В результате оловянные руды отлагаются совместно с золото-оловянно-серебряными, хотя особенности вертикальной зональности все-таки просматриваются в преобладании на нижних горизонтах тонкоигольчатого касситерита, а на верхних - сульфостаннатов Ag. Уровень дифференциации рудообразующей системы здесь ниже, чем на Угрюмом, и это выражается в электрум-канфильдитовом минеральном типе В рудах ранней стадии на месторождении Колхида также установлен кварц-пирротин-касситеритовый парагенезис, но здесь отмечаются пространственная разобщенность оловянного и серебряного оруденения и отсутствие сульфостаннатов Ag.

Большинство месторождений Арманской вулканоструктуры полистадийные, реже полиэтапные с одной и двумя продуктивными стадиями минералообразования. На ранних этапах (стадиях) Ag концентрируется в арсенопирите (Ag - 10-500г/т), пирите (Ag - 100-800 г/т), галените (Ag - от 100 г/т до 1.2 мас.%). В ранних продуктивных ассоциациях - во фрейбергите (Ag - 22-28 мас.%). В поздних - в пирсеите (Аган)-Ag от 57.3 до 69.4 мас.%, полибазите (Колхида) -65.7 мас.%, канфильдите (Карамкенское) - 73.2 мас.%, стефаните (Утесное, Финиш) -70.8-72.3 мас.%, пиростильпните - 60.1 мас.% (Аган) - акантите (Угрюмое) - 86.8 мас.% и самородном серебре - до 98.7 мас.%.

В целом Арманская вулканоструктура, крупная по масштабам, обеспечила длительное существование рудогенерирующих магматических очагов и в связи с этим достаточно высокую дифференциацию руд по серебру. Пространственное совмещение ее с оловоносной металлогенической зоной нашло отражение в оловянной геохимической специализации ряда Au-Ag объектов (Угрюмое, Карамкенское, Колхида). В расположенном на северном обрамлении структуры олово-порфировом месторождении Хета, руды характеризуютя высокой сереброносностью (Ag - от 30 до 150 г/т).

Месторождения Чукотской ветви ОЧВП: Сопка Рудная, Промежуточное, Кыплатап. Наиболее изучены в минералогическом отношении месторождения Пегтымельского вулкано-тектонического прогиба - Сопка Рудная и Промежуточное (Сидоров, 1966). Вмещающие породы месторождений представлены преимущественно углеродсодержащими глинистыми, песчано-глинистыми и карбонатно-глинистыми осадочными породами триас-юрского возраста (место-рождение Промежуточное) и позднемеловыми вулканитами кислого и среднего состава (Сопка Рудная). Это 2-3-стадийные месторождения с одним продуктивным парагенезисом и относительно простой историей формирования руд, имеющих Sb-As геохимическую специализацию.

Ag допродуктивных стадий минералообразования концентрируется в арсенопирите (Ag - 20-200 г/т), продуктивных - в электруме, фрейбергите

(Ag - 15-18 мас.%), миаргирите (Ag - 29-34 мас.%), пираргирите (до 55 мас.%). Из минералов серебра в рудах преобладает миаргирит. Существенный привнос As осуществляется предположительно из углеродистых толщ согласно работам А.М.Гаврилова и др., (1986г), детально обсуждавшим этот вопрос для Майского золоторудного месторождения, расположенного в Паляваамской зоне разломов.

Аналогичный тип месторождений с повышенными концентрациями As и Sb выявлен в последние годы в Пегтымельском прогибе; наиболее изученное - *Кыпатан* (Петров, 1996). Руды месторождения локализуются в монокварцитах, развитых по субвулканическим трахириолитам позднемелового возраста, где развита сеть метасоматических жил замещения. Для них характерна низкая сульфидность. Ag последовательно концентрируется в ранних сульфидах - пирите (Ag - 0,1 мас.%), арсенопирите (Ag - 0.2 мас.%), затем в пираргирите, полибазите, стефаните, акантите и электруме. Среди минеральных видов Ag преобладают акантит и кюстелит. Предположительно природа акантитового минерального типа связана здесь со вторичным обогащением в зоне гипергенеза.

Олойско-Березовский вулканический пояс *Месторождения Баимской вулканоструктуры: Находка, Весеннее и др.* являются типичными примерами месторождений, сформировавшихся как дифференциаты монцонитоидного магматизма, специализированного на Cu и Mo (Гулевич, 1974; Шаповалов, 1976). Au-Ag руды характеризуются повышенными концентрациями Cu. В сульфидах ранних стадий омечаются примеси Ag: в пирите -100-1500 г/т, в халькопирите - 400-800 г/т, а в поздних парагенезисах - широкий видовой спектр Cu-Ag колчеданов (штромейерит, ялпаит, маккинстриит). Эти минералы не являются преобладающими в рудах.

Степень дифференцированности руд по серебру зависит здесь от положения месторождений (рудопроявлений) относительно Баимского монцонитового массива (Шаповалов, 1976). Близко расположенное к нему *Находкинское* Au-Ag месторождение характеризуется преобладанием в рудах таких концентраторов Ag, как матильдит (Ag - 15.3-23.9 мас.%), фрейбергит (Ag - 22.2-25.1 мас.%), а наиболее удаленное - *Весеннее*- преобладанием пираргирита (Ag - 57.4-59.6 мас.%) и пирсеита (Ag -56.3-67.1 мас.%).

Уяндино-Ясачненский вулканический пояс *Месторождение Урультун-Озерное* по геохимическим особенностям и динамике развития процесса - близкий аналог месторождений Чукотского отрезка ОЧВП. Оно локализовано в позднеюрских вулканогенно-осадочных и субвулканических образованиях (Мерзляков, 1964). При изучении последовательности концентрирования Ag в рудах установлено, что в ранних парагенезисах оно содержится в арсенопирите (Ag - 15-700 г/т), а в поздних - во фрейбергите (Ag - 29.4-36.1 мас.%). Руды так же, как и в месторождениях Паляваамской зоны, обогащены As и Sb; кроме того, на месторождениях во многом совпадают элементы геохимической зональности, т.е. смена Au-Ag-Sb минерали-

зации на Au-Te-Bi. На Урультун-Озерном появление Te-Bi минерализации отмечается в обрамлении структуры и на низких гипсометрических отметках; аналогичным образом в Паляваамской зоне в обрамлении вулканоструктуры расположены золото-редкометалльные рудопроявления Марс и Сильное. Среди минералов Te и Bi на Урультун-Озерном установлены алексит, селенистый висмутин, селенистый жозеит А (Se - 2.4-7.6 мас.%).

В целом месторождение можно отнести к слабодифференцированному по Ag. Здесь не отмечается признаков стадийного рудоотложения, стимулирующего дифференциацию, а из минеральных видов преобладает многокомпонентный минеральный вид серебра - фрейбергит.

Омолонский срединный массив

Месторождения: Кубака, Дубль, Ольча, Юное, Кегали. Au-Ag оруденение здесь локализуется в вулканогенных породах среднего-кислого состава девон-карбонового возраста, а в основании вулканических построек лежат породы архея и протерозоя. Все месторождения отличаются пониженной сульфидностью по сравнению с месторождениями ОЧВП и привносом большого количества Ca, Fe, Ba из пород основания. Последовательность нарастания концентраций Ag фиксируется по фрейбергиту (его ранним и поздним генерациям). В целом же для руд месторождений характерны пониженные содержания не только S, но и Sb. Ag на ранних этапах (стадиях) концентрируется преимущественно в электруме (Ag - 25-30 мас.%), фрейбергите (Ag - 18-22 мас.%), Fe-Ag колчеданах - аргентопирите, штернбергите (Ag - 33-35 мас.%). В поздних парагенезисах появляются минеральные виды Ag со значительно более высокими концентрациями Ag: маккинстриит, акантит (на Ольче); акантит, селениды Ag, самородное серебро (на Кубаке); акантит, персеит, айтенбогардтит (на Юном); акантит, гессит, электрум (на Кегали). По классификации В.Г.Хомича и др.(1989), руды этих месторождений можно отнести к существенно золотому типу с высоким Au:Ag отношением от 1:2 до 2:1. Дифференциация Ag в природных Au-Ag соединениях фиксируется по повышению дисперсии величин пробности самородного золота от ранних парагенезисов к поздним.

В целом Au-Ag месторождения Омолонского срединного массива более дифференцированы по сравнению с Au-Ag месторождениями ОЧВП, что можно объяснить различными причинами: более древним возрастом, различной тектонической обстановкой - подвижной в складчатых областях и спокойной в жестких массивах (Савва, Ворцепнев, 1990).

Sn-Ag месторождения.

На крайнем Северо-Востоке Тихоокеанского региона типичное Sn-Ag оруденение, подобное Боливийскому типу, развито в значительно меньшей степени, чем Au-Ag, но возможно, пока не выявлено, т.к. менее изучено. Геолого-геохимические предпосылки для этого имеются (Найбородин и др., 1974). Одним из представителей месторождений олово-порфирового типа в Примагаданском отрезке ОЧВП считается Хета. Мелкие месторождения деталь-

но изучены А.А.Пляшкевич (1986, 1990, 1992), и среди них: *Мечта, Ирча, Мало Кэнское* (Омсукчанский рифтогенный прогиб) и *Токичан, Тигрец-Индустрия* в зоне Тенькинского глубинного разлома. В последние годы внимание исследователей обращено к *Мраморному* олово-серебряному рудному узлу, выявленному на Чукотке в начале 70-х гг. (Сидоров, 1996).

Указанные объекты локализованы в вулканитах и нередко в подстилающих их терригенных отложениях. Для всех месторождений отмечается резкое повышение концентраций Ag в поздних парагенезисах, т.е. к концу рудного процесса. Последовательность концентрирования Ag та же, что и в Au-Ag месторождениях. На ранних стадиях минералообразования Sn-Ag месторождений Ag концентрируется преимущественно в арсенопирите, реже станнине и халькопирите, причем уровень сереброносности сульфидов зависит от общего уровня сереброносности руд. Так, арсенопирит более сереброносного месторождения Мечта содержит от 100 до 1500 г/т Ag, а менее сереброносного - Мало Кэнского 10-500 г/т Ag. В месторождениях Тенькинской зоны Ag концентрируется в галените, где его содержания достигают 0.5 мас.%.

В поздних рудных парагенезисах возникают собственные минеральные формы Ag - окартит, канфильдит, пираргирит, но преобладающим минеральным видом, как правило, бывает фрейбергит, причем концентрации Ag в нем нарастают от ранних генераций к поздним от 15-20 мас.% до 30-45мас.%. При разведке месторождения Хета Б.Н.Владимировым (1941-1942гг.) установлено зональное распределение серебра - в рудах верхнего горизонта преобладает самородная форма, а нижнего - сереброносный галенит. Это месторождение во многом сходно с Льяльягуа (Боливия).

На восточной периферии Пегтымельского прогиба в Амгуэмо-Куветском массиве Яно-Чукотского нагорья расположен Мраморный рудный узел оловянно-серебряной минерализации, оруденение которого локализовано в пределах Осиновского эффузивного поля Чаунской вулканической зоны ОЧВП. В 1954 -1987г.г. здесь проводились различные виды геологических работ Н.В.Паракецовым, В.А.Захаровым, В.Г.Желтовским, Ю.Ф.Пехорошковым, П.Ю.Рожковым. Минералогия изучалась В.К.Прейсом (опубликованные данные - А.А.Сидоров, 1996). Наиболее интересными объектами узла являются Надежда и Широкое. Это полиэтапные месторождения на которых оловянная минерализация пространственно и генетически связана со штоками гранодиоритов позднемелового возраста (плуто-ногенный этап), а само оловянное оруденение приурочено к экзоконтакту штока, размещаясь в толще флюидальных риолитов нижнего мела. Серебряная минерализация связывается с субвулканическими образованиями верхнего мела (вулканогенный этап). В парагенезисах раннего этапа отмечается пониженная сереброносность. Незначительные концентрации Ag содержатся в пирротине и арсенопирите (не выше 10-15 г/т). Руды вулканогенного этапа существенно обогащены серебром. Наиболее серебронос-

ны рудные зоны, пространственно разобщенные с оловоносными телами (участок "Широкий"). Здесь отмечаются массивные агрегаты пираргиритовых руд размером до 5 см в поперечнике, причем отдельные индивиды достигают 3 см по удлинению.

