

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



ЦНИГРУ

Главный редактор

И.Ф.Мигачев



3/2006

ISSN 0869-5997

4–6 апреля 2006 г. в ЦНИГРИ (г. Москва) состоялась научно-практическая конференция **«Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений на основе их комплексных моделей — достижения и перспективы»**, которую организовали Федеральное агентство по недропользованию, ЦНИГРИ и ЦНИИГеолнеруд при поддержке Российского геологического общества, Российской академии естественных наук и Международной академии минеральных ресурсов.

На конференции было представлено 143 доклада, посвященных обобщению передового опыта использования комплексных моделей месторождений при проведении ГРП по воспроизводству минерально-сырьевой базы и приросту запасов, оптимизации и координации работ по научно-методическому обеспечению и сопровождению федеральных ГРП, разработке научно-методических основ создания альтернативных минерально-сырьевых баз за счет выявления месторождений новых и нетрадиционных типов, разработке и реализации инновационных технологий ГРП.

Участники конференции отметили, что за время, прошедшее после совещания «Количественные модели рудных месторождений для целей прогноза, поисков и разведки» (1993 г.), применительно к месторождениям ведущих полезных ископаемых создана система взаимосвязанных по ряду характеристик моделей, концентрирующая информацию по сотням оцененных, разведанных и эксплуатируемых месторождений. Были продемонстрированы новые методические приемы построения комплексных моделей месторождений твердых полезных ископаемых, проведения геохимических, геофизических и космогеологических работ и интерпретации их результатов, а также направления оптимизации ГРП.

Вместе с тем, на конференции было отмечено:

в практике геологоразведочных работ преимущественно используются ранее созданные модели, которые требуют дальнейшего совершенствования;

недостаточно научно-поисковых работ по созданию комплексных моделей месторождений новых и нетрадиционных типов, по адаптации передовых достижений в области генезиса месторождений для совершенствования методов и технологий прогноза и поисков;

прогнозно-металлогенические построения в ряде случаев не обладают должной достоверностью и воспроизводимостью, поскольку разработанные термины и понятия используются не в полной мере, как и соответствующие методические приемы, что обусловлено недостаточной информационной преемственностью между геологами разных поколений и специалистами разных ведомств и организаций.

Участники конференции отметили актуальность и важное научно-прикладное значение конференции и поддержали решение Оргкомитета о публикации ее материалов в интересах широкой геологической общественности.

В журнале «Руды и металлы» в 2006 г. решено опубликовать доклады по моделям месторождений золота, алмазов, цветных, черных и легирующих металлов, экзогенных золотых руд, прикладной металлогении и оптимизации ГРП.

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



3/2006

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И.Ф.МИГАЧЕВ

Б.И.БЕНЕВОЛЬСКИЙ
Э.К.БУРЕНКОВ
В.И.ВАГАНОВ
С.С.ВАРТАНЯН
П.А.ИГНАТОВ
М.А.КОМАРОВ
М.М.КОНСТАНТИНОВ
А.И.КРИВЦОВ, зам. главного редактора
В.В.КУЗНЕЦОВ
Н.К.КУРБАНОВ
Е.В.МАТВЕЕВА
Г.А.МАШКОВЦЕВ
Н.И.НАЗАРОВА, зам. главного редактора
Г.В.РУЧКИН
Ю.Г.САФОНОВ
Г.В.СЕДЕЛЬНИКОВА
В.И.СТАРОСТИН



УЧРЕДИТЕЛЬ

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
Роснедра
МНР России**

Издается при участии

Международной академии минеральных ресурсов,
Фонда им. академика В.И.Смирнова

Москва ЦНИГРИ 2006

Редакция: Н.И.Назарова, Г.В.Вавилова
Компьютерный набор, верстка и оригинал-макет: Г.В.Земскова, Н.И.Назарова

Сдано в набор 06.05.06 г.
Подписано в печать 21.06.06 г.
Тираж 400 экз.

Формат 60×88 1/8
Бумага офсетная № 1
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ЦНИГРИ
Телефон: 315-28-47
Факс: 313-18-18
E-mail: tsnigri@tsnigri.ru
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

<i>Вартанян С.С., Щепотьев Ю.М., Зайцев А.И., Бедарев Н.П., Николаев Ю.Н.</i> Золоторудные месторождения нетрадиционных типов — основа укрепления сырьевой базы в районах золотодобычи Алтая	5	<i>Vartanian S.S., Shchepot'ev, Yu.M., Zaitsev A.I., Bedarev N.P., Nikolaev Yu.N.</i> Gold deposits of non-traditional types as a strengthening element of the mineral base of the Russian Altai gold-producing areas
<i>Константинов М.М.</i> Модели золоторудных месторождений новых и нетрадиционных типов	13	<i>Konstantinov M.M.</i> Models of new and non-traditional types of gold deposits
<i>Сафонов Ю.Г., Злобина Т.М., Сароян М.Р.</i> Пространственные и генетические соотношения прожилково-вкрапленного и жильного гидротермального оруденения	20	<i>Safonov Yu.G., Zlobina T.M., Saroian M.R.</i> Hydrothermal veins vs. dissemination and veinlet mineralization: Spatial and genetic relationships
<i>Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Чекваидзе В.Б., Исакович И.З., Голубев С.Ю., Данильченко В.А., Обушков А.В., Зайцева М.А., Кряжев С.Г.</i> Многофакторная модель золоторудного месторождения Наталка	34	<i>Struzhkov S.F., Natalenko M.V., Chekvaidze V.B., Isakovich I.Z., Golubev S.Yu., Danil'chenko V.A., Obushkov A.V., Zaitseva M.A., Kryazhev S.G.</i> Natalka gold deposit: A multi-factor model
<i>Григоров С.А.</i> Генезис и динамика формирования Наталкинского золоторудного месторождения по данным системного анализа геохимического поля	44	<i>Grigorov S.A.</i> Natalka gold deposit: Origin and dynamics of formation as portrayed by the systems analysis of geochemical field
<i>Ворожбенко В.Д., Григоров С.А., Кушнарев П.И., Кушнарев А.П., Маркевич В.Ю., Токарев В.Н.</i> Оценка влияния литологических и структурных факторов на распределение золота в рудах Наталкинского золоторудного месторождения	49	<i>Vorozhbenko V.D., Grigorov S.A., Kushnarev P.I., Kushnarev A.P., Markevich V.Yu., Tokarev V.N.</i> Natalka gold deposit: Estimation of lithology and structure as the gold deposition controls in ores
<i>Демченко Н.Н., Кушнарев П.И., Маркевич В.Ю., Кушнарев А.П.</i> Блочное моделирование запасов Наталкинского золоторудного месторождения и проектирование оптимального карьера	56	<i>Demchenko N.N., Kushnarev P.I., Markevich V.Yu., Kushnarev A.P.</i> Natalka gold deposit: Block modeling and optimal open-pit design
<i>Вихтер Б.Я.</i> Систематика, признаковые характеристики и обстановки локализации золоторудных месторождений в терригенных комплексах	60	<i>Vikhter B.Ya.</i> Terrigenous sequence-hosted gold deposits: Classification, characteristic evidences and ore deposition environments
<i>Курбанов Н.К., Чекваидзе В.Б., Исакович И.З.</i> Прогнозно-поисковая модель сопряжения полигенно-полихронных месторождений цветных и благородных металлов конвергентного ряда	74	<i>Kurbanov N.K., Chekvaidze V.B., Isakovich I.Z.</i> Polygenetic multicycle base and noble deposits of convergent series: The forecast-and-exploration

Минина О.В.

Модель Каульдинской рудно-магматической системы (Узбекистан) как основа прогноза и поисков эпитермальных месторождений золота

Памяти

Л.М.Алексеевой, Г.В.Земсковой, Н.М.Диянова

83

Minina O.V.

Kaul'da, Uzbekistan: The forecast-and-exploration model of a type epithermal gold deposit

In Memoriam

L.M. Alekseeva, G.V. Zemskova, N.M. Diyanov

91

УДК 553.411.04 (571.15)

© Коллектив авторов, 2006

ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ТИПОВ — ОСНОВА УКРЕПЛЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ В РАЙОНАХ ЗОЛОДОДОБЫЧИ АЛТАЯ

**С.С.Вартанян, Ю.М.Щепотьев (ЦНИГРИ Роснедра МПР России), А.И.Зайцев
(Алтайнедра МПР России), Н.П.Бедарев (ОАО «Горно-Алтайская экспедиция»),
Ю.Н.Николаев (Московский государственный университет)**

-О золотом богатстве Алтая хорошо знали античные историки и географы Геродот, Аристей Проконесский и др. Не случайно племена, населявшие в скифское время Горный Алтай, они называли «стерегущими золото грифами» [4]. По археологическим раскопкам и исследованиям древних выработок начало золотодобычи на этой территории датируется эпохой каменного и меднокаменного веков V–III тысячелетия до н.э. [5].

В первой половине XVIII в. с освоением Сибири начинается документированная история золотодобычи на Алтае. Своего пика она достигает в конце XIX – начале XX вв. В это время Алтае-Саянская провинция становится одной из основных баз золотой промышленности России. Упадок золотого промысла связывается с выработкой месторождений и необеспеченностью дальнейшей добычи геологоразведочными работами из-за переориентации горной промышленности, в основном на разработку полиметаллических руд.

За историю золотодобычи с XVIII в. до наших дней на Горном Алтае добыто чуть более 100 т золота — 35 т из россыпных, 66 т из коренных месторождений, без учета добычи попутного золота из комплексных колчеданно-полиметаллических объектов, которые в основном располагаются в Рудно-алтайской провинции.

В известных месторождениях числится 23 т запасов золота, в том числе 3,5 т в россыпях и 19,5 т в коренных скарновых месторождениях — Синюхинском (19 т), Майском (0,5 т), Оюкском (114 кг).

Серьезным фактором, сдерживающим расширение сырьевой базы во второй половине XX в., была слабая геологическая изученность Горного Алтая на золото. Выбор объектов поисков золотого оруденения не носил планового последовательного характера, и при первых же неудачах работы переносились на новые площади. Начатые поиски не доводились до логического конца, как, например, в Кульбичском, Оюкском, Мурзинском, Чойском и других зо-

лотоносных узлах. Сейчас, хотя и медленно, ситуация начинает изменяться в лучшую сторону.

В последнее десятилетие выполнены прогнозно-поисковые и поисковые работы на золото, начаты тематические исследования по обобщению материалов золотоносности территории коллективами Горно-Алтайской экспедиции, ЦНИГРИ, Сибирским филиалом РАН и ИМГРЭ. В 2002–2005 гг. на территории Северо-Алтайского золотоносного пояса проведена опережающая геохимическая съемка по потокам рассеяния м-ба 1:200 000 (общая площадь съемки 54 тыс. км², число проб 20 000), в результате которой выявлены аномальные геохимические поля в ранге рудных районов, узлов и полей. В этих работах обосновано выделение новых, нетрадиционных для Алтая, геолого-промышленных типов месторождений золота, включающих золото-сульфидные в черносланцевых и терригенно-карбонатных толщах, ассоциирующих с тонкоиглольчатым арсенипитом, ореолами сурьмы и мышьяка, золото-серебряные в вулканоструктурах девона, золото-порфиоровые в «девонских гипабиссальных» гранитоидах или их экзоконтактах. Не забыты и традиционные для Алтая золото-скарновые и жильные золото-кварцевые, золото-кварц-полисульфидные месторождения в складчатых толщах. На золото-серебряное и золото-сульфидное оруденение проведены поисковые (Чуринское, Майско-Лебедское рудные поля) или прогнозно-поисковые (Новофирсовское и Башелакское рудные узлы, Сийско-Коуринская золоторудная и Курайская золото-ртутная зоны и др.) работы, подтвердившие перспективы этих типов в экономически благоприятных условиях Горного Алтая.

В результате обобщающих работ в северной части Горного Алтая и на юге Горной Шории выделен перспективный Северо-Алтайский золотоносный пояс, имеющий особое значение для подъема золотодобычи как в Алтайском крае и Республике Алтай, так и на юге Кемеровской области.

В геологическом строении Горного Алтая участвуют в различной степени дислоцированные и метаморфизованные рифей-нижнепалеозойские вулканогенно-осадочные и кремнисто-терригенно-карбонатные отложения рамы, перекрытые вулканиками Салаирско-Алтайского девонско-каменноугольного субазального вулканоплутонического пояса (ВПП) окраинно-континентального этапа активизации раннепалеозойских структур. Магматизм носит очагово-рассеянный характер, вулканиды локализируются в пределах прогибов, часто рифтогенных, и надвиговых пластин. Начало тектономагматической активизации в Алтае-Саянской провинции приходится на ранний девон и характеризуется формированием сводовых поднятий и рифтогенных прогибов, а также подновлением древних разрывов, которые контролируют размещение крупных отрицательных структур, выполняемых вулканическими и вулканогенно-осадочными комплексами. Вулканиды с резким угловым несогласием залегают на породах основания, хотя на части территории отмечается определенная унаследованность структурного плана, выражающаяся в приуроченности полей вулканидов к крупным синклиналим зонам. С этим периодом связано формирование структур с вулканидами базальт-риолитового ряда. Ранний импульс активизации завершают гранитоиды габбро-гранит-диоритовой формации, а также дайковые комплексы, в размещении которых определяющее значение имеют системы дуговых и линейных разрывов. В участках пересечения или сочленения этих нарушений формируются интрузивно-купольные поднятия или вулканотектонические депрессии, определяющие положение месторождений золото-серебряной и других формаций.

В пределах Салаирско-Алтайского ВПП выделяются северная Рубцовско-Лебедская ($D-C_1$) и южная Коргон-Чулышманская (D_{1-2}) ветви. Северная ветвь представлена вулканидами сложнодифференцированных вулканоплутонических ассоциаций преимущественно андезит-риолитового ряда и включает все прогнозируемые золоторудные объекты. Южная сложена вулканоплутоническими ассоциациями преимущественно трахиандезит-дацит-риолитового ряда и включает известные и прогнозируемые железорудные и железо-марганцевые вулканогенно-осадочные, редкометальные, медные и полиметаллические объекты, а также вновь выявленные проявления золото-серебряного типа (Красноярской).

Северо-Алтайский золотоносный пояс шириной 90–150 км и протяженностью более 400 км охватывает север Горного Алтая и его сочленение со структурами Горной Шории. В геологическом пла-

не он совпадает с Рубцовско-Лебедской ветвью ВПП. Его ориентировка от субширотной в западной части до северо-восточной в восточном фрагменте субсогласна ориентировке геотектонических и геологических структур, претерпевших тектоническое становление в позднепалеозойско-мезозойское время в результате коллизионных и постколлизионных процессов после закрытия Палеоазиатского океана. В целом пояс приурочен к зоне резкого перегиба простирающихся структур от северо-западного и субмеридионального (алтайское направление) к северо-восточному и субширотному. Последнее характерно для геологических структур Томь-Колыванской надвигово-складчатой системы, северной части Салаирско-Бийского блока.

Для выделения Северо-Алтайского золотоносного пояса в качестве единого металлогенического подразделения могут быть использованы геотектонические и магматические критерии. Вероятно, формирование пояса явилось результатом совмещения ряда факторов, главные из которых — тектоногенные, предопределившие повышенный фон флюидного и теплового потоков.

Приуроченность Северо-Алтайского пояса к субширотной тектонической зоне, разграничивающей геоблоки с разной мощностью земной коры, — важный геотектонический критерий. Согласно имеющимся данным, мощность земной коры северного геоблока составляет 38–48 км, а южного — 48–60 км. Так же в пределах пояса ориентированы и локализованы границы геоблоков с различной глубиной залегания поверхности M и раздела гранитно-метаморфического слоя. Магматические критерии выделения Северо-Алтайского золотоносного пояса заключаются в локализации последнего в пределах распространения вулканоплутонических ассоциаций северной ветви Салаирско-Алтайского ВПП.

Оруденение золото-скарнового типа — традиционное для Алтая. Его эксплуатация начата Демидовым еще в XVIII в. (район Колывани, Змеиногорска, Мурзинки) и продолжается до настоящего времени на Синюхинском месторождении. Золото-скарновые месторождения (Мурзинское 1, Мурзинское 2, Майское, Оюкское, Синюхинское, Баяниха и др.) ассоциируют с девонскими гипабиссальными гранитоидами, располагаясь в скарнированных карбонатных породах складчатых комплексов фундамента и в наложенных менее дислоцированных терригенно-карбонатных комплексах этапа пассивной окраины (O-S). Субширотно-северо-восточная зона магматической активизации сопровождается развитием латерально сменяющих друг друга с запада на восток магматических ареалов майорского, топольнинского, усть-беловского, югалинского, кы-

зылташского габбро-диорит гранитоидных комплексов девона, совмещенных с проявлениями девонского базальт-андезит-риолитового вулканизма. Для большинства ареалов малых интрузий и интрузивных массивов данных комплексов (Топольнинского, Башцелакского, Тауракского, Макарьевского, Бирюксинского, Элекмонарского, Кубинского, Югалинского, Цыганского, Кызылташского и др.) характерна в целом такая же ориентировка. Вмещают их складчатые терригенно-карбонатные и вулканогенные формации кембрия и кембро-ордовика. По А.И.Гусеву [2], скарны имеют форму стратиформных залежей в контактах известняков, мраморов и других известковистых пород, реже лав и туфов. Мощность их варьирует от 1,5 м до нескольких сот метров. Рудные тела в скарнах образуют залежи, рудные столбы, гнезда, ленты. Все скарны относятся к типу известковых. Средние содержания золота в рудных телах варьируют от 4 до 40 г/т, меди — 0,5–2%.

Скарны формировались в несколько стадий. Наблюдаются несколько генераций гранатов, пироксенов, воластонитов, часто им сопутствует магнетит. Все исследователи отмечают очень сложный, многостадийный процесс рудообразования на Синюхинском [2, 3], Мурзинском [1] и Майском (В.Н.Санин, 2004) месторождениях с определенной последовательностью формирования метасоматитов и руд.

1. Внедрение гипабиссальных гранитоидов девонских интрузивных комплексов (Усть-Беловского, Югалинского, Топольнинского и др.) вызвало интенсивный контактовый метаморфизм вмещающих терригенно-карбонатных и вулканогенно-терригенно-карбонатных комплексов кембрия, ордовика, силура и раннего девона, выразившийся в их скарнировании и ороговиковании. Отчетливо устанавливается зональное строение скарнов: гранат-пироксеновые → гранат-эпидотовые → эпидозиты. Их формирование сопровождается развитием небольших месторождений и проявлений воластонитовой и магнетитовой минерализации.

2. В постскарновый гидротермальный этап формировалась прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация. Среди сульфидов преобладают халькопирит, пирит, борнит, халькозин, сфалерит, сопровождающиеся развитием хлорита, актинолита, эпидота, кварца и др. Эта минерализация золотоносна.

3. После образования скарнов и послескарновой гидротермальной сульфидной минерализации по системе крутопадающих разрывов происходит внедрение базитовых даек, секущих более ранние образования. С постмагматическим этапом становления девонских гранитоидов связаны протяжен-

ные зоны кварц-турмалиновых метасоматитов по гранитоидам, скарнам, роговикам и вмещающим породам. Кварц-турмалиновые ассоциации, как правило, слабо золотоносны (до 1,5 г/т). Создается впечатление, что золото в основном связано с наложенными поздними кварцевыми прожилками с пиритом, халькопиритом и золотом.

4. Наиболее поздние эндогенные образования золото-скарновых месторождений — минерализованные зоны золото-кварц-сульфидного состава, сопровождаемые гидротермальными изменениями вмещающих пород. В зависимости от состава исходных пород возникают различные типы метасоматитов: пропилиты (по скарнам, андезитам, базальтам Синюхинского и Майского месторождений), окварцевание, джеспероиды, монокварциты (по карбонатным породам месторождений Мурзинка, Оюкское), березиты (по гранитоидам Баянихи, Майского), аргиллизиты (по песчаникам, алевролитам Мурзинки). Непосредственно рудная минерализация различается не так отчетливо, как метасоматиты, скорее, обнаруживает минералогическое и геохимическое сходство. С ней связана основная золотоносность. С золотом ассоциируют пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, блеклая руда, халькозин, висмутин, некоторые теллуриды, иногда встречаются киноварь и метациннобарит (Мурзинка), что побудило А.С.Борисенко [1] отнести рассматриваемое месторождение к золото-медно-ртутной формации.

Золотая минерализация, наложенная на скарны, многие годы служила основной базой золотодобычи. В последние годы аналогичная минерализация, проявленная в нетрадиционной геологической ситуации, стала предметом разведки и опытной добычи. На Мурзинке четвертый год способом кучного выщелачивания обрабатывается золотоносная залежь аргиллизитов в алевропесчанистой толще на участке Рудный Лог со средним содержанием Au 1,5–2 г/т. На Майском месторождении при поисках выявлен участок Правобережный с жильно-прожилковой золото-кварц-сульфидной минерализацией в кварц-серицитовых и березитовых метасоматитах со средним содержанием Au 3 г/т на 29 м мощности.

На Синюхинском месторождении в ассоциации с золото-скарновым орудуением наблюдаются золото-сульфидно-кварцевые штокверки (месторождение Черемуховая сопка, рудопроявления Чир, Котловское и др.), представленные густой сетью тонких прожилков на площади (1500–300)×(50–300) м. Из сульфидов преобладают пирит двух-трех генераций, халькопирит, борнит, пирротин, реже сфалерит, кобальтин. На месторождении Черемуховая сопка золото присутствует в тонкодисперсной форме (5–

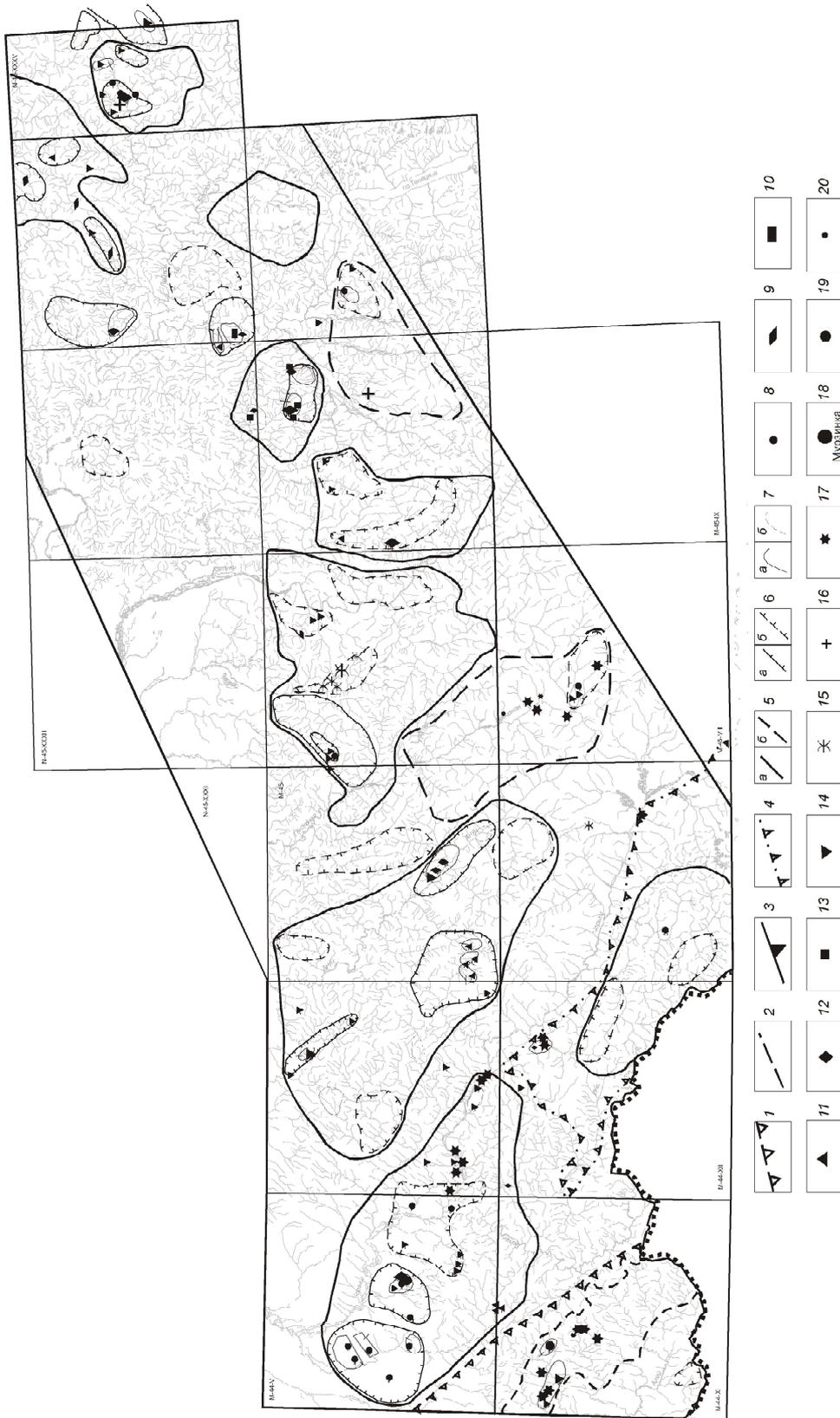


Рис. 1. Схематическая карта прогноза на золото Северо-Алтайского золотоносного пояса:

границы: 1 — Рудноалтайской провинции, 2 — полиметаллического района; 3 — Северо-Алтайский золотоносный пояс; 4 — Коргон-Чулышманская металлогенетическая зона; границы: 5 — золотоносных районов (а), в том числе прогнозируемых (б), 6 — золотоносных узлов (а), в том числе прогнозируемых (б), 7 — золоторудных полей (а), в том числе прогнозируемых (б); рудно-формационные типы месторождений: 8 — золото-серебряный, 9 — золото-сульфидный, 10 — золото-редкометалльный, 11 — золото-кварцевый, 12 — золото-скарновый, 13 — золото-порфировый, 14 — золото-сульфидно-кварцевый; месторождения разных формаций: 15 — ртути, 16 — меди, 17 — полиметаллические и свинцово-цинковые; проявления золота: 18 — месторождения, 19 — рудопроявления, 20 — точки минерализации; арабскими цифрами обозначены металлогенетические таксоны — см. таблицу

Перечень металлогенических таксонов

Рудный район	Рудные узлы, зона <i>Рудноалтайская провинция</i>	Рудное поле
1. Змеиногорский	1.03. Верхнеалейский прогнозируемый <i>Алтае-Саянская провинция</i>	1.01. Змеиногорское 1.02. Черепановское
2. Чарышский золотonosный	<i>Северо-Алтайский золотonosный пояс</i> 2.1. Новофирсовский золотonosный 2.2. Мурзинский 2.3. Чарышский	2.1.1. Новофирсовское (Сурич) 2.1.2. Верболод 2.1.3. Курьинское 2.2.1. Мурзинское
3. Агуйский золотonosный	3.1. Верхнемаралухинский прогнозируемый золотonosный 3.2. Слодянско-Уржумская золоторудная 3.3. Соловьишинский прогнозируемый золотonosный 3.4. Башелакский золотonosный 3.5. Топольнинский золотonosный 3.6. Каракольский прогнозируемый золотonosный	2.0.1. Гулатинское прогнозируемое (вне узла) 3.2.1. Слодянское 3.4.1. Куртачихинское 3.4.2. Центральное 3.4.3. Потаихинское 3.5.1. Байнахиинское 3.5.2. Черноауинское прогнозируемое 3.07. Сосновое прогнозируемое (вне узла) 3.08. Верхнекалмаковское прогнозируемое (вне узла)
5. Верхнепесчанский прогнозируемый золотonosный	4. Быстринский прогнозируемый золотonosный (вне района) 5.1. Верхнекудатынский прогнозируемый золотonosный 6.1. Баранчинский золотonosный 6.2. Сарасинская прогнозируемая золоторудная 6.3. Каячинский прогнозируемый золотonosный 6.4. Катунский прогнозируемый золотonosный 7.1. Вирульская прогнозируемая золотonosная 7.2. Караторбокский прогнозируемый золотonosный 8.1. Ишинский прогнозируемый золотonosный 8.2. Синюхинский золотonosный	6.1.1. Баранчинское 8.2.1. Синюхинское 8.2.2. Ашпанское прогнозируемое 9.1.1. Чуриновское прогнозируемое 11.1. Ульшинское 11.2. Ульменское 12.1.1. Усть-Бавинское 12.1.2. Чойское
6. Каимский золотonosный	9.1. Чуриновский прогнозируемый золотonosный 10.1. Кажинский прогнозируемый золотonosный (вне района) 11.1. Ульшинский золотonosный (вне района)	
7. Элекмонарский золотonosный	12.1. Верхнебийский прогнозируемый золотonosный (вне района)	
8. Синюхинский золотonosный		
9. Пыжнинский прогнозируемый золотonosный		
13. Клыкский золотonosный	14.1. Лебелдский прогнозируемый золотonosный (вне района) 15.1. Сиинская золоторудная 15.2. Коуринский золотonosный 15.3. Чугунинский золотonosный 16.1. Майко-Андобинский золотonosный 16.2. Викторьевский золотonosный 16.3. Талонский золотonosный 17.1. Мрасский золотonosный <i>Коргон-Чулымская металлогеническая зона</i>	
15. Кондомский золотonosный		
16. Каурчакский золотonosный	18.1. Коргонский прогнозируемый золотonosный 18.2. Коксуйский прогнозируемый золотonosный	

20 мкм), преимущественно в периферической зоне кристаллов, редко до 0,5 мм в кварце III генерации и в халькопирите. Перспективы этого нетрадиционного для Алтая оруденения золото-порфирирового типа в пределах Синюхинского рудного узла превышают ресурсы золото-скарнового.

На Оюкском золото-скарновом месторождении выявлен новый нетрадиционный тип — «залежь кварцитов» мощностью 3 м, протяженностью 250 м со средним содержанием Au 2,5 г/т. Вторичные кварциты рассечены маломощными прожилками и гнездами халькопирита, борнита, пирита и золота. Кроме того, повышенные содержания Au (3,2–6,2 г/т) связаны с интенсивно мраморизованными и пиритизированными известняками с тонким золотом. Среди мраморизованных девонских известняков кварцевые жилы мощностью 0,5–1,1 м содержат пирит, халькопирит, золото (9,5 г/т). В окварцованных известняках содержания Au достигают 18 г/т.

В целом все золото-скарновые рудные поля слабо опоскованы на нетрадиционный (не скарновый) тип золотого оруденения и требуют постановки специализированных поисков. Проявление весьма разнообразной золоторудной минерализации характерно не только на золото-скарновых рудных полях, но и в большинстве известных и прогнозируемых золотоносных районов и узлов Горного Алтая.

Анализ геологического строения и вещественного состава выявленных проявлений золотого оруденения с учетом результатов геохимических съемок позволяет прогнозировать на перспективных золотоносных площадях определенные геолого-промышленные типы золоторудных месторождений (рис. 1).

Среди новых нетрадиционных для Алтая объектов обращают на себя внимание месторождения золото-серебряного типа, связанные с Салаирско-Алтайским вулканоплутоническим поясом (Курьинское, Сурич, Черепановское, Чуринское, Рудный Лог и др.). Лучше других изучен Новофирсовский золотоносный узел в Чарышском районе. Здесь золото-серебряное оруденение локализовано в многожерловой вулканотектонической структуре центрального типа на границе со структурами Рудного Алтая. Узел сложен породами девонской вулканоплутонической ассоциации (вулканиды андезит-дацит-риолитового ряда куяганского комплекса и гранитоиды диорит-гранитового ряда усть-беловского интрузивного комплекса). Непосредственно рудные поля локализуются близ экстрезивных и эруптивных центров в зонах гидротермально измененных пород.

Новофирсовское рудное поле (площадь около 120 км²) расположено в центре и северном секторе

одноименной вулканотектонической структуры, представляющей собой клиновидный грабен на склоне вулканического сооружения. Оруденение приурочено к образованиям андезит-дацит-риолитового комплекса девона близ жерлово-экстрезивных и субвулканических тел риодацитов. Вмещающие породы (лавы, туффиты, туфопесчаники и др.) подвергнуты интенсивным низкотемпературным гидротермальным изменениям с образованием аргиллизитов (иногда алуниносодержащих), адуляр-серицит-кварцевых метасоматитов, березитов, пропицитов. Рудное поле характеризуется слабоаномальным магнитным полем с концентрической зональностью относительно центра поля, сложенного субвулканическими риодацитами. Комплекс пород, слагающих вулканоструктуру, по отдельным картировочным скважинам прослеживается и далее на север под чехлом рыхлых неоген-четвертичных отложений, мощность которых достигает 50–90 м.

Наиболее благоприятные рудо локализирующие структуры — узлы сочленения разломов северо-восточного и северо-западного простираний, оперяющих северо-восточную зону смятия. Здесь метасоматиты интенсивно брекчированы, пронизаны густой сетью разноориентированных прожилков с вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализацией, содержащей золото.

Рудная минерализация представлена золото-кварц-адулярными агрегатами колломорфно-полосчатой текстуры с халцедоновидным кварцем и пиритом с редкой вкрапленностью галенита, халькопирита, сфалерита, блеклой руды, золота и других более редких минералов.

По результатам поисковых работ на рудном поле выделены 23 минерализованные зоны метасоматитов с золото-серебряным оруденением. Протяженность их варьирует от 0,4 до 3,5 км, а площадь — от 0,01 до 0,5 км². Общая площадь минерализованных зон 2,9 км². Наиболее детально изучена рудная зона 1, залегающая в северном экзоконтакте жерлово-экстрезивного тела риолитов куяганского комплекса среднего девона (рис. 2). Протяженность ее в широтном направлении 2,3 км при ширине от 50 до 200 м, площадь 0,2 км². В центральной части зоны (участок Сурич) руды вскрыты на глубину до 5 м опытным карьером размером 120×60 м и прослежены на 450 м канавами, а на глубину до 230 м буровым скважинами. Зона сложена вулканогенно-осадочными и вулканическими породами куяганского комплекса (туффиты, туфогенные песчаники, лавы андезитов, дацитов, риолитов и их туфы). Вмещающие породы интенсивно изменены с образованием кварц-адуляр-серицитовых метасоматитов и аргиллизитов. Общее падение пород южное под уг-

лом 50–75°. По простиранию они образуют выпуклый на северо-запад флексуорообразный изгиб. Особое место в геологическом строении участка занимают тела монокварцитов. Они имеют линзообразные и эллипсоидные объемные формы и залегают среди дацитов и их туфов. Наибольшее скопление кварцитов приурочено к синформной части флексуорообразного изгиба пород протяженностью 150 м, где они занимают около 10% площади. Тела кварцитов часто пронизаны тонкими прожилками халцедоновидного кварца и обогащены золотом и серебром. Самородное золото тонковкрапленное, размер его 0,01 мм и менее. Проба золота в кварце 710–730, в пирите 680. В зоне окисления встречаются золоти-

ны высокой пробы 920–990. Породы и рудная минерализация повсеместно подвергнуты поверхностному гипергенезу с образованием структурной коры выветривания мощностью от 5–10 до 70–90 м.

При поисках по многочисленным рудным сечениями определена мощность рудных тел от 1 до 30 м со средним содержанием Au 2,78 г/т и Ag 6,3 г/т. В 2005 г. более детальными поисково-оценочными работами компании «Бурятзолото» уточнено среднее содержание Au в руде — 6,7 г/т.

Сходное по вещественному составу рудное поле Верблюд располагается в центральной части Новофирсовского узла и сложено вулканическими и субвулканическими фациями девонского куйган-

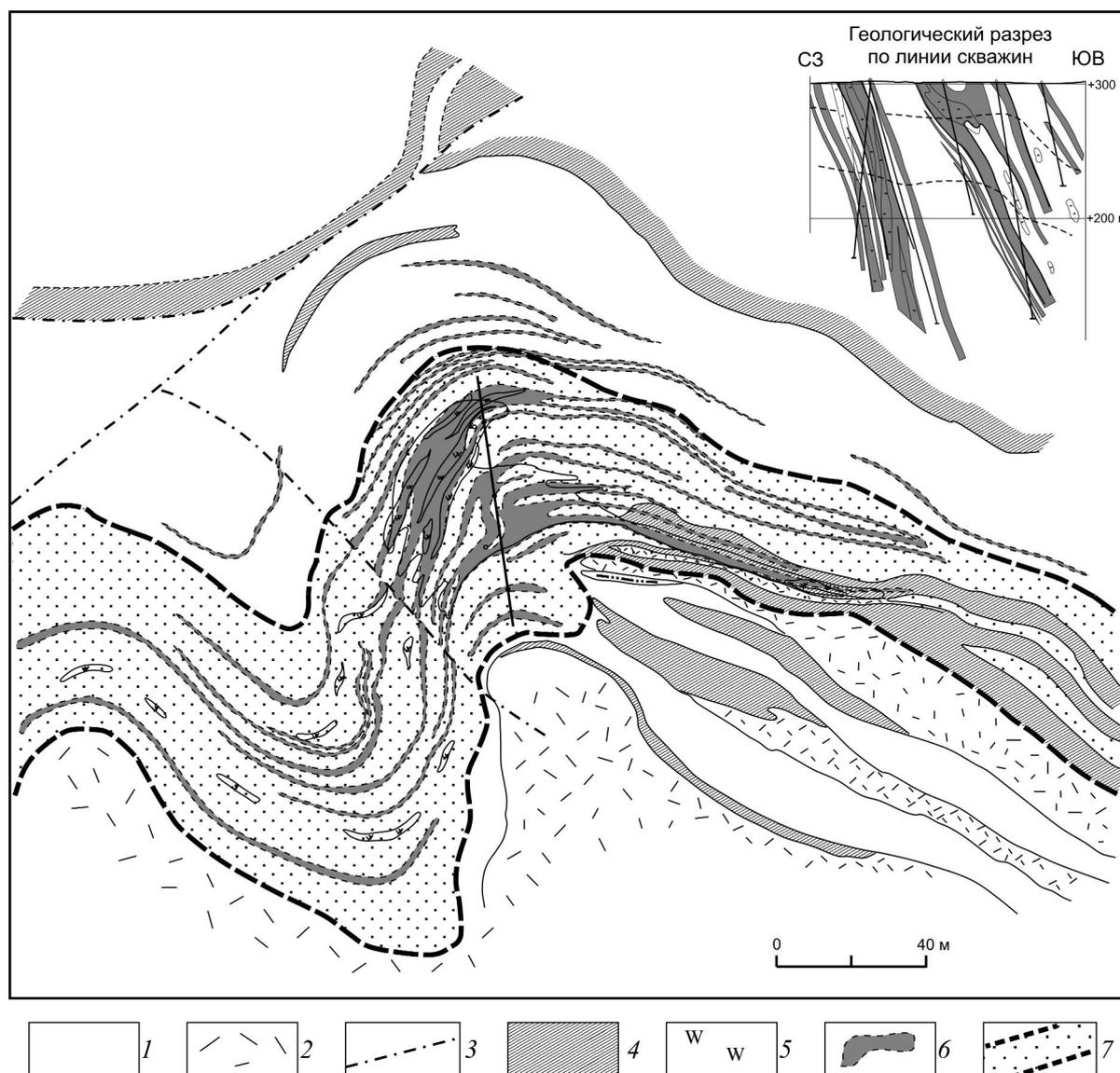


Рис. 2. Схематическая геологическая карта рудопроявления Сурич:

1 — туфы, туфогенные песчаники, алевролиты; 2 — экструзивные риолиты; 3 — разломы; 4 — кварц-серицитовые метасоматиты; 5 — монокварциты; 6 — рудоносная зона кварц-адуляр-гидрослюдистых метасоматитов с прожилковым окварцеванием; 7 — рудные тела

ского комплекса. Породы разбиты серией северо-восточных разрывов, выраженных зонами брекчирования, пиритизации и окварцевания мощностью от 80 до 150 м. К разломам также тяготеют дайки и небольшие экстрезивные штокообразные тела ультракислых риолитов, относящиеся к наиболее поздним фазам магматизма Новофирсовской вулканоструктуры.

Брекчированные породы пронизаны сетью кварцевых прожилков с неравномерно распределенной (от 1 до 10%) вкрапленностью, реже шпиро- и гнездообразными скоплениями лимонитизированного пирита. На отдельных участках штокверка кварцевые прожилки составляют 10% объема брекчированной породы. Повсеместно наблюдаются охры и черные пленки оксидов железа и марганца. В швах разломов встречаются тела монокварцитов, кварц-адуляр-серицитовых метасоматитов мощностью в первые метры. В брекчированных и окварцованных риолитах содержания Au 1–5 г/т.

Курьинское рудное поле размещается в субширотном грабене на южном склоне Новофирсовской вулканоструктуры. С юга оно ограничено Семеновской зоной сбросов. Рудовмещающие породы представлены вулканитами и жерловыми фациями девонского кюяганского комплекса андезит-дацит-риолитовой формации. В центральной и юго-восточной частях рудного поля породы интенсивно изменены до аргиллизитов и кварц-адуляр-серицитовых метасоматитов с неравномерным жильно-прожилковым окварцеванием, несущим золото-серебряное оруденение. Аномальное геохимическое поле характеризуется золото-серебряной с мышьяком и сурьмой геохимической ассоциацией, имеющей ранжированный ряд химических элементов (Au, As)₁₀₀(Ag, Pb, Cu)₅Sb₃. При заверке геохимических аномалий вскрыты зоны жильно-прожилкового окварцевания мощностью 8,5 м с содержанием Au 0,12–3,6 г/т и прожилково-вкрапленной минерализации мощностью 16,4 м со средним содержанием Au 20,2 г/т. Вскрытые бурением на глубине до 110 м золоторудные тела характеризуются средним содержанием Au 3,3 г/т. Содержание серебра обычно в 2–3 раза больше. Аналогичные по вещественному составу метасоматиты и золото-серебряная минерализация встречены на участках Каменный колодец, Придорожный и др.

На площадях Сарасинская, Баранчинская, Верхнепесчанская в поле развития среднепалеозойских терригенно-карбонатных толщ этапа пассивной окраины установлены проявления ртути, ртутистого золота в аллювии водотоков, а также литогеохимические аномалии Sb, As и малококонтраст-

ные — Au, перспективные на выявление золото-сульфидного оруденения карлинского типа.

В ходе изучения Синюхинского рудного поля за счет средств недропользователя (рудник «Веселый»), кроме традиционного золотого оруденения в скарнах, обнаружены проявления крупнообъемного золото-порфирового прожилково-вкрапленного оруденения в связи с гипабиссальными гранитоидами позднего девона на участках Черемухова сопка, Чир, а также на соседних рудных полях Синюхинского узла (Ашпанак, Ишинское).

В пределах Северо-Алтайского пояса сосредоточены все запасы и почти все прогнозные ресурсы золота Горного Алтая. Запасы коренного золота разведаны на месторождениях только золото-скарнового типа — Синюхинском, Оюкском и Майском. На последнем запасы золота в количестве 0,5 т сняты с баланса запасов.

В соответствии с проведенным металлогеническим районированием территории Северо-Алтайского пояса (см. рис. 1) определены перспективы обнаружения новых золоторудных объектов перечисленных геолого-промышленных типов в пределах 19 известных и 17 прогнозируемых рудных узлов, а также в четырех рудных полях, расположенных за их пределами. Первоочередными для постановки поисковых работ на золото являются Баранчинский, Каурчакский и Кажинский рудные узлы, а также Сосновое рудное поле и Курмировский район. Ко второй очереди отнесены Верхнепесчанский и Клыкский районы, Верхнемаралихинский, Караторбокский узлы, Верхнекалманковское поле.

Прогнозные ресурсы золота на территории Северо-Алтайского пояса по месторождениям различных геолого-промышленных типов распределены следующим образом:

- золото-сульфидным в терригенно-карбонатных и черносланцевых толщах (категории P₂+P₃) — 325 т;
- золото-серебряным в связи с девонско-каменноугольным вулканоплутоническим поясом (категории P₁+P₂+P₃) — 205 т;
- золото-порфировым в связи с гипабиссальными гранитоидами девона (категории P₂+P₃) — 131 т;
- золото-скарновым (категории P₁+P₂+P₃) — 57 т;
- золото-кварц-полисульфидным (категории P₂) — 10 т.

Таким образом, суммарные прогнозные ресурсы золота категорий P₃+P₂+P₁ Северо-Алтайского пояса в настоящее время оцениваются в 728 т, что определяет его высокие перспективы при реализации направлений геологоразведочных работ и в конечном итоге важное значение в подъеме золотодобычи Алтая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисенко А.С., Наумов Е.А., Оболенский А.А.* Типы золото-ртутных месторождений и условия их образования // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. С. 342–354.
2. *Гусев А.И.* Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Томский политехнический ун-т, 2003.
3. *Лузгин Б.Н.* Поздние дайки Синоухинского рудного поля (Горный Алтай) // Изв. вузов. Сер. геология и разведка. 1993. № 5. С. 92–99.
4. *Руденко С.И.* Культура населения Центрального Алтая в скифское время. – М.-Л., 1960.
5. *Уманский А.П.* К вопросу о добыче и использовании золота на Алтае в древности // Золото Алтая: история и современность (Мат-лы научно-практической конференции). Барнаул, 1995.

УДК 553.411

© М.М.Константинов, 2006

МОДЕЛИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НОВЫХ И НЕТРАДИЦИОННЫХ ТИПОВ

М.М.Константинов (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Обращение к опыту зарубежных стран, в первую очередь США, Канады, Австралии, Китая, где выявлены, оценены и вовлечены в промышленное освоение значительные по масштабам месторождения новых и нетрадиционных типов, представляется перспективным для решения задачи воспроизводства минерально-сырьевой базы золота России с учетом значительного разнообразия исходных геологических обстановок: от древних зеленокаменных поясов в архейско-протерозойских блоках до третичных вулканоплутонических поясов Тихоокеанской окраины.

Среди месторождений подвижных поясов наиболее актуальны поиски золото-кварцевых месторождений типа Бендиго (Южная Австралия). Месторождения этого типа, в основном отработанные в начале прошлого века, благодаря своим масштабам (добыто около 650 т Au), высоким содержаниям металла и простой технологии обогащения руд, представляют весьма привлекательный прототип для поисков. На юге Австралии месторождения локализованы в песчано-глинистых толщах (турбидитах) девонского возраста и в региональном плане контролируются системой синклиналий и разломами близмеридионального простирания. В последние десятилетия на глубоких горизонтах рудного поля Бендиго вскрыты слепые стратиформные залежи многоярусного строения [6], что значительно увеличивает перспективы этого региона.

Изучение однотипных, хотя и небольших по масштабам, месторождений Дуэт-Бриндакитской группы в Южном Верхоянье позволило установить их приуроченность к турбидитовым песчано-глинистым образованиям, продуктивному верхнекаменноугольному–нижнепермскому стратоемкости и обосновать их гидротермально-осадочно-метаморфический генезис. Общие признаки месторождений этой группы: приуроченность к турбидитовой формации; контроль синклиналиями прогибами и продольными разломами; конформное многоярусное строение рудных залежей; существенно кварцевый состав легкообогащаемых рудных тел со свободным золотом.

Работами И.С.Гольдберга, Г.Я.Абрамсона и В.Л.Лося [1] на рудном поле Бендиго доказано наличие широких ореолов выноса золота из вмещающих пород (рис. 1), что может служить обоснованием метаморфогенной природы руд расположенных там месторождений. Огромные территории Северо-Востока России, включая Якутию, Магаданскую область и Чукотку, а также протерозойский комплекс Ленской провинции перспективны, в первую очередь, на выявление крупных стратиформных золото-кварцевых месторождений.

Другую значительную группу составляют крупнообъемные или крупнотоннажные месторождения прожилково-вкрапленных руд. Большое значение имеют месторождения группы Карлин (штат Невада, США).

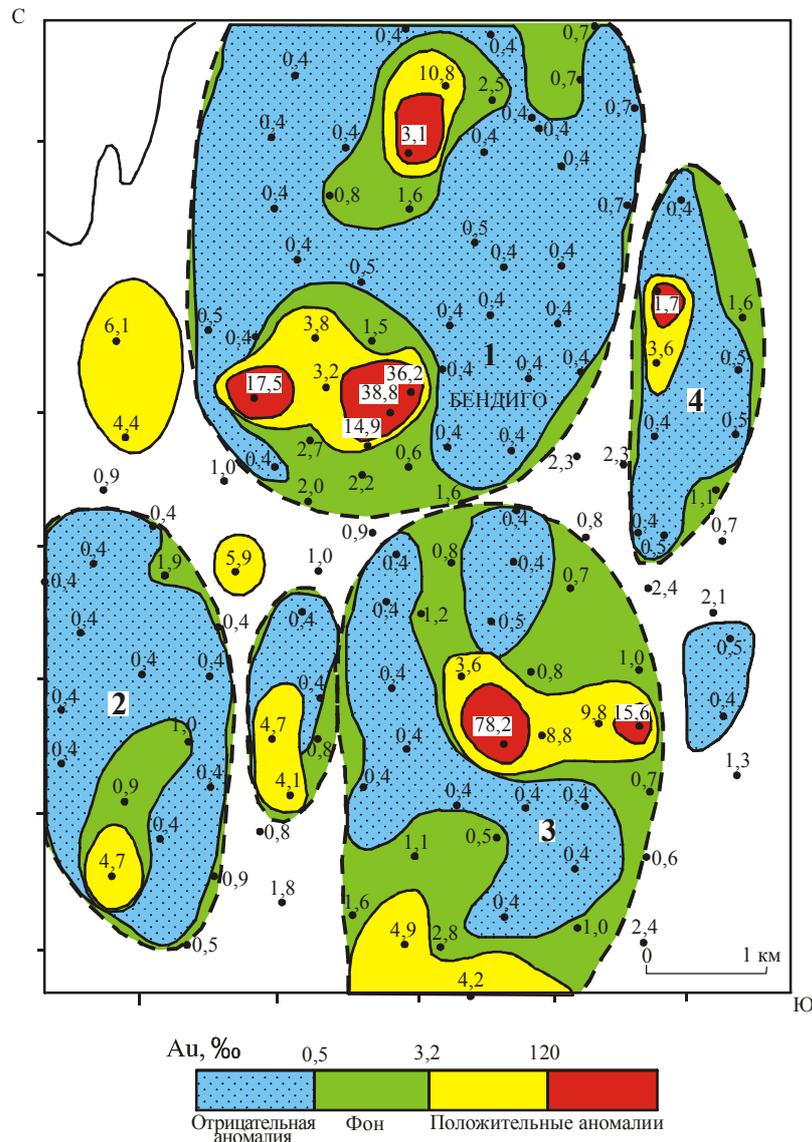


Рис. 1. Распределение концентраций золота в породах в районе месторождения Бендигго, по И.С.Гольдбергу и др., 2004:

геохимические системы минеральных отложений: 1 — Бендигго, 2 — Малдон, 3 — Калсмайн-Миртл-Крик, 4 — Фостервилль

Основными прогнозно-поисковыми критериями и признаками оруденения карлинского типа можно считать: положение в зоне сопряжения эв- и миогеосинклинальных структур (пассивная континентальная окраина), осложненных валлообразным поднятием (возможно, форма проявления глубинного разлома); приуроченность к известковисто-глинистым фациям флишoidных и турбидитовых комплексов; приуроченность к приподнятым блокам, по которым рудовмещающая толща выводится на поверхность; наличие горизонтов декарбонизации и окварцевания, иногда безрудных в «че-

хольных» частях, развивающихся по мергелистым и доломитовым горизонтам; выделения в трещинках реальгара, аурипигмента и углеродистого вещества.

О генезисе месторождений карлинской группы в публикациях американских геологов высказаны разнообразные гипотезы, и, скорее всего, эти месторождения полигенны. Однако после личного ознакомления и изучения литературных материалов для большой группы крупнообъемных месторождений с прожилково-вкрапленными рудами и низкими содержаниями металла автору наиболее вероят-

ной представляется осадочная или гидротермально-осадочная модель рудообразования [2].

Намечено три этапа формирования руд: накопление первично-осадочных или гидротермально-осадочных руд вдоль зоны глубинного разлома, разделяющего мегаструктуры с эв- и миогеосинклинальным режимом развития; возможно, одновременное формирование в рудоподводящих разломах богатых крутопадающих залежей, таких как месторождение Мейкл; внедрение в ларамийское время вдоль этой зоны интрузивных штоков и частичная перегруппировка рудного вещества с образованием небольших золото-скарновых месторождений; образование в третичное время протяженных зон трещиноватости северо-западного простирания, диагональных простирания (тренды Карлин и Кортес), и формирование мощных зон аргиллизитов с наложенной ртутно-сурьмяной минерализацией, сопровождающейся переотложением золота вдоль зон метасоматоза и их частичным обогащением.

Дополнительные материалы по месторождениям карлинского типа в Центральном Перу (район Варикоча) [3] показывают, что на них могут отсутствовать типичные для штата Невада мощные зоны аргиллизитов с киноварно-реальгарной ассоциацией и, вероятно, регенерированным золотом. Минерализация кварца, родохрозита, пирита, кальцита, серицита и барита сосредоточена в трубообразных телах среди верхнемеловых углеродистых известняков вблизи третичных монзонитовых штоков. Содержания Au около 3 г/т (отношение Ag/Au около 2,5), Te 4 г/т, Mo 12 г/т, Cu 0,1–0,2%. Ресурсы месторождения оцениваются в 200 т Au. Наличие углеродистых фаций известняков и экзоконтактные ореолы монзонитовых интрузий становятся в данном случае основными поисковыми критериями.

В качестве основного метода поисков эффективна геологическая съемка, однако для выявления неэродированных частей рудоносной формации необходимы поисковое бурение и специальные палеотектонические и литолого-фациальные реконструкции.

Заслуживает внимания месторождение Гаогун на юге Китая (провинция Гуангдун), представленное серией зон милонитов в протерозойской толще слюдяных сланцев и гнейсов (рис. 2, 3). Зоны милонитов имеют мощность около 40 м, протяженность 450 м и крутое падение. В них развита прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация, связанная с этапом наложенных и, как подчеркивают исследователи этого месторождения [4], хрупких деформаций. Прожилки имеют прерывистый характер, а размер вкраплений сульфидов, среди которых преобладает халькопирит, колеблется в пределах 0,05–0,005 мм. Содержание Au в оруденелых милонитах, являющихся в настоящее время объектом отработки, от 1 до 73 г/т. В то же время, около половины всего объема милонитов не минерализованы, что подтверждает наложенный характер золото-сульфидной минерализации. Процессы выветривания способны замаскировать выходы на поверхность оруденелых милонитов, которые могут быть пропущены даже в хорошо изученных золоторудных районах, в связи с чем это месторождение и представляет интерес как возможный объект для поисков.

Поиски подобных месторождений также могут оказаться эффективными в разнообразных обстановках развития интенсивных разрывных дислокаций, связанных с тектоническим сжатием, свойственным позднеорогенным или позднеколлизийным этапам развития территорий.

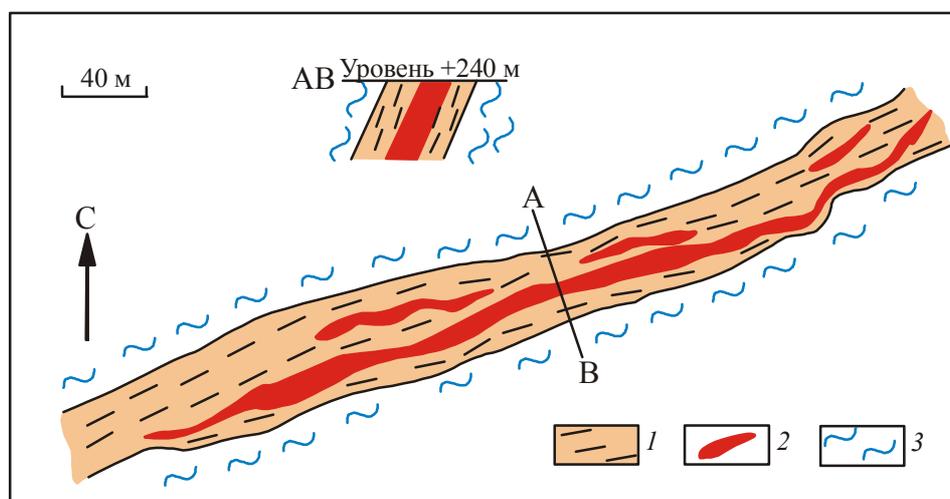


Рис. 2. План и разрез через рудное тело месторождения Гаогун, по [4]:

1 — милонит; 2 — рудные тела; 3 — слюдяные сланцы и гнейсы

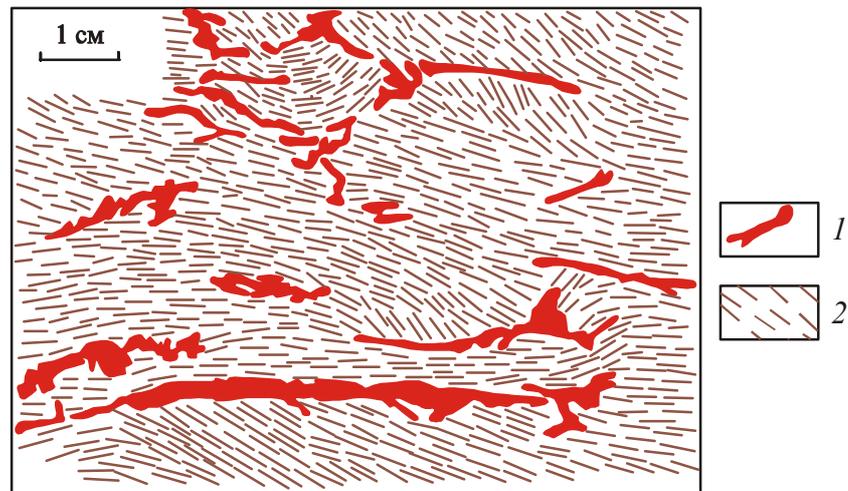


Рис. 3. Распределение золотоносных сульфидных прожилков в зоне милонитов, по [4]:

1 — сульфидные прожилки; 2 — сланцеватость милонитов

Вулканоплутонические пояса, включая древние зеленокаменные трогги, сложенные существенно базитовыми, андезит-риолитовыми или риолит-гранит-порфировыми комплексами, имеют значительные перспективы для выявления новых типов месторождений. Так, золоторудное месторождение Хемло в Канаде — одно из крупнейших в мире. Запасы его превышают 600 т Au при средних содержаниях около 8 г/т (рис. 4). Геологическая позиция определяется приуроченностью к метавулканическому поясу Херон-Бей (возраст 2,6–2,8 млрд. лет), составляющему южную часть зеленокаменного пояса Абитибби. Минерализация приурочена к южному погружению синклинали Хемло. Стратиграфические вулканогенно-осадочные комплексы амфиболитовой фации включают формации: Кеч-Лейк — основные и средние вулканиты; Рул-Лейк — перемежающиеся метаосадочные породы, обогащенные серицитовыми, пелитовыми и магнетитовыми компонентами; Муз-Лейк — рудоносная, заключающая фельзитовые вулканокласты, порфириды и метаосадки; Цедар-Лейк — кластические метаосадки, непосредственно перекрывающие рудные тела. Рудные тела протягиваются более чем на 2200 м при мощности от 3 до 40 м (средняя мощность 20 м); по падению оруденение прослеживается более чем на 2500 м.

Среднее отношение Au/Ag в рудах 4:1. Пирит составляет примерно 6% объема рудных тел в виде субгидральных и эвгидральных зерен до 3 мм в диаметре, образующих слои полумассивного агрегата мощностью до 1 м. Барит присутствует в виде массивных слоев или единичных крупных зерен в си-

ликатной массе, молибденит — в виде рассеянных зерен размером от 0,024 до 0,5 мм. Золото преимущественно ассоциирует с молибденитом и вкрапленным пиритом в виде очень мелких свободных выделений по границам зерен кварца и в трещинках в грубозернистом пирите. Углеродистый материал пропитывает мусковит или выделяется по границам его зерен.

Наиболее вероятен (по А.Д.Щеглову) гидротермально-осадочный генезис оруденения в связи с проявлениями кислого вулканизма, о чем свидетельствуют стратиформный характер рудных залежей, переслаивание рудных тел с туфами, слоистые текстуры руд, изотопный состав серы рудных баритов, аналогичный составу серы из заведомо осадочных баритов района. В то же время, тесная ассоциация молибдена с золотом напоминает месторождения порфирового типа. Модель образования месторождения базируется на представлениях о формировании стратиформных осадочно-гидротермальных руд в мелководном морском бассейне архейского возраста, возможно, обогащенном сероводородом в связи с проявлением кислого субмаринного вулканизма, а также о последующем многократном метаморфизме, приводящем к перекристаллизации мелкозернистых руд, их брекчированию и частичной регенерации в пределах первично обогащенных прослоев пород определенного состава. Возможно более позднее наложение реалгар-аурипигментовой минерализации.

Формирование месторождения охватывало длительный (более 200 млн. лет) временной интервал, в течение которого сопряженно развивались

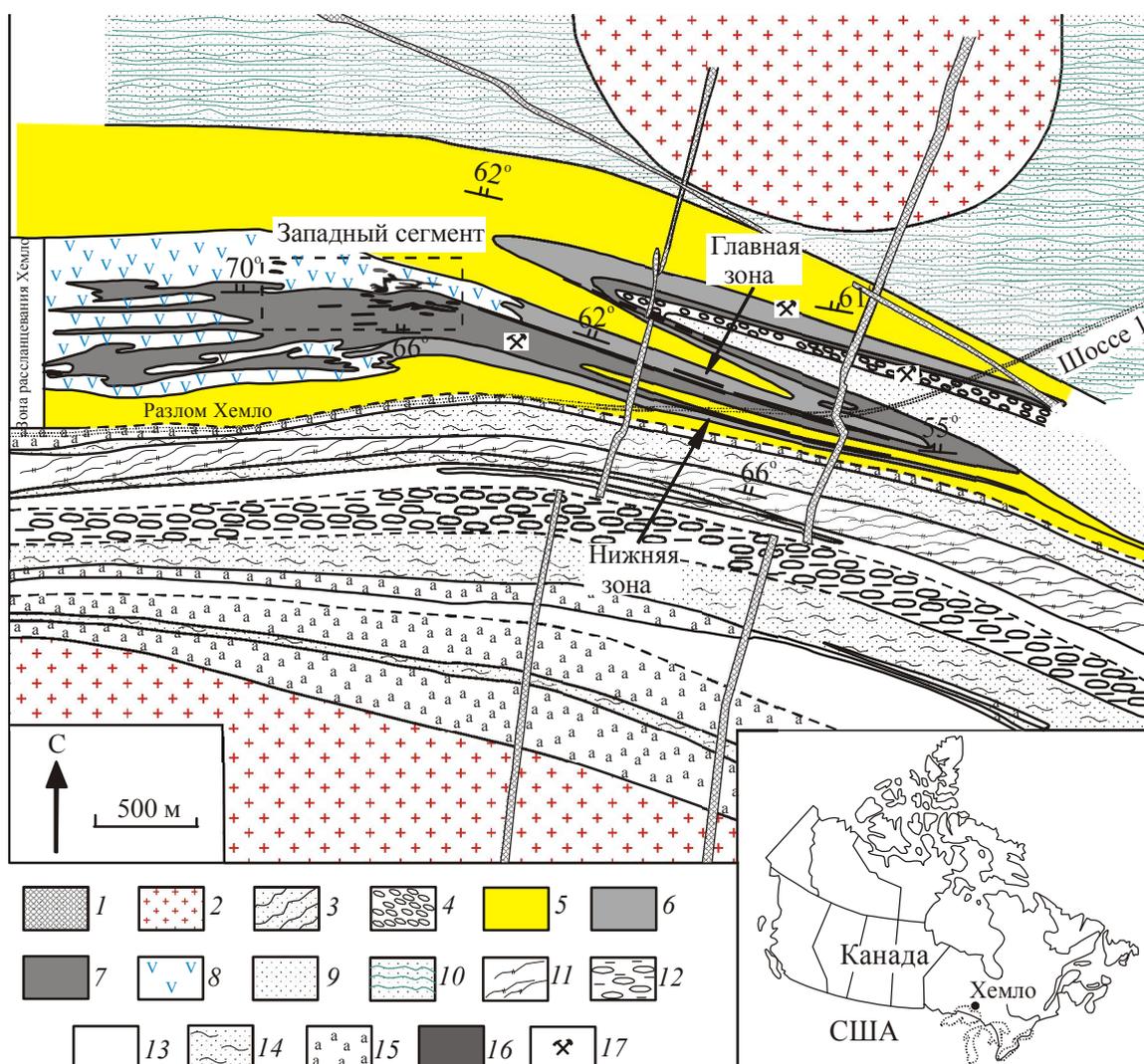


Рис. 4. Геологическая карта района месторождения Хемло, по [8]:

интрузивные породы: 1 — диабазовые дайки, 2 — фельзитовые интрузии; супракрустальные породы к северу и внутри зоны расщепления Хемло: 3 — куммингтонитовые сланцы, 4 — гравелиты, 5 — верхние граувакки, магнетитовые пласты, 6 — порфиры Муз-Лейк, 7 — кальциево-силикатные вакки, 8 — вулканокластические породы с пропластками фельзитов, 9 — вулканокластические породы и мафитовые вакки, 10 — мафитовые метавакки, метааргиллиты; супракрустальные породы к югу от зоны расщепления Хемло: 11 — метапелиты и метаграувакки, 12 — метакогломераты, 13 — фельзитовые сланцы, 14 — мафитовые вакки, 15 — амфиболитовые гнейсы; 16 — проекция минерализации с глубины; 17 — рудники

процессы магматизма, метаморфизма, тектонических дислокаций и рудообразования. Необычное сочетание золотой, молибденовой и ртутной минерализации косвенно свидетельствует о возможной многоэтапности рудообразования, что характерно для крупных рудных концентраций.

Вряд ли будет правильным «замыкать» формирование этого уникального месторождения только на докембрийской металлогении. Наличие субмаринных и даже субаэральных обстановок с разви-

тием риолитового вулканизма открывает широкие возможности прогноза и поисков подобных месторождений в России.

Расположенное в третичных вулканитах юго-запада США (штат Невада) месторождение Раунд Маунтин отличается гигантскими размерами. При среднем содержании Au 1,2 г/т оно заключает 300 т Au и обрабатывается открытым способом с обогащением руд методом кучного выщелачивания. Ежегодно перерабатывается около 12 млн. т руды. Вмещают ру-

ды олигоценые туфы мощностью около 300 м, слагающие кальдерный комплекс. Покровы пепловых туфов с несогласием налегают на палеозойские кварциты, углеродистые аргиллиты, сланцы и известняки, меловые шошонитовые граниты, среднекислые интрузии эоцена – олигоцена и среднеолигоценые туфы. Рудовмещающий комплекс, слагающий кальдеру, имеет возраст 27,2–23,5 млн. лет, непосредственно рудовмещающие туфы — 26,7 млн. лет. Возраст оруденения, определенный калий-аргоновым методом, от 25,1±8,8 до 26,6±0,6 млн. лет.

Линзообразные рудные зоны, отрабатываемые карьером, погружаются к северо-западу. Они представлены густой сетью золотоносных кварцадуляр-пиритовых жил, прожилков и гнезд различной ориентировки. Отношение Ag/Au в рудах составляет от 1:1 до 10:1. Рудные зоны локализованы преимущественно в пористых туфах, где они образуют стратифицированную рудную залежь мощностью до 150 м, заключающую основные запасы месторождения. Основной рудный минерал — золотоносный пирит; золото фиксируется в тонких трещинках и в виде включений. В качестве редких минералов установлены теллуриды золота и серебра, сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин, тетраэдрит, пираргирит, арсенопирит, марказит, реальгар. На глубине 200–300 м от поверхности развита зона окисления с новообразованиями гётита, гематита и ярозита.

Заслуживает внимания большая группа медно-порфириновых – золото-порфириновых систем, широко развитых в третичных вулканоплутонических поясах Андийских Кордильер. Так, золото-порфириновые месторождения района Рефуджио в Чили характеризуют крайнюю золотую часть ряда этой группы с отношением $\% \text{Cu}:\text{г/т Au}=0,03$. Они содержат от 0,5 до 2 г/т Au и <0,05 вес. % гипогенной меди [7].

Месторождения ассоциируют с субвулканическими телами андезит-дацитового состава, образующими пологие купольные структуры. Глубокие части рудоносного интервала месторождений характеризуются кварцевыми прожилками в ассоциации с хлорит-магнетит-альбитовыми или пирит-альбит-глинистыми изменениями, тогда как приповерхностные уровни — пирит-альбит-глинистыми и местами кварц-алунитовыми линзами. Как полагают John L. Muntean и Marco T. Einaudi [7], основное различие между порфириновыми золотыми месторождениями района Рефуджио и порфириновыми медными состоит в небольшой (<1 км) глубине формирования золото-порфириновых комплексов по сравнению с глубиной 1,5–4 км, характерной для типичных медно-порфириновых месторождений.

В Перу ведется эффективная отработка плащеобразных залежей вторичных кварцитов, заключа-

ющих золото в концентрациях 2–3 г/т. Залежи представлены рыхлым, пористым кварцем, небольшим количеством вкраплений эпургита и алунита (Янакочи, Пьерина). Отработка осуществляется одновременно несколькими карьерами, при этом подготавливаются новые площади. Необычно низкая себестоимость добытого металла (около 3 дол. за 1 г Au) обусловлена тем, что рыхлый золотосодержащий кварц не требует предварительного дробления и непосредственно поступает на кучное выщелачивание при весьма высоком для этого метода извлечения золота (более 80%).