Проведенное нами изучение серебряных руд участка "Широкий" показало, что в ранних парагенезисах Ag в основном концентрируется во фрейбергите (34.7 -38.7 мас.%), в незначительной степени развиты миаргирит и штернбергит. Среди минералов-концентраторов Ag в поздних стадиях отчетливо преобладает селенистый пираргирит, в меньшей степени присутствуют стефанит, селенополибазит, агвиларит, селенистый акантит и высокосеребристый фрейбергит (Ag - 55.6 мас.%, Se - 0.4 мас.%).

Сочетание оловянной и серебряной минерализации в рудах описанных месторождений возможно в различных соотношениях, но закономерное повышение локальной сереброносности во времени устанавливается всегда.

Ag-Pb-Zn месторождения

Эти месторождения на Крайнем Северо-Востоке пока не осваиваются горно-добывающей промышленностью, так как расположены в труднодоступных районах и, кроме того, в настоящее время здесь экономически невыгодна добыча комплексных руд цветных и благородных металлов, но их запасы представляют собой серьезный минерально-сырьевой потенциал региона. Ag-Pb-Zn минерализация локализована чаще всего в карбонатных толщах различного возраста, испытавших, в той или иной мере, влияние вулканизма. Месторождения образуют обширные рудные районы и узлы. Среди них наиболее крупные:

Кунаревский рудный узел, расположенный в южной части Омулевского поднятия, *группа рудопроявлений в зоне влияния Конгинской ветви ОЧВП* на Омолонском срединном массиве и *Верхне-Арманский рудный узел* в перивулканической зоне ОЧВП. Высокая сульфидность руд характерна и для *месторождений Омсукчанской ветви ОЧВП* и *Тенькинской зоны разломов* (рис. 3). Концентрирование Ag на этих месторождениях связано с мезозойской тектоно-магматической активизацией, но самая высокая дифференциация серебряной минерализации характерна для месторождений, локализованных в наиболее древних толщах карбонатных пород.

*Месторождения Омолонского срединного массива: Правое Визуальное, Седое, Абкитская группа (*Савва, Ведерников, 1989; Павлов и др.,1986). Ag-Pb-Zn минерализация здесь локализована в известняках протерозоя, прорванных вулканитами мелового возраста. Высокая дифференцированность руд достигается их многократным перераспределением. Месторождения, как правило, полиэтапные. С ранним этапом, которому соответствует внедрение раннемеловых гранитоидов, связаны образование гранат-эпидот-полисульфидных скарнов и концентрирование Ag в галените, сфалерите, халькопирите. Реликты ранних генераций этих минералов в значительной степени метаморфизованы, и нередко рассеянное в них Ag из субмикроско-

пических фаз перешло в микроскопические включения (0.01-0.05 мм) самородного серебра. В более поздних генерациях эти сульфиды становятся стерильными на Ag. Следующему этапу соответствуют субвулканические фации магматизма и связанная с ними частичная регенерация ранних руд и массовое отложение фрейбергита с концентрацией Ag на уровне 22-28 мас.%. В наиболее поздних манганокальцитовых жилах наряду с тонкими минеральными смесями прустита, штернбергита и стефанита появляется самородное серебро. Описанный тип месторождений является россыпеобразующим. Крупные самородки серебра весом до 850 г (средние - 50-150 г) предположительно возникли в ходе позднего воздействия термальных вод на оруденелые известняки при образовании карстовых пустот, т.к. имеют типичные натечные формы и отчетливые отпечатки спайности (карбоната?) на участках прикрепления к матрице.

Месторождения Кунаревского рудного узла . Среди них детально изучены *Тихое, Сфалеритовое, Широкое, Дацитовое, Хрустальное*. По строению и минералогическим особенностям они близки к Дальнегорской группе скарново-полисульфидных месторождений. Локализованы в пределах Омулевского поднятия, и их формирование тесно связано с вулкано-плутоническими ассоциациями (Шпикерман, 1987). Вмещающая месторождения интрузивно-купольная структура сложена терригенно-карбонатными толщами пермо-карбонового возраста, прорванными магматическими образованиями средней-верхней юры. Минералого-геохимическим анализом руд установлено, что ранние скарново-поли-металлические руды менее серебросны, чем поздние, секущие их жильные образования. Модельный возраст Pb из галенитов, по данным свинцовой изотопии, 150-40 млн лет (Шпикерман и др., 1993), т.е. здесь, в отличие от Ag-Pb-Zn месторождений Омолонского срединного массива, имелся и более поздний привнос Pb.

В скарново-полисульфидных залежах Кунаревского рудного узла Ag концентрируется в галените (Ag - 150-300 г/т), значительно реже в блеклой руде (Ag - 18-22 мас.%), а в поздних жильных образованиях широко развиты минералы группы викингита-ширмерита, матильдита, эскимоита со сложным Ag-Pb-Bi-Se составом, с широкими вариациями концентраций Ag (5-11 мас.%). В жильных образованиях, развитых в обрамлении интрузивно-купольной структуры (месторождение *Широкое*), среди минералов концентраторов Ag, помимо галенита, преобладают Pb-Sb-содержащие сульфосоли группы фрейеслебенита (Ag - 6-9 мас.%), андорита (Ag - 10.5-12.0 мас.%), а в более поздних дифференциатах отмечаются самородное серебро и самородная сурьма (*Тихое*).

Следует особо подчеркнуть, что наиболее молодой (верхняя юра-нижний мел?) трещинный вулкан характеризуется медной геохимической специализацией кислых магм и оказывает влияние на состав минералов Ag. Так, на месторождении *Широкое* в рудах присутствуют медистый акантит (Cu - 2.5 мас.%), а в фрейеслебените (?) содержание Cu достигает 13 мас.%.

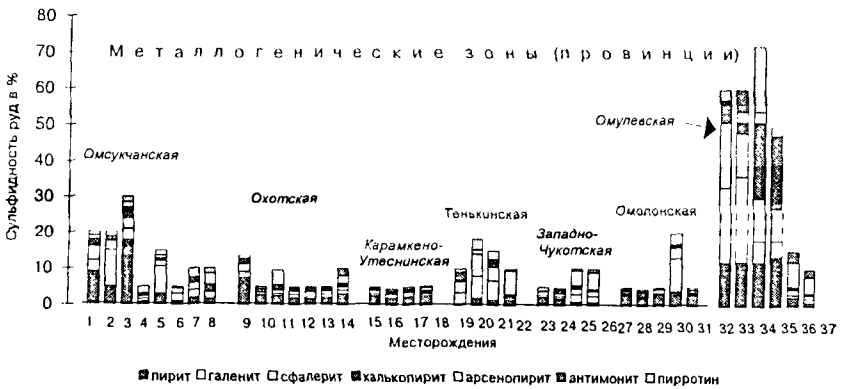

Рис. 3. **Распространенность основных сульфидов в рудах серебряных месторождений Северо-Востока России**

(высота столбика на диаграмме соответствует общей сульфидности руд)

Месторождения по оси абсцисс: 1 - Дукат, 2 - Гольцовское, 3 - Арылдах, 4 - Мечта, 5 - Тидид, 6 - Луна, 7 - Мало Кэнское, 8 - Ирча, 9 - Джульетта, 10 - Нявленга, 11 - Сентябрьское, 12 - Теплое, 13 - Ойра, 14 - Хаканджа, 15 - Эвенское, 16 - Карамкенское, 17 - Утесное, 18 - Финиш, 19 - Аган, 20 - Кочевое, 21 - Тигрец-Индустрия, 22 - Токичанское, 23 - Школьное, 24 - Мраморное, 25 - Кыштагап, 26 - Сопка Рудная, 27 - Марс, 28 - Кегали, 29 - Ольча, 30 - Седое, 31 - Кубака, 32 - Кунаревское, 33 - Широкое, 34 - Тихое, 35 - Дацитовое, 36 - Урультун-Озерное, 37 - Гай

Месторождения Верхне-Арманского рудного узла. Эти месторождения менее других дифференцированы по Ag. Вмещающие оруденение известняки датируются верхним триасом и скарнированы в связи с внедрением Бонсахчанского гранитоидного плутона позднемелового возраста, имеющего Sn-Bi геохимическую специализацию. Основная часть Ag в скарново-полисульфидных рудах сконцентрирована в галените (Ag - 10-150 г/т) и сфалерите (Ag - 150-300 г/т). Имеются редкие находки миаргирита и Ag-содержащей блеклой руды (Ag - 5.4-11.2 мас.%).

Анализ концентрирования Ag в рудах месторождений Северо-Востока России показал, что этот процесс сопровождается дифференциаци-

ей с постепенным повышением степени дифференцированности минеральной системы (см. рис. 2). Ряд последовательно возникающих при дифференциации минеральных видов Ag, с полным основанием можно назвать эволюционным, т.к. он прослежен в координате времени. При всем многообразии серебросодержащих минералов и минеральных видов Ag отчетливо проявляется закономерное повышение концентрации в них Ag от ранних минеральных фаз к более поздним в группе преобладающих, характеризующих генеральную линию рудообразования на всем протяжении этого процесса (включая раннее гидротермальное формирование руд и последующее перераспределение их вещества).

Положение 2. **Пострудный метаморфизм, осуществляя дифференциацию эпитермальных серебряных руд, повышает их локальную сереброносность, стимулируя высвобождение и перераспределение Ag из первичных минералов в процессах рекристаллизации, регенерации, дезинтеграции с последующим концентрированием его в новых минеральных видах с более высокими содержаниями Ag. Этому способствуют прогрев и динамические нагрузки на минералы ранних парагенезисов, а также высокая миграционная способность и химическая активность Ag.**

Вопросы метаморфизма руд рассматриваются в ряде публикаций и имеют большое значение для понимания генезиса руд. В свое время Г.Шнейдерхен (1958) пытался привлечь внимание исследователей к этому важному, как он считал, вопросу, убедительно показав, что изучаемые нами руды месторождений не имеют ничего общего с их первоначальным обликом и что при генетических реконструкциях необходимо учитывать все последующие наложенные процессы, которые видоизменяют облик первичных руд. Г.Шнейдерхен отмечал также, что при повышении температуры в земной коре большая часть соединений тяжелых металлов может прийти в движение раньше, чем окружающая их среда, и, следовательно, фронт рудного метаморфизма может предшествовать фронту метаморфизма пород. Он один из первых попытался классифицировать процессы рудного метаморфизма по силе и степени воздействия на металлы. Поскольку такой классификации до сих пор не создано, используются его температурные оценки и характеристики.

Термометаморфизм руд, связанный с магматическими инъекциями.

По Г.Шнейдерхену, T - 500-800° C с местным привносом магматических паров, газов, растворов (контактовый метаморфизм). Этот тип метаморфизма характерен для полиэтапных месторождений и может быть проиллюстрирован на примере ряда Au-Ag объектов (Дукат, Нявленга, Юное), Ag-Pb-Zn -(Гай, Седое). Формирование названных месторождений связано с раннемеловым вулканизмом, а в верхнемеловое время вулканогенные эпитермальные руды метаморфизованы в связи с инъекциями магматических расплавов, внедрившихся в пространственной близости с оруденением ран-

него этапа. Перераспределение вещества сопровождалось не только наложением высокотемпературных метасоматитов на ранние низкотемпературные, но и образованием высокотемпературных ассоциаций жильных минералов, в составе которых присутствуют гельвин, гранат, бустамит, аксинит, турмалин.

В группе рудных минералов на участках наложения высокотемпературных гидротерм происходит регенерация минералов ранних парагенезисов, их растворение и переотложение, а на участках высокотемпературного прогрева - рекристаллизация ранних фаз рудных минералов с дезинтеграцией примесных элементов и концентрированием их в виде собственных минеральных форм. На месторождениях Дукат и Нявленга (ОЧВП) на галените отмечается образование акантитовых кайм, при этом галенит полностью очищается от примеси Ag и перекристаллизовывается. В пирите примесное Ag из субмикроскопического переходит в микроскопические округлые включения самородного серебра и акантита. Регенерированное самородное серебро отличается высокой химической чистотой. Высокотемпературный метаморфизм, осуществляя дифференциацию руд, приводит к образованию серебро-акантитового минерального типа руд и почти полностью уничтожает ранние низкосеребросодержащие минералы.

К интересным результатам привел метаморфизм Au-Ag руд, локализован-ных в некках риолитов девонского возраста на месторождении Юное (Омолонский срединный массив) при пострудном внедрении базальтов. Как показано на рис. 4, перераспределение первичного рудного вещества осуществляется с помощью различных механизмов - регенерации, рекристаллизации, твердофазной диффузии. Специфические условия циркуляции паров S внутри некков повышают ее парциальное давление, что способствует широкому развитию Au-Ag сульфида на краях золотин .

На месторождении Гай (Сеймчанский район) метаморфизм маркируется наложением зон турмалинизации на ранние Ag-полисульфидные парагенезисы. Здесь отчетливо фиксируется дезинтеграция примесных элементов из галенита, связанная с твердофазной диффузией. Мелкие (0.01-0.1 мм) выделения пираргирита, акантита, самородного серебра, висмутина и самородного висмута образуют ореолы вокруг рекристаллизованного и очищенного от микропримесей галенита.

На серебро-карбонатном месторождении Седое (Омолонский срединный массив) установлено, что серебросодержащие массивного сложения галенитовые жилы в ордовикских известняках при внедрении экструзии липаритового состава были катаклазированы и сцементированы более поздним манганокальцитом.

Обломки галенитового агрегата носят следы термального метаморфизма, выражающиеся в том, что на участках дробления и цементации галенит, содержавший до 11 мас.% Ag (вхождение субмикроскопических фаз серебряных минералов), полностью очищается от примесей и рекристалли

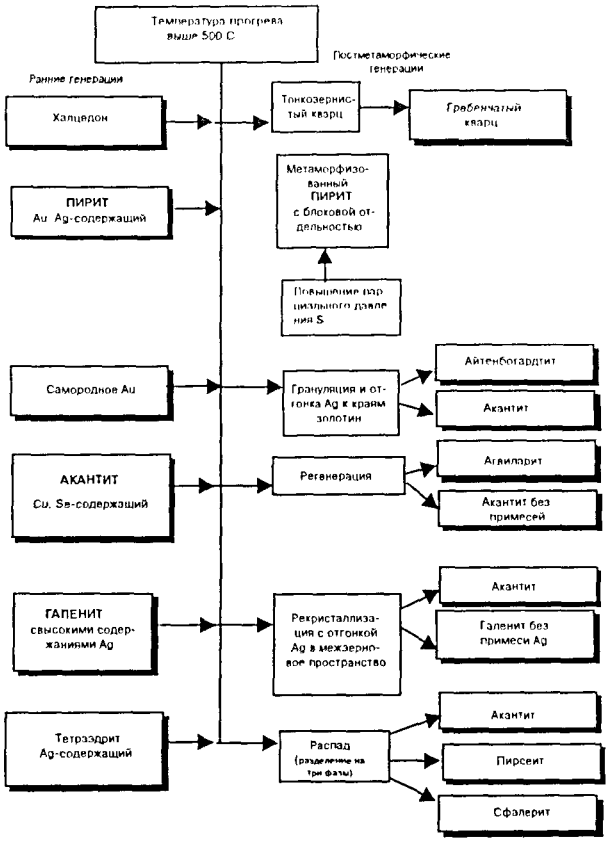

Рис. 4. **Схема перераспределения минерального вещества в рудах месторождения Юное при термальном метаморфизме, связанном с внутрирудным внедрением базальтов** *(Крупным шрифтом выделены преобладающие минералы)*

зуется, а по периферии обломков отлагаются пираргирит, штернбергит, а также агрегаты тонкой минеральной смеси серебряных сульфосолей - стефанита, прустита, штернбергита.

Примеры показывают, что результирующее воздействие термального метаморфизма приводит к локальному концентрированию металлов, в том числе Ag. Действительно, если галенит ранних генераций содержал примеси Sb и Ag, то концентрация Pb в нем ниже формульной. При регенерации, обусловленной мета-
морфизмом, происходит очищение его от примесей и, таким образом, концентрация Pb возрастает. В свою очередь, примесные элементы, рассеянные в галените, служат источником вещества для возникновения собственных

минеральных фаз - акантита, пираргирита и т.д., в которых концентрация этих элементов выше, чем была в галените.

Термометаморфизм руд, связанный со стадийными инверсиями температуры при гидротермальном минералообразовании.

По Г.Шнейдерхену, Т - 150-280 °С. Этот тип метаморфизма проявлен в рудах полистадийных месторождений с различной интенсивностью, и *хотя по воздействию на ранние минеральные парагенезисы он значительно* уступает термометаморфизму, связанному с магматическими инъекциями, тем не менее результаты его имеют ту же тенденцию и особенно отчетливо фиксируются в связи с перераспределением Ag в его метастабильных соединениях - многокомпонентных сульфосолях Ag, фрейбергите, золото-серебряных интерметаллидах (для краткости условно назовем его гидротермальным метаморфизмом руд).

Одним из объектов с отчетливо проявленным "гидротермальным" метаморфизмом руд является Ag-Pb-Sb месторождение Широкое (Омулевское поднятие, Кунаревский рудный узел), локализованное в девонских известняках (рис. 5).

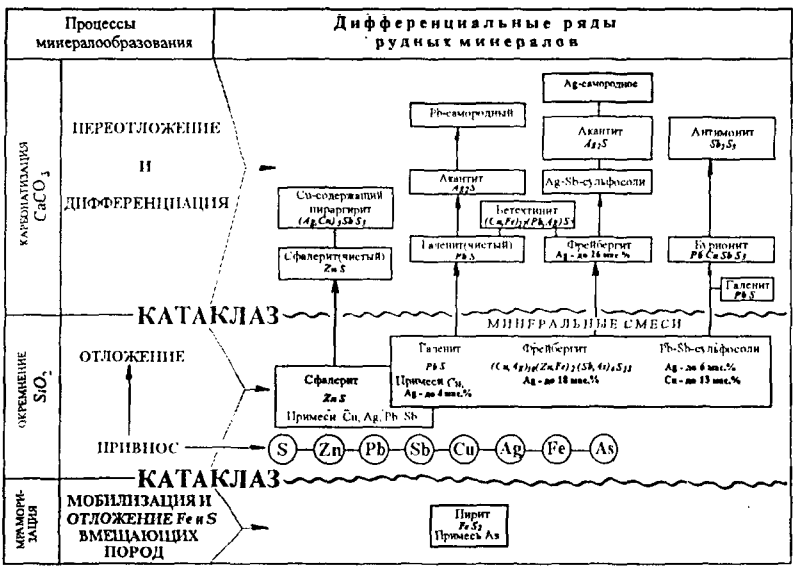

Рис. 5. Схема перераспределения минерального вещества руд месторождения Широкое

Минерализация ранней стадии представлена Ag-содержащими Pb-Sb сульфосолями и фрейбергитом с содержанием Ag не более 15 мас.%, находящимися в тесном срастании с галенитом в кварцевых жилах и окварцо-

ванных известняках. На участках проявления более поздней сульфидно-карбонатной стадии рудные минералы раннего парагенезиса претерпевают метаморфизм. В результате этого вокруг обособлений фрейбергита образуются мелкие каплевидные выделения сульфосолей Ag и переотложенного фрейбергита с более высокой концентрацией Ag - 18-26 мас.%. На галените формируются тонкие каймы фрейбергита, а он сам рекристаллизуется, освобождаясь от микропримесей и игольчатых Pb-Sb сульфосолей , и характеризуется некоторым дефицитом S .

Другой пример гидротермального метаморфизма руд наблюдается на Au-Ag месторождении Кубака (Омолонский срединный массив), локализованном в андезитах девонского возраста. Содержащееся в халцедоне ранней стадии самородное золото коллоидной природы с хлопьевидной и глобулярной структурой имеет пробность 680-700 ‰. Температурная инверсия при возникновении следующей, кварц-адуляровой стадии приводит к метаморфизму золото-серебряного интерметаллида за счет твердофазной диффузии. На фоне неясно-зональной структуры сохраняются реликты коллоидного золота в виде мелких овоидов. В результате миграции Ag повышается пробность самородного золота до 830‰, а высвободившееся Ag образует бонанцевые скопления в кварц-адуляровых жилах в ассоциации с селенидами Ag - агвиларитом и науманнитом.

Характерным примером гидротермального метаморфизма являются также руды Сентябрьского Au-Ag месторождения (Верхне-Колымский мегасвод), локализованного в кислых вулканитах мелового возраста перевулканической зоны ОЧВП. Здесь минералы Ag раннего продуктивного парагенезиса под действием гидротермального метаморфизма подвергаются различным преобразованиям: в полибазите избыточное по сравнению с теоретическим Ag мобилизуется и отлагается в виде эмульсионной вкрапленности самородного серебра - подобно структуре распада; по периферии Ag-содержащих блеклых руд отлагается миаргирит. На обособлениях серебросодержащего галенита появляются тонкие каймы акантита, при этом сам галенит становится стерильным от микропримесей; в арсенопирите появляются мелкие каплевидные обособления дискразита. В результате термального метаморфизма происходит также обогащение Au центральных частей выделений электрума с образованием низкопробных фаз по периферии.

Рассмотренные примеры убедительно показывают, что относительно низкие температуры гидротермального метаморфизма руд, которые практически не затрагивают жильных минералов, приводят в движение химические соединения Ag, вызывая его активную миграцию и переотложение минеральных видов Ag с одновременным его локальным концентрированием, т.е. первичные минеральные виды обладают более низкой концентрацией Ag по сравнению с вторичными.

Преобразования руд, связанные с региональным метаморфизмом вмещающих толщ (*динамотермальный метаморфизм руд*)

Региональный метаморфизм, охватывающий обширные пространства, сложенные различными горными породами, сказывается и на рудных образованиях, расположенных в зоне его действия. Мощный метаморфизм претерпели руды месторождения Западного (Верхне-Амурский район), расположенного в бас. р.Уды в Чогорском блоке Становой складчато-блоковой системы (Горячева и др., 1992), локализованного в архейских биотитовых гнейсах. Основная золотоносность связана с кварцитами, имеющими гранобластовую структуру, осложненную микрополосчатостью. Самородное золото концентрируется в цепочках зерен, уплощенных и вытянутых по сланцеватости (пластические деформации - результат динамического воздействия); в срастании с ним постоянно отмечается графит. По составу - это медистые и серебристые фазы, в которых в связи с динамотермальным метаморфизмом, вызвавшем твердофазную диффузию легкоподижных компонентов - в одних случаях Cu, в других Ag, произошло обогащение краев золотин соответственно Cu и Ag. Мощность кайм иногда превышает 50% площади золотин с высоким контрастом состава - в центре пробность 950 ‰, в каймах соответственно -тетрааурикуприд (Cu - 12.7-23.3 мас.%) или электрум (Ag - 27.0 мас.%).