Вулканоплутонический пояс Центральной Аляски, контролируемый длительно формировавшимся антиклинорным поднятием, включает месторождения в интрузивных штоках и сближенных дайковых системах. Месторождения принадлежат к золото-кварцевой и золото-мышьяковисто-сульфидной формациям.

На месторождении Форт-Нокс штокверк тонких (доли миллиметра) золотоносных прожилков диаметром около 500 м развит в гранитах и гранодиоритах. Разноориентированные прожилки сформированы в ходе нескольких продуктивных стадий минералообразования. Основные рудные минералы — самородное золото, висмутин, арсенопирит, молибденит, шеелит и теллуриды, жильные — кварц, серицит. Внутри штокверка отчетливо выделяются маломощные (10–20 см) золото-кварцевые жилы со средним содержанием Au 15 г/т. Эти жилы более 70 лет были известны как коренной источник самородков золота с висмутином в россыпях. Однако при оценке запасы жил составляли лишь первые тонны золота и поэтому в течение многих лет не отрабатывались. В конце 80-х годов на волне интереса к крупнообъемным месторождениям была проведена литохимическая съемка, выявлена комплексная литохимическая аномалия, а затем пробурены сотни скважин. В результате оконтурен золотоносный штокверк по бортовому содержанию Au 0,5 г/т. Среднее содержание Au в рудах 0,9 г/т, запасы 260 т.

В рассматриваемой модели рудообразующей системы обращают на себя внимание признаки связи месторождения с вмещающими гранитоидами. Возраст месторождения 92 млн. лет. При этом возраст золотой минерализации лишь незначительно отличается от возраста вмещающих гранитоидов. Изотопы углерода, кислорода и водорода указывают на магматическое происхождение рудоносных флюидов, а изотопные соотношения свинца и серы сульфидов близки к таковым для калишпатов из материнских интрузий.

К сверхкрупным золоторудным месторождениям относится Донлин Крик [5]. Ресурсы золота на месторождении оцениваются в 800 т при среднем

содержании ~2 г/т. Возраст месторождения 70 млн. лет. Оно приурочено к поздне меловому флишевому бассейну северо-восточного простирания, сформировавшемуся между аккреционными океаническими террейнами в задуговой области активной континентальной окраины, сложенному граувакками и глинистыми сланцами. Рудовмещающим является комплекс гипабиссальных гранит-порфировых даек размером 8×3 км, составляющий часть магматической дуги с возрастом 77–58 млн. лет. Месторождение подразделяется на пять участков, большинство из которых представлены зонами кварц-карбонатных прожилков, выполняющих трещины север-северо-восточного простирания.

Среди сульфидов преобладают арсенопирит, пирит и обычно более поздний антимонит. Золото, заключенное в арсенопирите, представлено микронными выделениями в тонком (<20 мкм) игольчатом арсенопирите, где его концентрации составляют в среднем 40 г/т, тогда как более крупнозернистый арсенопирит (>50 мкм) содержит около 15 г/т Au. Пирит беден золотом (0,1–1,0 г/т).

Околорудные изменения — серицитизация, карбонатизация, сульфидизация. По данным изучения флюидных включений в кварце преобладали водные рудообразующие флюиды. Золотоносные флюиды гомогенизировались при температуре 275–300°C на глубине 1–2 км.

Прожилковая и вкрапленная золото-сульфидная (с кварцем и карбонатом) минерализация в целом сосредоточена вблизи свиты гранит-порфировых даек и локализуется в системе трещиноватости северо-восточного простирания. Частично зоны минерализации локализованы и в близрасположенных вмещающих породах (рис. 5).

Месторождение относится к золото-мышьяковисто-сульфидной формации с упорными, трудно-обогатимыми рудами. Его ближайший российский аналог — месторождение Майское на Чукотке. В то же время, значительные масштабы месторождения и наличие уже разработанных эффективных технологий обогащения руд определяют актуальность поисков однотипных объектов.

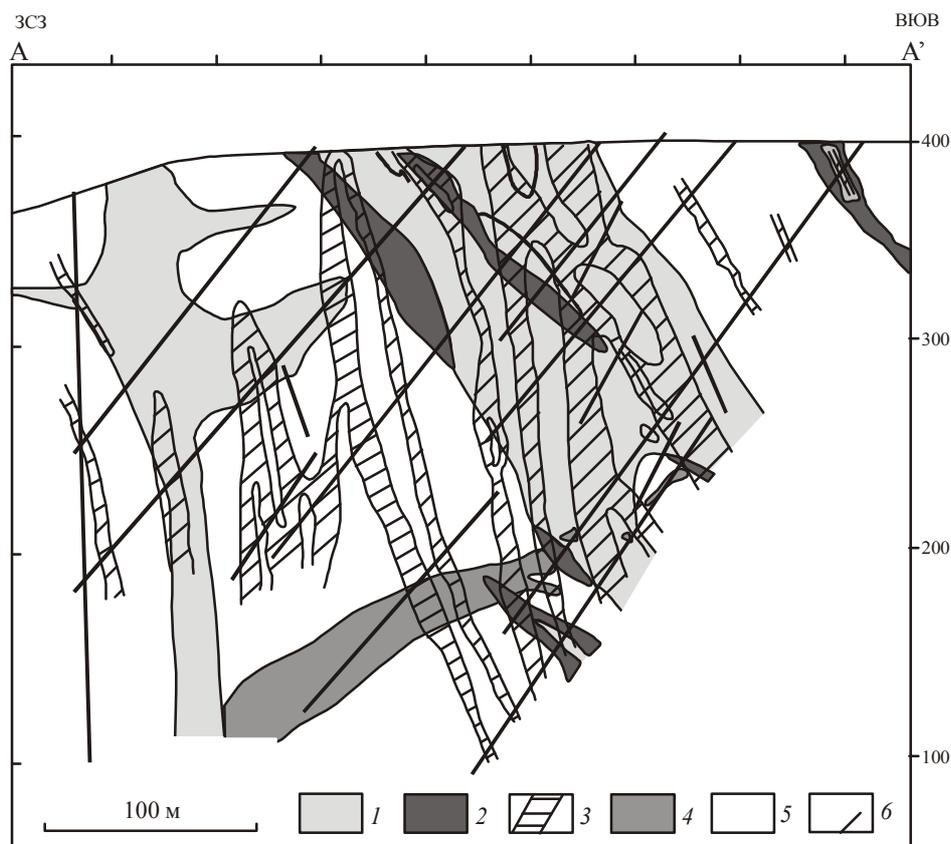


Рис. 5. Геологический разрез по линии А – А' месторождения Донлин Крик, по [5]:

1 — недифференцированные афаниты и кристаллические риодациты; 2 — тонкозернистые порфировые риодациты; 3 — генерализованные контуры зон с содержанием Au > 2 г/т; 4 — дайки мафитов; 5 — недифференцированные граувакки, аргиллиты, сланцы; 6 — буровые скважины

При рассмотрении месторождений, формирующихся в различных геотектонических обстановках, следует обратить внимание на возможность выявления золотоносных метаморфизованных кор выветривания, которые под влиянием высоких температур и давления могут быть приняты за стратифицированные залежи метасоматитов. Идентифицировать месторождения этого типа геологи пока не умеют.

По уровню рентабельности крупнообъемных месторождений Россия уже приближается к ведущим золотодобывающим странам. Так, на месторождениях Куранах и Таборное в Алданском районе рентабельна отработка руд с содержанием Au соответственно 1,5 и 1,7 г/т. Модели крупнообъемных месторождений могут эффективно использоваться в старых золоторудных районах с развитой инфраструктурой — на Урале, в Восточном Забайкалье и Хабаровском крае, где ранее объектам такого типа с крупными ресурсами, но низкими содержаниями Au не уделялось должного внимания. Особенно актуальна эта задача сегодня, когда мировая цена на золото стремительно растет и уже достигла 700 дол. за тройскую унцию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольбдерг И.С., Абрамсон Г.Я., Лось В.Л. Геохимические системы крупных золоторудных месторождений Бендиго-Балларатской провинции (Австралия): поисковые и генетические аспекты // Геология и охр. недр. 2004. № 4. С. 22–31.
2. Константинов М.М. Новые и нетрадиционные типы золоторудных месторождений // Руды и металлы. 1995. № 2. С. 18–26.
3. Alvares Angel A., and Donald C. Noble Sedimentary Rock-Hosted Disseminated Precious Metal Mineralization at Purisima Concepcion, Yaricocha District, Central Peru // Econ. Geol. 1988. Vol. 83. P. 1368–1378.
4. Gniling Zhong, Boulter C.A., and Jincheng Liang. Brittle for Disseminated Gold Mineralization in Mylonite: Gaogun Gold Deposit, Hetal Goldfield, Guangdong Province South China // Econ. Geol. 2001. Vol. 96. № 1. P. 49–61.
5. Goldfarb R.J., Roberto Agosto. The Late Cretaceous Donlin Creek gold deposit, Southeastern Alaska: controls on opizanal ore formation // Econ. Geol. 2004. Vol. 99. № 4. P. 643–673.
6. Jia Y., X.Li, and R.Kirrich. A Fluid Inclusion Study of Gold-Bearing Quartz Vein Systems in Central and North Deborah Deposits of the Bendigo Gold Field, Central Victoria, Australia // Econ. Geol. 2000. Vol. 95. P. 467–494.
7. Muntean J.L., and Einaudi M.T. Porphyry Gold Deposits of the Refugio District, Maricunga Belt, Northern Chile // Econ. Geol. 2000. Vol. 95. P. 1445–1472.
8. Tomkins A.G., Pattison D.R., and Eva Zaleski. The Hemlo Gold Deposit, Ontario: An Example of Melting and Mobilization of a Precious Metal-Sulfosalt Assemblage during Amphibolite Facies Metamorphism and Deformation // Econ. Geol. 2004. Vol. 99. № 6. P. 1063–1085.

УДК 553.065.1

© Ю.Г.Сафонов, Т.М.Злобина, М.Р.Сароян, 2006

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ПРОЖИЛКОВО-ВКРАПЛЕННОГО И ЖИЛЬНОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Ю.Г.Сафонов, Т.М.Злобина, М.Р.Сароян (ИГЕМ РАН)

Проблема пространственных и генетических соотношений прожилково-вкрапленного и жильного гидротермального оруденения в настоящее время представляется крайне актуальной. От уровня знания этих соотношений зависят как прогнозирование, так и поиски и оценка месторождений, причем для различных по металлической специализации — в разной степени, но для благородных и редких металлов, меди, молибдена, урана, вольфрама — в высокой. Круг последних в перспективе будет расширяться в связи с возрастающим освоением бедных

руд. Но знание закономерностей образования рудной минерализации с различными уровнями концентрации в определенных геологических телах или объемах пород, оконтуриваемых по принимаемым минимальным уровням, остается явно недостаточным. Даже выявление новых и интенсивное освоение месторождений известных типов с прожилково-вкрапленным оруденением, таких как золотоносные медно-порфиновые, большеобъемные золоторудные с вкрапленной минерализацией, не привели к усилению исследований этих закономерностей.

Обширная информация по разнотипным месторождениям показывает, что традиционное восприятие структурно-тектонических, литологических или петрохимических факторов как определяющих структурно-морфологическое выражение рудных концентраций и текстуры руд обосновано только для определенных типов вкрапленного, прожилково-вкрапленного оруденения и геологических обстановок, условий его локализации. Та же информация дает основание для предварительного вывода о первоочередной зависимости структурно-морфологического и текстурного стилей оруденения от геохимической (естественно, отраженной и в металлогенической) специализации рудообразующих флюидных систем на физико-химическом уровне — не только катионном, но и анионном, а также от их геодинамического развития. Такие зависимости проявились не только для грейзеновых и скарновых месторождений, выделенных В.И.Смирновым в отдельные генетические классы, но и для ряда групп «гидротермальных» месторождений. Как показано в недавних работах И.Ф.Мигачева, А.И.Кривцова, Р.Силлитое и других исследователей, практически свой генетический класс образуют медно-молибден-порфировые месторождения. Из приведенного перечня типов месторождений видно, что общность условий их образования определяется активной ролью газовой флюидной фазы и надкритических растворов в рудообразующих системах. Это отражается и в геодинамической характеристике последних, так как от соотношения водных растворов, парогазовых и газовых флюидов зависят $P-T$ условия в собственно рудообразующих системах и, естественно, механизмы, интенсивность проявления процессов метасоматоза, свободной раскristализации растворов, коллоидного минералообразования и др.

Анализ распространенности месторождений с определенными структурно-морфологическими — текстурными типами руд, детальное рассмотрение золоторудных месторождений отдельных типов в терригенных комплексах, а также определение значимости внутреннего геодинамического развития флюидных систем в локализации оруденения (серебряное месторождение Большой Канимансур) позволили авторам коснуться и таких важных вопросов теории рудообразования, как продолжительность развития рудообразующих систем, временные соотношения проявления тектонических деформаций и процессов рудообразования, глубинность области рудоотложения, палеогеодинамическое состояние последней и некоторых других, трактуемых неоднозначно или вообще не обсуждаемых.

При общем разнообразии структурно-морфологических типов рудных тел и текстур руд гидротермальных месторождений прожилково-вкрапленные и жильные руды обычно рассматриваются как полярные, хотя реально проявляются обычно сопряженно или в сочетании с рудами других типов. При этом текстурные характеристики руд месторождений с прожилково-вкрапленным оруденением часто подменяют структурно-морфологические, когда последнее развивается в более или менее сложных по очертаниям объемах пород, не имеющих четких геологических границ. Более корректным представляется противопоставление вкрапленных, вкрапленно-прожилковых руд массивным, брекчиевым, а для подразделения месторождений — использование видимых проявлений литологического контроля рудной минерализации. При таком подходе выделяются месторождения с рассеянной минерализацией (*disseminated*), как это часто делается зарубежными специалистами применительно к месторождениям золота, не имеющим такого четко выраженного контроля. Сложность решения затронутой проблемы заключается в неоднозначном использовании распространенных терминов и понятий.

Прожилково-вкрапленное оруденение рассматривается авторами как проявляющееся в трех относительных масштабных измерениях: образующее самостоятельные месторождения и, соответственно, рудные тела; представленное в отдельных рудных телах или в определенных частях рудных тел, залежей, зон, минерализованных объемов пород, наряду с жилами, телами замещения и др.; характеризующее распределение основных рудных компонентов в пределах рудных тел, имеющих различные макротекстурные характеристики. Относительность данного подразделения обусловлена широким диапазоном пространственного развития прожилково-вкрапленной минерализации и размерности выделений рудообразующих компонентов. Этим же определяются различия подходов в изучении месторождений цветных металлов, содержания которых в рудах измеряются процентами ($n-n^1\%$), и редких и благородных металлов (элементов), содержащихся в рудах от $n^1-n^7\%$ до десятых долей грамма на тонну. Золоторудные месторождения с вкрапленным, прожилково-вкрапленным оруденением, часто называемые крупнообъемными, отличаются по текстурному рисунку сульфидных выделений (арсенипирита, пирита и др.). Сульфиды в контурах рудных тел, определяемых по данным опробования, в сумме составляют первые проценты от массы вмещающих пород. Золото образует в основном микровыделения (зерна, прожилки) в сульфи-

дах, кварце и других минералах или находится в химически (кристаллохимически) связанном виде в минералах-носителях — главным образом в арсенипирите, в меньшей мере в пирите, возможно и в других. Традиционными микроскопическими методами такое золото не диагностируется.

Основное внимание нами уделяется крупным месторождениям, в формировании которых рудообразующие процессы, механизмы проявляются более определено. Относительная распространенность рассматриваемых типов гидротермального оруденения может оцениваться как соизмеримая, но неодинаковая для месторождений различных металлов. Среди медных месторождений основное значение имеют медно-порфировые и колчеданные. Жильные руды меди, как и свинца, цинка, представлены в небольшом числе месторождений. Для них наиболее характерны субпластовые стратиформные залежи — полиметаллические (вместе с медью) или биметалльные. Вкрапленно-прожилковая минерализация и в тех и в других образует самостоятельные рудные тела, фланговые участки, зоны, залежи, в которых распространены массивные руды. Вкрапленно-прожилковое оруденение характерно для молибденовых месторождений упомянутого выше порфирового типа. Распространенность молибденита изменяется в широких пределах — от попутного по отношению к медным минералам до собственно молибденового (\pm ппутные медь, рений и др.). Штокверковый тип оруденения наиболее выразителен именно на таких месторождениях, где прожилковая минерализация контролируется контракционной и наложенной тектонической трещиноватостью. Жильный тип оруденения остается главным для олова, хотя штокверковые, прожилково-вкрапленные оловянные руды достаточно широко распространены, частью перекрываясь с вольфрамовыми.

Открытие в последние десятилетия новых вольфрамовых, в частности, в Китае и вольфрамсодержащих месторождений нетрадиционных типов привело к преобладанию среди вольфрамовых руд вкрапленно-прожилкового типа над традиционным жильным при сохранении значимости скарнового. В последних вкрапленно-прожилковая минерализация имеет важное значение.

Эндогенная вкрапленно-прожилковая урановая минерализация пока имеет починенное значение, так как запасы богатых руд из месторождений типа несогласия и жильных остаются главными. Однако в ближайшем будущем, безусловно, будут осваиваться ураноносные калишпатовые метасоматиты, альбититы, особенно там, где они золотоносны. Рассеянная урановая минерализация уже более по-

лувека обрабатывается попутно с золотом и из рудных хвостов в бассейне Витватерсранд.

Благородные металлы резко различаются по условиям образования и размещения гидротермальных рудных концентраций. Наиболее известным фактом широкого распространения металлов платиновой группы является тонкорассеянная осмий-иридиевая (\pm Pt, Pd) минерализация в «конгломератах» Витватерсранда. Как и основная золотая, она связана, по нашему мнению, с глубинными флюидными источниками. К эндогенной рассеянной минерализации авторы относят платиноносные минералы на месторождении Сухой Лог и на некоторых других объектах, локализованных в сланцевых комплексах (Мурунтау, Кумтор, Наталкинское). Вкрапленно-прожилковое золото-палладиевое оруденение в Кожимском районе Приполярного Урала связано с фукситовыми метасоматитами, что показано Г.В.Моралевым, М.А.Торбаевым и другими исследователями. По ряду признаков сходное оруденение проявлено в месторождении Коронейшен Хилл (Австралия). Из жильных гидротермальных концентраций МПГ, преимущественно платины, известно мелкое месторождение Ватерберг в Бушвельдском массиве.

Серебряные рудные концентрации распространены в широком диапазоне геологических обстановок, поскольку серебро — один из основных или попутных компонентов в различных комплексных месторождениях — свинцово-цинковых, колчеданных, жильных (штокверковых) серебро-полиметаллических, медно-серебряно-порфировых, олово-серебряных, эпитептермальных золото-серебряных, золото-серебро-мышьяково-сульфидных и др. [9]. В качестве собственно серебряных выделяются серебряно-золото-свинцово-цинковые, серебряно-урановые, серебряно-никель-кобальт-мышьяковые и серебряно-свинцовые. Отнесение указанными авторами месторождения Канимансур к серебряно-урановой формации можно считать условным. В колчеданных месторождениях серебросодержащие продуктивные ассоциации заключены преимущественно в залежах массивных руд, нередко сопровождающихся вкрапленно-прожилковыми зонами на более глубоких горизонтах и флангах. В других минералого-геохимических типах комплексных месторождений прожилково-вкрапленное серебряное оруденение имеет большее значение, вплоть до основного, определяющего структурно-морфологический тип месторождений. В терригенных комплексах и комплексных порфировых месторождениях это отмечается для Au-Ag-As руд. Жильное оруденение более характерно для месторождений, где серебро — основной рудный компонент или ассо-

цирует только с золотом или свинцом. Но и среди месторождений этой группы известны крупные, с концентрацией серебра в зонах, залежах прожилково-вкрапленного оруденения.

Широкое распространение вкрапленно-прожилковых руд характерно для золоторудных месторождений (таблица). Так, рифы Витватерсранда авторы [21, 22] относят к объектам, содержащим вкрапленно-прожилковое золотое и урановое оруденение. Их полигенная природа, со значительной или определяющей ролью парогазовых эманаций (экспаляций) в привносе рудообразующих компонентов, обосновывается не только зарубежными специалистами [26], но и в большей мере российскими [8, 10, 25]. Наряду с этим, помимо господствующей генетической модели золотоносных палеороссыпей, модифицированных метаморфическими процессами, продолжают развиваться представления о гидротермальном метаморфогенном происхождении уран-золотоносных рифов Витватерсранда. Недавние работы о структурном контроле распределения в них рудной минерализации (вкрапленно-прожилковой для пиритовой, пирро-

тин-халькопиритовой, уранинит(браннерит)-керогенной и преимущественно вкрапленной для золота в рамках перечисленных золотоносных рудных ассоциаций и в автономных (золото-кварцевых, золото-керогенных) вполне увязываются как с гидротермальной моделью, так и полигенной, разрабатываемой нами. Очевидные проявления коллоидного минералообразования в рудоносных рифах Витватерсранда позволяют относить микропрожилковые выделения рудных минералов в основном к образованиям минерализованных трещин усыхания и к бестрещинным диффузионным, механизмы развития которых в свое время были обоснованы Г.Н.Поспеловым. Образование гелей кремнезема, вероятно, было определяющим и в формировании макропрожилков пирита со сложной морфологией. Наряду с этим, проявлялся и тектонический контроль прожилковой пиритовой минерализации, особенно четко выраженный в текстурах руд Блэк рифа (рис. 1). Этот риф занимает особую позицию в разрезе рудовмещающего комплекса. Он приурочен к верхней поверхности несогласия, находящейся в основании одноименной группы сланцевых пород,

Структурно-морфологические типы рудных тел и текстурные разновидности руд золоторудных месторождений основных геолого-генетических типов

Геолого-генетические типы месторождений (представительные объекты)	Максимальные концентрации Au, т					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Золотоносные «рифы» (Витватерсранд)	СтПлПрВк					
Золото-(сульфидно)-кварцевые в метатерригенных комплексах (Мурунтау, Сухой Лог, Бендиго)	ВкПрЖлМз					
Золотоносные медно-порфировые (Грасберг – Алмалык)	ШтВкПр					
Золото-(сульфидно)-(карбонат)-кварцевые в зеленокаменных комплексах (Калгурли – Колар)	МзЖлПр					
Золото-сульфидно-силикатные в железистой формации (Хомстейк)	ПрМзШт					
Эпитермальные (Янакоча, Балей)	ЖлБрПр					
Карлинский (Карлин – Голдстрайк)	ТзМзВкПр					
Золото-оксидные-медные (Олимпик Дэм)	БрВкПр					
Золото-(сульфидно)-кварцевые, связанные с интрузивами (Даблин Галч)	ЖлМзШт					
Золото-урановые (Элькон)	МзПрВк					
VMS колчеданные (Риддер-Сокольное, Гай)	ТзМз					

Пр и м е ч а н и е. Жл — жильные, жилообразные, Пр — прожилковые, Вк — вкрапленные, Шт — штокверковые, Мз — минерализованные зоны, Ст — стратиформные залежи, Пл — пластовые, субпластовые тела, Тз — тела замещения, залежи, Бр — брекчиевые тела, Тр — трубообразные тела.

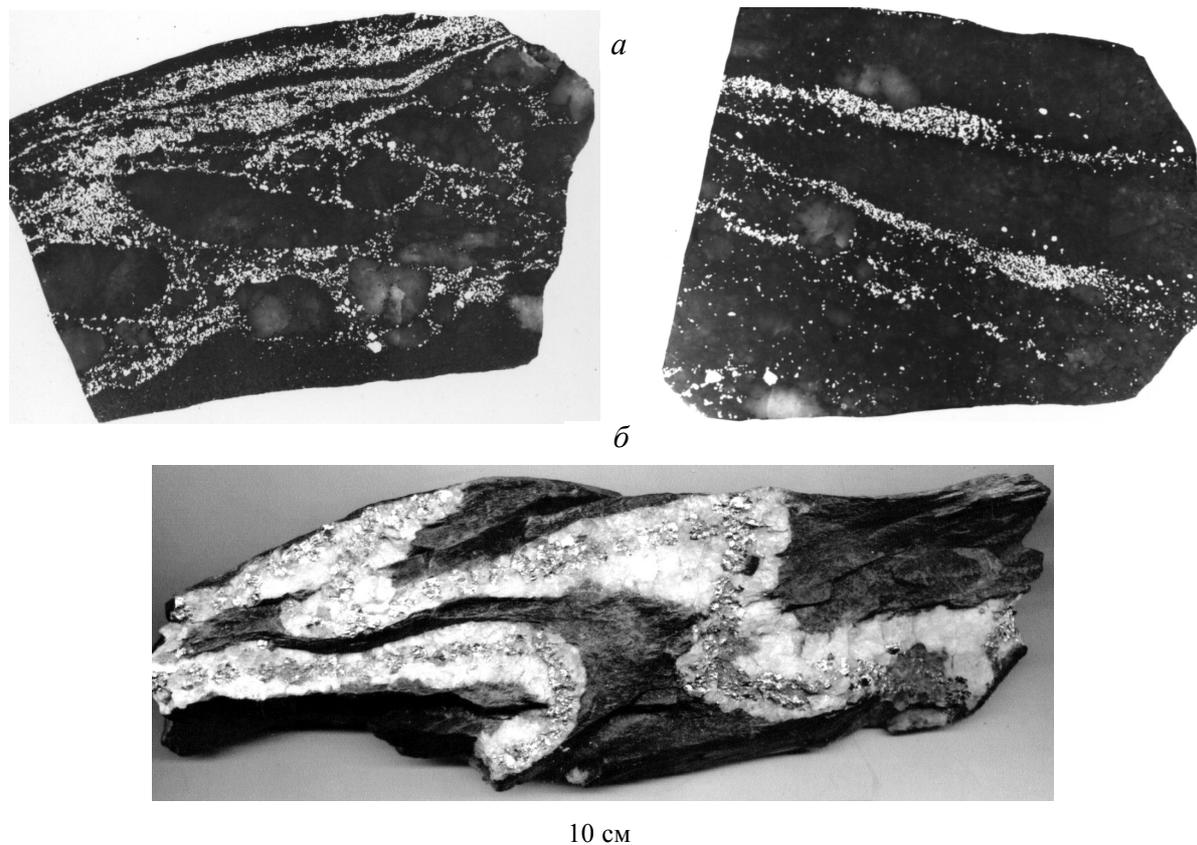


Рис. 1. Вкрапленно-прожилковые руды месторождений Витватерсранд (а) и Сухой Лог (б):

фото штуффов, верхние снимки — в отраженном свете

несогласно залегающих на вулканитах группы Вентерсдорп и рудовмещающих терригенных породах группы Центрального Ранда. Характеристики геологии уран-золотоносных «конгломератов» Витватерсранда можно найти во многих публикациях. Здесь же подчеркнем, что Блэк риф в общем подобен другим рудоносным рифам, но отличается повышенными содержаниями углеродистого материала и наличием четко выраженных контактовых тектонических зон скольжения, несмотря на его субгоризонтальное залегание. Тектоническое расщепление проявлено в пределах рудной зоны. Оно частью контролирует прожилковую пиритовую минерализацию, преимущественно в самих сланцевых породах. «Галечные» кварцевые образования местами могут рассматриваться как будины.

Золотоносные медно-порфиновые месторождения по геологической позиции и локализации оруденения характеризуются наиболее четкими типоморфными признаками. Золото-(сульфидно)-(карбонат)-кварцевые месторождения в зеленокаменных поясах разнообразны по структуре и типам

руд. Среди них преобладают жильные месторождения с тем или иным своеобразием жильных тел, для характеристики которых в зарубежной литературе используются термины «lode», «teef», «shear zone» (тело, риф, зона скальвания), подчеркивающие специфику жил и отвечающие в отечественной терминологии понятиям «минерализованная зона», «рудоносные зоны скальвания-смятия» и т.п. Вместе с тем, среди них представлены также месторождения с прожилково-вкрапленным (Хемло, Канада) и прожилковым оруденением типа линейных штокверков (Калгурли, Австралия). На месторождении Хемло выделяются субогласные пластовые тела с вкрапленностью и тонкими прожилками сульфидов, главным образом арсенипирита, и рассеянным золотом. Продуктивная минерализация на месторождении Калгурли (преимущественно прожилковая) развита в зонах вместе с жилами и в тектонически обособленных зонах. Характерно интенсивное метасоматическое изменение вмещающих пород в обоих случаях: калишпатизация–окварцевание (Хемло), хлоритизация–анкеритизация–сери-

цитизация (Калгурли). Эти месторождения выделяются и по комплексам рудных минералов (теллуриды, сурьмяно-ртутная минерализация).

Золоторудные месторождения, локализованные в железистой формации, также содержат вкрапленно-прожилковую сульфидную минерализацию. Здесь определенно проявляются ее связи с основными «массивными» рудными телами в общем ареале рудоносных метаморфических (метасоматических) алюмосиликатов. Месторождения карлинского типа следует рассматривать как содержащие преимущественно рассеянное вкрапленное и вкрапленно-прожилковое оруденение. По составу оруденения имеет некоторое сходство с развитым на месторождении Хемло, с золотоносными сурьмяно-ртутными месторождениями и в меньшей мере с вкрапленно-прожилковыми в терригенных комплексах. Оно локализовано в субпластовых трубообразных и сложных по морфологии рудных телах или минерализованных зонах дробления, брекчирования. Оруденение карлинского типа всегда связано с интенсивно измененными породами, вплоть до полного замещения (низко-)среднетемпературными метасоматитами. Характерны связь золота с мышьяковистым пиритом, частью — с углеродистым веществом, как и нахождение тонкого свободного золота в метасоматитах и в джеспилитах. По видам метасоматического изменения пород и структурному контролю оруденения месторождения карлинского типа близки к эпитептермальным с жильными рудными телами. Часть месторождений представлена брекчиевыми телами различного происхождения — эруптивными, эксплозивными, обычно трубообразными, гидрогенными различной морфологии. Распространение ареалов прожилковой и вкрапленно-прожилковой минерализации, образующей самостоятельные рудные тела, в частности брекчиевого сложения, и сопровождающей их, объясняется широким проявлением трещин гидроразрыва и интенсивными метасоматическими изменениями вмещающих пород.

Имеющаяся информация по ряду месторождений, среди которых Лэдолэм (Лихир), как и опубликованные данные по золотоносности шлаковых образований современных вулканов (Толбачек и др.), показывают, что эпитептермальное рудообразование приводило к формированию объемных рудных тел с тонкорассеянным золотом. Масштаб этих процессов оценить трудно, поскольку многие эпитептермальные месторождения, как и жильные золото-(сульфидно)-кварцевые, отработаны с извлечением преимущественно богатых руд. Бортовые содержания при подземной добыче даже в первой половине XX в. были выше 5–6 г/т (Колар 8 г/т, Бендигго 7 г/т), что, есте-

ственно, не позволяет анализировать размещение не только вкрапленного, рассеянного, но и прожилкового оруденения. Еще меньше информации по комплексным и золотосодержащим месторождениям, в которых практический интерес могут представлять концентрации золота в 0,1–0,2 г/т. Это относится и к расшифровке условий образования рудных концентраций серебра, меди, молибдена, урана и других металлов, в том числе практически не образующих собственных месторождений или представленных такими в единичных случаях (висмут, теллур и др.). Самая общая оценка относительного распространения вкрапленно-прожилкового и жильного оруденения, даже не оценка, а напоминание о разнообразии их соотношений указывает на необходимость выявления причин такого разнообразия через анализ совокупности факторов, объединяемых в представлениях о гидротермальных рудообразующих системах.

При всем многообразии представлений о рудообразующих системах [7, 11, 19] P – T параметры их развития оцениваются как одни из наиболее значимых. Структурно-морфологическое проявление рудных концентраций во многом определяется температурой и давлением в системах. Совокупность термобарометрических данных по условиям образования золоторудных месторождений, приведенных в работах В.В.Наумова, В.Ю.Прокофьева и др., позволяет разделять гидротермальные рудообразующие системы на три категории: высокопараметрические (с относительно повышенными T_{\min} и P_{\min} и высокими P_{\max}); умеренно-параметрические (с широким интервалом P – T параметров, включая высокие T и умеренно высокие P); низкопараметрические (в абсолютном измерении по P и в относительном — по T).

Данное подразделение в целом отвечает подразделению рудообразующих систем по степени закрытости-открытости, предложенному В.Ю.Прокофьевым [16]. Общим показателем последней служит отношение $P_{\text{общ}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$. Общее давление определяется по сумме парциальных давлений водяного пара и газовых флюидов. К закрытым отнесены системы с коэффициентом ~20–70 и максимальными давлениями 2–6 кбар. В этих условиях формировались гипотермальные месторождения. Показатель «закрытости» в 15–50 установлен для мезотермальных месторождений при P_{\max} 1–3 кбар. Проблема интерпретации данных барометрических оценок по газовой-жидким включениям известна [11, 17, 22]. Реальность достижения в гидротермальных системах сверхлитостатических давлений, отвечающих только в самых смелых оценках предельных глубин проявления рудообразующих процессов 15–20 км, остается неопределенной. При этом роль тектони-

ческих напряжений трактуется нередко с диаметрально противоположных позиций, хотя несомненно ее двойственность — прежде всего в зависимости от глубинного фактора и общих геодинамических условий. В предложенных подразделениях жильных месторождений в каждой из названных категорий систем часто соответствуют подсистемам с максимальными значениями давлений, что, вероятно, связано с внутренним геодинамическим развитием систем. Из факторов, влияющих на развитие систем, следует отметить недостаточно учитываемую зависимость гидротермальных процессов от «фоновых» палеогеодинамических условий [1, 17]. Моделирование гидротермальных систем с вынужденной конвекцией флюидов, абстрагированное от физико-химического воздействия рудоносных флюидов на породы, показывает прямую зависимость морфоструктур месторождений, связанных с глубоко проникающими разломами, от гидродинамических условий [18]. Наиболее хорошо определены эти зависимости для гипотермальных жильных месторождений типа Колар, Хатти (Индия). Для них получены максимальные оценки давлений (5–6 кбар) при образовании золотоносного кварца. Контрастно проявляется ведущая роль гидrogenных разрывных деформаций в контроле жильного и прожилкового золото-кварцевого оруденения в мало-глубинных условиях, где, очевидно, унаследовались «фоновые» палеогеодинамические системы, перерождавшиеся в открытые низкопараметрические рудообразующие системы.