На месторождении Хотойдох (Олойская наложенная впадина, колчеданный тип) локальное концентрирование Ag происходит, за счет мобилизации из галенита (Ag - 0.4-0.8 мас.%) и пирита (Ag - 0.1 мас.%) и отмечается на участках повышенной рассланцованности, т.е. динамометаморфизма вмещающих толщ, о чем ярко свидетельствуют текстурные особенности руд: изгибы рудных линз, будинирование агрегатов раннего рудного парагенезиса в массе поздних полисульфидов, структуры течения в галените, двойникование в сфалерите, волокнистые стяжения в линзах барита и карбоната. В формировании метаморфогенного парагенезиса, сопровождавшегося дифференциацией руд, существенную роль играли процессы диффузии и твердофазной рекристаллизации, сопровождавшиеся укрупнением кристаллических и зернистых индивидов пирита, халькопирита, сфалерита, галенита. С указанным процессом связано также очищение их от примесных элементов и мобилизация этих примесей с образованием новых минеральных видов Ag: электрума, серебросодержащей блеклой руды, андорита, матильдита.

Приведенные примеры показывают, что конечный результат метаморфизма руд повторяется, в каждом кокретном случае происходит перестройка агрегатного состояния минералов в ходе твердофазной диффузии, дезинтеграции химических элементов, регенерации, рекристаллизации минералов ранних парагенезисов, и возникновение новых минеральных видов Ag с более высокой его концентрацией. Такое перераспределение серебра с полным основанием можно назвать локальным концентрированием, а сам процесс дифференциацией

.Положение 3. **Состав и видовой спектр минералов Ag отражают совокупность химической специализации промежуточных источников вещества, участвующих в формировании руд. На региональном уровне это свойство можно рассматривать, как отражение в минеральных видах Ag геохимических черт металлогенических зон, в пределах которых располагаются сереброрудные месторождения.**

Унаследованный характер развития рудовмещающих структур, а также влияние геодинамических обстановок и пространственно-временных соотношений рудных тел с магматическими образованиями различной геохимической специализации предопределяют несколько источников вещества, участвующих в формировании руд эпитермальных месторождений. Большинство исследователей выделяет несколько основных источников, привносящих вещество в эпитермальную рудообразующую систему.

Собственно гидротермально-вулканогенный, предусматривающий наличие определенного комплекса металлов, привносимых магматическим расплавом, формирующим вулканоструктуру, и участвующих в вулканогенном рудном минералообразовании при отделении от расплава гидротермального флюида. Современное состояние изученности этого вопроса позволяет достаточно уверенно говорить о привносе таким путем (с относительно больших глубин) Ag, Sb, Hg - вулканическими инъекциями любого состава, Cu, Mo - монцонитоидами, Sn, Bi, Te - (риолитами) гранит-порфирами, Co, Ni - магмами высокой основности.

Привнос металлов, связанный с внутрирудными магматическими инъекциями. Здесь комплексы металлов те же, что и указанные в предыдущем пункте, но процесс, как правило, носит наложенный характер и сопровождается перераспределением первичного вещества в связи с контактовым термальным метаморфизмом метасоматитов и руд раннего этапа. Подобные внедрения хорошо маркируются наложением высокотемпературных метасоматитов на низкотемпературные.

Привнос металлов из пород основания вулканической постройки. Этот механизм также неоднократно обсуждался на совещаниях по вулканогенному рудообразованию и в целом ни у кого сомнений не вызывает, т.к. может быть доказан не только геохимической специализацией руд, но и изотопными методами, особенно контрастно работающими в областях молодой вулканической активизации, лежащих на древнем основании. Среди таких источников металлов наиболее характерны Pb, Zn, Cu из стратиформных залежей; это могут быть также и As и Au из пластов тонковкрапленных сульфидных руд и т.д.

Привнос металлов с метеорными водами в нисходящих потоках. В.А.Коваленкер (1997) относит сюда в первую очередь Se и Te.

Для каждого изученного объекта влияние различных источников индивидуально в связи с различным положением в структурно-металлогенических зонах. Вопрос влияния источников вещества на образующиеся в рудах минеральные виды Ag рассмотрен на примере месторождений Северо-Востока России (табл.1).

Таблица 1

Влияние промежуточных источников вещества на видовой спектр и химический состав минералов серебра

Региональные структуры и их металлогенический профиль	Месторождения серебра (характерные примеры)	Основные источники привноса металлов в рудообразующую систему			Типоморфные минеральные виды Ag и особенности их состава
		Вулканогенный	Внутрирудные магматические инъекции	Породы основания вулканической постройки	
Охотско-Чукотский вулканогенный пояс (ОЧВП)					
Омсукчанский рифтогенный прогиб Sn, Ag, Mn, Pb, Zn	Мечта Тидид Гольцовое Лунное	**Ag, Au**	**Sn, Bi**	**Pb, Zn, Sb**	Окартит (Sn); Матильдит(Pb, Bi)
Охотский отрезок ОЧВП Au, Ag, Cu, As, Mo	Нявленга Джульетта Сентябрьское Ойра	**Au, Ag; Cu, As, Zn**	**Cu,Mo**	**Pb, Zn; As, Sb**	Маккинстрит(Cu); Ялпаит(Cu); Штромейерит(Cu); Медистый акантит (Cu - *до 4 мас.%);* Пирсеит (As); *Полибазит -(Cu,* As); Медистый агвиларит (Cu - *до 1.4 мас.%);*
Карамкено-Утеснинская зона разломов Au,Ag Sn, Mo, Cu	Карамкен Колхида Фицпш Аган Утесное	**Au, Ag**	Sn; Cu, Mo		Полибазит (Cu, As); Канфильдит (Sn); Пирсеит(As);
Чукотский сектор ОЧВП Au, Ag; Sn; Cu, As, Sb, Hg	Сопка рудная Сяльное Кытлатан Мраморное	**Au, Ag**	**Sn**	**As, Sb**	Прустит(As); Пирсеит(As); Полибазит(Cu, As); Окартит(Sn);
Омолонский срединный массив					
Вулканоструктуры на древнем основании (архей-протерозой) Au, Ag; Fe; Pb, Zn;	Седое Правое Визуальное Кубака Ольча	**Au, Ag**	**As?**	Fe, Co, Ni, As? Pb, Zn	Штернбергит (Fe); Аргентопирит (Fe); Прустит (As); Маккинстрит (Cu); Медистый акантит(Cu - *до 2.2 мас.%);*

Региональные структуры и их металлогенический профиль	Месторождения серебра (характерные примеры)	Основные источники привноса металлов в рудообразующую систему			Типоморфные минеральные виды Ag и особенности их состава
		Вулканогенный	Внутрирудные магматические инъекции	Породы основания вулканической постройки	
Уяндино-Ясачненский вулканогенный пояс (*Омулевское поднятие*)					
В основании вулканических структур стратиформные залежи Pb-Zn руд	Купарево Дацитовое Широкое	Ag, Sb	As, Co, Bi; Cu	Pb, Zn	Фрейбергит мышьяковистый (As - *до 10.8 мас.%*); (Zn, Cu, Sb); Селенистые Pb-Bi фазы: викингит-ширмерит, матильдит (Pb, Bi); Медистый пираргирит (Cu *более 5мас%*)
Олойско-Березовский вулканогенный пояс					
Широкое развитие монцонитоидного магматизма Au, Ag; Cu, As, Mo	Находка Весеннее Песчанка	Au, Ag, Sb	Cu, Mo, As		Пирсеит (Cu, As); Штромейерит (Cu); Фрейбергит (Cu, As, Sb);
Тенькинская зона разломов					
Sn, Ag; As, Au;	Токичанское Тигрец-Индустрия	Ag, Sb	Sn	As!	Окартит (Sn); Фрейбергит (As);

Нявленга . Месторождение полиэтапное. В основании вулканической постройки лежат породы верхней юры, характеризующиеся повышенными концентрациями As, Pb, Zn. Привнос As из пород основания проявлен в мышьяковистости фрейбергита и появлении позднего кварц-арсенопиритового парагенезиса. Внутрирудная инъекция гранитоидов, в геохимическом отношении специализированная на Cu и Mo, активно осуществляет привнос Cu. На видовом спектре минеральных видов Ag позднего этапа это отражается в широком развитии Cu-Ag колчеданов, таких как штромейерит, ялпаит, маккинстриит, в отличие от видового спектра минералов серебра раннего этапа (фрейбергит - полибазитового).

Джульетта. Месторождение полиэтапное. Территориально расположено на стыке различных металлогенических зон: Примагаданского отрезка ОЧВП (монцонитоидный магматизм - Cu-Mo геохимического профиля), Омсукчанского рифтогенного прогиба (геохимическая специализация Sn, Ag, Fe, Zn, Pb), Яно-Колымская складчатая система (As, Au). Длительное и многоэтапное развитие Иваньинской вулканоструктуры, вмещающей месторождение , влияние пострудных даек и интрузивных штоков в конечном итоге привели к широкому развитию в рудах мышьяковистого полибазита с концентрацией Cu до 11.6 мас.%, Fe до 6 мас.% , As до 2.2 мас.%; мышьяковистого акантита (As до 1.5 мас.%) высокомедистых пирсеита, стефанита, акантита с концентрацией Cu до 4 мас.%.

Карамкенское. Месторождение формировалось в зоне влияния порфирового магматизма, специализированного на Sn. Пространственно сближено с Sn-порфировым месторождением Хета (в северном обрамлении Арманской вулканоструктуры) и Sn-содержащим золото-серебряным месторождением Колхида (в южном обрамлении). Как результат влияния олово-порфировых интрузий, осуществляющих привнос Sn, среди минеральных видов серебра в рудах Карамкена на верхних горизонтах широко развит сульфостаннат Ag - канфильдит, а на нижних, наряду с последним, - тонкоигольчатый касситерит, за счет которого содержание олова в рудах нередко достигает 3%.

Широкое (Кунаревский рудный узел). Ag-Pb-Sb месторождение локализовано на северо-западном фланге Кунаревского скарново-Pb-Zn рудного узла в зоне влияния трещинного вулкана с Cu-порфировым типом оруденения, прорывающего скарново-полиметаллические залежи. В результате привноса Pb и Cu из названных источников в спектре минеральных видов серебра преобладают медистые разновидности Ag-Pb-Sb сульфосолей, таких как рамдорит, овихиит и др. (концентрации Cu - 1.5-9.7 мас.%), а также Ag-содержащие Cu-Pb сульфосоли - бетехтинит и бурнонит.

Месторождения Омолонского срединного массива. Здесь на геохимическую специализацию руд и видовой спектр минералов серебра оказывают большое влияние древние породы основания и, особенно гематитизированные осадочные толщи и древние стратиформные залежи Pb. За счет указанных образований осуществляется привнос Fe и Pb. При формировании руд Au-Ag и Ag-Pb-Zn месторождений, связанных с палеозойской (кедонская серия вулканогенных пород) и мезозойской (Конгинская ветвь ОЧВП) магматической активизацией в видовом спектре минералов серебра часто образуются Ag-Fe колчеданы - аргентопирит и штернбергит, отражающие в своем составе привнос Fe. На ранних этапах Ag концентрируется в галените, модельный возраст Pb в котором, по данным изотопного анализа, соответствует возрасту пород основания: на участке Седой - ордовику, а на Правой Визуальной - вехнему протерозою ("Геология изотопов...", Шпикерман и др., 1993).

Эти примеры не в полной мере отражают всё разнообразие сочетаний источников вещества. В седьмой главе диссертации дан обзор особенностей видового состава минералов Ag, образующихся в рудах эпитермальных месторождений из различных металлогенических зон.

Положение 4. **Систематика минеральных видов Ag, построенная по возрастающим значениям его концентраций, имеет эволюционный и генетический характер, так как в качестве "вектора" эволюции выбран реально существующий в рудообразовании процесс - дифференциация минерального вещества, уровень которой последовательно повышается в направлении стрелы времени (от этапа к этапу, от стадии к стадии). Указанный вектор соответствует горизонтальному направлению систематики слева направо. Именно в этом направлении отмечается тенденция смены многокомпонентных минералов, характерных для слабодифференцированных систем, малокомпонентными, вплоть до однокомпонентного самородного серебра, а металлы, входящие в соединения с серебром, образуют ряд дифференциальной подвижности.**

Существующие систематики минералов, построенные по принципу общности двух конституционных свойств (тип химического соединения, кристаллическая структура), как правило, не несут в себе геолого- генетической информации, т.к. они группируют минералы с теоретическими структурами и химическими составами, и в них не заложена координата времени.