Более сложными условиями развития характеризуются полузакрывые умеренно-параметрические системы, граничные P – T параметры которых

во многом неопределены из-за вероятного их возникновения в результате эволюции высокопараметрических систем в одних случаях и автономного развития — в других, в определенных условиях с превращением в открытые системы. Наиболее многообразными представляются рудообразующие системы в терригенных (метатерригенных) бассейновых комплексах пород, различающихся по истории своего развития [5].

В бассейновых комплексах пород представлены месторождения с различными структурно-морфологическими типами оруденения. Среди них наибольшее значение имеют прожилково-вкрапленные и жильные при различных их соотношениях по распространенности и продуктивности. Для этих месторождений важно разграничение метаморфогенных и ювенильных постметаморфических минеральных новообразований, прежде всего кварца, а также оценка палеогеодинамических систем с учетом специфики процессов диа-, катагенеза осадков, метаморфизма и проявлений тектонических деформаций в анизотропной неравномерно насыщенной флюидами геологической среде. На месторождении Сухой Лог можно видеть синхронность развития кливажа рудовмещающих сланцев и формирования прожилково-вкрапленной минерализации. Здесь складкоподобные рудоносные прожилки (см. рис. 1), как и птигматитовые кварцевые, часто относятся к однотипным образованиям [2]. Однако детальные исследования позволяют отнести пирит-кварцевые образования к метасоматическим, формирующимся в зависимости от геометрии трещин и кливажа. Характерно, что основная полого падающая залежь по геохимическим разрезам однозначно интерпре-

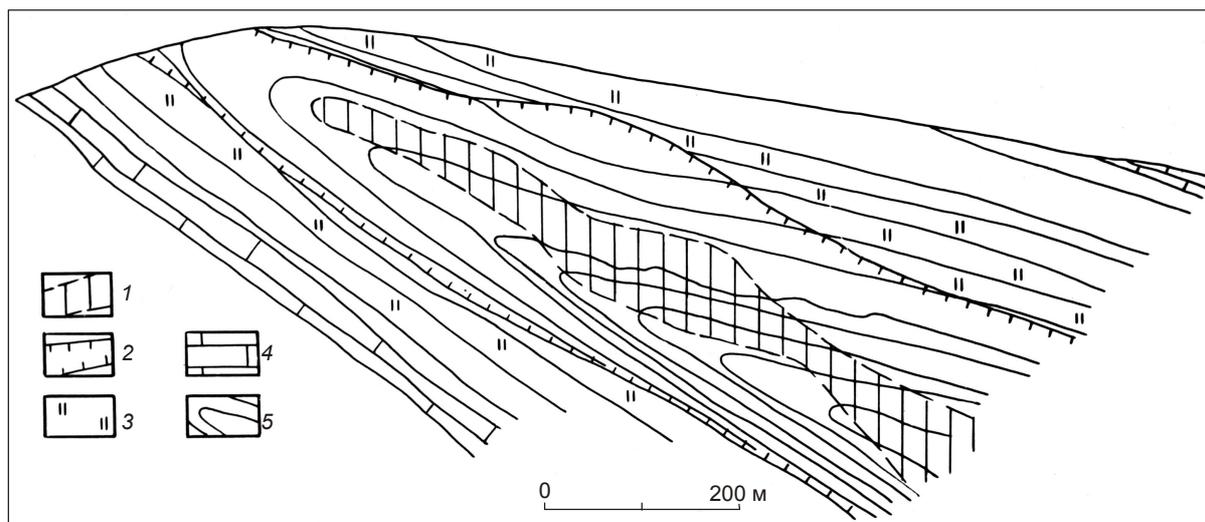


Рис. 2. Схематический геологический разрез месторождения Сухой Лог, по С.Г. Антонову, В.К. Черепанову:

1 — контуры рудного тела; 2 — границы зоны бедного оруденения; 3 — измененные породы; 4 — известняки; 5 — филлиты, сланцы

тируется как соответствующая главному каналу (фронту) миграции рудоносных растворов (рис. 2). Но позиция рудных столбов на конкретных сечениях также явно увязывается с локальными восходящими (субвертикальными) потоками (рис. 3). Эти зависимости объяснимы, если принять модель временного развития флюидной системы — поступление флюидов — их накопление — раскристаллизация с естественным внутренним изменением динамики. При этом, исходя из минералого-геохимических данных по месторождению, вероятен привнос рудообразующих компонентов газонасыщенными флюидами.

морфизма до образования поздних жил, составляет 4–1 кбар. Физико-химическая эволюция флюидов здесь, как показывают исследования метасоматитов, определялись изменениями давления [20].

По исследованиям газовой-жидких включений в кварце различных генераций для основного периода рудообразования устанавливается существенно газовый состав флюидов. Совокупность данных по условиям формирования месторождения Мурунтау свидетельствует о реальности длительного существования собственно рудообразующих систем, по крайней мере в течение 20 млн. лет, если остальные минеральные новообразования — предрудные и

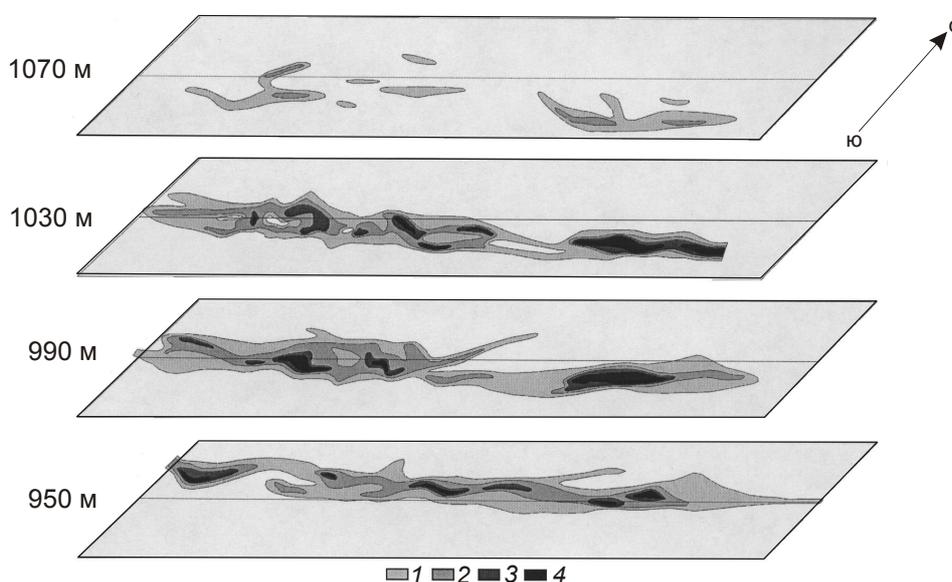


Рис. 3. Распределение золота в горизонтальных сечениях рудной зоны месторождения Сухой Лог (участок штольни 1), по В.А.Буряку:

содержания Au, г/т: 1 — 1–2, 2 — 2–3, 3 — 3–4, 4 — >4

Как показали детальные исследования месторождения Мурунтау [6], роль газовых флюидов, условия термостатирования рудообразующих систем, барометрический режим их развития для формирования вкрапленного, вкрапленно-прожилкового оруденения в терригенных комплексах имеют особое значение. Общий временной интервал функционирования Мурунтауской рудообразующей системы по данным изотопно-геохимических исследований оценивается в 65–70 млн. лет, из которых наиболее продуктивным был интервал примерно в 20 млн. лет — от 274 до 255 млн. лет. Этот интервал характеризует проявление биотит-полевошпат-кварцевого метасоматоза и образование шеелит-золото-кварцевой минерализации в режиме высоких температур (300–350°C) и давлений, общий диапазон которых, начиная со стадий контактового мета-

более поздние рудоносные, отличающиеся по составу от основных золотоносных, связывать с другими периодами тектономагматической активности, в течение которых развивались иные флюидные системы. Длительность развития Мурунтауской рудообразующей системы, относимой к названному периоду времени, увязывается с установленной по изотопно-геохимическим исследованиям (Rb/Sr) длительностью становления магматических комплексов в рудном поле — 13 млн. лет, составляющие которых вскрыты на глубине скважиной СГ-10 и представлены предрудными дайками [6]. Временная сопряженность магматических процессов и развития рудообразующей системы, очевидно, отражает их парагенетические связи и, соответственно, объясняет аномальность тепловых потоков и возможности возникновения термостатированной

системы. Прямая зависимость формирования ареалов золотоносных метасоматитов от крутопадающих разрывных нарушений, отмечаемая указанными исследователями Мурунтау, также свидетельствует о тепломассовых потоках из глубинных источников. Вероятно, газонасыщенные флюиды определяли относительное «баростатирование» системы, хотя геодинамика длительного статического рудообразования на протяжении 1–2 км по вертикали остается не раскрытой. С эволюцией системы, а не поступлением новой порции золотоносных растворов связано образование шеелит-золото-кварцевых жил. Их возникновение в завершающие периоды развития определенных ареалов золотоносных метасоматитов можно объяснить относительным обогащением золотом «остаточных» флюидов, давление которых явно превышало гидростатическое. Эти жилы, количество которых на месторождении измеряется десятками, в своем залегании подчиняются нескольким протяженным зонам и приурочены к разрывам с ограниченной протяженностью (до $n \cdot 10^2$ м). Они, по-видимому, возникли в результате предрудных – сорудных объемных деформаций, а в последующем выполняли роль организующих локальных рудообразующих подсистем.

С активной ролью газовой фазы в переносе рудообразующих компонентов и, как показывают данные термобарогеохимических исследований, с проявлением процессов метасоматического замещения в качестве главных механизмов формирования вкрапленного оруденения, вероятно, связано формирование месторождения Олимпиада. В работе А.Д.Генкина с соавторами [4] показано, что это месторождение отличается от других, также характеризующихся наличием невидимого золота,

нахождением последнего в арсенопирите (рис. 4) в виде наноразмерных атомарных выделений. В других месторождениях золотоносный арсенопирит содержит химически связанное золото. По результатам анализа газовой-жидких включений в кварце, считающемся парагенным с арсенопиритом, установлено, что арсенопирит формировался при $T > 400^\circ\text{C}$ из газового флюида, содержащего N_2 , CH_4 и в меньшем количестве CO_2 . Давление в системе, где образовался арсенопирит с невидимым металлическим золотом, оценено в 2,7–1,3 кбар. Общий диапазон P – T условий формирования золото-сульфидной минерализации на месторождении определен соответственно в 460 – 270°C и 1,9–0,7 кбар. Псевдотричные и вторичные включения, по данным В.Ю.Прокофьева [16], захватывались кварцем при T 300 – 105°C , что вместе с выявленными фактами различных временных соотношений основных рудообразующих сульфидов (пирротина, арсенопирита, пирита), закономерным сонахождением их вкрапленных и мелкопрожилковых выделений и четко выраженными обособлениями поздних генераций с антимонитом и самородным золотом свидетельствует об относительно длительном развитии рудообразующей системы месторождения Олимпиада.

Месторождение Ведуга, расположенное в 60 км к югу от Олимпиадинского, в том же Енисейском кряже, сходно с последним по количеству сульфидов (до 5–7%), среди которых преобладают пирит, арсенопирит, пирротин. Термобарометрические исследования анкерита, ассоциированного с пирротин, ранней золотоносной сульфидной ассоциации показали, что сульфиды образовались при высоких температурах (360 – 275°C) из существенно водных

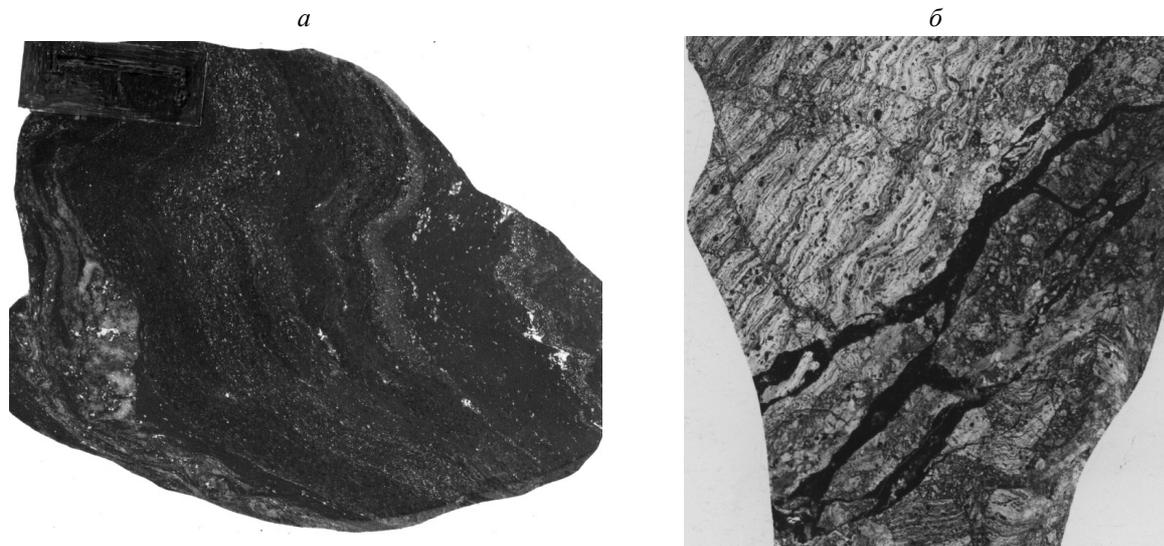


Рис. 4. Вкрапленные руды месторождения Олимпиада (а) и прожилковое оруденение серебряно-полиметаллического месторождения Большой Канмансур (б)

растворов с наибольшими содержаниями газовых компонентов, в основном CO_2 и менее значительным N_2 и CH_4 . Давление в системе оценивается примерно в 0,2 кбар. Предполагается, что газожидкие включения в анкерите, образованном при завершении формирования сульфидной ассоциации, были захвачены из растворов, которые могли иметь температуру более 400°C [4]. Примечательно, что на этом месторождении не проявлена ранняя кварц-шеелитовая минерализация, характерная для месторождений Олимпиада, Мурунтау, и по сравнению с первым более широко развиты поздние пирротин-карбонатные прожилки (микропрожилки), содержащие тонкие кристаллические выделения арсенипирита, а также самородное золото и антимонит [4]. Все это вместе с относительно более простым составом метасоматитов и рудных ассоциаций объясняется, по-видимому, ограниченностью газовой фазы в рудоносных флюидах. Относительную равномерность распространения золота в субпластовых залежах месторождения Ведуга можно увязать с растворением, рассеянием парагазовых рудоносных флюидов, переносящих мышьяк и золото в единых комплексных соединениях, что в последующем и привело к образованию в кристаллической решетке арсенипирита химически связанного золота. Вместе с тем, с учетом геологической позиции месторождения, остается непонятной явно заниженная оценка давления (0,2 кбар), возможная, однако, для мелких пустот в общем ареале завершающегося объемного минералообразования.

Месторождение Советское, относимое к жильному типу, характеризуется развитием сложных по морфологии кварцевых тел, неправильных залежей, блоков, жильных и прожилковых зон с подчиненными гнездово-вкрапленными выделениями кварца и сульфидов [23]. По количеству сульфидов (арсенипирита, пирротина, пирита, галенита, сфалерита) оно относится к малосульфидным, хотя нередко их содержание в кварцевых телах до 10% и более. С сульфидами ассоциирует свободное — видимое и тонкое золото, развивающееся также обособленно от сульфидных выделений. В пределах контура развития рудной сульфидно-кварцевой минерализации проявлен «рассеянный» околорудный метасоматоз, выраженный в серицитизации, альбитизации, хлоритизации, карбонатизации пород. В пределах рудного поля и месторождения встречаются и безрудные кварцевые жилы. Термобарометрические исследования показывают, что они формировались при T 100–350 $^\circ\text{C}$ и P 0,5–1,5 кбар [24]. Для рудоносного кварца эти параметры — 100–630 $^\circ\text{C}$ и 0,7–2 кбар, что в целом увязывается с оценкой P – T усло-

вий формирования рудной минерализации по индикаторным минеральным равновесиям [14]. Насыщенность рудоносных флюидов CO_2 , N_2 , CH_4 при ведущей роли углекислоты резко отличает их от метаморфогенных слабозолотоносных водных растворов с растворенной углекислотой.

Таким образом, месторождение Советское формировалось в рудообразующей системе, сходной по большинству параметров с Олимпиадинской. Наибольшие различия проявляются в массе кремнезема и относительно меньшей активности калия в процессах объемного околорудного метасоматоза, в целом «подавленного» по сравнению с месторождениями вкрапленно-прожилкового типа. Более интенсивно при образовании последних проявлялся углеродистый метасоматоз. Общая роль углеводородных соединений в рудообразующих системах, продуцирующих вкрапленно-прожилковое оруденение, представляется весьма значительной. Разработки этой проблемы еще далеки от необходимой определенности в понимании их генезиса, роли в переносе и отложении золота, но геохимические связи различных золоторудных концентраций и углеводородов, и не только в терригенных комплексах, безусловны. В определенной мере они проявлены и в образовании в этих комплексах жильных месторождений чистой кварцевой линии.

Классическим примером таких месторождений является месторождение Бендига и весь золото-кварцевый рудный район штата Виктория восточной части Австралии площадью около 120 км². Половина этой площади приходится на рудное поле Бендига, характеризующееся аномально высоким уровнем золотоносности. Здесь из коренных месторождений и россыпей ближнего сноса добыто более 1200 т золота. Интенсивная отработка месторождений в конце XIX – начале XX вв. привела к тому, что они оказались менее изученными по сравнению с современными крупными объектами, особенно в части генетических характеристик. Геологические, особенно геолого-структурные и минералого-геохимические материалы по месторождению позволяют дать общие оценки рудообразующей системы, приведшей к образованию жильного оруденения в метатерригенном комплексе.

Общая рудообразующая система рудного поля по развитию основной массы золото-кварцевых тел может быть определена как приуроченная к сближенным локальным антиклинальным складкам, осложненным субсогласными разрывными нарушениями, общей протяженностью около 10 км при ширине 1–2 км. Основная масса рудных тел сосредоточена в осевых зонах четырех антиклиналей, из которых наиболее выдержана одна. Она прослежена на

9 км при глубине отработки до 1 км и содержит 150 т золота. Максимальная глубина вскрытия руд в рудном поле 1406 м [27]. При общем многообразии структурно-морфологических типов рудных тел все они контролируются складчато-разрывными структурами и распространены весьма неравномерно. Нормальные пластинообразные кварцевые жилы, связанные с секущими разломами, в рудном поле не выявлены. Основное значение здесь имеют седловидные рифы (жилы), частью размещающиеся ярусно. Известны примеры локализации 24 рифов в одной осевой зоне в интервале глубин 630 м, но только шесть из них рудные. Среди седловидных рифов выделяются две основные разновидности: согласные с залеганием пород в замках складки и Y-образные (chevron), или арочные. Одно из крыльев последних представлено рудоконтролирующим тектоническим нарушением. Рифы сложены полосчатым кварцем, а в их апикалях — частью гранулированным зернистым и пористым. Максимальные мощности рифов в осевом сечении измеряются метрами, протяженность крыльев до десятков метров с закономерно уменьшающейся мощностью до сантиметров – миллиметров. Апикальные части рифов часто более золотоносны, чем крылья. В верхних горизонтах месторождения (до 60–100 м) в некоторых осевых зонах выявлены ураганные содержания золота. Здесь наблюдались крупные первичные самородки золота, подобные тем, которые часто обнаруживались в россыпях. Минералогия золото-кварцевых тел Бендиго характеризуется малым количеством сульфидов (0,5–2,5%), среди которых преобладает пирит, реже встречаются арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит и еще реже — пирротин. В жилах отмечается анкерит.

Золото в основном видимое зернистое размером 100–2 мм [28]. Вместе с тем, установлены микронные включения золота в пирите и арсенопирите. Видимое золото часто встречается в ассоциации с галенитом. Упоминаются находки в такой ассоциации пентландита, виолариита, миллерита и ковеллина. Названные выше авторы указывают, что в ранних работах отмечалась связь золота с графитом. Графит часто наблюдался также на плоскостях скольжения рудоконтролирующих нарушений. Показательно, что золотоносные рифы оконтуриваются ореолами кристаллического арсенопирита и порфиробластами сидерита при отсутствии других проявлений гидротермального изменения вмещающих пород. В ореолах содержания Au 20–200 г/т, As 10–800 г/т [28]. Г.Филипс и М.Хьюгес [27] считают, что золоторудные месторождения штата Виктория образовались из однотипных метаморфогенных флюидов, преимущественно содержащих H_2O –

CO_2 – H_2S при T около 300°C. Основной период образования золоторудной минерализации — интервал 390–360 млн. лет.

Результаты детальных исследований известного серебро-полиметаллического месторождения Большой Канмансур [12, 13] позволяют проиллюстрировать зависимость формирования вкрапленно-прожилкового оруденения от тектонического развития рудовмещающего блока пород, которое привело к обособлению разностадийных минеральных образований в одних случаях, их совмещению — в других, а также к локализации одностадийных ассоциаций в различных участках.

Тектоническое развитие структуры Большого Канмансура проявилось в блоково-очаговой геодинамике. К началу процесса рудообразования оформился каркас структуры как жесткая вулканотектоническая постройка клиновидной формы, движения блоков которой вдоль крутопадающих разломов сопровождалась периферическим вулканизмом. Очаговыми их зонами в этот период, судя по установленным гипоцентрам землетрясений [12], служили крупные рудоконтролирующие разломы Адрасман-Тарызканского рудного узла. Вслед за инъекциями магмы происходила транспортировка глубинных флюидов. Вдоль разломов продолжалась миграция очагов мелких афтершоков. Накануне каждого из палеоземлетрясений, вероятно, имело место перенапряженное состояние пород зон будущих афтершоков. Некоторая часть энергии таких зон могла вызвать отток части флюидов из перенапряженных коллекторов в «свободные» участки. Мгновенная разгрузка напряжений сопровождалась прогрессивным развитием палеодеформаций с образованием разломов подчиненного порядка и трещин, в которые перераспределялась эта часть флюидов.

За весь длительный период минерало-, рудообразования установлено, по крайней мере, два крупных события тектонодинамической активности (рис. 5). На ранних этапах геодинамический режим обусловил заклинивание блокоразделяющих разломов северо-восточного направления, поскольку максимальные сжимающие усилия регионального поля напряжений меняли ориентировку в плоскости северо-западного простиранья. На отдельных интервалах разломов субширотного простиранья могли осуществляться сколовые движения. Естественно, разломы указанного простиранья были слабопроницаемы для рудогенерирующих растворов. Канмансурский разлом мог лишь на некоторых интервалах выполнять роль рудоподводящей и рудораспределяющей структуры. В следующий геодинамический этап тектонической активности ори-

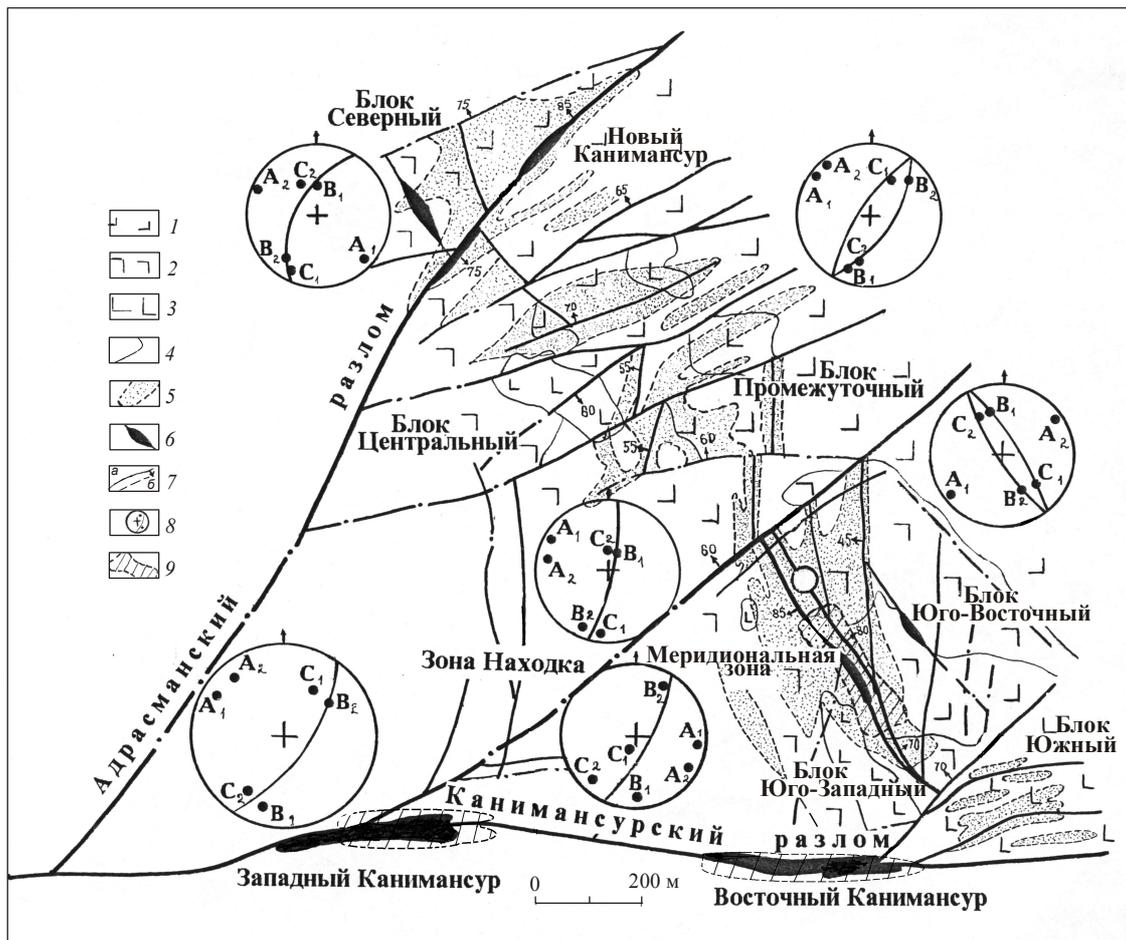


Рис. 5. Геолого-тектонический план горизонта 1305 м месторождения Большой Канимансур:

нижнепермские эффузивно-осадочные образования подсвит: 1 — тавакской, 2 — сферолитовой, 3 — тарызканской; 4 — границы подсвит; рудные тела: 5 — прожилково-вкрапленные, 6 — жильные; 7 — разломы (а — по разведочным, б — по геофизическим данным); 8 — диаграммы усредненного положения максимумов осей интратрудных деформаций (для блоков первого порядка — большего диаметра, для блоков второго — меньшего); 9 — нект вулканический

ентировка направлений главных сжимающих усилий изменилась на северо-восточную, что вызвало активизацию разломов северо-восточного простирания и образование многочисленных сколовых трещин с простиранием 30–60°. Субширотные разломы оставались закрытыми или частично активизировались на отдельных интервалах. Вдоль Канимансурского разлома, имеющего на некоторых изгибах субширотное, северо-восточное простирание, происходили сдвиги-сбросы, сопровождавшиеся внедрением кислых эффузивов и образованием нектков, даек субширотного простирания.

В ранний геодинамический этап рудоподводящий Канимансурский разлом распределял флюиды в Меридиональную зону и трещины аналогичного простирания. В поздний этап, когда Меридиональная зона была зажата, флюиды распределялись из

разлома в Комсомольский и другие нарушения северо-восточного простирания. Клиновидный блок Большого Канимансура в результате прогрессивных многоактных деформаций разбит на ряд более мелких блоков — Центральный, Промежуточный, Юго-Западный, Юго-Восточный и Южный. Особенности геодинамического режима интратрудного периода определили различную пространственную ориентировку рудных тел в этих блоках: в Центральном и Северном — северо-восточная, субширотная; в Промежуточном и Южных — преимущественно субмеридиональная.

Авторами установлено, что разломы Большого Канимансура — Адрасманский, Канимансурский и Меридиональная зона, ограничивающие блоки, имели наибольшее влияние на формирование рудных тел месторождения. Позиция разломов в реги-

ональном и локальных геодинамических полях обусловила наибольшую тектоническую активность блоков вдоль их сместителей. Именно вдоль этих разломов периодически осуществлялась максимальная транспортировка гидротермальных растворов.

Результаты специального структурного картирования и геометрического анализа [3] свидетельствуют о том, что ведущую роль в формировании и тектоническом развитии зон указанных разломов имел кинематический механизм, названный авторами ранее «маятниковым». При хрупких деформациях (смещение блоков вдоль сместителя), вызванных региональным полем напряжений, происходит разложение силовых параметров поля напряжения на региональную и локальную составляющие. Геодинамическая система стремится к равновесию путем синэнергетического взаимодействия регионального и локальных полей напряжений. Это вызывает качание плоскости ВС хрупких деформаций вдоль сместителя разлома и возвратные многоактные перемещения смежных блоков. Такой кинематический механизм сформировал зоны интенсивной приразломной трещиноватости, которая привела к разрастанию плоских камер вдоль швов указанных выше разломов. В результате резко снизилось давление. Лабораторные испытания А.И.Петрова [15] показали, что при быстром спаде давления до более низкого, чем во вмещающих породах, наиболее реальный механический способ проникновения газовой-жидких флюидов в плоскую камерную структуру — всасывание. С учетом этого становится понятной причина аккумуляции больших газовой-жидких флюидных масс в полостях — плоских камерах Адрасманского, Канимансурского разломов и Мериональной зоны.

Дискретно-непрерывный характер взаимодействия регионального и локальных полей напряжений по типу «маятника» определил форму структурных ловушек для рудных тел. В зонах указанных разломов, вовлеченных в такой деформационный процесс, образовались жилы, а зоны интенсивной приразломной трещиноватости оказались благоприятными для размещения рудных столбов. Такие структурные формы наложились на повсеместно развитые трещины северо-восточного простирания, сформировавшиеся в результате разгрузки регионального поля напряжений. Последние выполнены рудными прожилками, создавшими линейный штокверк. В зонах с меньшей степенью разрушения возникли прожилково-вкрапленные руды (см. рис. 5), объединяющие группу разнонаправленных рудных столбов с жилой в центре и ранние прожилки в гигантский штокверк.

Модель геодинамического режима развития среды минералообразования Большого Канимансура [13] позволила установить, что процесс длительного формирования оруденения осуществлялся под влиянием синэнергетического взаимодействия внешних тектонических полей напряжений с сейсмическим источником палеоземлетрясений. Блоково-очаговая природа развития структурных форм — одна из причин того, что интенсивный тектонодеформационный процесс периодически сопровождался излияниями остаточных магм, закупоривающих некоторые проводники. В таких случаях прожилково-вкрапленное оруденение контролируют вулканотектонические структуры граничных поверхностей стратифицированных толщ.

В заключение следует подчеркнуть различия пространственных соотношений в локализации вкрапленно-прожилкового и жильного оруденения, обусловленные генетическими особенностями проявления процессов рудообразования в определенных геодинамических обстановках. Такое восприятие этих соотношений представляется более обоснованным и перспективным при решении прикладных геологических задач, чем односторонние универсальные модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 06-05-64659.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вартамян Г.С., Юсупова И.Ф.* Формирование трещинных зон во флюидогенерирующих толщах // Отечественная геология. 2000. № 1. С. 60–63.
2. *Гаврилов А.М., Новожилов Ю.И.* О формационной принадлежности месторождения Сухой Лог // Руды и металлы. 1997. № 2. С. 52–56.
3. *Злобина Т.М.* Моделирование структурных условий размещения руд в штокверке // Геология рудных месторождений. 1989. № 6. С. 83–94.
4. *Золотоносный* арсенопирит и условия его образования на золоторудных месторождениях Олимпиада и Ведуга (Енисейский край, Сибирь) / А.Д.Генкин, Ф.Е.Вагнер, Т.Л.Крылова и др. // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 1. С. 59–76.
5. *Золоторудные* гиганты России и мира / М.М.Константинов, Е.М.Некрасов, А.А.Сидоров и др. – М.: Научный мир, 2000.
6. *Золоторудные* месторождения Мурунтау / Гл. ред. Т.Ш.Шаякубов. – Ташкент: ФАН АН Республики Узбекистан, 1998.
7. *Иванкин П.Ф., Назарова Н.И.* О типизации рудообразующих систем // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 35. № 5. С. 3–12.
8. *Константинов М.М.* Провинции благородных металлов. – М.: Недра, 1991.
9. *Константинов М.М., Костин А.В., Сидоров А.А.* Геология месторождений серебра. – Якутск: Сахаполиграфиздат, 2003.

10. *Кременецкий А.А., Юшко Н.А., Максимюк И.Е.* Типоморфные и типохимические особенности кварца и пирита как критерий SEDEX-генезиса месторождения Витватерсранд (Южная Африка) // Прикладная минералогия в решении проблем прогнозирования, поисков и оценки месторождений полезных ископаемых. М., 2001.
11. *Кривцов А.И.* Характеристика рудообразующих систем — состояние проблемы // Основные проблемы рудообразования и металлогении. — М.: Наука, 1990.
12. *Многометальное (Ag, Pb, U, Cu, Bi, Zn, F) Адрасман-Канимансурское рудное поле (Таджикистан) и его рудообразующая система, I: геология, минералогия, структурные условия рудоотложения / Ю.Г.Сафонов, Н.С.Бортников, Т.М.Злобина и др. // Геология рудных месторождений. 2000. Т. 42. № 3. С. 195–211.*
13. *Многометальное (Ag, Pb, U, Cu, Bi, Zn, F) Адрасман-Канимансурское рудное поле (Таджикистан) и его рудообразующая система, II: физико-химические, геохимические и геодинамические условия развития / Ю.Г.Сафонов, Н.С.Бортников, Т.М.Злобина и др. // Геология рудных месторождений. 2000. Т. 42. № 4. С. 350–362.*
14. *Околорудные изменения пород и физико-химические условия формирования золото-кварцевого месторождения Советское (Енисейский край, Россия) / О.В.Русинова, В.Л.Русинов, С.С.Абрамов и др. // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 4. С. 208–328.*
15. *Петров А.И.* Импульсно-очаговые структуры и проблемы их рудоносности. — Л.: Недра, 1988.
16. *Прокофьев В.Ю.* Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов. — Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 2000.
17. *Пэк А.А.* Орогенез, эрозия и гидротермальное рудообразование: гипотеза тепловой и геодинамической связи процессов // Основные проблемы рудообразования и металлогении. М., 1990.
18. *Пэк А.А., Мальковский В.И., Сафонов Ю.Г.* Континуум морфоструктур золоторудных гидротермальных полей, связанных с зонами глубокопроникающих разломов: гидротермальная система с вынужденной конвекцией флюидов // Проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. М., 2004. С. 130–146.
19. *Рудообразующие процессы и системы.* — М.: Наука, 1989.
20. *Русинова О.В., Русинов В.Л.* Метасоматический процесс в рудном поле Мурунтау (Западный Узбекистан) // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 1. С. 75–96.
21. *Сафонов Ю.Г.* Золоторудные и золотосодержащие месторождения мира — генезис и металлогенический потенциал // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 4. С. 305–320.
22. *Сафонов Ю.Г.* Процессы образования золоторудных месторождений // Проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. М., 2004. С. 99–129.
23. *Симкин Г.С.* Геологическая позиция и перспективы Советского золоторудного месторождения // Руды и металлы. 1997. № 2. С. 57–72.
24. *Томиленко А.А., Гибиер Н.А.* Особенности состава флюида в рудных и безрудных зонах Советского кварц-золоторудного месторождения, Енисейский край (по данным флюидных включений) // Геохимия. 2001. № 2. С. 167–177.
25. *Щеглов А.Д.* О металлогении Южно-Африканской Республики, генезисе золоторудных месторождений Витватерсранда и проблеме открытия их аналогов в России. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1994.
26. *Hutchinson R.W., Viljoen R.P.* Reevaluation of gold source in Witwatersrand ore // S. Afr. Geol. 1988. 91 (2). P. 157–173.
27. *Phillips G.N., Hughes M.* Victorian gold: a sleeping giant // SEG. 1995. № 21. P. 1, 9–13.
28. *Sharpe E.N., and MacGeehan P.J.* Bendigo Goldfield, in Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea. 1990. P. 1287–1296.