Для генетической систематизации используются типоморфные свойства реальных (природных) минералов и минеральных парагенезисов, позволяющие судить об условиях их образования (Юшкин, 1977). Появление таких свойств связано с кристаллизацией в природных поликомпонентных - "загрязненных средах" (Воробьев,1990) на фоне изменчивости во времени физико-химических параметров минералообразующей среды, что в большинстве случаев приводит к несоответствию теоретическому химическому составу минерала, внедрению микро- и макропримесей компонентов, присутствующих в минералообразующей системе, отклонению от идеальной кристаллической структуры и габитусных форм. Экспериментальный и эмпирический материалы, полученные минералогами к настоящему времени, позволяет судить о том, при каких параметрах возникают те или иные минеральные виды и отклонения от их идеальных свойств. Этому способствовали успехи в области генетической минералогии и онтогении минералов - двух тесно сопряженных направлений (обобщающие труды Григорьева, Жабина, 1975; Барабанова, 1969 и т.д.), что создало предпосылки для решения обратной задачи - систематизации минералов и групп минералов по их типоморфным свойствам, построения эволюционных рядов. Пионерами подобных классификаций можно назвать петрологов. Химический состав

Таблица 2

Систематика минеральных видов серебра по возрастающим значениям концентраций серебра

Содержание Ag в природных соединениях с шагом 5 мас.%

5-10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100

- **Серебристое самородное золото** — 2-30; **Au**; Куб.; Fm3m; $T_{пл.}$1062°C
- **Электрум**
- **Кюстелит**
- Самородное серебро — 97.8-99.9; **Ag**; Куб.;Fm 3m; Гекс.; $P6_3mc$
- **Кренеритит** — 0.46-6.7; 7.22; **$(Au,Ag)Te_2$**; Ромб.;Pma2; $T_{пл}$<382°C
- **Ширмерит** — 8.9-10.0; 7.85; **$AgPb_2Bi_3S_7$**; Ромб.; B bmm
- **Ларозит** — 15.6; **$(Ag,Cu)_{21}PbBiS_{13}$**; Ромб.
- **Маррит** — 22.0; **$AgPbAsS_3$**; Монокл.; $P2_1/a$
- **Амальгамы Ag**
- **Дискразит** — 73.0-76.0; 72.66; **Ag_3Sb**; Ромб.; P m2m
- **Биллингслеит** — 76.2; **Ag_7AsS_6**; Ромб.; C222 (псевдотетр.)
- **Алларгентум** — 79.8-85.7; **Ag_4Sb**; Гекс. $P6_3$
- **Анимикит** — 89.0-90.0; **$Ag_{17}Sb$**; Куб.
- **Густавит** — 6.6-9.4; 9.51; **$Ag_3Pb_2Bi_{11}S_{24}$**; Ромб.;Bb mm (Монокл.; $P2_1/c$)
- **Викингит** — 4.7-10.6; 9.18; **$Ag_3Pb_4Bi_{13}S_{30}$**; Монокл.; B2/m
- **Фрейбергит** — 21.7-36.6; **$(Ag,Cu)_{10}(Fe,Zn)_2Sb_4S_{13}$**; Куб.
- **Пираргирит** — 49.5-62.9; 59.76; **Ag_3SbS_3**; Триг.; R3c
- **Ялпаит** — 69.6-73.8; 77.2; **Ag_3CuS_2**; Тетр. (псевдокуб.)$I4_1/amd$/; $T_{пл.}$<112°C
- **Акантит** — 77.6-89.4; 87.06; **Ag_2S**; Монокл.<T 105°C>Куб.; $T_{пл.}$ 179°C
- **Накасеит** — 9.0; **$Ag_3CuPb_2Sb_{12}S_{24}$**; Монокл.
- **Рамдорит** — 9.6-11.3; 12.44; **$Ag_2Pb_3Sb_5S_9$**; Ромб.;Pbmm
- **Матильдит** — 14.0-27.3; 28.33; **$AgBiS_2$**; Ромб.; Immm; T<195°C. Тв. растворы: T<216°C с галенитом; T<330°C с миаргиритом, акантитом, павонитом
- **Миаргирит** — 28.9-37.6; 36.72; **$AgSbS_2$**; Монокл.; C2/c
- **Петрит** — 38.4-43.4; 41.71; **Ag_3AuTe_2**; Куб.;$I4_132$; $T_{пл}$ 210±10°C
- **Гессит** — 47.4-66.9; 62.86; **Ag_2Te**; Монокл.; $P2_1/c$<T 145°C>Куб. При распаде $Ag_{17}Te_9$<T120°C; $(Ag_{11}Au)Te_6$<T50°C
- **Агвиларит** — 75.2-80.7; 79.50; **Ag_4SeS**; Ромб. < $T_{пл.}$122°C > Куб.
- **Теремковит** — 5.4-7.8; **$Ag_2Pb_3Sb_8S_{20}$**; Ромб.
- **Сильванит** — 9.1-15.0; 13.22; **Au,$AgTe_4$**; Монокл.; P2/c; $T_{пл}$<354°C
- **Фрейеслебенит** — 19.1-23.8; 20.23; **$AgPbSbS_3$**; Монокл.; $P2_1/a$
- **Богдановичит** — 22.0-24.2; 22.72; **$AgBiSe_2$**; Триг.;R3m1
- **Генриит** — 29.0-30.0; **$(Cu,Ag)_2Te$**; Куб.; F m3m
- **Балканит** — 33.1-33.3; **$Ag_9Cu_2HgS_8$**; Ромб.;P mmm
- **Штромейерит** — 39.8-55.0; 53.05; **AgCuS**; Ромб.; Cmcm<T 78°C>Куб.; $T_{пл.}$<90°C
- **Кеантоконит** — 62.6-62.7; 65.42; **Ag_3AsS_3**; Монокл.; C2/c
- **Канфильдит** — 60.0-77.2; 74.16; **Ag_8SnS_6**; Ромб.; $Pna2_1$<T°C>Куб.Im3m
- **Физелиит** — 6.0-7.7; 7.74; **$Ag_2Pb_3Sb_4S_{16}$**; Ромб ; Pnmm
- **Эскимоит** — 9.6-10.6; 10.62; **$Ag_7Pb_{10}Bi_{15}S_{36}$**; Монокл.; B2/m
- **Фуротобеит** — 15.5-15.8; **$(Cu,Ag)_3PbS_4$**; Монокл.; Cm, C2 или C2/m
- **Лаффитит** — 21.5-22.5; **$AgHgAsS_3$**; Монокл.; Aa
- **Диафорит** — 23.5-25.3; 23.78; **$Ag_3Pb_2Sb_3S_8$**; Монокл.; $P2_1/b$
- **Кутинаит** — 31.5-31.6; 30.5; **$AgCu_4As$**; Куб.
- **Аргентопирит** — 33.0-35.3; 34.17; **$AgFe_2S_3$**; Ромб.; Pmmm; $T_{пл}$<150°C
- **Окартит** — 36.0-43.0; 41.61; **Ag_2FeSnS_4**; Тетр.;I42m
- **Фиттессирит** — 47.5-52.8; 47.7; **Ag_3CuSe_2**; Куб.; $I4_132$
- **Пиростильпнит** — 58.4-59.8; 59.76; **Ag_3SbS_3**; Монокл.; $P2_1$ Ic
- **Пирсеит** — 56.6-74.2; **$Ag_{16}As_2S_{11}$**; Монокл.; C2/m
- **Рейт** — 4.3-4.7; **$Pb_4(Ag,Tl)_2Sb_6S_{21}$**; Монокл.; C2/c
- **Бенжаминит** — 5.2-14.2; **$Ag_3Bi_7S_{12}$**; Монокл., C2/m
- **Вольынскит** — 10.3-20.5; 18.86; **AgBiTe_{20}**; Ромб.; P3m1
- **Броньярдит** — 24.7-26.8; **$Ag_2PbSb_2S_5$**
- **Геларгиталит** — 28.2-31.2; **$(Pd,As)_4Te$**; Куб.
- **Пиркитасит** — 39.7; 40.85; **Ag_2ZnSnS_4**; Тетр.; I$\bar{4}$2 или I4
- **Смитит** — 44.0; 44.0; **$AgAsS_2$**; Монокл.; A2/a
- **Эвкайрит** — 41.2-45.8; 43.04; **AgCuSe**; Ромб.; $T_{пл}$190°C
- **Пенжинит** — 50.7-51.3; **$(Ag,Cu)_4An(S,Se)_4$**; Гекс.; $P6_322$
- **Ютенбогардит** — 53.2-57.1; 55.3; **Ag_3AuS_2**; Тетр.; $P4_1$< T183°C >Тетр.; P4mc
- **Дервиллит** — 61.4; **Ag_2AsS_2**; Монокл.
- **Аргиродит** — 63.6-75.3; 77.12; **Ag_8GeS_6**; Ромб.<T 600°C>Куб.Im3m; $T_{пл}$455°C
- **Ленгенбахит** — 8.7-9.4; 5.7; **$Ag_2Pb_6As_4S_{13}$**; Монокл., $P2_1/m$
- **Паконит** — 8.5-11.0; 21.52; **$AgBi_3S_5$**; Монокл., Cm или C2/m
- **Аргентопенгландит** — 10.2-20.1; **$AgFe_5Ni_3S_8$**; Куб . Fm3m; $T_{пл}$ 455°C
- **Арамайоит** — 34.8; 34.77; **$Ag_3BiSb_2S_6$**; Трикл.; P$\bar{1}$
- **Петровскаит** — 29.8-33.3; **Au,Ag(S,Se)**; Монокл.; P2/m
- **Трехманнит** — 44.0; **$AgAsS_2$**; Триг.; R3 (Гекс.; R3)
- **Самсонит** — 46.8; 46.79; **$Ag_4MnSb_2S_6$**; Монокл.; $P2_1/n$
- **Стефанит** — 55.8-71.5; 68.33; **Ag_5SbS_4**; Ромб.; $Cmc2_1$
- **Купропавонит** — 5.7-7.0; 5.97; **$Ag_{0.5}Cu_{0.5}Pb_{0.5}Bi_{2.5}S_5$**; Монокл., C2/m
- **Андорит** — 11.2-12.5; 12.36; **$AgPbSb_3S_6$**; Ромб , Pmma
- **Сольгеит** — 32.6-33.5; **$Ag_4Pd_3Te_4$**; Ромб.
- **Штернбергит** — 33.4-36.8; 34.17; **$AgFe_2S_3$**; Ромб.; C mma; $T_{пл}$100-145°C
- **Эмпрессит** — 44.0-45.0; **AgTe**; Ромб.; Pmnm
- **Маккинстриит** — 60.0-70.5; 60.0; **$Ag_{1.1}Cu_{0.9}S$**; Ромб.; Pnam; $T_{пл}$<97°C; Ромб.<T 130°C>Куб.
- **Берриит** — 6.5-8.8; **$Ag_{2.5}Cu_{3.5}Pb_3Bi_7S_{16}$**; Монокл.; $P2_1/m$
- **Сундитит** — 10.9; **$AgFePbSb_3S_6$**; Ромб.
- **Штютцит** — 56.5-59.9; **Ag_3Te_3**; Гекс.; C6/mmm; Устойчив.< T 265-295°C; Распад тв. раствора<120°C
- **Полибазит** — 61.6-72.2; 69.7 (при Ag/Cu=10:1); **$(Ag,Cu)_{16}Sb_2S_{11}$**; Монокл.; C2/m
- **Овиоиит** — 5.7-8.8; 8.8; **$Ag_2Pb_5Sb_6S_{15}$**; Ромб.; Pnam
- **Хатчит** — 13.0; **$AgPbTlAs_2S_5$**; Трикл.; P$\bar{1}$
- **Прустит** — 64.5-64.7; 65.42; **Ag_3AsS_3**; Тригг.; R3c
- **Науманнит** — 67.8-78.0; 73.15; **Ag_2Se**; Ромб.; $P2_12_12_1$<T128°C>Куб.;/m3m

OPb OBi OTl OPd OFe ONi OTe OGe OZn
OCu OSn OAu OHg OSe OAs OSb

Минеральный вид

Концентрация Ag для природных соединений, мас.%

Сильванит
9.1-15.0
13.22
Au, $AgTe_4$
Монокл.; P2/c
$T_{пл}$<354°C

Металлы, входящие в состав минерала концент-

Теоретическая

рация Ag, мас.%

Сингония и пространственная группа

Формула минерала

Температура плавления и фазовых переходов

Сведения о минералах взяты из справочников.