УДК 553.411.001.57 (571.65)

© Коллектив авторов, 2006

МНОГОФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАТАЛКА

С.Ф.Стружков, М.В.Наталенко, В.Б.Чекваидзе, И.З.Исакович, С.Ю.Голубев, В.А.Данильченко, А.В.Обушков, М.А.Зайцева, С.Г.Кряжев (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Наталка — крупнейшее в Магаданской области месторождение золота. Среди российских объектов оно входит в пятерку лидеров наряду с такими золоторудными гигантами, как Сухой Лог, Нежданинское, Майское и Олимпиада [6]. Месторождение открыто в 1942 г.; за 70 лет на нем добыто около 90 т золота. С ним непосредственно связана Омчакская россыпь, из которой добыто 105 т золота. Характерные особенности россыпного золота — пониженная пробность и преобладание тонких (<1 мм) фракций [8], являющиеся типоморфными признаками для крупнообъемных штокверковых месторождений Центрально-Колымского региона.

На протяжении 70 лет подземным способом обрабатывались сравнительно маломощные золото-кварцевые жильно-прожилковые зоны. Средняя мощность рудных тел составляла около 10 м. Уровень годовой добычи в последние годы не превышал 1 т. Начиная с 2004 г., после приобретения месторождения золоторудной компанией «Полус», рудником им. А.Матросова под руководством М.П.Казиминова и С.А.Григорова проводится интенсивная подготовка объекта к освоению по методике открытой крупнообъемной добычи [11]. Следствием новой концепции обработки месторождения является изменение взгляда на морфологию рудных тел. По результатам больших объемов горных и буровых работ (более 30 тыс. погонных метров) было установлено, что при среднем содержании Au 1–2 г/т весь пучок сближенных рудных зон и межжильное пространство могут рассматриваться как единая рудная залежь протяженностью около 4500 м, средней мощностью 400 м и прослеженной протяженностью по падению примерно 1000 м (рис. 1). Прогнозные ресурсы при этом превышают 1500 т золота (С.А.Григоров, 2006 г.).

В принципе такой ход событий аналогичен истории обработки многих крупнообъемных месторождений США (Раунд Маунтин, Голдфилд и др.), где вначале обрабатывались рудные столбы подземным способом, а затем закладывались гигантские карьеры.

В настоящее время Центрально-Колымский регион находится на пороге периода отработки крупнообъемных месторождений [10]. Наталка — эталонный, наиболее изученный объект этого класса. Успешная его доразведка позволит в будущем не только рационально отработать эталонный объект, но также выявить и разведать большое количество месторождений-аналогов, таких как золото-кварцевые месторождения Павлик, Омчак, Дегдекан, Токчан, Верхний Ат-Юрх, Чай-Юрья, Бурхалинское, Верхний Хакчан и др.

Геологическое строение и вещественный состав руд верхней части (250 м) Наталкинского месторождения в разные годы изучались на отдельных участках Е.П.Машко, В.Д.Володиным, Н.И.Карпенко, В.В.Гаштольд, С.В.Межовым, С.А.Григоровым, П.И.Скорняковым, В.П.Плутешко, А.И.Калининым, С.В.Яблоковой, В.И.Гончаровым, С.В.Ворошиным, Р.А.Ереминым, Б.О.Иванюком, В.Б.Чекваидзе, И.З.Исакович, В.И.Лобачем, В.А.Сидоровым и др. Нижняя часть (600 м), вовлеченная в текущий проект, ранее не изучалась. Учитывая неравномерную изученность, возникла необходимость продолжить научно-исследовательские работы на месторождении в целях создания многофакторной модели с использованием новых данных по глубоким горизонтам.

Создание модели базируется на анализе следующих основных элементов: литолого-стратиграфических, магматических, структурных, морфологии рудных тел и распределения золота, метаморфических, метасоматических, минералогических и генетических. Оно проводилось по четырем горно-буровым разрезам, охватывающим различные части месторождения — северную (–70), центральную (+20, +50) и южную (+90), а также данным предыдущих исследователей.

Методика исследований включала документацию канав, подземных выработок и керн скважин (более 10 000 м), изучение 500 шлифов, 100 аншлифов, протоочных проб, выполнение различных видов анализов.



Рис. 1. Геологическая схема центральной части Наталкинского месторождения, с использованием данных А.И.Калинина, 1992 и ОАО «Рудник им. А.Матросова», 2006 г.:

1 — неручинская свита ($P_2 nr$): верхняя подсвита — переслаивающиеся алевролиты и песчаники, в основании — горизонт песчаников, нижняя подсвита — алевролиты с прослоями песчаников и редкими прослоями диамиктитов; 2 — атканская свита ($P_2 at$) — диамиктиты (туфогенные сланцы) с прослоями песчаников, алевролитов и гравелитов; 3 — тасская свита ($P_{1-2 ts}$): верхняя подсвита — аргиллиты, алевролиты, мелкозернистые песчаники, средняя подсвита — аргиллиты, алевролиты; 4 — позднеюрские дайки спессаритов, диорит-порфиров, микродиоритов; 5 — разрывные нарушения: а — главные (1 — Главный, 2 — Северо-Восточный), б — второстепенные; б — известные рудные тела (бортовое содержание Au 1,5 г/т); 7 — контуры рудной залежи (бортовое содержание Au 0,4 г/т)

Литолого-стратиграфические элементы модели. Наталкинское рудное поле сложено (снизу вверх) согласно залегающими верхнепермскими породами свит: тасской (алевролиты), атканской (галльковые туфогенные сланцы или диамиктиты) и нерючинской (песчаники, алевролиты). Литолого-стратиграфический фактор влияет на размещение рудной залежи. Максимальные ее мощности отмечаются в атканской свите. В нерючинские и тасские породы минерализация распространяется вдоль зон крупных разрывов на расстояние до 200 м от контакта с атканской свитой. Для последней характерно максимальное развитие хрупких деформаций.

В пределах рудного поля нами детально изучены атканские отложения. В каждой точке наблюдения проводились замеры преобладающего размера галек и их относительного количества. Установлено, что атканская свита между основными рудоконтролирующими разломами характеризуется отсутствием крупнообломочного материала. Таким образом, область будущего рудоотложения уже в период осадконакопления отличалась от окружающей территории наличием линейного поднятия, предположительно связанного с долгоживущими разломами.

Магматические элементы модели. На флангах рудной залежи развиты пояса даек спессаритов и диоритовых порфиринов. Минерализованные отрезки даек в контуре рудоносной блок-пластины можно рассматривать в качестве составной части рудной залежи (около 5% от общего объема рудного тела). За пределами рудной залежи золотоносность даек значительно снижается, необходимым условием рудоносности является наложение на дайки рудоподводящих разломов или оперяющих их трещин. Таким образом, магматические элементы рудолокализации заключаются в благоприятных петрофизических свойствах дорудных даек.

Структурные элементы модели. Вмещающие породы смяты в линейные складки [9]. Наталкинская синклиналь, к западному крылу которой приурочена рудная залежь, представляет собой складку простиранием $310\text{--}320^\circ$, длиной 4,5 км, шириной 2,5 км. Западное ее крыло более крутое (до $70\text{--}80^\circ$), что связано с наложением рудоконтролирующих разломов северо-западной ориентировки, восточное — пологое ($35\text{--}50^\circ$).

Ведущие структурные факторы контроля локализации рудной залежи представлены разнонаправленными трещинными и разрывными нарушениями, развитыми в минерализованной блок-пластине между двумя рудоконтролирующими разломами северо-западного простирания [2], — Главным и Северо-Восточным (рис. 2). К доминирующим рудовмещающим структурам относятся последовательно развитые системы: кливажных субпарал-

лельных трещин; сбросо-сдвигов северо-западного простирания и северо-восточного падения, параллельных основным рудоконтролирующим разломам; густая сеть тонких разноориентированных трещин.

Элементы морфологии рудных тел и распределения золота. Рудная залежь, оконтуренная по бортовому содержанию Au 0,4 г/т, представляет собой минерализованную блок-пластину генерального северо-восточного падения, пронизанную сетью кварцевых жил, участков брекчирования, разноориентированных кварцевых прожилков.

Фронтальная и центральная части залежи приурочены к тектоническому блоку между двумя рудоконтролирующими разломами, нижняя — конформна пологому контакту атканской и тасской свит и контролируется западным крылом Наталкинской синклинали.

Распределение золота внутри рудной залежи носит сравнительно равномерный характер, определяющий устойчивым каркасом макро- и микропрожилков золото-арсенопирит-анкерит-серицит-альбит-кварцевого состава. Значительные объемы проанализированного фактического материала свидетельствуют об устойчивой корреляции повышенных содержаний золота с наличием жильных и прожилковых образований. Сульфидная вкрапленность при отсутствии жил или микро- и макропрожилков в промышленном масштабе не золотоносна.

Внутри рудной залежи выделяются устойчивые протяженные области повышенных содержаний Au (>2 г/т). Обилие таких областей на глубоких горизонтах позволяет утверждать, что нижняя (ранее не отрабатываемая) часть месторождения сопоставима по своему богатству с верхней.

Установлена отчетливая вертикальная морфологическая зональность рудной залежи: в верхней части месторождения зоны прожилковой минерализации содержат мощные (до 1–2 м) стволые жилы существенно кварцевого состава, тогда как, начиная с горизонта 600 м и глубже, залежь практически нацело представлена штокверком тонких, в том числе микроскопических, сульфидно-кварцевых прожилков.

Метаморфические элементы модели наиболее информативны в объеме рудного поля. Вкрест простирания рудного поля откартированы три метаморфические зоны: внешняя биотит-пирротиновая связана с продуктами прогрессивного этапа; к центру ее сменяет регрессивная хлорит-марказитовая, в пределах которой происходит псевдоморфная хлоритизация биотита и дисульфидизация пирротина с превращением его в марказит; мусковит-пиритовая, непосредственно переходящая в ореол околорудных изменений, представлена полосой развития частичных или полных

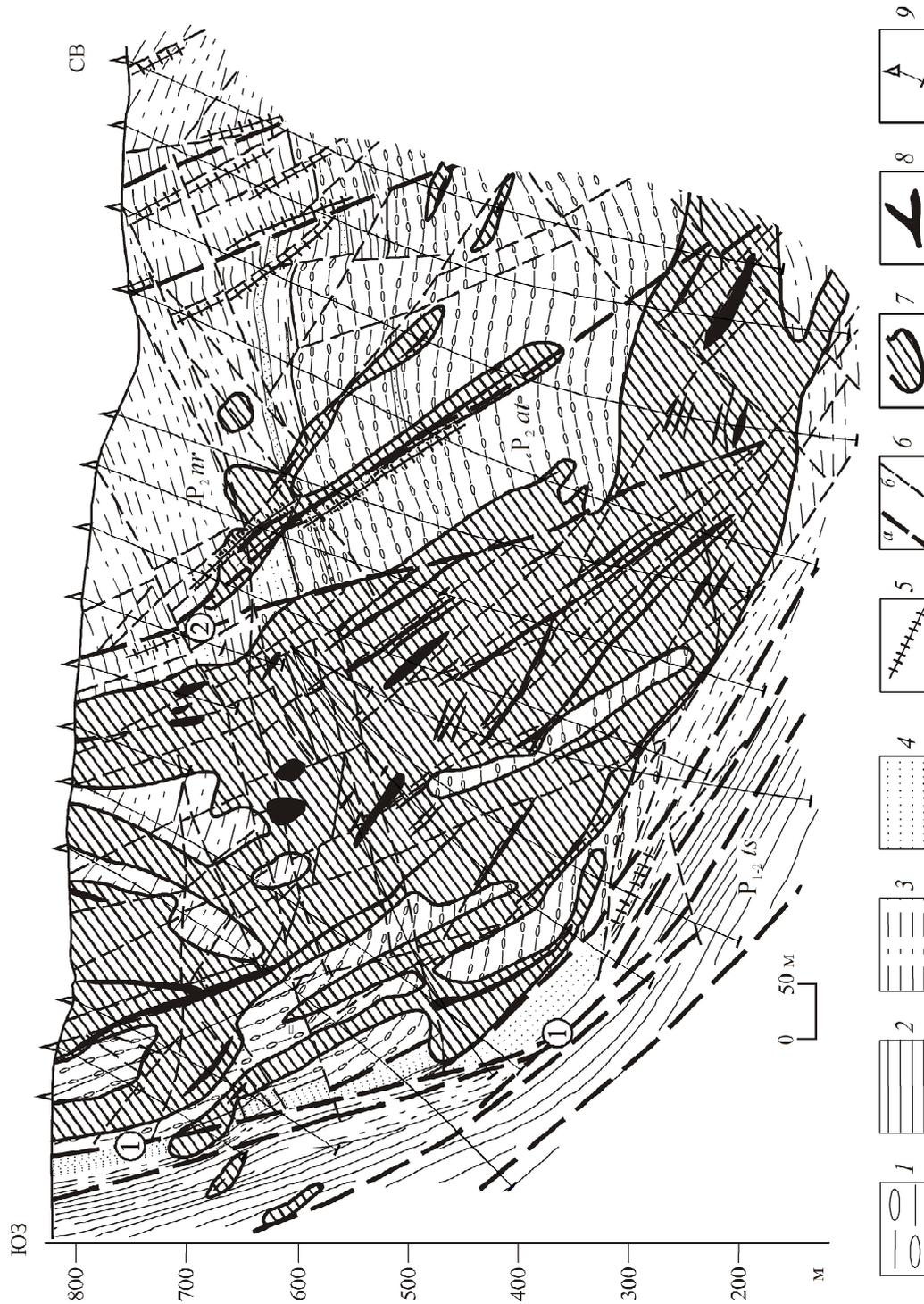


Рис. 2. Геологический разрез по профилю +50, с использованием данных ОАО «Рудник им. А.Матросова», 2006 г.:

1 — диамиктиты (туфогенные сланцы); 2 — аргиллиты; 3 — алвеолиты; 4 — песчаники; 5 — позднепорфирные дайки сплессаритов, диорит-порфиритов, микродиоритов; 6 — разрывные нарушения: а — главные (1 — Г-Главный, 2 — Северо-Восточный), б — второстепенные; 7 — контуры рудной залежи (бортовое содержание Au > 0,4 г/т); 8 — области повышенных содержания Au (> 2,0 г/т); 9 — буровые скважины

псевдоморфоз мусковита по хлориту в сопровождении новообразованного пирита по марказиту (рис. 3).

ная морфология и прожилковые формы выделения. Взаимоотношения золота с минералами различных

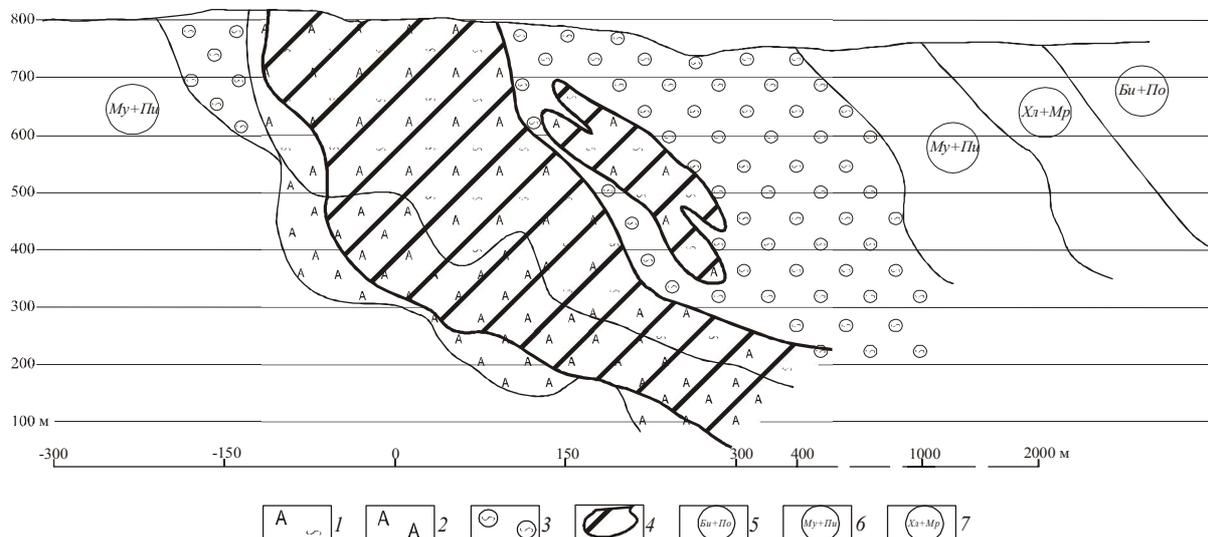


Рис. 3. Модель метасоматической и метаморфической зональностей Наталкинского рудного поля:

околорудные метасоматические ореолы: 1 — зона совмещения концентрированных серицитовых и альбит-карбонат-кварцевых метасоматитов, 2 — зона существенно альбит-карбонат-кварцевых метасоматитов, 3 — малоинтенсивная пятнисто-рассеянная серицитизация, 4 — рудная залежь; метаморфические зоны: 5 — биотит-пирротиновая, 6 — мусковит-пиритовая, 7 — хлорит-марказитовая

Метасоматические элементы модели имеют наиболее важное значение в объеме рудной залежи. В ходе документации горных выработок и изучения прозрачных шлифов была намечена зональность околорудных метасоматических изменений, которые можно картировать в полевых условиях (рис. 4). Выделены три зоны изменений, частично совпадающие с рудными телами и формирующие вокруг них чехольные ореолы: серицит-кварцевая (верхне- и среднерудный уровни), альбит-кварцевая (верхне-, средне- и нижнерудный уровни) и кварц-кальцитовая (над- и подрудный уровни).

Минералогические элементы модели. В схеме минералообразования (табл. 1) выделены два метаморфических этапа — прогрессивный и регрессивный и только одна продуктивная стадия — золото-арсенопирит-кварц-анкеритовая, несущая сульфиды полиметаллов. Ранняя пирит-арсенопирит-альбит-кварцевая стадия, выделяемая предшествующими исследователями в качестве ранней продуктивной [5], по нашим данным, благоприятна лишь для локализации позднего золота. В пользу существования только одной генерации золота говорят особенности его локализации. Золото зачастую приурочено к поздним трещинкам в призальбандовых частях прожилков, местами накладывается на вмещающие породы. Характерны интерстициаль-

стадий указывают на его наложенный характер. Лишь с сульфидами полиметаллов золото формирует тесные парагенетические ассоциации. Полученные нами данные микрозондового анализа (Camebax SX-50, аналитик И.А.Брызгалов) по пробности золота иллюстрируют отчетливое одномодальное его распределение (вариации от 741 до 819 при среднем значении 781), что также указывает на наличие единой продуктивной стадии.

Изучение аншлифов, различные аналитические исследования и документация горных выработок позволяют наметить следующие элементы рудной зональности (рис. 5). Для месторождения типична неконтрастная, растянутая зональность, что весьма характерно для сверхкрупных объектов. Отмечена зональность в распределении основных сульфидов (пирита и арсенопирита): для верхнерудных горизонтов характерна ассоциация золота с крупнозернистым арсенопиритом, часто в гнездовых сростаниях с пиритом, на глубине (глубже отметки 600 м) пирит исчезает. Фиксируется зональность в распределении полиметаллической минерализации: галенит преобладает на верхних горизонтах, а сфалерит и халькопирит — на нижних. Крупность и пробность золота с глубиной возрастают. Золото-серебряное отношение (>1) по данным атомно-абсорбционного анализа хорошо оконтуривает рудную за-

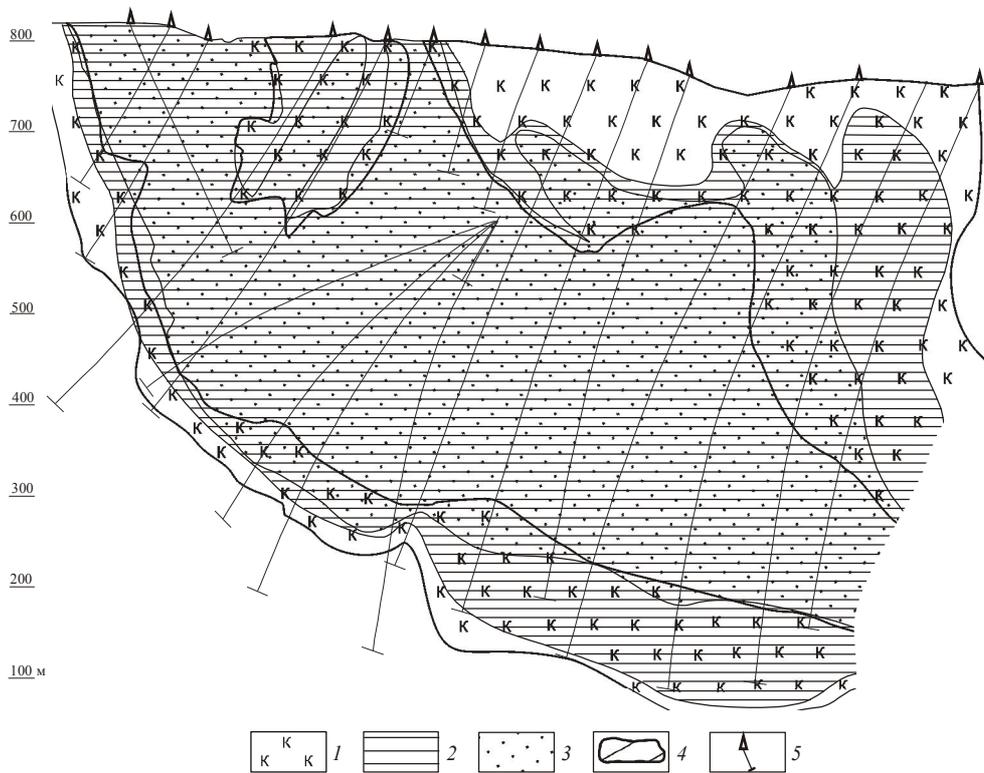


Рис. 4. Схема метасоматической зональности Наталкинского месторождения (профиль +50):

новообразованные минеральные ассоциации: 1 — кварц-кальцитовая, 2 — альбит-кварцевая, 3 — серицит-кварцевая; 4 — рудная залежь (содержания Au >0,4 г/т); 5 — буровые скважины

1. Схема последовательности минералообразования

Минералы	Прогрессивно-метаморфический этап	Регрессивно-метаморфический этап			
		Стадии			
		хлорит-мусковит-серицитовая	пирит-арсенопирит-альбит-кварцевая	золото-арсенопирит-кварц-анкеритовая-(с сульфидами полиметаллов)	пирит-кальцитовая
Биотит					
Хлорит					
Мусковит					
Серицит					
Кварц					
Альбит					
Адуляр					
Анкерит					
Рутил					
Кальцит					
Fe-кальцит					
Пирротин					
Пирит		I — II	III		IV
Марказит					
Арсенопирит			I	II	
Со-арсениды					
Сфалерит					
Галенит					
Блеклая руда					
Халькопирит					
Золото					
T, °C			385–300	300–250	250–170
P, бар			800–500	500–300	<300

лежь, что также связано с минералогической зональностью: залежь отличается преимущественным развитием золото-арсенопирит-анкерит-серицит-альбит-кварцевой ассоциации, для которой характерен диапазон содержаний Au 1–200 г/т и Ag 1–20 г/т, а в надрудных, подрудных и фланговых участках проявлена кварц-кальцитовая ассоциация, отличающаяся низкими содержаниями Au (0,01–0,001 г/т) и повышенными Ag (0,1–20 г/т).

поздней золотой минерализации. Локализация золотой минерализации была обусловлена сочетанием структурных и литологических элементов с путями движения рудоносных растворов, длительностью их воздействия и т.д. Таким образом, прогнозно-поисковая модель месторождения имеет комплексный, многофакторный характер.

Генетические элементы модели. Источники рудообразующих растворов и параметры физико-хи-

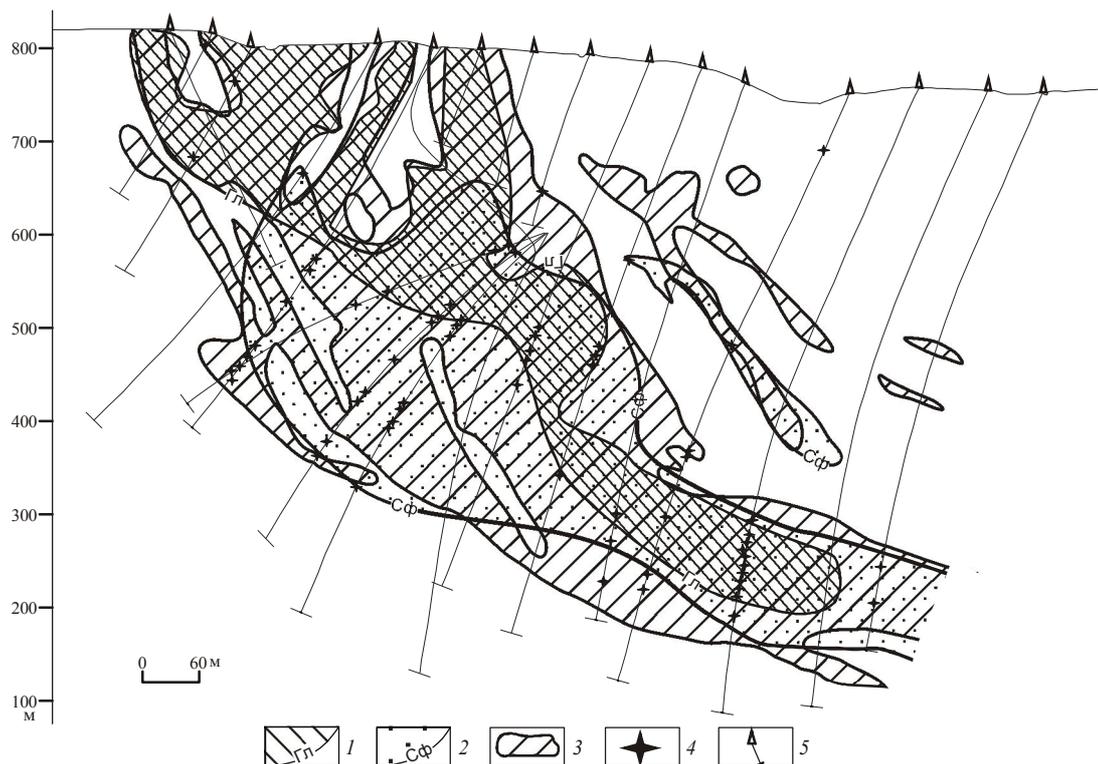


Рис. 5. Рудная зональность (профиль +50):

области распространения: 1 — галенита, 2 — сфалерита; 3 — рудная залежь (содержания Au >0,4 г/т); 4 — точки с видимым золотом; 5 — буровые скважины

Анализ полученных данных позволяет ранжировать рудоконтролирующие факторы в объеме рудной залежи в порядке убывания значимости: 1) минералогические элементы — развитие продуктивной минерализации и рудная зональность; 2) штокерк ранних кварцевых жил и прожилков; 3) метасоматическая зональность; 4) парные сколовые нарушения северо-северо-западного простирания; 5) элементы складчатой структуры; 6) литолого-стратиграфический контроль; 7) магматические элементы. Как уже говорилось, ни один из этих факторов не может рассматриваться в качестве всеобъемлющего, поскольку все они развиты в различной степени в разных частях месторождения и отражают лишь различные виды ловушек для более

мического режима минералообразования определены по комплексу термобарогеохимических и изотопных данных.

Флюидные включения в кварце (табл. 2) содержат водно-солевой раствор с низким содержанием хлор-иона (температура эвтектики –8...–6°C) и углекислоту с незначительной примесью метана (табл. 3). Последовательно сформированные генерации включений, соответствующие выделенным стадиям минералообразования, отличаются температурами гомогенизации и содержанием углекислотной фазы.

Высокотемпературные включения (температура гомогенизации 385–300°C), отвечающие предрудной стадии, содержат плотную (0,7 г/см³) углекис-

2. Состав и свойства флюидных включений в кварце по данным гомогенизации и криометрии

Образцы	Тип газово-жидких включений	Температуры фазовых переходов, °С					Число включений	Параметры флюида				
		эвтектики	плавления льда	плавления газогидрата	тройной точки CO ₂	гомогенизации CO ₂		полной гомогенизации в жидкую фазу	NaCl экв. % массы	T _{ср.} , °С	CO ₂ , мол. %	P, бар
1	Вторичные	-6	-3,0	н	-	-	10	165-190	5	200	<1	-
	Первично-вторичные	-7	-5,0	н	-	-	5	215-225	8	260	<1	-
2	Вторичные	-6	-3,0	н	-	-	6	165-190	7	200	<1	-
	Первично-вторичные	-8	-4,0	+8	-56,7	+20 Г	20	230-250	4-6	250	2	300
4	То же	н	н	+5	-58	+23 Ж	3	280-290	9	285	7	600
	«	-	-	-	-58	+19 Ж	15	-	-	285	100	>500
5	Первичные	н	-3,5	+7...+8	-58	+26 Ж	5	300-330	6	330	8-10	450-800
	Первично-вторичные	н	н	+7...+8	н	н	5	270-280	6	275	5	500
	То же	-	-	-	-58	+24 Ж	10	-	-	275	100	<1000
6	Первичные	-7	-6	н	-	-	7	265	9	305	<1	-
	Вторичные	-7,5	-4,5	н	-	-	20	200	7	240	<1	-

П р и м е ч а н и е. н — фазовый переход отсутствует или неясно выражен. Фазы: Г — газовая, Ж — жидкая.

лоту в количестве 8–10 мол.%. Давление консервации включений оценивается в 500–800 бар. Включения, характеризующие продуктивную стадию, имеют температуру гомогенизации 300–250°C и содержат углекислоту более низкой плотности (0,4 г/см³) в количестве от 7 до 2 мол.%. В ассоциации с ними наблюдаются существенно углекислотные включения. Оценки флюидного давления варьируют от 500 до 300 бар. Во включениях растворов пострудной стадии с температурой гомогенизации 130–225°C углекислота не фиксируется. Для определения температуры их образования введена поправка, обусловленная давлением (+40°C). Рассмотренный ряд включений отражает процесс вскипания минералообразующих растворов — выделение углекислотной фазы вследствие снижения температуры и главным образом давления. Глубинность этого процесса можно оценить в 2–3 км (давление 300–800 бар).

Распределение температур гомогенизации в пределах изученных буровых разрезов позволяет предполагать циркуляционный характер движения рудоносных растворов.

Полученные авторами совместно с В.И.Устиновым (ГЕОХИ РАН) вариации изотопного состава кислорода водной фазы флюида (+0,3...+5,2‰ для неразделенных предпродуктивной и продуктивной стадий; -5,6–0‰ для постпродуктивной стадии) можно оценить как свидетельство увеличения доли метеорной воды в ходе минералообразования (табл. 4).

Таким образом, особенности флюидного режима минералообразования показывают, что рудоотложение протекало на фоне снижения температуры от 385–300°C (предрудная стадия) до 250–170°C (пострудная стадия) и давления от 800 до 300 бар соответственно. Золото отлагалось преимущественно при 300–250°C. Основным фактором рудоотложения, по-видимому, было значительное повышение щелочности флюида вследствие его вскипания и удаления CO₂ в условиях сброса давления. Рудообразующие растворы имели гидрокарбонатно-натриевый состав при весьма низком содержании хлор-иона и тяжелого изотопа кислорода ($\delta^{18}\text{O}$ менее +5‰). Эти признаки свидетельствуют об амагматогенной природе флюидов.

Совокупность проведенных наблюдений с учетом данных предыдущих исследователей [1, 3, 4, 7, 12, 13] позволила разработать предварительную метаморфогенно-гидротермальную модель формирования месторождения. Осадконакопление осуществлялось в пермский период в условиях континентального склона. Формирование туфогенных сланцев (диамиктитов) связывается с размытием вулкани-

3. Результаты газохроматографических анализов кварца, аналитик Ю.В.Васюта (ЦНИГРИ)

Номера образцов	Содержание газов, мл/кг кварца			Отношения компонентов	
	H ₂ O	CO ₂	CH ₄	CO ₂ /H ₂ O	CO ₂ /CH ₄
C-2/50-44	2123	64	3,39	0,03	18,9
C-9/50-480	807	80	0,76	0,10	104,8
C-13/50-606	939	66	1,14	0,07	58,0
C-20/6-154	831	44	4,24	0,05	10,4
C-20/2-270	1537	25	7,55	0,02	3,3
C-20/6-446	2599	122	2,72	0,05	44,9
C-20/2-502	1004	72	1,82	0,07	39,6
C-20/2-541	647	57	1,65	0,09	34,5
C-20/2-570	753	85	2,23	0,11	38,2
K-70/3-60	1640	65	8,95	0,04	7,3
K-70/3-9	944	54	1,31	0,06	41,3
K-70/3-203	715	66	1,30	0,09	50,9
C-70/9-83	753	51	0,88	0,07	58,0
C-70/5-544	1017	48	0,90	0,05	53,3
C-70/6-325	877	6	0,66	0,01	9,1

4. Изотопный состав кислорода кварца месторождения Наталка, аналитик В.И.Устинов (ГЕОХИ РАН)

Стадии минералообразования	Характеристика пробы	Номера проб	Тобр, °С по данным флюидных включений	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) кварца, ‰	$\delta^{18}\text{O}$ воды, ‰	Au, г/т
Неразделенные предпродуктивная пирит-арсенопирит-альбит-кварцевая + продуктивная золото-арсенопирит-кварц-анкеритовая (с сульфидами полиметаллов)	Кварцевые прожилки с сульфидами в диамиктите	K-10-050/1	220–300*	+12,2	+1,7...+5,2	2,53
	То же	K-11-030/1	260–300	+9,1	+0,5...+2,1	0,34
	Кварцевая жила брекчиевой текстуры с сульфидами и видимым золотом в диамиктите	K-11-041,5	250–300	+9,3	+0,3...+2,3	29,14
	Арсенопирит-кварцевый прожилок с видимым золотом в диамиктите	C-18-33	250–300	+9,7	+0,7...+2,4	0,013
	Анкерит-кварцевый прожилок с сульфидами в диамиктите	K-11-020	215–250	+11,2	+0,7...+2,2	5,52
Постпродуктивная пирит-кальцитовая	Арсенопирит-пирит-кальцит-кварцевый прожилок брекчиевой текстуры в глинистом алевролите	K-7-бис-253	185	+8,9	-5,6	0,25
	Пирит-кварцевый прожилок	C-101-129	230	+9,8	0,0	0,044

*Минимальная-максимальная.