"Минералы благородных металлов", 1986; "Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете", 1988

Минеральные виды слабодифференцированных систем	Минеральные виды умеренно дифференцированных систем	Минеральные виды высокодифференцированных систем
МИНЕРАЛЬНЫЙ ТИП МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕРЕБРА		
1-2- стадийные ФРЕЙБЕРГИТОВЫЙ, МИАРГИРИТОВЫЙ (Сопка Рудная, Широкое, Кунарево, Арманское)	Полистадийные СУЩЕСТВЕННО ЗОЛОТОЙ (ЭЛЕКТРУМ), ПИРАРГИРИТОВЫЙ, СТЕФАНИТОВЫЙ, КАНФИЛЬДИТОВЫЙ, ПОЛИБАЗИТОВЫЙ И Т.П. (Карамкен, Колхида, Джульетта, Эвенское, Хаканджа, Кубака, Ольча)	Полиэтапные СЕРЕБРО-АКАНТИТОВЫЙ (Дукат, Нявленга, Седой, Юный)

магматических пород, определяемый комплексами минеральных сообществ и соотношениями минеральных видов, позволил им возвести в ранг основополагающего такой типоморфный признак, как кислотность-щелочность, не только для валового состава пород, но и для слагающих их минералов. Петрологами же используются для классификаций и другие свойства минералов: железистость, соотношения петрогенных элементов и т.д. Отдельные попытки предпринимались и для рудных минералов гидротермальных систем. Ярким примером могут служить систематики Н.З.Евзиковой (1965), составленные в пределах одного минерального вида (касситерит, пирит и т.п.) на кристалломорфологической основе. Можно констатировать, что в эволюционной систематизации индивидов, основанных на онтогенических исследованиях, уже достигнуты некоторые успехи. Сложнее обстоит дело с эволюционными рядами минеральных видов. Многообразие непрерывно меняющихся химических и термодинамических обстановок в истории последовательно возникающих минеральных видов не позволяет пока минералогам найти более или менее приемлемый "вектор" для создания ряда.

Предлагаемая в настоящей работе систематика (табл. 2) построена на основе эволюционного анализа минеральных видов Ag, последовательно сменяющих друг друга во времени в результате направленного превращения минеральной системы, как в связи с первичным гидротермальным минералообразованием, так и при последующем перераспределении минерального вещества под воздействием разнообразных геологических событий. Для этого преобладающие в рудах минеральные виды Ag используются в качестве индикаторных элементов.

Генетической основой систематики является фундаментальное свойство планет - вещественная дифференциация (в данном случае химическая дифференциация, сопровождающая рудное минералообразование), на фоне которой в координате времени рассматриваются вариации принципиально нового, не использовавшегося ранее, типоморфного признака, а именно - уровня концентрации Ag в его последовательно возникающих минеральных видах, отражающего, как показали наблюдения, уровень дифференцированности минеральной системы. Дифференциация минеральной среды в данном случае выступает как суммарный эффект сложного взаимодействия физико-химических параметров, ведущих к направленным (во времени) превращениям минеральных видов.

Методологической основой для построения систематики послужили историко-генетические реконструкции минеральных объектов, выполненные автором при топоминералогическом картировании более чем на 30 сереброрудных обеьетах северо-восточного региона России, а также анализ опубликованных данных: А.А.Сидорова (1966), Н.А.Шило и др. (1992), А.Н.Некрасовой (1972), А.А. Пляшкевич (1986, 1992) и ряда других. Кроме того, анализ публикаций по зарубежным сереброрудным объектам (Boyle R.W.,1979; Boyle E. and other 1986; Антонов, 1992) использован для под-

тверждения эмпирических закономерностей, как независимая экспертиза (непредвзятое мнение) по целому ряду характеристик этих объектов в том числе: последовательности минералогических событий, специфике перераспределения серебра, преобладании во времени тех или иных минеральных видов Ag (Серебро..., 1989; Принцип эволюционной систематики..., 1995)

Поведение Ag в работе охарактеризовано для открытых систем, которые продуцируют эпитермальные руды. Следует также подчеркнуть, что при построении систематики рассматривается заключительный фрагмент химической дифференциации рудообразующей системы. Более ранние ее ступени и формы вхождения серебра, в виде примесного элемента в другие минералы, не затрагиваются, т.к. это особый предмет исследований - микроминералогия (Чеботарев, Конеева, 1985), требующая других методов изучения и, возможно, других подходов.

Исходя из представлений о последовательной (во времени) дифферен-циации Ag и одновременном его концентрировании на всем протяжении формирования, а также о пострудном перераспределении вещества, систематика минеральных видов Ag строится по возрастающим значениям его концентрации с шагом 5 мас.%. Она рассматривается как генетическая по отношению к сереброрудным месторождениям и к минеральным видам Ag, входящим в состав руд.

При этом, горизонтальное направление (слева направо) характеризует генеральную линию развития серебросодержащей минеральной системы. Оно соответствует последовательно образующимся (в направлении стрелы времени) преобладающим минеральным видам Ag в рудах.. В этом же направлении проявляется тенденция повышения степени их дифференцированности, связанная с относительной длительностью формирования руд эпитермальных месторождений моностадийных, полистадийных, полиэтапных. В данном случае концентрация Ag в его минеральных видах заложена в систематику как один из признаков состояния "начальных, промежуточных и конечных продуктов" рудного минералообразования.

Чем длительнее время формирования руд, тем выше уровень их диффе-ренцированности, тем выше концентрация Ag в слагающих руды минеральных видах, т.е. появление того или иного минерального вида Ag связано с историей развития месторождения.

На конкретных примерах было показано, что дифференциация Ag - реальный природный процесс, который осуществляется на различных уровнях эволюции верхних частей земной коры - от древних образований к молодым, от этапа к этапу и от стадии к стадии. Информацию об этом несут концентраторы Ag - его минеральные виды, характерные для каждого из указанных отрезков времени возникновения и преобразования рудного вещества. Подчеркнем еще раз, что речь идет о преобладающих минеральных видах, сменяющих друг друга во времени в связи с различными геологическими событиями, ведущими к изменению комплекса физико-химических

параметров минералообразования и таким образом провоцирующими очередные этапы активной дифференциации минерального вещества. Построение видового ряда на координате времени позволяет считать его эволюционным.

В систематике возрастание концентраций Ag отлагается на горизонтальной оси слева направо, и именно с этим направлением согласуются все эволюционные особенности видового спектра минералов Ag. Здесь отчетливо проявлена тенденция уменьшения количества компонентов, входящих в минералы, по мере возрастания в них концентраций Ag. Следовательно, количество компонентов в минерале можно в определенной мере рассматривать как признак степени дифференцированности минерального вещества - серебросодержащей руды.

К левой части систематики тяготеют сложные сульфосоли Ag, в состав которых входят Pb, Bi, Sb, As, Cu, и отмечается преобладание четырехпятикомпонентных минералов. К правой - более простые по составу сульфосоли, сульфид Ag, интерметаллиды, селениды, вплоть до однокомпонентного самородного серебра.

В горизонтальных рядах отражается геохимическая подвижность элементов, контрастность их центробежно-центростремительных свойств (по Ю.Г.Щер-бакову, 1989). Обладающие более низкой миграционной способностью Pb, Bi, Fe характерны для состава минералов левой части систематики, где расположены минеральные виды Ag менее дифференцированных руд. Эти элементы на определенной стадии как бы прекращают свое участие в дифференциации серебряных руд, " отстают" в ходе миграции от легкоподвижных Cu, Sn, Sb, As, Se. В образующемся при этом ряду дифференциальной подвижности компонентов, входящих в минеральные виды Ag, пока не установлено закономерно изменяющихся физических и химических констант, возможно, здесь играют роль и какие-либо геохимические факторы, но эмпирически такой ряд выявлен (табл 3).

Таблица 3

Физико-химические параметры ряда металлов,
характерных для природных соединений Ag
на различных стадиях дифференциации минеральных систем

Элемент	Плотность г/см³	Электронная конфигурация	$T_{пл}$, °C	Тип и степень окисления	Уровень дифференцированности минеральной системы
Pb	11,336	[Xe] $4f^{14}$ $5d^{10}$ $6s^2$ $6p^2$	327,4	2, 4-амф.	Низкий
Bi	9,807	[Xe] $4f^{14}$ $5d^{10}$ $6s^2$ $6p^2$	227,0	-3, 3 осн., 5-ксл.	
Fe	7,874	[Ar] $3d^{10}$ $4s^2$	1539,0	2-осн , 3-амф , 6-ксл.	
Te	6,272	[Kr] $4d^{10}$ $5s^2$ $5p^4$	449,5	-2, 2, 4, 6-ксл.	
Cu	8, 970	[Ar] $3d^{10}$ $4s^1$	1083,0	1, 2, 3-осн	
Sn	7,295	[Kr] $4d^{10}$ $5s^2$ $5p^2$	231,0	2, 4-амф	
As	5,778	[Ar] $3d^{10}$ $4s^2$ $4p^3$	817,0	-3, 3, 5-ксл	
Se	4,870	[Ar] $3d^{10}$ $4s^2$ $4p^4$	219,0	-2, 2, 4, 6-ксл.	
Sb	6,690	[Kr] $4d^{10}$ $5s^2$ $5p^3$	630,5	-3, 3-амф , 5-ксл	
Ag	10,490	[Kr] $4d^{10}$ $5s^1$	960,3	1, 3-осн	Высокий

Время

Указанные особенности дифференциации тесно связаны с влиянием температурного режима минералообразования. Так, Hg, Sb, As, Se, входящие в минералы, возгоняются при относительно низких температурах. Это вызывает рекристаллизацию первичных минералов, сопровождающуюся перераспределением рудного вещества, что характерно для термального метаморфизма. Даже незначительные инверсии температур, при которых соединения Ag с Pb, Bi, Fe не подвергаются изменениям, приводят к рекристаллизации Hg, Sb, As и Se-содержащих минеральных видов Ag, причем миграция высвободившихся при этом элементов сказывается и на геохимической зональности месторождений Ag - локализации Sb-Hg и Sb-As месторождений в обрамлении структур вмещающих Au-Ag и Ag-Pb-Zn оруденение. Дифференциальной подвижностью Sb и As во многом объясняется и крайняя убогость минерального состава руд этих металлов. Минералогам хорошо известно, сколь бедны рудными минералами других металловсущественно антимонитовые жилы.

Важным моментом для перераспределения Ag является его перегруппировка в процессе фазовых переходов при относительно низких температурах - 105-125 ^{o}C, присущих минеральным видам Ag правой части систематики. Эти переходы осуществляются в направлении понижения симметрийности, а следовательно и увеличения объема кристаллического вещества. К началу фазового перехода жильная матрица, в которой размещается рудный минерал (каврц, адуляр, карбонат и т.п.), полностью кристаллизуется (приобретает определенную прочность и твердость), а изменение объема заключенного в ней минерала становится затруднительным и вызывает внутриинтерстициальное давление, которое может способствовать ускорению миграции при катаклазе самой интерстиции. Примером может служить относительно быстрое появление волокнистых агрегатов акантита на срезе кварц-адулярового агрегата, содержавшего в интерстициях включения кубического аргентита устойчивого до +140 ^{o}C и претерпевшего фазовый переход в моноклинный акантит, когда он находился в интерстициальной камере. Вскрытие интерстиций открывает также возможность для доведения до конца фазового перехода. При этом увеличение объема можно наблюдать невооруженным глазом.