тов Охотского массива. Рудоконтролирующие разломы заложены в конседиментационный период, на что указывает распределение галек в атканских отложениях. Источником золота могли служить металлоносные подводные гидротермы (аналоги современных «курильщиков»), приуроченные к рифтогенным структурам северо-западной ориентировки. Вместе с осадками происходило захоронение седиментогенной сульфидной вкрапленности с рассеянным золотом.

Мобилизация золота, флюидов (в основном воды и углекислоты), а также жильных и рудных компонентов из вмещающих пород была связана с позднеюрским региональным метаморфизмом, проявившимся одновременно со складкообразованием. Учитывая отсутствие в рудообразующих растворах хлор-иона, перенос золота, вероятно, происходил в тиосульфатных комплексах.

Образование разломной структуры следовало за складкообразованием. Наиболее глубоко проникающие рудоконтролирующие разломы вскрывали зону формирования рудоносных растворов на глубине и способствовали их перемещению вверх. В ходе начальных стадий рудоотложения зарождались метасоматическая зональность, жильно-прожилковый каркас и морфология будущей рудной залежи. Сравнительно резкая смена прожилков мощными ствольными жилами выше горизонта 600 м маркирует переход снизу вверх по разрезу от литостатического режима давления к гидростатическому. Об открытости системы свидетельствуют результаты изотопных анализов (примесь метеорных вод), а также зональность распределения основных сульфидов (пирита и арсенопирита). Исчезновение пирита на глубине объясняется снижением фугитивности кислорода, характерным для открытой системы.

Золотоносные растворы перемещались вдоль основных рудоконтролирующих разломов (Главного и Северо-Восточного), приуроченных к контакту тасской и атканской свит. На это указывает рудная зональность: преобладание на верхне- и среднерудном уровнях галенита и его смена на средне-нижнерудном уровнях сфалеритом и халькопиритом. Кроме того, золотоносные растворы предположительно двигались по системе межформационных разломов (вдоль контакта тасской и атканской свит), а также по системе послонного кливажа в атканской свите. Вместе с тем, разнонаправленные температурные градиенты (по данным изучения флюидных включений) указывают на более сложный, возможно, конвекционный характер циркуляции растворов в пределах рудной залежи.

Далее отложение золота происходило в ходе единственной продуктивной стадии. Рудоотложе-

ние протекало в сравнительно узком температурном интервале от 300 до 250°C в условиях снижения давления от 800 до 300 бар на глубинах 2–3 км. Ведущим механизмом рудоотложения было повышение щелочности рудоносных растворов вследствие вскипания водно-углекислотного флюида и удаления углекислоты, что привело к осаждению золота. Не исключено, что падение давления и температуры связано с общим подъемом и эрозией территории, предшествующими образованию гранитных массивов. В роли основного геохимического барьера выступали ранее сформированные арсенопирит-анкерит-серицит-альбит-кварцевые жилы, а также микро- и макропрожилки. Локальными геохимическими барьерами служили ранние сульфиды и просечки углистого вещества в жилах и прожилках. Увеличение крупности золота на глубоких горизонтах в центральной части месторождения и появление сравнительно обильного видимого золота, очевидно, обусловлены более длительной циркуляцией растворов, тогда как на приповерхностных уровнях рудоотложение протекало быстрее при сохранении уровня золотоносности.

«Отработанные» растворы двигались в стороны от минерализованной блок-пластины, формируя вокруг рудной залежи ореолы слабозолотоносных кальцит-кварцевых прожилков, отличающихся повышенным содержанием серебра.

Сходные геолого-генетические особенности рудообразования отмечены нами в Дегдеканском, Токчанском и Верхне-Ат-Юряхском рудных полях, что позволяет распространять предложенную модель на другие крупнообъемные золото-кварцевые месторождения Центрально-Колымского региона.

Авторы благодарят М.М.Константинова и С.А.Григорова за всестороннюю поддержку и полезные консультации, Б.К.Михайлова — за содействие при постановке исследований, М.П.Казимирова — за создание оптимальных условий для полевых работ, Н.П.Ягубова, В.И.Чичева, В.Д.Ворожбенко, С.В.Кузина, П.И.Кушнарева, А.П.Кушнарева, Н.Ф.Давыденко — за помощь при сборе материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геология и оруденение Ат-Юрях-Штурмовского золоторудного узла (Магаданская область) / С.В.Ворошин, Е.Э.Тюкова, В.Г.Шахтыров и др. — Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003.*
2. *Гаитольд В.В.* Геолого-структурные особенности локализации золотого оруденения наталкинского типа и его геолого-экономическая оценка на примере месторождений Омчакского рудного узла (Магаданская область): Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — Магадан, 2005.
3. *Гельман М.Л.* Геолого-петрологические аспекты связи золотого оруденения и магматизма в гранитоидных

- провинциях: Северо-Восток Азии в сравнении с Кордильерами Северной Америки, Западной Австралией // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северо-Восточной Пацифики. Магадан, 2000. Т. 2. С. 5–79.
4. Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. Наталкинское золоторудное месторождение. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002.
 5. Калинин А.И. Месторождение Наталка // Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России. М., 1992. С. 5–11.
 6. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. – М.: Научный мир, 2000.
 7. Крутоус М.П. Низкотемпературный метаморфизм рудовмещающих толщ и методика его изучения в золотоносных районах Северо-Востока СССР при геологическом картировании масштаба 1:50 000 // Метаморфические комплексы Северо-Востока СССР, их рудоносность и геологическое картирование. Магадан, 1992. С. 124–143.
 8. Литвиненко И.С. Россыпные месторождения золота Омчакского узла. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002.
 9. Межов С.В. Геологическое строение Наталкинского золоторудного месторождения // Колымские вести. 2000. № 9. С. 8–17.
 10. Михайлов Б.К., Прусс Ю.В., Волков С.В., Стружков С.Ф. Крупнообъемные золоторудные месторождения Центральной Колымы — объекты XXI века. Золотодобывающая промышленность России. Проблемы и перспективы. – М., 2001. С. 23–28.
 11. Рудаков В.В., Казимиров М.П., Григоров С.А. О новом экономическом классе коренных месторождений золота в России // Драгоценные металлы. 2004. Июль. С. 49–51.
 12. Фирсов Л.В. Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. – Новосибирск: Наука, 1985.
 13. *Geology and genesis of the Natalka gold deposit, Northeast Russia* / R.A.Eremin., S.V.Voroshin, V.A.Sidorov et al. // *International Geology Review*. 1994. Vol. 36. P. 1113–1138.

УДК 553.411 (571.65)

© С.А.Григоров, 2006

ГЕНЕЗИС И ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ НАТАЛКИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ДАННЫМ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ

С.А.Григоров (ОАО «Рудник им. А.Матросова»)

На Наталкинском золоторудном месторождении (Магаданская область) более 60 лет непрерывно с разной интенсивностью ведутся геологоразведочные работы. Подземными горными горизонтами (семь горизонтов через 50 м) и скважинами колонкового бурения (по сети 200×60–80 м) месторождение вскрыто на 4500 м по латерали и на 1000–1200 м по склонению рудной залежи. Собран огромный фактический материал, который позволяет рассматривать это уникальное месторождение как природную лабораторию для исследования актуальных проблем прикладной и теоретической геологии.

В последние два года проводится буровая разведка флангов и глубоких горизонтов месторождения для обоснования целесообразности открытой добычи руды в формате крупнообъемного производства (30–40 млн. т руды в год). Установлено, что при снижении бортового содержания золота до 0,4–0,6 г/т ранее разведанные и эксплуатируемые рудные

тела и зоны объединяются в единую, выдержанную по падению и простиранию Рудную залежь (РЗ) с запасами золота около 2000 т при среднем содержании около 1,5 г/т. В этом случае «экономические» размеры наиболее полно соответствуют природному объему, в котором было сформировано месторождение. Следовательно, закономерности строения РЗ в целом отражают наиболее общие закономерности рудообразования в естественных границах.

В истории геологического изучения Наталкинского месторождения было несколько периодов, когда оно рассматривалось через призму «экономических параметров» локальных рудных образований (кварцевые жилы, линейные зоны, штокверки). Более целостное представление о его генезисе, динамике и условиях формирования складывается при системном анализе строения геохимического поля в плане (на поверхности) и разрезах (через 200 м по простиранию РЗ).

Геохимическое поле в плане изучено по сети 200×20 м (в центре) и 200×40 м (на флангах). Пробы прошли количественный анализ на отечественном рентгеноспектральном анализаторе «Спектроскан МАКС-GV» на Fe_2O_3 , K_2O , SiO_2 , MnO , As , Pb , Zn , W , Cu , Ba . Соединения и химические элементы выбраны из широкого списка, из которого были исключены химические элементы, дублирующие пространственное распределение выбранных для морфоструктурного анализа.

В плане в геохимическом поле окисных соединений железа отражена центриклиальная конструкция относительно РЗ, имеющая кольцевое замыкание на юго-восточном фланге (рис. 1, 2). В структуре геохимического поля железа уверенно

интерполируются кольцевые, дуговые и линейные линеаменты, которые в основном совпадают по направлению и пространственному положению с известными тектоническими и геологическими границами. Учитывая распространенность окисных соединений железа в геологической среде, можно утверждать, что в строении геохимического поля отражены наиболее общие закономерности пространственной дифференциации минерального вещества в процессе рудогенеза и элементы геологической структуры, в которой развивается этот процесс. В общем виде соединения железа концентрируются во внешней области относительно РЗ, формируя центриклиально-волновую конструкцию.

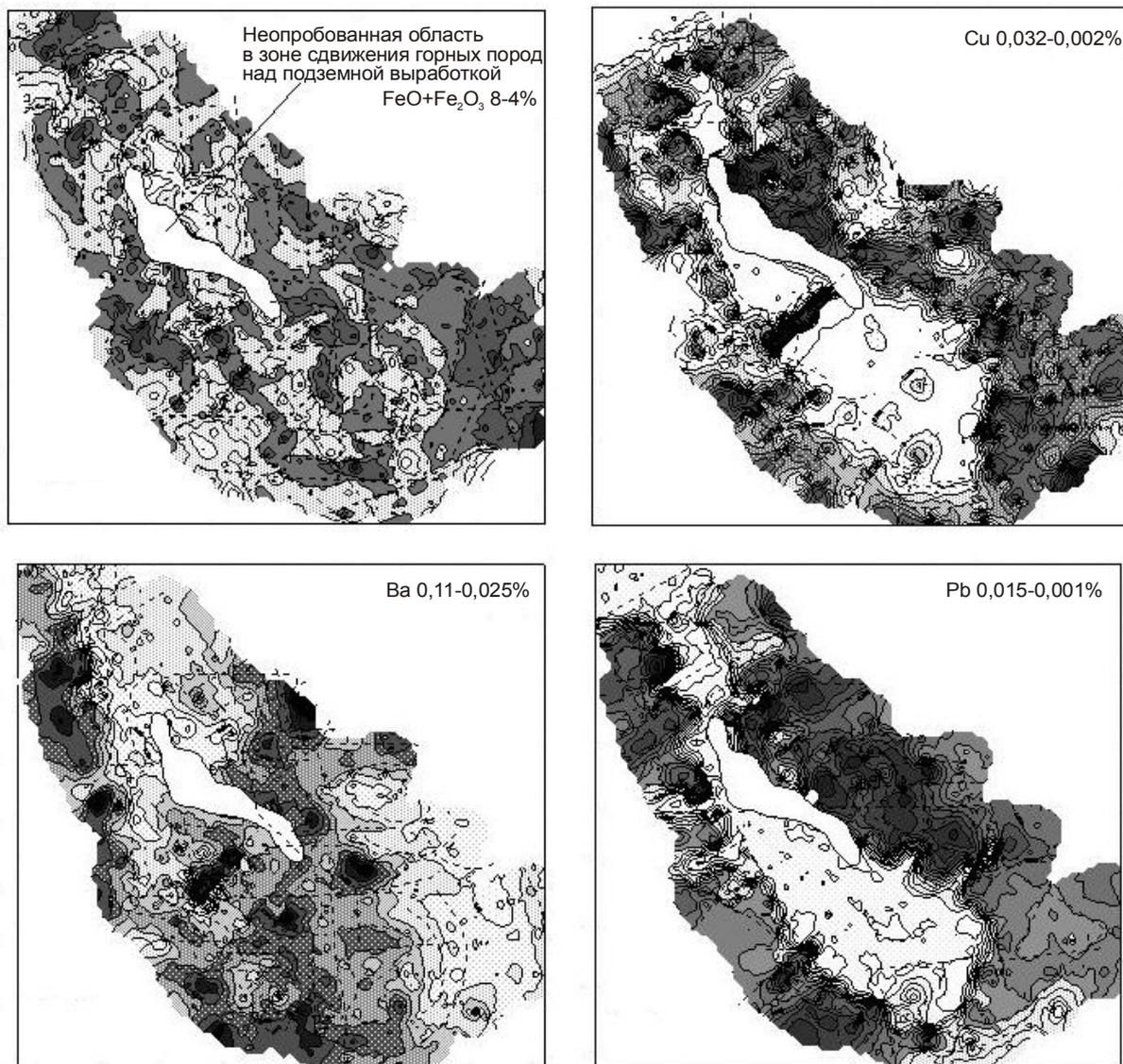


Рис. 1. Отражение Нагалкинского месторождения в структурах геохимических полей на поверхности:

пунктирные линии — линеаменты структуры геохимических полей

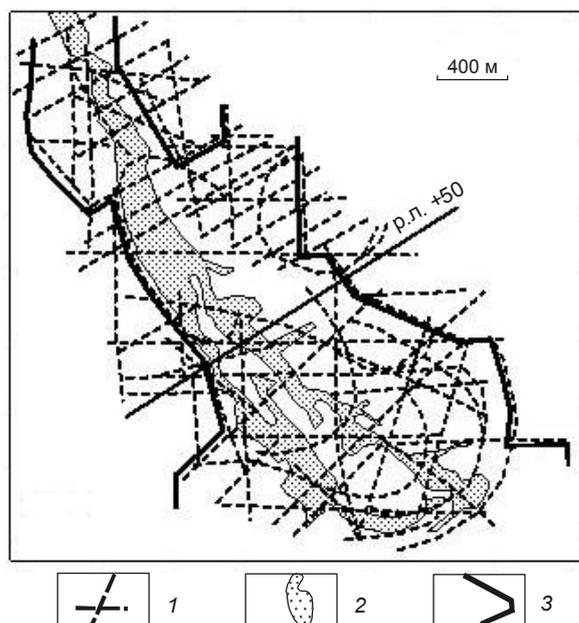


Рис. 2. Структурно-тектонический каркас Наталкинско-го месторождения по геохимическим данным:

1 — основные тектонические структуры, контролирующие пространственное размещение месторождения (Западная рудная залежь); 2 — обобщенный контур рудной залежи на поверхности по данным бороздового опробования; 3 — границы месторождения

Геохимические поля меди и свинца образуют центриклинальную структуру и внешнее обрамление относительно РЗ, расположенной на западном фланге области выноса (см. рис. 1). В общем виде эти элементы весьма контрастно отражают вмещающее золото пространство, которое можно трактовать как рудообразующую камеру. Вместе с тем, на локальных участках свинец и медь имеют отрицательные корреляционные отношения, демонстрируя два иерархических уровня отражения единого рудообразующего процесса. Область первого порядка отвечает масштабу месторождения, в котором медь и свинец коррелируются положительно. Области второго порядка соответствуют уровню рудных участков (тел, столбов), в которых медь и свинец закономерно занимают нижнерудное и верхнерудное положение соответственно. Подобная пространственная дифференциация свидетельствует о рудогенном процессе на таких участках и, следовательно, о благоприятной их перспективе для золотого оруденения. Участки, где медь и свинец не дифференцированы относительно друг друга, на золото не перспективны.

Геохимическое поле бария относительно РЗ не имеет завершенной структуры. В нем, с одной сто-

роны, отражены фрагменты обоих уровней, рассмотренных выше, с другой — фрагменты иерархического уровня более высокого порядка, чем уровень месторождения (см. рис. 1). Очевидно, дифференциация этого элемента обусловлена как локальными процессами, проявленными на уровне месторождения и рудного участка, так и региональными, отражающими уровень рудного поля (узла). Обращает на себя внимание то, что в поле бария контрастно проявлены ограничивающие структуры меридионального, северо-восточного и субширотного направлений, имеющие региональное значение.

Анализ геохимических полей некоторых химических элементов и соединений позволяет сделать следующие выводы:

в геохимических полях рудных элементов отражена рудообразующая камера Наталкинско-го золоторудного месторождения, в которой разведанная его часть (Западная рудная залежь) расположена в юго-западном боку;

восточный бок рудообразующей камеры перспективен на поиски «слепого» и скрытого золотого оруденения;

рудоконтролирующие тектонические структуры пространственно совпадают с линейными структурами геохимических полей различных элементов, что позволяет на ранних стадиях поисков и разведки адекватно ориентировать сеть полевых наблюдений;

главная рудообразующая камера сопровождается камерами подчиненного порядка, примыкающими с юга и севера к основной, что расширяет перспективы на золотое оруденение (месторождения-сателлиты) в пределах Наталкинско-го рудного поля.

В структурах полей всех химических элементов и соединений на юго-восточном фланге месторождения отчетливо проявлена кольцевая конструкция, не имеющая корректного геологического обоснования. Аналогичная кольцевая структура, полностью совпадающая с кольцевой структурой геохимического поля, обнаруживается и в магнитном поле. Поскольку вмещающие Наталкинско-е месторождение породы представлены туфогенно-осадочными (акватуфы, по В.А.Сурчилову, 2005) нестратифицированными образованиями (литологические разно-сти не увязываются ни между разрезами, ни между скважинами), имеется основание полагать, что месторождение сформировано в результате вулканической деятельности в пределах вулканотектонической депрессии, примыкающей к кратеру вулкана.

Объемное представление о строении геохимического поля получено при изучении геохимических разрезов и материалов детальной разведки. Типичный пример глубинного строения геохимическо-

го поля — сечение по разведочной линии через центр Западной рудной зоны (рис. 3, 4; см. рис. 2). В разрезе, как и на поверхности, в структурах геохимических полей отражены два уровня организации минерального вещества, связанных с месторождением в целом и рудной залежью.

По отражению в морфоструктурах химические элементы могут быть разделены на три основные группы: барий – (золото+мышьяк) – (свинец+медь+вольфрам). Кремнезем связан с морфоструктурами, в которых находят отражение все три группы элементов.

Барий образует наиболее простую центричную конструкцию, замкнутую по всему периметру по восстанию и открытую по падению (см. рис. 3). Золото и мышьяк положительно коррелируются между собой и отражаются в сложной структуре, образованной линейными и дугowymi элементами. Эта структура «вложена» в поле бария (см. рис. 3).

Свинец, медь и вольфрам образуют сложную конструкцию, обусловленную сочетанием двух типов зональности (см. рис. 3). Свинец и медь формируют тренды, убывающие по восстанию основного

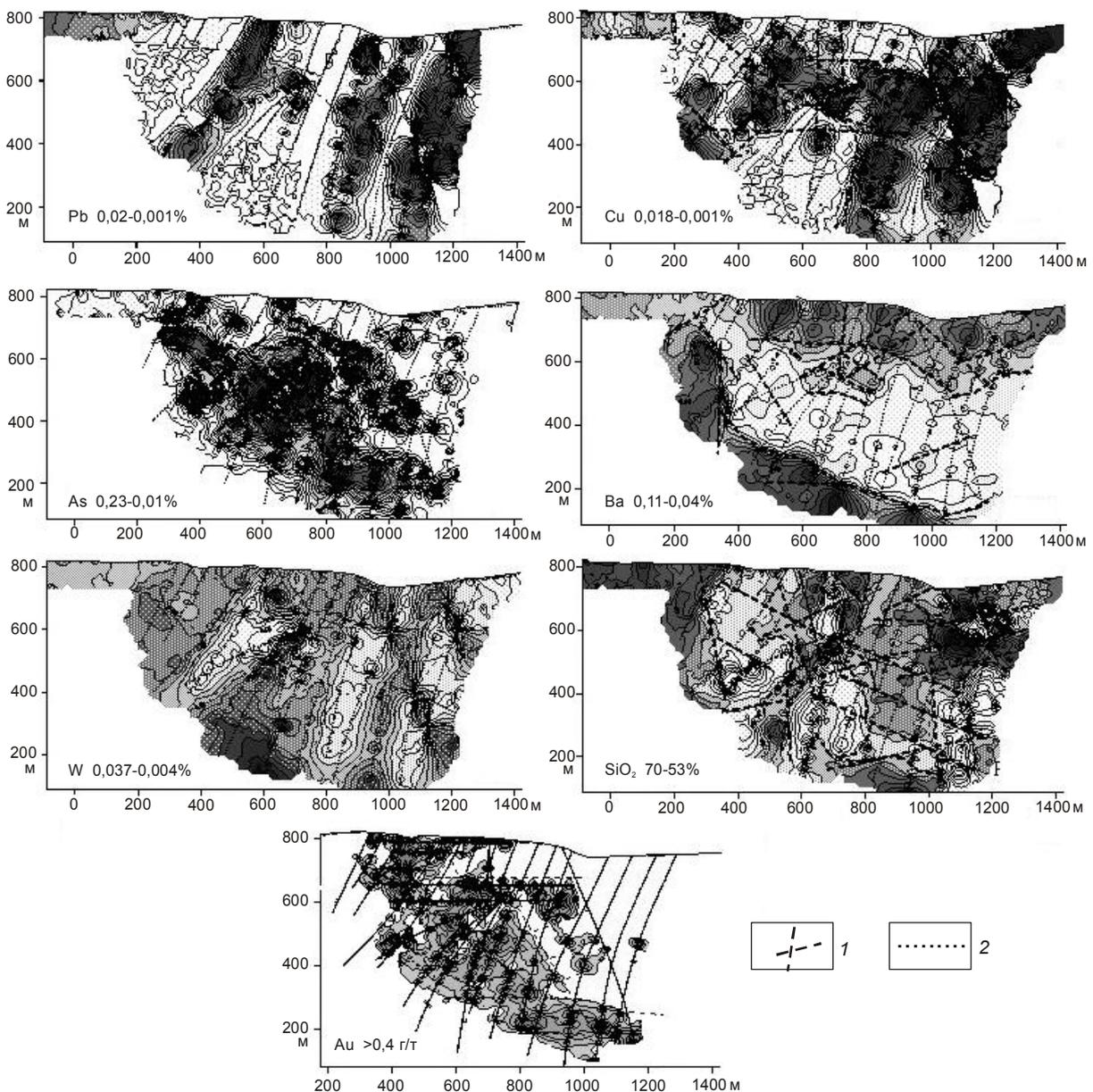


Рис. 3. Геохимические разрезы Наталкинского месторождения по р.л. +50:

1 — линейменты структуры геохимических полей; 2 — пункты опробования по скважинам колонкового бурения

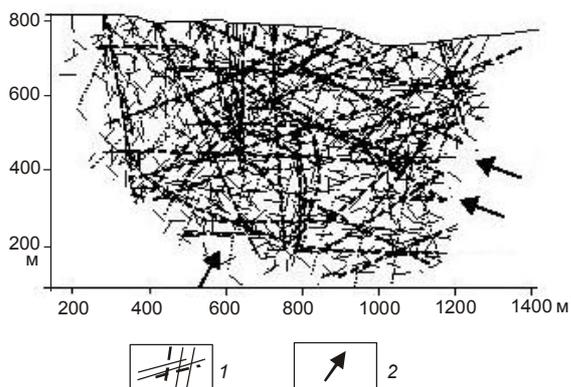


Рис. 4. Главные и второстепенные линеаменты структур геохимических полей (совмещенная схема):

1 — линеаменты; 2 — осевые векторы конвективных ячеек

направления структуры геохимического поля. Вольфрам, напротив, формирует тренд, возрастающий по восстанию. Все три элемента образуют центриклинальные, зональные конструкции, ориентированные поперек основного направления структуры геохимического поля. Концентры вольфрама облекаются оболочками меди и свинца.

Двуокись кремния образует структуру, в которой гармонично сочетаются буквально все элементы зональности (см. рис. 3). Кремнезем, как и барий, тяготеет к периферии общей структуры. Тренд кремнезема имеет тенденцию к возрастанию его роли по восстанию общей структуры поля, как свинец и медь. И, наконец, кремнезем образует поля в локальных «камерах», корреспондирующихся с локальными центриклинальными конструкциями меди, свинца и вольфрама.

В совокупности линейные и дуговые линеаменты структуры геохимического поля корреспондируются с тектоническими структурами, контролирующими разнонаправленную ориентировку кварцево-жильных и прожилково-вкрапленниковых систем (см. рис. 4). Субвертикальные и горизонтальные линеаменты соответствуют северо-западным, меридиональным и широтным направлениям. Пологие системы восточного склона отвечают северо-западным структурам, пологие системы западного склона — северо-восточным.

Метасоматическая зональность корреспондируется с полями золота и мышьяка, отражая тесную генетическую связь между ними (рис. 5).

Таким образом, в геохимическом поле Наталкинского месторождения в поперечном разрезе вскрыты рудообразующие камеры двух уровней. В морфоструктурах геохимических полей они отражают

последовательность рудообразования от уровня месторождения к уровню рудных участков (столбов). Этот вывод согласуется с установленной на месторождении последовательностью минералообразования. Ранняя золото-арсенопирит-кварцевая минеральная ассоциация связана с первым уровнем, поздняя золото-полиметаллическая — со вторым.

Разведываемая рудная залежь полностью оконтурена по восстанию, на флангах и прослежена на глубину до экономически целесообразной глубины. Однако в восточном борту вулканотектонической постройки рудообразующая камера первого порядка не оконтурена (открыта!), что свидетельствует о перспективе восточного фланга на золотое оруденение.



Рис. 5. Схема метасоматической зональности рудной залежи в разрезе по линии +50, по С.Ф.Стружкову, М.В.Наталенко:

новообразованные минеральные концентрации: 1 — кварц-кальцитовая, 2 — альбит-кварцевая, 3 — серицит-кварцевая

Разнообразие ориентировок жильно-прожилковых систем на месторождении обусловлено изменением направлений векторов циркуляции рудообразующих растворов, связанных с миграцией рудообразующего очага от центра к периферии по мере затухания процесса.

Все сказанное позволяет считать, что Наталкинское золоторудное месторождение представляет собой золото-кварцево-сульфидный мегаштокверк с убогой рудной минерализацией, образованный в процессе длительной эволюции рудообразующей камеры в пределах вулканотектонической постройки. Дальнейшие перспективы месторождения связаны с восточным флангом вулканотектонической постройки и месторождениями-сателлитами на ее периферии. Системное изучение структур геохимических полей рудных месторождений — эффективный метод оценки, поисков и разведки месторождений на всех стадиях геологоразведочного процесса.

УДК 553.411:552.5 (571.65)

© Коллектив авторов, 2006

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ ФАКТОРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА В РУДАХ НАТАЛКИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.Д.Ворожбенко, С.А.Григоров, П.И.Кушнарев, А.П.Кушнарев, В.Ю.Маркевич, В.Н.Токарев (ОАО «Рудник им. А.Матросова»)

Наталкинское месторождение открыто в 1944 г.; его подземная отработка проводилась в течение последних 60 лет. Месторождение детально разведано горными выработками и частично скважинами до горизонта с отметкой 600 м. В 2004–2006 гг. выполнялись геологоразведочные работы, направленные на изучение флангов и глубоких горизонтов, а также коренную переоценку запасов для условий открытой отработки. Буровые работы проводились по профилям через 200 м; по падению скважины располагались через 30–80 м.

В предшествующие годы накоплен обширный геологический материал и установлены факторы локализации оруденения. Анализ этих факторов был нацелен на изучение относительно богатых руд, частично отработанных в настоящее время. При оконтуривании оруденения по бортовому содержанию 0,4–0,6 г/т в пределах месторождения выделяются мощные и протяженные зоны относительно бедных руд, условия локализации которых ранее не были охарактеризованы.

Наталкинское золоторудное месторождение находится в пределах одноименного рудного поля, приуроченного к крупной складчатой структуре — Тенкинской антиклинали, ось которой ориентирована в северо-западном направлении. Месторождение локализуется в западном борту вулканотектонической просадки — структуры второго порядка по отношению к антиклинали. Это блоковая структура приурочена к узлу сочленения серии сближенных тектонических нарушений меридионального, субширотного и северо-восточного направлений. Занимает площадь на поверхности около 5 км, ширина ее 4 км. Ограничивающие тектонические разрывы ориентированы во встречных направлениях под углами 50–30°.

На площади месторождения развиты главным образом пермские вулканогенно-осадочные породы, разделяемые на тасскую (P_{1-2ts}), атканскую (P_{2at}) и нерючинскую (P_{2nr}) свиты. В пределах руд-

ного поля наиболее распространена атканская свита, почти полностью сложенная вулканогенным материалом. Ее стратификация возможна по относительному развитию продуктов вулканизма.

Строение минерализованной зоны месторождения и распределение в ней золота определяется положением основных рудоконтролирующих структур, среди которых выделяется Стержневой разлом (западная структура), ориентированный по азимуту 330–350° с падением на восток-северо-восток под углом 90–70°. Другим важным элементом строения месторождения является Восточная структура, представленная серией сближенных тектонических нарушений (бывшие рудные зоны 33, 45, 30) с крутым падением и простираем по азимуту 330°. В районе профиля –30 эти структуры сочленяются. К северу от места сочленения прослеживается один Стержневой разлом с опережающими нарушениями. Сочетание данных систем разрывных нарушений обуславливает разделение минерализованной зоны месторождения на две ветви.

В центральной части месторождения между отмеченными структурами располагается зона трещиноватости и прожилкования (бывшая рудная зона 3), имеющая встречное по отношению к другим структурам падение под углом 40–60° на запад-юго-запад. Зона полого погружается в южном направлении под углом 10–15°.

К юго-востоку от ручья Увальчик (профили +50... +55) рудоконтролирующие структуры достаточно резко меняют ориентировку. Их простираем в интервале между профилями +55... +120 составляет 300–320°; далее к юго-востоку ориентировка структур приближается к субширотной.

В всiachем боку минерализованной зоны, особенно в центральной и юго-восточной частях, локализуются опережающие структуры, имеющие сходную ориентировку и падающие на восток-северо-восток под углом 60–40°. В предыдущих подсчетах запасов (1981, 1990 гг.) они относились к рудным зонам Майская и Участковая. Формирование основ-

ных рудоносных структур сопровождалось развитием опережающих нарушений и зон трещиноватости различной ориентировки, в совокупности создающих образования типа «линейного штокверка» и занимающих при различной интенсивности почти весь объем недр между основными структурами, а также в их периферических частях. Характерная особенность тектонического строения месторождения — выполаживание основных структур с глубиной вплоть до субгоризонтального залегания. Нижняя граница развития оруденения определяется положением контакта атканской и тасской свит.

Пострудные разрывные нарушения поперечно-северо-восточного направления отмечаются на северо-западном (профили –50... –60) фланге и в центральной части (профили +20... +30) месторождения. Амплитуда перемещений по ним обычно не превышает 5–8 м. Исключением является зона Вольфрамового разлома на северном фланге, где отмечаются смещения до 50–100 м.

Минерализованная зона Наталкинского месторождения (Западная рудная залежь) прослежена по простиранию на расстояние около 5 км. Ее общая ширина достигает 1 км, установленный вертикальный размах оруденения составляет 900–1000 м. Параметры золотого оруденения в значительной мере зависят от бортового содержания. При низких значениях бортового лимита (0,4–0,6 г/т) выделяется единая Рудная залежь с апофизами, ответвлениями и редкими перерывами по мощности.

В процессе разведки флангов и глубоких горизонтов проводилась документация горных выработок и скважин, использовался опыт изучения месторождения в предшествующие годы. На основе эталонной коллекции и дополнительного полевого исследования каменного материала разработана стандартная схема описания пород и руд, околорудных изменений и других геологических признаков, установлены принципы их кодировки, применяемой в дальнейшем при компьютерной обработке данных.

Анализ рудоконтролирующих факторов проводился по материалам документации скважин и горных выработок. В процессе подготовки материала к кодированию обеспечивались однородность исходных данных и равномерная характеристика всего объема месторождения. Статистическая обработка и блочное моделирование геологических признаков осуществлялись с использованием программного комплекса «Datamine», что позволяло дать количественную характеристику влияния каждого фактора и отобразить пространственное положение геологических признаков в объеме месторождения.

Исходные данные для моделирования геологических признаков соответствуют единичным кер-

новым пробам, приведенным к длине 3 м. Для каждой из проб определены коды первичной документации и содержание в ней золота. На основе кодирования строились блочные модели признаков, которые сопоставлялись с блочными моделями оруденения, построенными с использованием всей разведочной информации, в том числе по горным выработкам. Размер элементарных блоков (ячеек) составлял 40×20×15 м. По анализируемым факторам и группам признаков рассчитывались статистические показатели как для всех ячеек в выборке, так и для их «рудной» части, которая выделялась по бортовому содержанию 0,6 г/т. В обработку по разным признакам вовлекались около 90 тыс. показателей. В качестве основных факторов рассмотрены литологические, структурно-тектонические и околорудные изменения вмещающих пород. При анализе структурно-тектонических условий отдельно рассмотрены типы относительно крупных разрывных нарушений и зоны кварцевого прожилкования.

Литологические факторы. Анализ информации, полученной при документации скважин колонкового бурения, показал, что в изучаемых разрезах резко преобладают алевроглинистые сланцы с различной примесью вулканогенного материала. Сланцы различаются по содержанию кластического вулканогенного материала псефитовой и псаммитовой размерностей. По этому признаку на месторождении выделено пять основных разновидностей осадочных пород:

1. Нерасчлененные осадочные — глинистые сланцы, алевролиты, алевроглинистые сланцы с прослоями или включениями одной породы в другую. Их характерной особенностью является отсутствие визуально различного вулканокластического и пеплового материала.