Отражающая реальные природные процессы систематика несет в себе генетический смысл. Действительно, сложные по составу минералы метастабильны и их возникновение более возможно при относительно низкой дифференциации исходного вещества в процессе рудообразования. Такие слабодифференцированные руды с преобладанием сложных Ag-Pb-Sb-Bi сульфосолей и Ag-содержащих блеклых руд характерны для резкоградиентных - слаботермостатированных минералообразующих систем, в которых недостаточно времени на рост чистых фаз, предполагающий отторжение от растущего кристалла примесных компонентов (Воробьев,1990), идет их мощный захват. При этом формируются не только многокомпонентные

метастабильные минеральные виды Ag, но и их тонкие минеральные смеси, которые впоследствии оказываются неустойчивыми к термо- и динамо метаморфическим воздействиям, легко вовлекаясь в процессы перераспределения рудного вещества, способствуя дифференциации.

В целом предлагаемая систематика позволяет сохранить основополагающий химический принцип, учитывающий точное познание химического состава минерала и, как было показано, имеет генетическую сущность, т.к. через спектр минералов серебра несет информацию об эволюции их видообразования и длительности формирования Ag-содержащих руд.

На основе систематики построены эволюционные (дифференциальные) ряды минеральных видов Ag для эпитермальных сереброрудных месторождений, которые не противоречат полученным автором эмпирическим данным и хорошо согласуются с опубликованными фактическими материалами, характеризующими последовательность минералообразования на аналогичных объектах.

К практическим аспектам систематики следует отнести:

▫ создание универсальных эволюционных рядов минеральных видов Ag для эпитермальных сереброрудных месторождений различного геохимического профиля:

Ag-Pb-Zn - Ag- Pb-Bi-Sb- сульфосоли+ фрейбергит (с низкими концентрациями Ag) ⇨ фрейбергит (с высокими концентрациями Ag) + Ag-Sb сульфосоли (Ag до 50%) ⇨ Ag сульфосоли (Ag до 70%) + акантит + селениды Ag ⇨ самородное серебро;

Au-Ag - фрейбергит(с низкими концентрациями Ag) + Ag-Sb и Ag-As сульфосоли (Ag до 50%) + Ag колчеданы (Ag до 50%) + самородное золото(Ag до 40%) ⇨ Ag-Sb и Ag-As сульфосоли (Ag до 70%) + Ag колчеданы (Ag до 70%) + акантит + кюстелит ⇨ селениды Ag + самородное серебро (Au до 5%);

Sn-Ag - фрейбергит (с низкими концентрациями Ag) ⇨ фрейбергит (с высокими концентрациями Ag) + Ag-Sb сульфосоли (Ag до 50%) + Ag-сульфостаннаты ⇨ акантит + Se-содержащие фазы минералов Ag ⇨ самородное серебро;

▫ прогнозирование обнаружения труднодиагностируемых минеральных видов Ag по наличию преобладающих - легкодиагностируемых при изучении вещественного состава руд;

▫ понимание и правильную интерпретацию возрастных взаимоотношений минералов;

▫ предварительную оценку эпитермальных месторождений (в совокупности с геолого-структурными факторами; положительным показателем масштабности оруденения будет служить уровень дифференцированности руд, который можно установить по местоположению в систематике преобладающих в рудах минеральных видов Ag (они же определяют и минеральный тип месторождения);

- отражение дифференцированности в минералогической зональности рудных узлов и месторождений, а также ряда дифференциальной подвижности металлов в первичной геохимической зональности;
- оценку уровня дифференцированности руд по вариациям концентраций Ag в пределах одного минерального вида с переменным составом, представленного в различных генерациях; к таким минеральным видам можно отнести фрейбергит, Au-Ag соединения, амальгамы и т.д, причем чем выше дисперсия по Ag для разновременных генераций, тем выше уровень дифференцированности руд.

Заключение

Приведенный анализ региональных минералогических особенностей серебряной минерализации Северо-Востока России, учитывающий специфические черты металлогении этой территории, позволил по-новому понять причины возникновения тех или иных минеральных типов сереброрудных объектов, которые не всегда удается расшифровать в пределах отдельно взятых рудных узлов и месторождений. Это первое такого рода обобщение для данного региона.

Результатом исследования эволюционных закономерностей на уровне минеральных видов стало создание топоминералогической карты серебра Северо-Востока России и геолого-генетической систематики минералов Ag, в основу которой положена оригинальная теоретическая концепция. Наряду с обычными характеристиками, впервые в практике минералогических построений, для эволюционной систематизации минеральных видов в качестве генетической основы использовано фундаментальное свойство планет - вещественная дифференциация (в данном случае физико-химическая, сопровождающая рудное минералообразование), на фоне которой в координате времени проанализированы вариации принципиально нового, не учитываемого ранее типоморфного признака, а именно - уровня концентрации Ag в его последовательно возникающих минеральных видах, отражающего степень дифференцированности минеральной среды. Дифференциация в данном случае рассматривается, как суммарный эффект сложного взаимодействия изменяющихся во времени физико-химических параметров рудообразования.

Для группы преобладающих в рудах минералов серебра установлена закономерность смены во времени его минеральных видов, состоящая в последовательном увеличении локальной сереброносности руд и в последовательной смене форм нахождения Ag от рассеянной в сульфидах других металлов к серебросодержащим (блеклорудным) и далее к собственно серебряным. Указанная закономерность согласуется с направленностью процесса химической дифференциации элементов, т.е. переходом Ag от состояния рассеяния к концентрированию. Следует подчеркнуть, что в связи с неоднородностью геологических и физико-химических полей могут споради-

чески в микроколичествах встречаться практически любые минералы Ag, однако общие закономерности развития минеральной системы в отношении Ag соблюдаются всегда.

Сравнительный анализ минералогических провинций и объектов Северо-Востока России позволил получить принципиально новые данные о закономерностях и тенденциях концентрирования серебра во времени и пространстве, об элементах минералогической структуры региона, а также об ареалах развития минеральных видов серебра. Среди них следует отметить:

- Последовательную дифференциацию минерального вещества сереброрудных объектов во времени (от эпохи к эпохе, от этапа к этапу, от стадии к стадии).
- Многократное перераспределение и последовательное локальное концентрирование серебра, влияющее на спектры преобладающих минеральных видов в рудах (от рассеянного - в сульфидах, через многокомпонентные низкосеребросодержащие минеральные виды, к малокомпонентным с высокими концентрациями Ag, вплоть до монокомпонентного самородного серебра).
- Отражение в минералогии серебра металлогенических черт территорий, связанное с гетерогенностью источников вещества, слагающих руды.

Практическая значимость этих выводов заключается в том, что установленное последовательное локальное концентрирование серебра, происходящее на фоне дифференциации, позволяет не только обоснованно говорить о высоком ресурсном потенциале объектов с длительной историей развития, но и более уверенно выделять перспективные районы. Для рассматриваемого региона это, в первую очередь, Омолонский срединный массив и особенно площади с признаками мезозойской магматической активизации. Не менее перспективной представляется и перивулканическая зона Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. К длительно развивающимся структурам могут быть отнесены и стуктуры с Au и Ag содержащим медно-молибден-порфировым типом оруденения в Примагаданском районе, где внутренняя зона ОЧВП наложена на более древние (триас-позднеюрские) островодужные комплексы.

Прилагаемая к диссертации топоминералогическая карта дает наглядное представление о размещении минеральных видов серебра в структурах региона, в отличие о табличной формы базы данных. Информация, вынесенная на топоминералогическую карту, содержит сведения о видовых спектрах основных минералов-концентраторов Ag в рудах 60 месторождений, сереброносности сульфидов, среднем значении пробности золота и величине золото-серебряного отношения.

Список основных трудов по теме диссертации

1. *Редькин С.Ф., Бочарова Г.И., Савва Н.Е., Саламлва С.И.* О путях поступления рудообразующих растворов при формировании месторождения Верхний Згид // Геология рудных месторождений, 1973. Т. XV. N 6. С. 38-43.

2. *Сидоров А.А., Гончаров В.И., Савва Н.Е., Бростовская В.Г., Толстихин Ю.В.* Существенно серебряное месторождение золото-аргентитового типа // Материалы по геологии и полезным ископаемым СВ СССР. Магадан, 1975. Вып. 21. С. 95-100.

3.*Осипов А.П., Савва Н.Е., Шапавалов В.С.* К золотоносности оловорудных районов СВ СССР // Колыма. 1974. N 10. С. 23-27.

4. *Савва Н.Е., Раевская И.С.* О находке бериллиевого минерала в золото-серебряных рудах // Колыма. 1974. N 6. С. 8-12.

5. *Сидоров А.А., Найбородин В.И., Савва Н.Е.* Минеральные ассоциации в золоторудных месторождениях Восточно-Азиатских вулканогенных поясов: Тез. Всесоюз. совещ. // Минералогия и геохимия золота. Владивосток, 1974. Ч.1. С. 68.

6. *Савва Н.Е., Шаповалов В.С.* К минералогии и температурным условиям образования Au-редкометалльного месторождения кл.Флюоритового // Тр. ВНИИ-1. Т. XXXIV. Магадан, 1974. С. 34-42.

7. *Сидоров А.А., Гончаров В.И., Найбородин В.И., Савва Н.Е.* К особенностям вулканогенного гидротермального рудообразования // Докл. АН СССР, 1975. Т.225. N 6. С. 75-79.

8. *Сидоров А.А.,Гончаров В.И, Савва Н.Е.* Рудообразование на вулканогенных месторождениях: Тез. V Всесоюз. совещ. по термобарогеохимии. М.: Недра, 1976. С. 21-22.

9. *Sidorov A.A., Naiborodin V.I., Savva N.E.* Manganeze mineral assotiation gold-siver deposits: Abstracts. I-th national Geol congress. Sydney. 1976. V. 3. P. 146-148.

10. *Андреев Б.С., Савва Н.Е.* Самородный мышьяк в золоторудном месторождении Чукотки // Докл.АН СССР. Т. 238. 1978. N 5. С. 23-26.

11. *Сидоров А.А., Еремин Р.А., Василенко В.П., Савва Н.Е., Андреев Б.С., Григоров С.А.* Геолого-структурные и минералогические особенности проявления золото-мышьяк-сурьмяной формации // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан: СВКНИИ, 1978. Вып. 24. С. 98-111.

12. *Сидоров А.А., Гончаров В.И., Савва Н.Е., Найбородин В.И., Еремин Р.А.* О температурной эволюции гидротермального процесса при вулканогенном рудообразовании // Минералогия и геохимия рудных месторождений СВ СССР. Магадан: СВКНИИ, 1978. С. 15-24.

13. *Шаповалов В.С., Савва Н.Е.* Некоторые генетические особенности формирования плутоногенных золоторудных месторождений СВ СССР // Колыма. 1979. N 8. С. 33-35.

14. *Найбородин В.И., Савва Н.Е.* Возрастные взаимоотношения минералов в рудах вулканогенно-эпитермальных золото-серебряных месторождений: Тез. докл. VI съезда ВМО "Минералы, горные породы и полезные ископаемые в геологической истории". Л.: Наука, 1981, С. 45-46.

15. *Гончаров В.И., Савва Н.Е., Альшевский А.А., Ворцеппев В.В.* Опыт минералогического картирования золоторудного узла на СВ СССР. // Минералогическое картирование как метод исследования рудоносных территорий: Тез.докл. III Всесоюз. семинара. Миасс, 1983. С. 111-112

16. *Гончаров В.И., Ворцеппев В.В., Савва Н.Е., Альшевский А.В., Козлов Вл.К.* Опыт изучения температурных условий формирования вулканогенного золото-серебряного оруденения по включениям в минералообразующих средах: Тез. Всесоюз. совещ. "Геология и методы прогнозирования месторождений серебра в вулканических областях". Магадан: СВКНИИ, 1983. Т. 2. С. 12-13.

17. *Гончаров В.И., Савва Н.Е., Альшевский А.В., Ворцеппев В.В.* К металлогении серебра в ОЧВП и его обрамлении // Геология и методы прогнозирования месторождений серебра в вулканогенных областях: Тез. Всесоюз. совещ. Магадан: СВКНИИ, 1983. Т. I. С. 43-45.

18. *Гончаров В.И., Альшевский А.В., Ворцеппев В.В., Сергеева Н.Е., Савва Н.Е.* Новая находка теллурида висмута на СВ СССР // ДАН СССР, 1984. Т. 275. N 5. С. 717-720.

19. *Еремин Р.А., Котляр И.Н., Савва Н.Е., Шахтыров В.Г., Гончаров В.И.* Геолого-генетические модели золото- и сереброрудных формаций СВ СССР // Геология и полезные ископаемые на СВ Азии. Магадан: СВКНИИ, 1984. С. 109—128.

20. *Альшевский А.А., Ворцеппев В.В., Гончаров В.И., Нехорошков Ю.Ф., Сергеева Н.Е., Савва Н.Е.* Новые данные по минералогии и условиям формирования золото-редкометалльного оруденения на СВ СССР // Минералы и минеральные парагенезисы пород и руд СВ СССР. Магадан: СВКНИИ, 1986. С. 16-35.

21. *Савва Н.Е.* Самородное золото коренных источников бассейна р.Колымы // Минералы и минеральные парагенезисы пород и руд СВ СССР. Магадан: СВКНИИ, 1986. С. 77-89.

22. *Павлов Г.Ф., Савва Н.Е., Хорин Г.И., Теплых В.И., Товма И.Т., Жарихин К.Г., Буляков Г.Х.* Самородное серебро в россыпях СВ СССР // Минералы и минеральные парагенезисы пород и руд СВ СССР. Магадан: СВКНИИ, 1986. С. 109-128.

23. *Савва Н.Е., Раевская И.С.* Минералогия серебра в эндогенных месторождениях СВ СССР. // Проблемы металлогении на СВ СССР. Магадан: СВКНИИ, 1984. С. 51-60.

24. *Савва Н.Е., Нехорошков Ю.Ф., Альшевский А.В.* О выделении серебро-редкометальной формации: Тез.докл.съезда СВО ВМО "Геология и рудоносность севера Дальнего Востока". Магадан: СВКНИИ, 1986. С. 25-26.

25. *Сидоров А.А., Найбородин В.И., Савва Н.Е.* Особенности агатообразования в жилах эпитермального золото-серебряного проявления // Минералогия - народному хозяйству. Тез.докл.VII Съезда ВМО. Л., 1986. С. 70.

26. Халцедоны Северо-Востока СССР / *Павлов Г.Ф., Гончаров В.И., Городинский М.Е., Савва Н.Е., Ворцеттев В.В.* М.: Наука, 1986. 140 с.

27. *Савва Н.Е., Павлов Г.Ф., Ведерников В.Г.* Реконструкция коренных источников серебра по шлиховым ореолам // Минералогия - народному хозяйству: Тез.докл. VII съезда ВМО. Л., 1986. С. 64.

28. *Савва Н.Е., Ворцеттев В.В.* Особенности формирования вулканогенных месторождений на срединных массивах: Тез. докл. Всесоюз. совещ. "Рудные формации структурной зоны перехода океан-континент". Магадан: СВКНИИ, 1988. Т.II. С. 118-119.

29. *Прейс В.К., Савва Н.Е., Лушников Л.А., Буляков Г.Х.* Золотое и серебряное оруденение одной из ветвей ОЧВП: Тез.докл. "Генетические, формационные и промышленные типы оруденения в вулканогенных поясах". Хабаровск, 1988. С. 77-78.

30. Серебро (геология, минералогия, генезис, закономерности размещения месторождений. / *Сидоров А.А., Константинов М.М., Еремин Р.А., Савва Н.Е., Копытин В.И., Гончаров В.И., Сафронов Д.Н.* М.: Наука, 1989. 240 с.

31. *Савва Н.Е., Ведерников В.Н.* Новый тип серебряной минерализации на СВ СССР. // Геохимия и минералогия руд месторождений СВ СССР. Магадан: СВКНИИ, 1989. С. 86-97.

32. *Гончаров В.И., Савва Н.Е., Ворцеттёв В.В., Альшевский А.В.* Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений // Сб. докладов Северо-Кавказского ВМО. Нальчик, 1985. С. 30-41.

33. *Савва Н.Е., Ворцеттев В.В.* Особенности золото-серебряного оруденения на Омолонском массиве // Генезис рудных формаций и практическое значение рудноформационного анализа. Магадан: СВКНИИ, 1990. С. 50-64.

34. *Сидоров А.А., Ерёмин Р.А., Константинов М.М., Савва Н.Е., Копытин В.И., Сафронов Д.Н.* Серебросодержащие рудные формации фанерозойских металлогенических провинций // Рудные формации Северо-Востока СССР. Магадан: СВКНИИ, 1990. С. 20-30.

35. Атлас самородного золота СВ СССР / *Савва Н.Е., Прейс В.К.* М.: Наука, 1990. 292 с.

36. *Савва Н.Е.* Принцип систематики минералов серебра: Тез. докл. II Всесоюз. совещ. "Теория минералогии". Сыктывкар, 1991. Т.1. С. 61-62.

37. *Савва Н.Е.* О степени гомогенности тонких минеральных смесей: Тез.докл.II Всесоюз. совещ."Теория минералогии". Сыктывкар, 1991. Т.1. С. 62-63.

38. *Савва Н.Е.* Дифференциальные ряды минералов серебра в рудных формациях СВ СССР // Современные проблемы минералогии и сопредельных наук: Тез. .докл.VIII Всерос. съезда ВМО. С.-Пб., 1992. С. 180-182.

39. *Ворцеттев В.В., Савва Н.Е., Жуланов Б.Г., Павлов Г.Ф.* К вопросу об условиях формирования ювелирных разновидностей аметистов // Зап. ВМО. 1991. С. 52-59.

40. *Савва Н.Е.* Дифференциальные ряды минералов серебра // Минералогия и геохимия рудных полей Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ, 1992. С. 1-11.

41. *Горячева Е.М., Савва Н.Е., ТаюрскийА.Д.* Типоморфизм самородного золота Чогорского блока Алдано-Станового щита // Минералогия и геохимия рудных полей Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ, 1992. С. 38-52.

42. *Савва Н.Е.* Карта минералогии серебра Северо-Востока России. Масштаб 1:5 000 000. Магадан: ГКП СВПГО, 1993. 1л. (ч.б)

43. Очерки металлогении и геологии рудных месторождений Северо-Востока России. / *Сидоров А.А., Горячев Н.А., Шпикерман В.И., Савва Н.Е., Еремин Р.А., Приставко В.А., Городинский М.Е., Бялобжеский С.Г.* Магадан: СВКНИИ, 1994. 106 с.

44. *Savva N.E., Plyachkevich A.A.* Evolutionary series of Ag-concentrating minerals in ephitermal deposits of Northeastern Russia // International conference of arctic margins. Magadan, 1995. P. 245-250.

45. *Савва Н.Е.* Типоморфизм самородного золота Гурского россыпного узла // Научно-технический прогресс и политехническое образование на Северо-Востоке России: Матер. науч.-тех. конф.: В 2 ч. Магадан: СВКНИИ, 1995. Ч.1. С. 20-22.

46. *Савва Н.Е.* Влияние метаморфизма руд на локальное концентрирование металлов при формировании месторождений // Научно- технический прогресс и политехническое образование на Северо-Востоке России: Матер. науч.-тех.конф.: В 2 ч. Магадан: СВКНИИ, 1995. Ч.1. С. 26-27

47. *Савва Н.Е.* О роли дифференциации в эволюции видообразования минералов серебра // Российский фонд фундаментальных исследований в Сибирском регионе (земная кора и мантия). Иркутск: ИЗК СО РАН, 1995. Т. 2. С. 109-110.

48. *Савва Н.Е.* Серебряная минерализация в карбонатных толщах Северо-Востока России // Научно-технический прогресс и политехническое образование на Северо-Востоке России: Матер. науч.-тех. конф.: В 2 ч. Магадан: СВКНИИ, 1995. Ч.1. С. 29-30.

49. Принцип эволюционной систематики минералов серебра (теоретические и эмпирические аспекты) / *Савва Н.Е.* Магадан: СВКНИИ, 1995. 50 с.

50. *Савва Н.Е., Буданова Н.Б., Михайлов Д.Н.* О находке айтенбогардтита в рудах месторождения Юный (Омолонский срединный массив) // Проблемы геологии, строительства и автотранспорта на Северо-Востоке России. Магадан: Мф ХТГУ, 1996. С. 22-24.

51. *Савва Н.Е.* Минералогия руд и генетические особенности месторождения *Ольча* (Омолонский срединный массив) // Минералогия и генетические особенности месторождений золота и серебра. Магадан: СВКНИИ, 1996. С. 39-66.

52. *Савва Н.Е.* Электрум-акантит-айтенбогардтитовый минеральный тип золото-серебряного оруденения в трубчатых некках риолитов // Минералогия и генетические особенности месторождений золота и серебра. Магадан: СВКНИИ, 1996. С. 66-82.

53. *Савва Н.Е.* Минеральный состав и особенности перераспределения вещества руд колчеданно-полиметаллического месторождения Хотойдох // Стратиформное оруденение Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ, 1996. С. 97-116.

54. *Савва Н.Е., Петров С.Ф.* Дифференциация золото-серебряного и серебряного оруденения на примере эпитермальных месторождений Северо-Востока России // Минералогия и генетические особенности месторождений золота и серебра. Магадан: СВКНИИ, 1996. С. 7-27.

55. *Савва Н.Е., Фидря И.Л.* Отражение региональных металлогенических особенностей территории в минералого-геохимической специализации руд золото-серебряного месторождения Джульетта // Минералогия и генетические особенности месторождений золота и серебра. Магадан: СВКНИИ, 1996. С. 119-130.

56. *Савва Н.Е.* Факторы, влияющие на видовой спектр и химический состав минералов серебра в рудах эпитермальных месторождений // Геологическое строение магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии: Тез. докл. IX сес. СВО ВМО. Магадан, 26-28 февраля 1997. Магадан: СВКНИИ, 1997. С. 101-104.

57. *Шпикерман В.И., Савва Н.Е.* Проявления динамотермального метаморфизма в рудах месторождений Северо-Востока Азии // Геологическое строение магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии: Тез. докл. IX сес. СВО ВМО. Магадан, 26-28 февраля 1997. Магадан: СВКНИИ, 1997. С. 65-67.

58. Савва Н.Е., Фомина М.И., Рожков П.Ю. Особенности палеозойского золото-редкометалльного оруденения на примере рудопроявления Джугаджак // Проблемы технологии производственного процесса, методологии учебного процесса, геологии экологии и горного дела: Тез. науч.-практ. конф. Магадан: Мф ХТГУ, 1997. С. 96-98.

59. *Савва Н.Е., Петров С.Ф., Пляшкевич А.А.* Топоминералогическая карта серебра Северо-Востока России масштаба 1:5 000 000 / Под ред. акад. Н.П.Юшкина. Магадан: ГКП, 1997.

60. *Савва Н.Е., Петров С.Ф., Пляшкевич А.А.* Пояснительная записка к топоминералогической карте серебра Северо-Востока России м-ба 1:5 000 000. Магадан: СВКНИИ, 1997. 120 с.