2. Осадочные, осадочно-вулканогенные с включениями и «прослоями» кластического и обломочного материала псаммитовой размерности (пепловые акватуфы, по В.А.Сурчилову).

3. Вулканогенно-осадочные, осадочно-вулканогенные и пепловые акватуфы с включениями лапилливого, кристаллолитокластического и обломочного материала псефитовой и псаммитовой размерностей до 5%.

4. Вулканогенно-осадочные, осадочно-вулканогенные (и лапиллиевые лито- и кристаллокластические акватуфы) с содержанием вулканокластического материала псефитовой и псаммитовой размерностей 5–40%.

5. Вулканогенно-осадочные, осадочно-вулканогенные (и лито-кристаллокластические акватуфы, возможно, туфогурбидиты) с содержанием литокластики до 70% с преобладанием материала гравийной и агломератовой размерностей.

Описанные разновидности пород ранее детально не выделялись, в связи с чем для изучения закономерностей их размещения используются преимущественно данные документации скважин.

По литературным данным, указанный комплекс пород формировался в условиях подводных и частично надводных извержений вулканов в пределах островных дуг. Для характеристики этих пород иногда используется термин «акватуфы». Со структурно-тектонических позиций Наталкинскую вулканотектоническую структуру можно рассматривать как кальдерообразную, которая возникла в результате проседания пород над магматической камерой и была осложнена в последующем складкообразованием.

Статистический анализ распределения содержаний золота по пробам в различных разновидностях пород показал, что они несколько различаются по средним содержаниям золота и дисперсиям (табл. 1). Наиболее низкими содержаниями отличаются четвертая и пятая разновидности (0,74 и 0,78 г/т). Максимальное среднее содержание (1,52 г/т) характерно для второй разновидности пород — пепловых туфов. Эти же породы обладают максимальной дисперсией содержаний по пробам (24,85). Промежуточное положение занимают третья и первая разновидности, средние содержания золота в которых практически не различаются между собой (1,15 и 1,05 г/т), хотя третья разновидность обладает относительно большей дисперсией (16,0 против 7,3).

Ранее установлено, что распределение содержания золота по пробам на Наталкинском месторождении удовлетворительно описывается логарифмически нормальным законом. В соответствии с этим для различных литологических разновидностей пород были построены гистограммы и кумулятивные функции распределения для натуральных логарифмов, а также рассчитаны средние значения логарифмов и дисперсии распределений (рисунок). Для всех

распределений средние логарифмы несколько различаются между собой, однако дисперсии логарифмов практически одинаковы, что говорит о сходном уровне изменчивости содержаний по всем разновидностям пород. Гистограммы распределений для всех типов пород имеют бимодальный характер, отражающий деление совокупности на безрудную часть (левый максимум) и минерализованную зону (правая часть кривой). Разделяющий их минимум приходится на содержание около 0,14 г/т. Модальное значение во всех выборках в пределах минерализованной зоны соответствует значению 0,6 г/т.

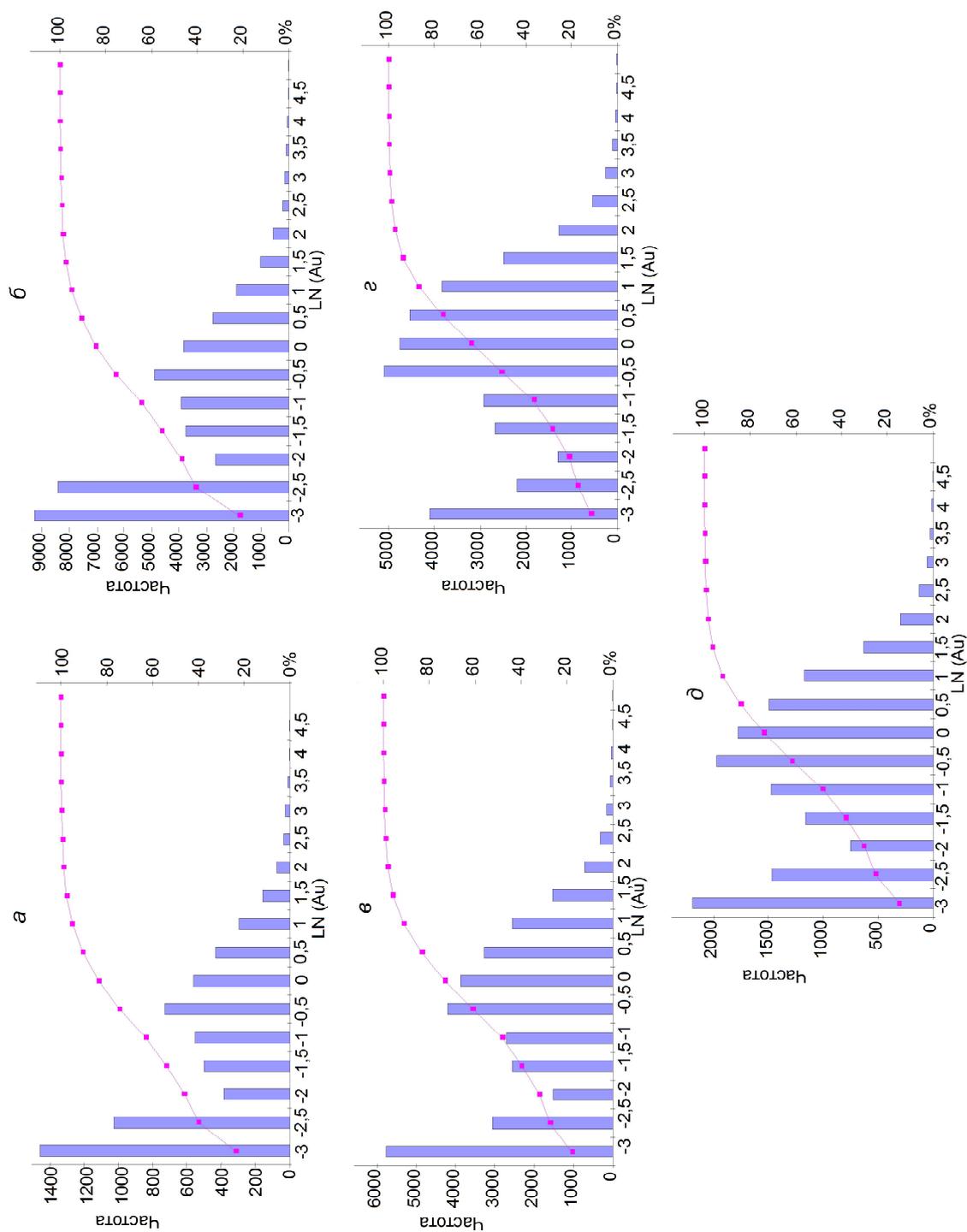
Анализ влияния состава пород на характеристики оруденения проводился путем построения блочной модели по кодам выделенных литологических разновидностей. Из ячеек, в которых содержание превышало значение 0,6 г/т, формировались отдельные выборки (см. табл. 1). По выборкам вычислены средние содержания золота в объеме руды. Для наглядной демонстрации этого влияния был введен коэффициент избирательности, представляющий собой отношение доли запасов руды или металла к общей доле пород данной разновидности в изученных разрезах. В тех случаях, когда коэффициент существенно отличается от единицы, можно говорить о благоприятных или неблагоприятных свойствах пород.

Приведенные расчеты показали, что около 27% суммарного объема ячеек и, следовательно, запасов руды относятся ко второй разновидности пород, причем среднее содержание в этих пробах наиболее высокое (2,27 г/т) из всех выборок. В целом в этой разновидности пород локализуется около 39% запасов золота, хотя их доля в общем объеме пород по изученным разрезам составляет 27,2%. Коэффициенты избирательности по руде и металлу — 1,3 и 1,42. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о благоприятных для локализации оруденения физико-механических и химических свойствах пепловых туфов.

1. Статистические характеристики параметров золотого оруденения по литологическим разновидностям пород

Параметры	1	2	3	4	5
Доля объема, %	11,1	27,2	24,2	33,0	4,7
Среднее содержание Au, г/т	1,05	1,52	1,15	0,78	0,74
Дисперсия	7,34	24,85	16,05	11,94	5,65
Средний логарифм	-1,036	-0,581	-1,018	-1,604	-1,568
Дисперсия логарифмов	2,50	2,34	2,74	2,54	2,53
Доля запасов руды, %	11,7	35,4	25,5	24,0	3,4
Среднее содержание Au в руде, г/т	1,83	2,27	2,06	1,94	1,73
Доля запасов Au, %	10,3	38,7	25,2	22,4	3,1
Коэффициент избирательности по руде (металлу)	1,05 (0,93)	1,3 (1,42)	1,05 (1,04)	0,73 (0,68)	0,72 (0,64)

Примечание: 1–5 — разновидности пород (см. текст).



Распределение логарифмов содержаний золота в выделенных разновидностях пород:

a — пятой, *б* — четвертой, *в* — третьей, *г* — второй, *д* — первой

Наиболее низким средним содержанием золота (1,73 г/т) характеризуется пятая разновидность пород, в которой локализуется 3,4% запасов руды и 3,1% запасов золота. Эти породы составляют около 5% от общего объема и в целом могут считаться неблагоприятными для локализации оруденения, так как коэффициенты избирательности для них ниже единицы.

Четвертая разновидность пород характеризуется в своей рудной части несколько более высоким средним содержанием золота (1,94 г/т), однако запасы руды и золота в ней составляют только 24 и 22,4% соответственно, что существенно ниже доли этих пород в общем объеме (33%) по изученным разрезам. Коэффициенты избирательности составляют 0,73 по руде и 0,68 по металлу. Таким образом, эта разновидность также может считаться неблагоприятной для развития золоторудной минерализации.

Третья и первая разновидности пород мало отличаются по средним содержаниям золота от второй (2,06 и 1,83 г/т соответственно). Доля запасов руды (25,5 и 11,7%) и золота (25,2 и 10,3%) практически соответствует их распространенности (24,2 и 11,1% общего объема) в изученных разрезах. Данные разновидности пород могут считаться «нейтральными» по отношению к золотому оруденению. В целом в благоприятных и «нейтральных» разновидностях пород локализуется около 75% запасов золота.

Для характеристики положения указанных разновидностей в пространстве месторождения была построена блочная литологическая модель. Ее анализ показывает, что в размещении литологических разновидностей пород отсутствует отчетливо выраженная стратификация, позволяющая проследить отдельные прослои на значительные расстояния. По мнению авторов, это связано как с существенной тектонической нарушенностью минерализованной зоны, так и с высокой фашиальной изменчивостью пород. Отмечается приуроченность разновидностей с высоким содержанием кластического материала (четвертая и пятая) к средней и нижней частям разреза атканской свиты.

Учет литологического контроля оруденения отражается в увязке рудных интервалов и выделении рудных тел, субсогласных с залеганием пород, особенно в нижней части месторождения. Раздельный подсчет запасов по литологическим разновидностям представляется нецелесообразным в связи с невыдержанностью их залегания по простиранию и падению. Кроме того, различие средних содержаний золота в основных разностях пород относительно невелико и составляет 10–15%.

Структурно-тектонические факторы. Тектонические нарушения, отмеченные при документации скважин, разделены на следующие типы: 1 — зоны дробления; 2 — зоны милонитизации; 3 — зоны смятия и рассланцевания; 4 — зоны углеродистых тектонитов, т.е. зоны раздробленных пород с примазками углистого вещества на плоскостях трещин; 5 — участки интенсивной трещиноватости; 6 — участки трещиноватости средней интенсивности; 7 — участки редкой трещиноватости; 8 — участки с единичными тектоническими трещинами в породах.

Результаты статистической обработки данных представлены в табл. 2. В объеме месторождения наиболее распространены зоны дробления, доля которых достигает 38% изученного разреза. Следующими по значимости являются участки интенсивной трещиноватости — 26%. Наименее распространены углеродистые тектониты, составляющие 0,36% от общего метража документации. Средние содержания золота по всем типам нарушений в редких случаях отличаются более чем на 20% от общего среднего содержания.

Гистограммы распределения логарифмов содержаний для всех выделенных типов нарушений имеют типичный бимодальный вид с максимальными и минимальными значениями, характерными и для литологических разностей пород. Это определяет относительно малые различия дисперсий логарифмов по выборкам. В то же время, средние значения логарифмов для отдельных типов (4 и 8) могут различаться почти в два раза, что говорит о влиянии данного фактора на параметры оруденения.

По коэффициентам избирательности можно выделить два типа нарушений — зоны милонитизации (2) и углеродистых тектонитов (4), неблагоприятных для локализации оруденения. Они характеризуются самыми низкими (1,58 и 1,76 г/т) значениями средних содержаний золота в руде. Влияние этих структур на общий характер распределения золотого оруденения относительно невелико, поскольку доля запасов руды в них не превышает 5%.

Относительно благоприятными для локализации оруденения могут считаться зоны дробления (1) и интенсивной трещиноватости (5), которые характеризуются повышенными (2,07 и 2,12 г/т) средними содержаниями золота. Эти типы нарушений определяют локализацию около 70% запасов золота и широко распространены в объеме месторождения (64%). Остальные разновидности структур могут считаться практически «нейтральными» по отношению к положению оруденения. В целом данный фактор оказывает слабое влияние на параметры оруденения, поскольку средние содержания золота в разных типах дизъюнктивов очень мало раз-

2. Статистические характеристики параметров золотого оруденения по типам тектонических нарушений

Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8
Доля объема, %	38,0	5,2	9,6	0,36	26,0	14,1	3,0	3,7
Среднее содержание Au, г/т	1,18	0,82	0,99	0,65	1,18	0,94	1,12	1,21
Дисперсия	10,77	3,50	7,50	2,58	15,50	12,64	20,87	9,04
Средний логарифм	-0,972	-1,234	-1,071	-1,708	-1,002	-1,252	-1,139	-0,90
Дисперсия логарифмов	2,72	2,40	2,36	2,36	2,64	2,71	2,43	2,48
Доля запасов руды, %	40,1	4,5	9,4	0,22	26,5	12,7	2,8	3,5
Среднее содержание Au в руде, г/т	2,07	1,58	1,80	1,76	2,12	1,89	2,21	2,28
Доля запасов Au, %	41,0	3,7	8,4	0,20	27,8	11,8	3,0	3,9
Коэффициент избирательности по руде (металлу)	1,05 (1,08)	0,86 (0,71)	0,98 (0,88)	0,61 (0,56)	1,07 (1,02)	0,90 (0,84)	0,93 (1,00)	0,95 (1,05)

Примечание. 1–8 — типы нарушений (см. текст).

личаются между собой и степень их избирательности тоже невелика. Этот вывод не умаляет значения тектонических нарушений как рудоконтролирующих и экранирующих структур, определяющих увязку залежей и разделение их на блоки с разной продуктивностью.

Кварцевое прожилкование по степени интенсивности его проявления условно выражено в процентах. При оценке интенсивности в основном учитывался характер выделения кварцевых прожилков и их частота. В качестве дополнительного признака служила преобладающая мощность прожилков. За 100% принято сплошное выделение кварца в виде кварцевых жил и зон брекчирования с кварцем в цементе; 80% — интенсивное сетчатое прожилкование; 50% — зоны дробления и сетчатого прожилкования средней интенсивности с кварцевыми прожилками мощностью 5–10 мм; 20% — единичные (1–0,5 на погонный метр) прожилки мощностью 2–3 мм.

Для статистического анализа выделены следующие классы по степени интенсивности прожилкования, %: 0–20, 20–30, 30–40, 40–50, 50–60, 60–80, >80.

Обработка данных проведена по тому же алгоритму, что и в предыдущих случаях. Ее результаты приведены в табл. 3.

Анализ распределений логарифмов содержаний в выделенных градациях степени прожилкования показывает, что для них характерна бимодальность, присущая и другим признакам. Различие в параметрах распределений отмечается только для содержаний; дисперсии логарифмов достаточно стабильны.

Наиболее низкие содержания золота отмечают в классе прожилкования менее 20%. Этот же класс обладает минимальным коэффициентом избирательности по металлу. Его роль в строении месторождения крайне невелика (около 0,5% от общего объема минерализованной зоны). Следующие три класса прожилкования (от 20 до 50%) практически не различаются между собой по содержанию золота в руде, а по коэффициентам избирательности могут считаться «нейтральными». На долю этих классов приходится более 78% общего объема оруденения. Наиболее отчетливо связь степени кварцевого прожилкования с параметрами оруденения

3. Статистические характеристики параметров золотого оруденения по степени кварцевого прожилкования, %

Параметры	Степень прожилкования						
	<20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–80	>80
Доля объема, %	0,5	13,9	38,2	26,3	14,7	6,1	0,34
Среднее содержание Au, г/т	0,73	1,04	0,93	1,02	1,35	1,32	2,11
Дисперсия	1,38	12,5	11,3	6,8	17,6	7,4	5,7
Средний логарифм	-1,22	-1,068	-1,193	-1,078	-0,763	-0,726	0,235
Дисперсия логарифмов	1,96	2,64	2,58	2,68	2,59	2,45	1,46
Доля запасов руды, %	0,48	15,2	32,7	26,3	17,2	7,5	0,58
Среднее содержание Au в руде, г/т	1,37	1,95	1,92	1,89	2,36	2,28	2,43
Доля запасов Au, %	0,33	14,6	31,1	24,8	19,9	8,6	0,70
Коэффициент избирательности по руде (металлу)	0,96 (0,66)	1,09 (1,05)	0,86 (0,81)	1,0 (0,94)	1,14 (1,35)	1,22 (1,41)	1,93 (2,00)

проявляется для относительно высоких классов прожилкования — от 50 до 100%. Для них характерны повышение содержаний золота в руде и увеличение коэффициентов избирательности как по руде, так и по металлу. Самые высокие показатели отмечаются для последнего класса, хотя доля связанных с ним запасов золота составляет около

указанных признаков, как и в предыдущих случаях, построена блочная модель, проведены расчеты статистических параметров распределений по выборкам. Результаты обработки данных приведены в табл. 4.

Аргиллизированные породы характеризуются минимальным средним содержанием золота и име-

4. Статистические характеристики параметров золотого оруденения по типам изменений вмещающих пород

Тип изменений	1	2	3	4	5	6	7	8
Доля объема, %	18,9	35,4	0,6	–	9,1	0,7	11,8	21,1
Среднее содержание Au, г/т	0,94	0,95	1,69	0,23	1,01	0,84	1,56	1,22
Дисперсия	5,22	10,52	12,8	–	9,75	6,21	13,32	15,04
Средний логарифм	–1,223	–1,262	–0,541	–	–1,192	–1,290	–0,561	–0,94
Дисперсия логарифмов	2,58	2,64	2,42	–	2,63	2,52	2,40	2,68
Доля запасов руды, %	18,6	32,4	0,72	–	8,9	0,58	15,8	23,0
Среднее содержание руды, г/т	1,83	1,91	2,87	–	1,97	1,66	2,28	2,18
Доля запасов Au, %	16,8	30,5	1,0	–	8,6	0,47	17,8	24,7
Коэффициент избирательности по руде (металлу)	0,98 (0,89)	0,92 (0,86)	1,20 (1,70)	–	0,98 (0,95)	0,83 (0,68)	1,34 (1,51)	1,09 (1,17)

Примечание. 1–8 — типы изменений (см. текст).

0,7%. Вывод о приуроченности богатого золотого оруденения к зонам интенсивного кварцевого прожилкования и брекчирования, а также к кварцевым жилам соответствует сложившимся ранее представлениям. На долю этих классов приходится не более 30% запасов золота. Остальная его часть в виде бедных и убогих руд локализуется в зонах средней и низкой интенсивности кварцевого прожилкования, широко распространенных в объеме месторождения.

Анализ пространственного размещения кварцевого прожилкования показывает, что основные рудоконтролирующие структуры отчетливо трассируются зонами с высокой интенсивностью окварцевания, что позволяет рассматривать «кварцевую модель» как геологическую основу для увязки рудной залежи и подсчета запасов. По простиранию и падению этих структур могут отмечаться достаточно резкие изменения этого показателя под влиянием поперечных и диагональных структур, экранирующих и золотое оруденение.

Изменения вмещающих пород. Изменения фиксировались при визуальном описании пород в процессе документации. Для анализа использовано восемь типов изменений: 1 — окварцевание, 2 — карбонатизация, 3 — гидрослюдизация, 4 — аргиллизация, 5 — каолинизация, 6 — серцитизация, 7 — хлоритизация, 8 — ожелезнение. Для

этого типа изменений исключен из дальнейшего анализа. Статистические распределения логарифмов содержаний по выборкам характеризуются типичными бимодальными кривыми и различаются средними значениями логарифмов. Разделение выборок на рудную и безрудные части выполнено по бортовому содержанию 0,6 г/т. Максимальными средними содержаниями золота в руде характеризуются гидрослюдистые (3), хлоритизированные (7) и ожелезненные (8) породы. Последний тип, скорее, следует рассматривать как результат окисления сульфидов (сульфидизация) вдоль систем трещин. Эти же типы изменений характеризуются повышенными коэффициентами избирательности по руде и металлу, особенно хлоритизация и гидрослюдизация. В целом они определяют положение почти 45% запасов золота.

Неблагоприятна для локализации оруденения серцитизация, которой свойственны минимальные коэффициенты избирательности (0,83 и 0,68). Этот тип изменений почти не встречается в объеме месторождения (0,7%). Остальные типы измененных пород следует считать «нейтральными» относительно оруденения. Различие содержаний золота в разных типах пород относительно невелико (20–30%), что говорит об ограниченном влиянии данного фактора на локализацию оруденения.

Пространственное положение вмещающих пород с различными типами изменений в основном соответствует положению основных рудоконтролирующих структур и минерализованной зоны в целом.

Отмеченные благоприятные признаки взаимосвязаны с геофизическими и геохимическими аномалиями. Рудонасыщенная часть минерализованной зоны совпадает с областью минимальных значений поля естественной радиоактивности, фиксируемой при гамма-каротаже скважин колонкового бурения. Кроме того, ее положение контролируется ореолами повышенных содержаний мышьяка, вольфрама, цинка и пониженных — оксидов железа, калия, бария, меди, свинца.

Проделанное исследование позволяет сформулировать следующие выводы.

Блочное моделирование в сочетании со статистическим анализом является эффективным средством количественной оценки влияния геологических факторов на локализацию оруденения.

На размещение золотого оруденения Наталкинского месторождения оказывают влияние литологические, структурно-тектонические и другие визуально выявленные признаки. В совокупности они

позволяют в процессе документации выделять рудоносные объемы недр и оценивать полноту оконтуривания месторождения. По этим же признакам можно оперативно оценивать потенциальную рудоносность новых минерализованных зон и залежей на сопредельных участках и территориях.

Благоприятные для локализации оруденения признаки занимают от 21 до 68% общего изученного объема недр, что говорит об их широкой распространенности. В то же время, степень влияния каждого из них на рудонасыщенность и на содержания золота относительно невелика и составляет 10–25%. Это обеспечивает относительную равномерность содержаний в рудах по всему объему месторождения при данных условиях оконтуривания.

Положение участков богатых руд — рудных столбов — определяется совокупным влиянием всех факторов, которое проявляется локально, особенно в пределах Центрального участка месторождения.

Характерной особенностью пространственного размещения благоприятных рудоконтролирующих факторов в объеме месторождения является их взаимная совмещенность и корреляция с геофизическими и геохимическими данными.

УДК 553.411.34 (571.65)

© Коллектив авторов, 2006

БЛОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ НАТАЛКИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КАРЬЕРА

Н.Н.Демченко, П.И.Кушнарев, В.Ю.Маркевич, А.П.Кушнарев (ОАО «Рудник им. А.Матросова»)

Наталкинское золоторудное месторождение открыто в 1942 г., его детальная разведка проведена в 1944 г. Рудник им. А.Матросова как самостоятельное предприятие на этом месторождении начал эксплуатироваться в 1945 г.

Последний подсчет запасов Наталкинского месторождения был утвержден в ГКЗ СССР в 1981 г. Общие запасы золота, включая забалансовые, согласно этому подсчету, составляли 325 381,6 т. Запасы подсчитаны для условий подземной отработки (табл. 1).

Составление рудных контуров подсчета запасов 1981 года с контурами для новых кондиций

2006 года показывает, что возможно увеличение запасов за счет включения в рудный контур межзонных интервалов при новых параметрах кондиций.

В 1990 г. ГКЗ рассмотрено ТЭО кондиций, выполненное в целях оценки возможности эффективной отработки открытым способом оставленных при подземной добыче подработанных и находящихся в зоне сдвижения запасов. В ТЭО предложен комбинированный способ отработки месторождения: карьером до глубины 300 м (до горизонта с абс. отм. +650 м), а остальных запасов (до горизонта с абс. отм. +450 м) подземным способом. По данным ТЭО, в контур карьера попало 237,7 т золота.

1. Запасы золота Наталкинского месторождения, по данным ГКЗ СССР, 1981 г.

Геолого-экономические типы запасов	Категория запасов	Запасы руды, тыс. т	Среднее содержание Au, г/т	Запасы Au, кг
Балансовые	C ₁	33 718,1	4,07	137 324,4
	C ₂	33 904,1	4,00	135 468,3
Забалансовые	C ₁	5969,9	2,67	15 960,1
На оперативном учете	B	755,5	4,48	3384,7
В зоне сдвижения	C ₁	8140,4	3,96	33 244,1
Всего	B+C ₁ +C ₂	82 488	3,94	325 381,6

Запасы для подземной отработки составили 199,2 т золота, суммарные — 436,9 т.

В 2004 г. подземная разработка месторождения прекращена в связи с низкой экономической эффективностью действующего производства. Экспертная оценка, выполненная в августе 2003 г., показала, что при понижении бортового содержания золота до 0,4–0,6 г/т Наталкинское месторождение представляет собой крупную Рудную залежь с запасами золота более 1000 т. Объемы добычи и переработки руды могут составить 20–30 млн. т в год и более. Примеры подобных производств известны в мировой практике (рудник Форт-Нокс на Аляске).

Значительные объемы материалов (более 150 тыс. проб), накопившиеся за 60-летнюю историю освоения рудника им. А.Матросова, а также данные нового бурения (более 20 тыс. проб) требуют выполнения большого объема работ по переоценке сырьевой базы месторождения. Оперативно решить задачу подсчета запасов и составления проекта оптимального карьера можно при помощи геостатистического блочного моделирования. В переоценку включено более 106 погонных метров керн по данным разведочного бурения (на 18 января 2006 г.).

В результате доразведки месторождения получен значительный прирост запасов, в основном за счет

более глубоких горизонтов (разрезы –40, +40, +70).

Из табл. 2 видно, что прирост запасов в связи с доразведкой составил около 45% от общей суммы запасов золота. Еще от 37 до 41% (по вариантам бортового содержания) прироста запасов получено за счет изменения кондиций для верхней части месторождения в зоне отработки.

Для учета отработанных запасов создана объемная твердотельная модель отработки. При подсчете запасов не учитывались объемы блоков, затронутых отработкой, а также исключались все пробы, попавшие в контуры отработанных запасов.

Блочная модель построена с применением вероятностно-ограниченного кригинга. Данный метод позволяет определять подсчетные контуры по значениям вероятности индикаторного кригинга. В этом случае построение твердотельной оболочки рудного тела не требуется, достаточно обобщенного контура, ограничивающего разведанную часть месторождения. Применение указанной методики дает возможность существенно сократить сроки подсчета запасов и проектирования карьера.

Для Центрального участка при бортовом содержании 1 г/т сопоставлены результаты блочного моделирования и подсчета запасов горизонтальными сечениями с полным оконтуриванием (табл. 3).

2. Прирост запасов золота по результатам доразведки Наталкинского месторождения

Параметры	Бортовое содержание Au, г/т			
	0,4	0,6	0,8	1,0
<i>Верхняя часть</i>				
Запасы руды, тыс. т	752 002	576 077	435 398	341 479
Запасы Au, кг	1 066 248	973 584	855 835	769 547
Содержание Au, г/т	1,418	1,690	1,966	2,254
<i>Нижняя часть</i>				
Запасы руды, тыс. т	726 312	500 860	364 362	273 982
Запасы Au, кг	908 940	796 939	704 353	620 695
Содержание Au, г/т	1,251	1,591	1,933	2,265

3. Сопоставление запасов золота Центрального участка, полученных различными методами подсчета

Этаж, м	По горизонтальным сечениям			По блочной модели		
	Запасы руды, тыс. т	Содержание Au, г/т	Запасы Au, т	Запасы руды, тыс. т	Содержание Au, г/т	Запасы Au, т
600–650	22 029	2,622	57,759	32 841	2,245	73,734
650–700	21 454	2,780	59,644	33 632	2,461	82,781
700–750	35 742	2,983	106,611	33 310	2,503	83,363
750–790	28 126	3,107	87,386	25 579	2,646	67,670
600–790	107 350	2,901	311,401	125 362	2,453	307,551

Результаты сопоставления показывают, что среднее содержание в блочной модели занижено. Приведение блочной модели в соответствие с подсчетом горизонтальными слоями требует учета запасов в блоках не по бортовому содержанию, относимому к пробе, а по граничному содержанию в блоке, которое должно быть выше бортового на 0,1 г/т для условий Наталкинского месторождения. Для других месторождений это соотношение может быть иным, и оно должно устанавливаться экспериментальным путем.

По четырем значениям бортового содержания получены четыре различные блочные модели, для каждой из которых построен свой оптимальный карьер. Выбор окончательного варианта предполагает расчет экономических параметров для каждого из карьеров и их сравнительный анализ (табл. 4).

Нижняя отметка дна карьера изменяется от 150 м (для среднего по борту 0,4 г/т) до 380 м (для среднего по борту 1 г/т). По запасам золота в контуре карьера эти два крайних варианта отличаются в 2,2 раза

4. Запасы золота по блочной модели и параметры карьеров для четырех вариантов бортового содержания золота

Параметры	Бортовое содержание Au, г/т			
	0,4 (0,5)	0,6 (0,7)	0,8 (0,9)	1,0 (1,1)
Затраты на добычу и транспортировку 1 т руды, дол./т	0,95	1	1,05	1,1
Затраты на переработку 1 т руды, дол./т	5,1	5,44	5,81	6,32
Цена 1 г золота, дол.	14,37	14,37	14,37	14,37
Коэффициент извлечения золота, %	80	80	80	80
Разубоживание при добыче, %	9	10	12	15
Потери, %	3	4	5	6
Коэффициент дисконтирования, %	15	15	15	15
Годовая производительность по руде, млн. т	38	30	22	17
Тоннаж пустой породы в контуре карьера, млн. т	2760	1633	1288	860
Горная масса, млн. т	3856	2297	1734	1153
Коэффициент вскрыши, т/т	2,52	2,46	2,89	2,94
Срок существования предприятия, лет	26,86	20,63	18,89	17,34
Абсолютная отметка дна карьера, м	150	250	290	380
<i>Геологические запасы</i>				
Руда, млн. т	1286	936	710	553
Au, т	1921	1707	1514	1352
Среднее содержание Au, г/т	1,494	1,823	2,131	2,441
<i>Промышленные запасы</i>				
Руда, млн. т	1095	664	446	292
Au, т	1735	1322	1047	786
Среднее содержание Au, г/т	1,583	1,991	2,347	2,687

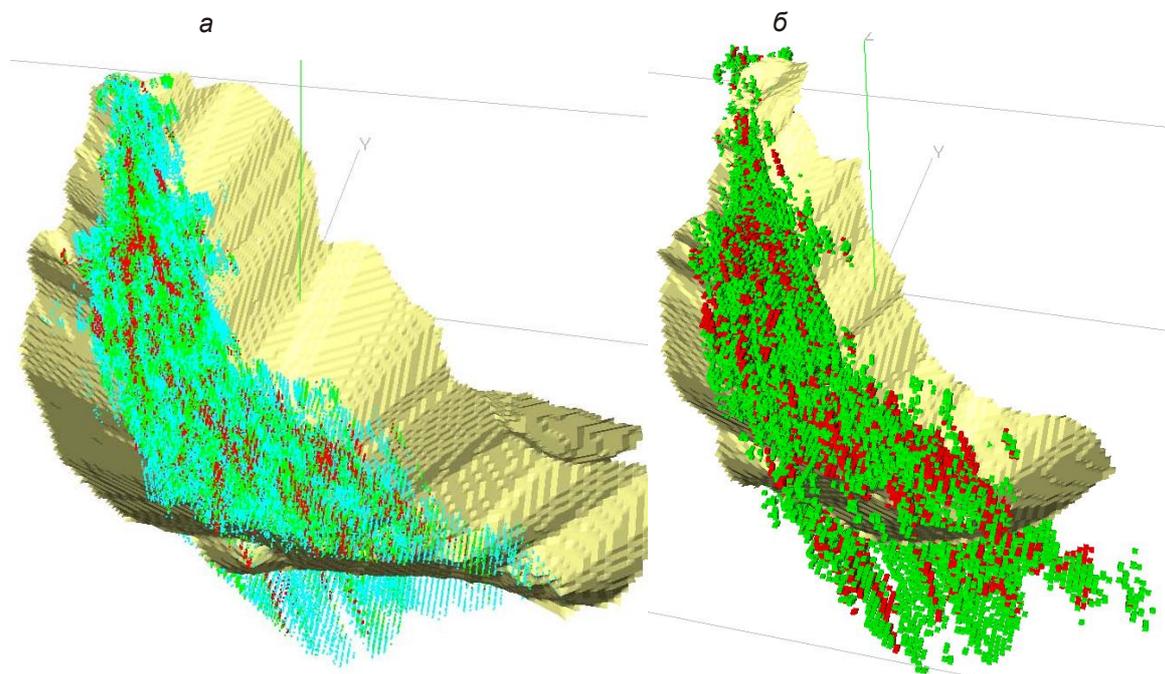


Рис. 1. Блочная модель с запасами внутри карьера (вид сверху):

a — для среднего бортового 0,4 г/т, минимальная отметка дна карьера 150 м; *б* — для среднего бортового 1 г/т, минимальная отметка — 380 м

(рис. 1). Коэффициент вскрыши для различных вариантов карьеров изменяется от 2,52 до 2,94 т/т.

Выбор оптимального варианта карьера определяется ценой золота (рис. 2). При ее падении до 11,1 дол./г экономически оправдан вариант карьера с нижней отметкой 250 м, тогда как вариант с отметкой 150 м, вероятно, будет убыточным. Падение цены золота до 8,7 дол./г приведет к необходимости доводить нижнюю отметку дна карьера только до

380 м. По прогнозам аналитиков, цена на золото в ближайшие годы не будет опускаться ниже 500 дол./унц. Таким образом, вариант карьера с отметкой 150 м вполне реален. При выборе оптимального варианта следует также учитывать, что вариант с отметкой дна 150 м позволяет сохранить в контуре карьера 85% запасов (для среднего по борту 0,4 г/т), а с отметкой дна 380 м — только 56% запасов, подсчитанных для бортового содержания 1 г/т.

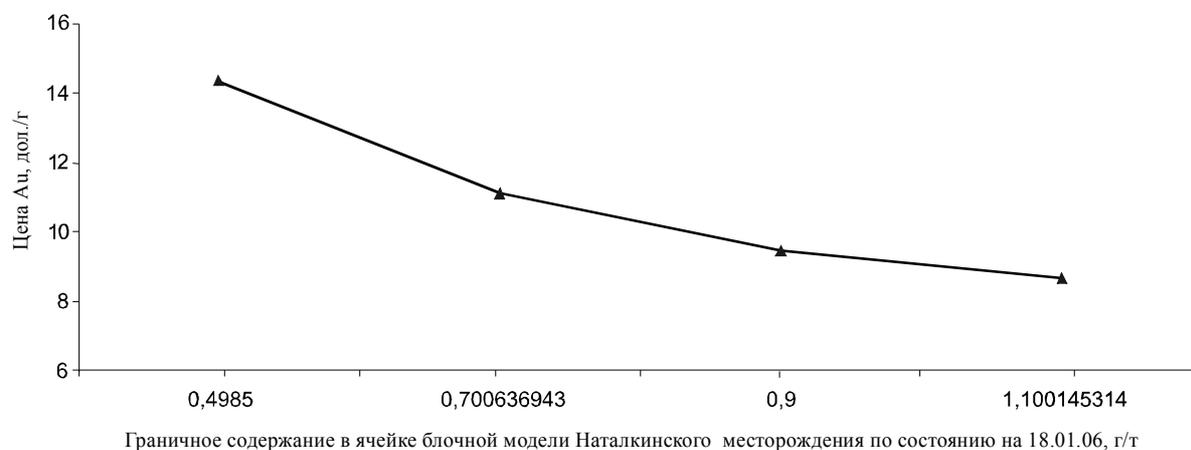


Рис. 2. Зависимость граничного содержания в ячейке от цены золота

УДК 553.411:552.5

© Б.Я. Вихтер, 2006

СИСТЕМАТИКА, ПРИЗНАКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОБСТАНОВКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТЕРРИГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Б.Я. Вихтер (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Среди 100 крупнейших месторождений золота мира около 20 размещаются в металлогенических зонах и провинциях, сложенных преимущественно терригенными, вулканогенно-терригенными, карбонатно-терригенными породами. Только золото-серебряные эпитермальные месторождения в вулканогенных толщах встречаются чаще (рис. 1).

Большинство крупных месторождений золота в терригенных толщах известны в основном в пределах трех геотектонических структур: в орогенно-складчатых областях, областях активизации платформенных окраин (и складчатых областей) и на щитах. Имеется еще одна группа месторождений, связанных с эпиплатформенными рифтогенными впадинами и бассейнами, однако они, как правило, не относятся к крупным собственно золоторудным объектам (табл. 1).

Месторождения каждой геотектонической структуры специфичны по характеру руд, рудных тел и обстановке их локализации (табл. 2). Выделенные в терригенных комплексах группы золоторудных месторождений, приуроченные к определенным геотектоническим структурам, по сути представляют рудно-формационные группы (или семейства [4]). Кроме того, они относятся к разным геолого-промышленным типам. Отнесение золоторудного месторождения к тому или иному геолого-промышленному типу основано главным образом на количественном соотношении в рудах сульфидов и жильно-прожилкового кварца. Практически в прямой зависимости от этого соотношения находится доля золота, заключенного в сульфидах («упорного»), и внесульфидного золота (рис. 2). Крупность золота также зависит от этого соотношения. С повышением доли жильно-прожилкового кварца она возрастает, хотя абсолютный размер частиц во многом зависит от размера его в самой ранней докварцевой продуктивной минеральной ассоциации. В подавляющем большинстве случаев жильно-прожилково-кварцевая минерализация на золоторудных месторождениях в терригенных комплексах развивается позднее ранней продуктивной вкрапленной сульфидной минерализации с

«упорным» золотом. Количественное соотношение в рудах сульфидов и жильно-прожилкового кварца определяет также структуру и текстуру руд, а в ряде случаев и морфологию рудных тел. Все это и, в первую очередь извлекаемость золота, влияет на промышленную ценность месторождений. Выделяются золото-кварцевый, золото-сульфидно-кварцевый и золото-сульфидный геолого-промышленные типы. Месторождения этих типов по всем характеристикам руд образуют непрерывный ряд, практически отсутствует дискретность каких-либо свойств, соответствующая выделяемым типам.

По результатам обобщения более 100 технологических проб из руд месторождений бакирчикского семейства на территории бывшего СССР (рис. 3) для золото-кварцевого типа можно считать характерным содержание в рудах сульфидов в количестве $1 \pm 0,5\%$ и «упорного» золота менее 10%; для золото-сульфидно-кварцевого — $4 \pm 1,5\%$ сульфидов и 15–30% «упорного» золота; для золото-сульфидного — $6 \pm 2\%$ сульфидов и 40–80% «упорного» золота.

Для месторождений орогенно-складчатых областей (бакирчикское семейство) характерны следующие типоморфные особенности:

существенно пирит-арсенопиритовый состав руд, в которых эти минералы составляют более 90% суммы всех рудных минералов;

размещение преимущественно в алюмосиликатных породах; массивные карбонатные и кремнистые толщи являются неблагоприятной средой и часто служат экраном при рудоотложении;

околорудные преобразования связаны с привнесением калия и летучих и наиболее широко представлены серицитизацией;

температура формирования ранней продуктивной пирит-арсенопиритовой ассоциации в среднем 300–350°C.

Месторождения активизированных платформенных окраин (карлинское семейство) имеют следующие типовые черты:

присутствие и часто преобладание реальгара и аурипигмента среди мышьяковых минералов руд;

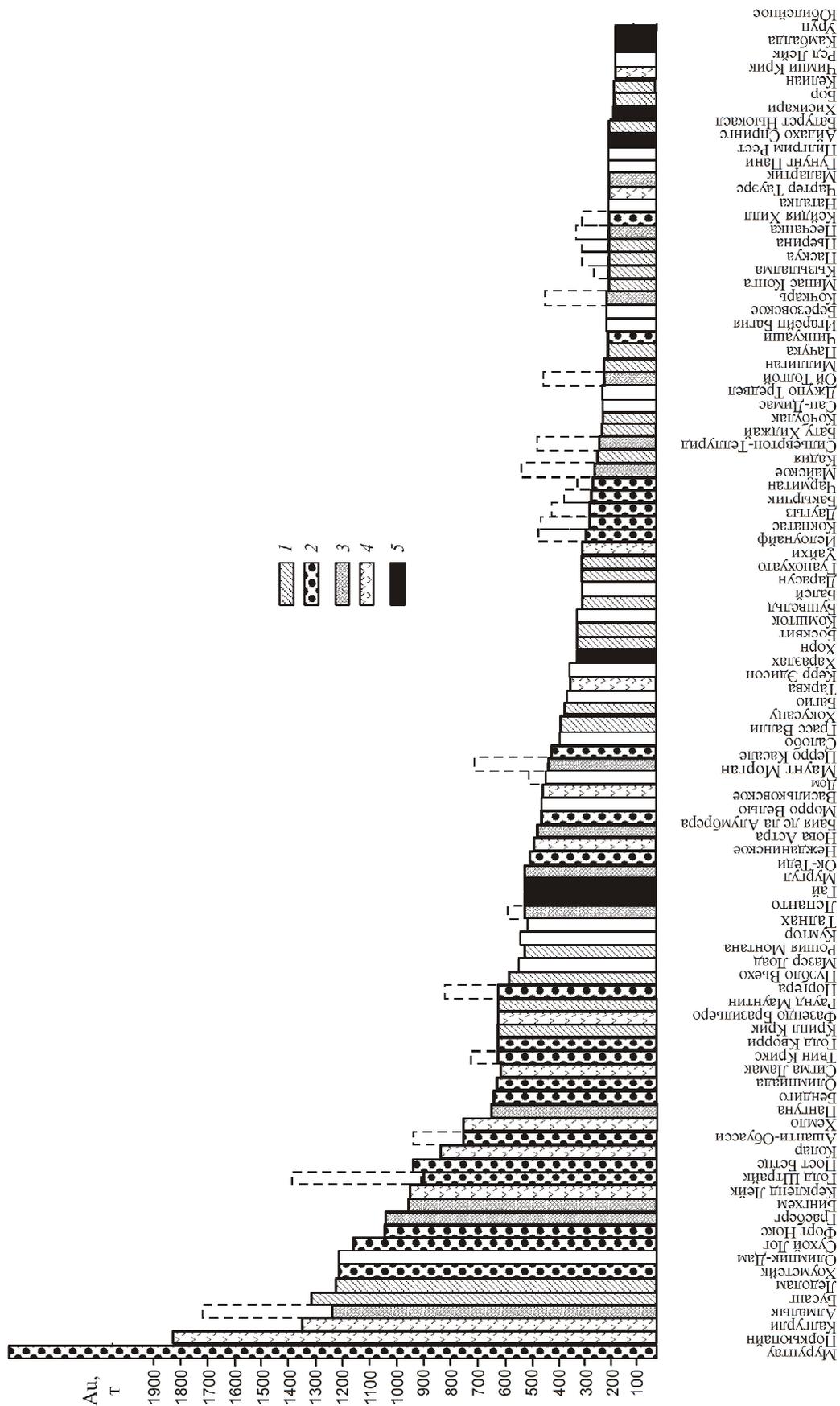


Рис. 1. Сто крупнейших месторождений золота мира:

число месторождений: 1 — эпитермальные в вулканах — 25; 2 — в терригенных комплексах — 22; 3 — Cu-Au-порфировые — 13; 4 — в зеленокаменных поясах — 13; 5 — колчеданные — 7

1. Геотектоническая позиция ведущих металлогенических провинций мира с золоторудными месторождениями в терригенных толщах

Геотектонические структуры	Металлогеническая провинция	Рудомещающие породы, их возраст	Месторождения
	Южно-Гяньшаньская	Песчано-сланцевая толща ордовика–силура, олистостромово-флишная толща среднего-позднего карбона	Мурунтау, Даугызтау, Кокпатаг, Чармитан, Джилао, Чоре
	Зайсанская	Шлировая моласса: грубоэризмичная толща с редкогалечными конгломератами в основании ритмов и преобладанием в целом псаммито-алевроллистных пород позднего карбона; песчано-алевросланцевая толща с широким развитием вулканомиктовых алевропсаммитов, туфов среднего карбона	Бакырчик, Джерек
Орогенно-складчатые области	Яно-Кольмская	Алевроглинистая толща поздней перми–ранней юры, песчано-алевросланцевая толща позднего карбона–поздней перми	Кючус, Нежланское, Наталкинское, Ветренское, Дуэт, Бриндакиг, Родионовское
	Чукотская	Туфо-песчано-алевросланцевая толща триаса; песчано-алевросланцевая толща раннего карбона	Майское, Каральвеем, Сомино
	Енисейская	Карбонат-слоисто-кварцевые сланцы, местами хлоритовидные среднепротерозойские; кварц-карбонат-серцитовые филлитовидные сланцы позднего протерозоя	Олимпиадинское, Советское, Удерейское, Ведуга
	Северо-Байкальская	Известковистые песчаники, алевролиты, филлиты позднего протерозоя	Сухой Лог, Вернинское
	Лахланская (Восточно-Австралийская)	Чередование филлитов, алевролитов, песчаников с преобладанием последних	Бендинго, Балларат, Клунс, Стейвел
Области активизации платформенных окраин (и складчатых областей)	Блек-Хилл	Хлорит-амфибол-кварц-биотит-карбонатные филлитовидные сланцы среднего протерозоя	Хоумстейк
	Невадийская (мезокайнозойская активизация Северо-Американской платформы)	Глинистые известняки, доломиты, известковистые аргиллиты ордовика–карбона	Карлин, Дип Пост, Голд Кворри, Мейкл и др.
	«Золотой треугольник» Юго-Восточного Китая (поздне меловая активизация платформы Янттзе)	Песчаники, алевролиты, аргиллиты, доломитистые песчаники, известняки перми и триаса	Санчахе, Яга, Гетанг, Ланнигу
	Сетте-Дабанская (меловая активизация Восточно-Сибирской платформы)	Доломиты, песчанистые доломиты венда, алевролиты раннего кембрия	Тас-Юрях
	Кавказская (миоцен-четвертичная активизация поздне мезозойских субплатформенных образований)	Карбонатные и известковисто-терригенные толщи поздней юры–раннего мела	Лухуми

Щиты Эпикратонные рифтогенные впадины и бассейны	Провинция Леоно-Либерийского щита	Вулканомиктовые, граувакковые, полимиктовые песчаники, аргиллиты супракрустального комплекса раннего протерозоя	Апанти-Обуаси, Престиа, Богасу, Кононга, Калана, Луло, Марлю
	Слейв Канадского щита	Алевроглинистые сланцы, граувакка, ВГ (кварцитовидные гематитовые граувакки, с прослоями глинистых и гранат-амфибол-хлорит-биотитовых сланцев) позднего архея	Лупин
	Патерсон (блок Пилбара) Австралийского щита	Карбонатно-кварцито-терригенная толща в составе супракрустального комплекса Янина раннего протерозоя	Телфер, Блу-Спек
	«Железный квадрат» Бразильского щита	Слоистые-кварц-анкеритовые, кварц-доломит-анкеритовые сланцы, филлиты супракрустального комплекса позднего архея	Морроу-Велью
	Карело-Кольская (раннепротерозойские рифтогенные бассейны на архейском кратоне)	Туфоалевролиты, аргиллиты, пестроцветные каронатно-сланцевые сланцы с линзами конгломератов, шунгитосодержащие алевролиты, туфоалевролиты раннего протерозоя	Средняя Падма, Космозеро, Толвуйское, Пигма
	Южно-Китайская (кембрийские рифтогенные бассейны архей-раннепротерозойского кратона Янгтзе)	Углеродистые гидрослоистые глинистые сланцы, черные сланцы раннего кембрия	Зуньши, Хуангдживан, Тианешан
	Центральный Юкон (рифтогенный бассейн, наложенный на Североамериканский докембрийский кратон)	Карбонатно-кремнистые аргиллиты, черные сланцы позднего девона	Ник-Проперти
	Центрально-Европейская (каменноугольно-пермские рифтогенные впадины на протерозойском основании)	Песчаники, доломиты, глинистые и битуминозные сланцы поздней перми	Любин

2. Обобщенные признаки характеристики и элементы обстановок локализации золоторудных месторождений терригенных комплексов

Характеристики руд и минерализованных тел, элементы обстановок локализации месторождений	Месторождения			
	складчатых областей (бакырчицкое семейство)	областей активизации платформенных окраин (карлийское семейство)	щитов	эпикригонных рифтогенных впадин (золотосодержащие)
Количество сульфидов во вкрапленных и прожилково-вкрапленных рудах, %	4-5 (колеблется от 2 до 10)	5	20 (от 5 до 70)	10-50 (до 80)
Главные и (типоморфные) минералы руд	Пирит, арсенопирит	Мышьяковистый пирит (реальгар, аурипигмент, антимонит, киноварь, арсенопирит)	Пирротин, арсенопирит, пирит (халькопирит)	Ваезит, молибденит, халькопирит, пирит, герседорфит, пен гландит, настуран, коффеинит
Типоморфные элементы руд	Au, As	Au, As, Sb, Hg, Tl	Au, Cu, As	Cu, Ni, Zn, Mo, U, V, Mn, Ag, Re, Au, Bi, Y, Pb
Морфология тел вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд	Линзы, лентообразные тела	Линзы	Линзы, плитообразные тела	Линзы, плитообразные тела
Текстура руд	Вкрапленная, прожилково-вкрапленная, штокерковая	Вкрапленная, прожилково-вкрапленная, брекчиевая	Штокерковая, густовкрапленная, прожилково-вкрапленная, брекчиевая	Вкрапленная, конкреционная, линзовидно-слоистая, прожилково-вкрапленная
Содержание золота в руде, г/т	4-5 (от 2,5 до 12)	2-6 (от 0,6 до 29)	8-10 (до 15-20)	0,5-1,0 (до 3-10)
Соотношение Ag/Au в руде	0,5-2,0	0,1-0,5 (до 2,0)	0,1	Резкие колебания: >> до <<
Содержание в пирите	50	До 2400 в мышьяковистом пирите	5-15	
Содержание в арсенопирите	300 (для вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд)		50-200 (для вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд)	
Содержание мышьяка в пирите продуктивной ассоциации, %	Чаще 2-4	8-11 (в мышьяковистом пирите)	До 5,5	
Содержание S_{opt} в рудовмещающих толщах, %	$0,0n-0,1n$, иногда до 1-2	Преимущественно <1		Нередко 10-20
Характерные околорудные преобразования пород	Серцитизация	Аргиллизация, деастироидизация	Турмалинизация	Альбитизация, флогопитизация, развитие роскэлита

Литологический характер рудовмещающих пород	Алевролиты, песчаники, глинистые сланцы, гравелиты; туфопесчаники, туфы, филлиты, слюдисто-карбонат-кварцевые сланцы; гранодиориты, диориты плутонов; граптодиорит-плагиогранит-порфиры даек	Глинистые известняки, тонко-слоистые илистые известняки, микролиты; переслаивание кремнистых аргиллитов, тонкослойных аргиллитов, известковистых аргиллитов; песчаники, алевролиты, аргиллиты, известковистые сланцы; горизонты брекчий с обломками кремнеземистых пород; известковистые сланцы; лампрофировые дайки, штоки гранодиоритов	Вулканические, грауваквовые песчаники, аргиллиты; слюдисто-кварц-анкеритовые, кварц-доломит-анкеритовые сланцы, филлиты, кварц-хлоритовые сланцы; кварциты, сидеритовые магнетит-гематитовые сланцы, кварц-карбонат-гематитовые и карбонат-гематитовые сланцы	Аргиллиты, алевролиты, туффиты; карбонатно-слюдястые пунгитосодержащие сланцы; конгломераты; базальные горизонты разлобоочных конгломератов, песчаников, алевролитов, сланцев; конкреционные (сульфидные или известковистые конкреции) горизонты; фосфатно-кремнистые горизонты. Характерна повышенная фосфоритность, захватывающая вышележащие и (или) подстилающие горизонты
Соотношение с интрузивными породами	Часто устанавливается парагенетическая связь с интрузивными комплексами, нередко рудная минерализация накладывается на дайки или штоки гранитоидов, прорывающих терригенные толщи	Устанавливается парагенетическая связь с магматическими комплексами. Иногда рудная минерализация накладывается на дайки и штоки гранитоидов, прорывающих терригенные толщи	Парагенетическая связь с орогенными интрузивными комплексами	Нет примеров пространственной связи с плутоническими интрузивными телами наложения рудной минерализации на интрузивные тела. Иногда предполагается регенерация и дополнительный привнос компонентов руд в связи с силами диабазов
Контроль месторождений и (или) рудных тел разрывными структурами	Четкий контроль разрывными структурами. Рудные тела размещаются в зонах разломов, месторождения и рудные поля контролируются глубинными разломами	Месторождения контролируются разрывными структурами, часто глубокого заложения; рудные тела в одних случаях размещаются в зонах разрывов, в других — на определенных литолого-стратиграфических уровнях	Рудные поля и месторождения часто контролируются явными и скрытыми (глубинными) зонами разломов. Иногда явный контроль отсутствует. Рудные тела чаще контролируются разломами	Часто явный контроль отсутствует. Иногда в зонах складчатого-разрывных дислокаций в участках пересечения рудоносных прослоев разломами повышается концентрация рудных компонентов и формируются рудные тела

практически постоянное присутствие антимонита и киновари в рудах, тогда как в рудах бақырчыкского семейства они обнаруживаются реже и проявлены более локально;

размещение преимущественно в карбонатных или в пелит-алеврит-карбонатных, реже в известковистых тонкообломочных алюмосиликатных породах;

типоморфные элементы руд — Au, As, Sb, Hg и Tl; преобладающие околорудные изменения представлены аргиллизитами (по алюмосиликатным породам) и джаспероидами (по карбонатным породам);

температура формирования главной продуктивной ассоциации с высокомышьяковистым золотоносным пиритом в среднем 180–220°C.

Золоторудные месторождения щитов размещаются в терригенных, часто турбидитовых толщах, в так называемых бассейновых обстановках, сопрягающихся с зеленокаменными поясами и представляющих совместно с последними супракрустальные комплексы щитов. Среди них по условиям локализации выделяются две группы: связанные с секущими зонами разломов, не отличающиеся от

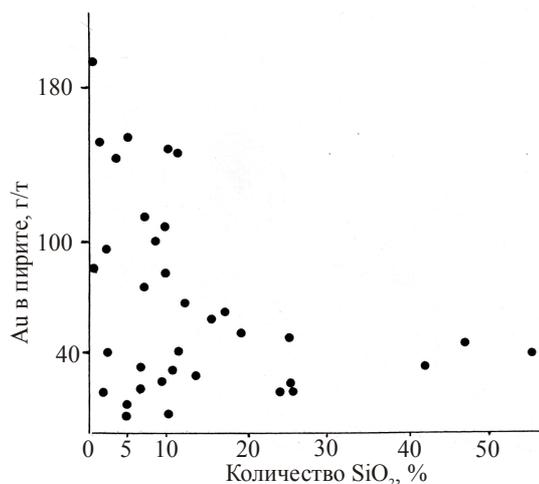


Рис. 2. Соотношение золота, заключенного в пирите, с количеством прожилкового кварца в руде золото-сульфидного месторождения Чоре (вкрапленность сульфидов составляет около 5%):

из штучной пробы прожилково-вкрапленных руд отбирался и анализировался пирит и изготовлялся шлиф, в котором определялась доля прожилков кварца

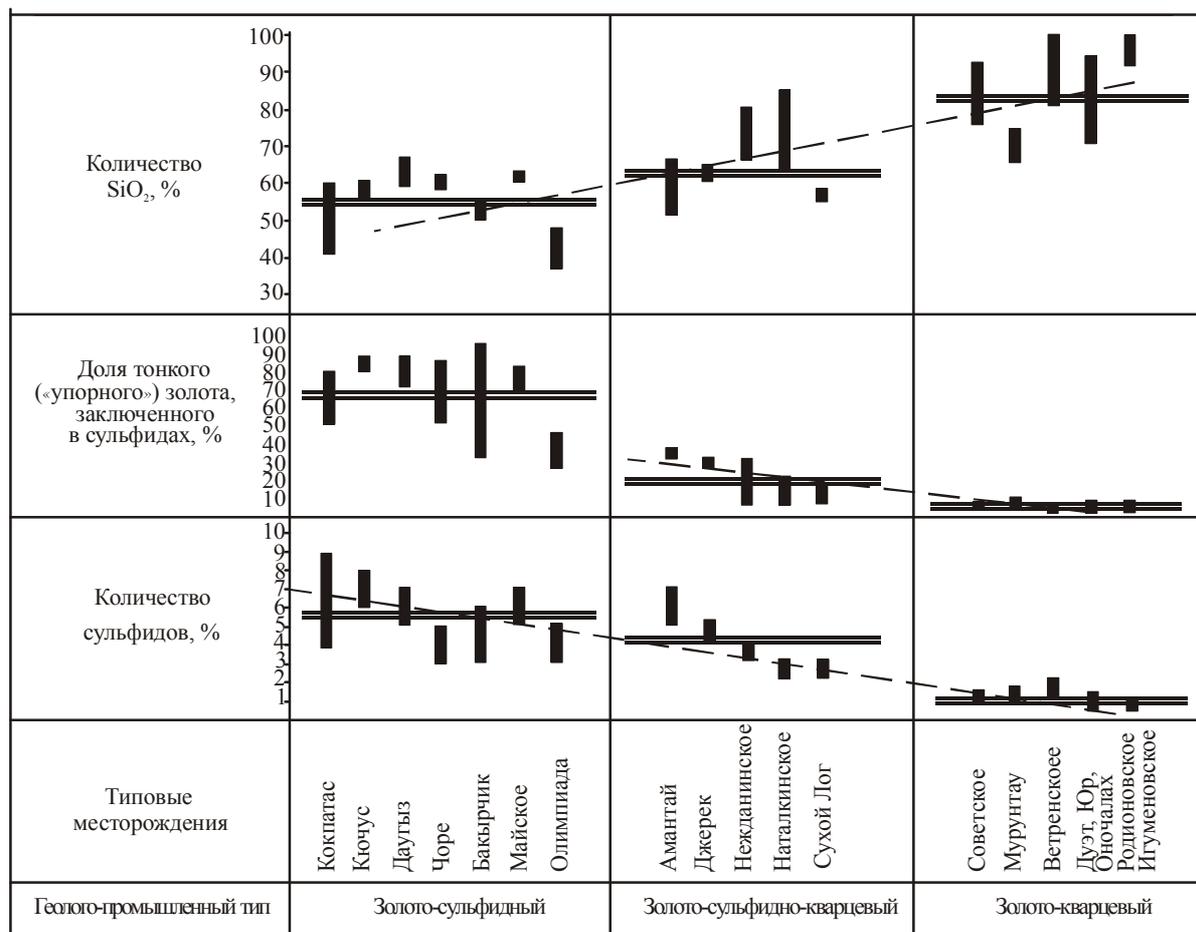


Рис. 3. Некоторые характеристики руд бақырчыкского семейства по данным обработки технологических проб

месторождений бақырчикского семейства и стратиформные, локализованные в слоях песчаников и песчано-сланцевых пачках или в слоях железистых полосчатых кремнистых или карбонатных пород, в так называемых ВIF.

Типоморфными чертами месторождений щитов являются:

пирротин-пиритовый, пирротин-арсенопирит-пиритовый обычно с халькопиритом состав руд (вплоть до формирования золото-медных руд — Телфер в Австралии);

более высокое, чем в рудах бақырчикского и карлинского семейств, количество сульфидов; в стратиформных месторождениях содержание сульфидов в среднем 20 и до 70% на отдельных участках;

высокое содержание турмалина в рудах и в рудовмещающих горизонтах пород.

В отличие от месторождений трех рассмотренных геотектонических структур месторождения в эпиплатформенных рифтогенных впадинах и бассейнах, как правило, поликомпонентны с разным составом ведущих и сопутствующих элементов. Золото в них — компонент попутный [1–3, 5]. Специфическими чертами этих месторождений являются:

преимущественно стратиформный характер размещения;

высокая углеродистость рудовмещающих пород (10–15% $C_{орг}$);

повышенная фосфатонность, чаще в подстилающих, реже в перекрывающих толщах;

частое присутствие в рудоносных горизонтах конкреций сульфидного, карбонатного, фосфатного составов;

малая мощность рудных прослоев (от первых сантиметров до 1–2 м) и высокое содержание в них сульфидов (от 10–15 до 100%);

частая приуроченность к границам стратиграфического несогласия толщ (свит, серий).

Собственно золото-платиноидные месторождения данной геотектонической обстановки редки (Любин в Польше) и крупные среди них не известны. Возможное исключение — Сьерра Пелада в Бразилии. В более высоких частях разрезов толщ эпиплатформенных рифтогенных впадин чаще встречаются собственно золоторудные или золото-платиноидные рудные концентрации (Толвуйское, Комлевское в Карелии), также не образующие крупных объектов. Однако в определенных геолого-экономических условиях, особенно в случае развития по ним золотоносных кор выветривания, подобные объекты имеют промышленное значение.

Представляется, что месторождения именно этой геотектонической обстановки в связи с высокой углеродистостью рудовмещающих пород следует называть «черносланцевыми», отличая их от

золоторудных месторождений трех других геотектонических обстановок, где также широко распространены черные сланцы в рудоносных толщах, но содержание $C_{орг}$ в них обычно не превышает 1–2%, а чаще 0,1%.

Основные черты обстановок локализации выделенных рудно-формационных семейств месторождений — это положение их в сводном разрезе пород провинций, соотношение со складчато-разрывными структурами и магматическими телами.

В сводных разрезах терригенных толщ металлогенических провинций золоторудная минерализация охватывает нередко значительный возрастной интервал и большую мощность сводного разреза (рис. 4). Однако обычно концентрация объектов в разных частях литостратиграфических колонок различна и нередко достаточно четко устанавливаются рудоносные литоформации. Для многих провинций преобладает стратоидный характер размещения месторождений. Для месторождений карлинского семейства, судя по двум провинциям (Невадийской в США и «Золотой треугольник» в Китае), где эти месторождения развиты наиболее широко, более важен литологический состав пород, и в сводном разрезе они размещаются в разных литоформациях, преимущественно в карбонатсодержащих.

На щитах, как упоминалось, широко развиты месторождения, приуроченные к маломощным (первые метры – десятки метров) литолого-стратиграфическим слоям, пачкам, горизонтам (рис. 5).

Сравнительно четкий литолого-стратиграфический контроль месторождений характерен также для эпиплатформенных рифтогенных впадин, расположенных главным образом в основании разрезов. Для месторождений в более верхних частях разреза признаки характеристики и условия локализации во многом сходны с таковыми для месторождений бақырчикского семейства. По соотношению с литолого-формационными комплексами они также относятся к стратоидным (рис. 6).

Контроль золоторудных месторождений в терригенных комплексах разрывными структурами разного порядка играет важнейшую роль в их локализации. Региональные рудоконтролирующие разрывные структуры занимают резко секущее положение по отношению к господствующему направлению покровно-складчатых структур провинций, образуя тренды пространственного размещения (рис. 7), или кососекущее до субсогласного. Очевидно, что такой контроль обусловлен крупными глубинными разрывными структурами. Более локально, в пределах рудных полей и узлов, месторождения нередко контролируются зонами смятия, брекчирования, милонитизации, в которых размещаются рудные тела (рис. 8).

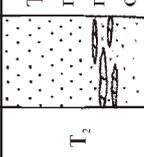
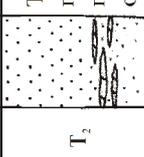
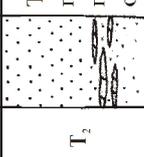
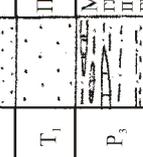
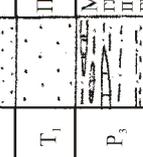
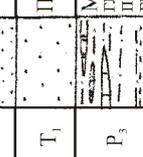
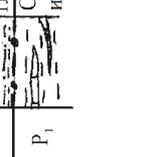
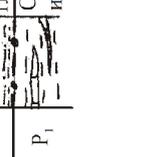
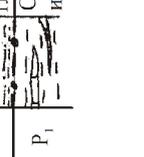
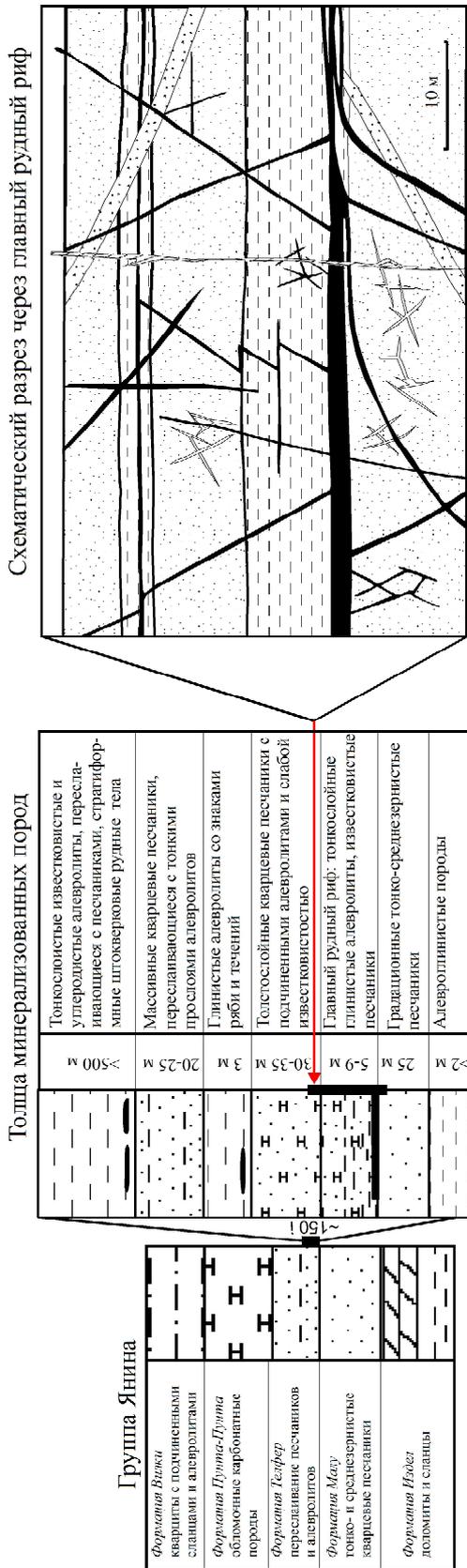
Невадийская провинция, по L. Teal and MacJackson, 1997			Провинция «Золотой треугольник», по A. Wilde, 2003			Южно-Тяньшаньская провинция				
Воз-раст	Литологический состав	Распределение месторождений	Воз-раст	Колонка	Литологический состав	Положение месторождений	Колонка	Мощность, км	Литологический состав	Распределение месторождений
O	Формация Винни +1500 м переслаивание кремней, кремнистых илов, зеленокаменных пород, известняков		T ₃		Тонкослоистые глинистые известняки, песчано-глинистые отложения	Цзянг, Яга		>0,5	Сероцветные и пестроцветные молассоиды	
O-D			T ₁		Песчаники, алевролиты	Ланнигоу		1,2-3,0	Песчаники, алевролиты, граувакка с линзами вулканитов, кремней	
D ₃ -C ₁	Свята Ролдо Крик 50-250 м аргиллиты, кремнистые илы		P ₃		Мертели, известняки, глинистые сланцы, прослой углей, песчано-глинистые сланцы	Санче		0,8-2,0	Карбонатные породы	
D	Формация Полович >400 м глинистые известняки, микролиты, органические известняки		P ₁		Сланцы, алевролиты, известняки	Гетанг			Полимиктовые песчаники, алевролиты, линзы кремней	
S	Формация Роберте Маунтинс, глинистые известняки >470 м								Доломиты, кремнистые сланцы, амфиболовые сланцы, метавулканиты	
O	Формация Хонсон Крик массивные доломиты Кварциты Эврика									

Рис. 4. Положение золоторудных месторождений в сводных литолого-стратиграфических колонках некоторых провинций:

А



Б

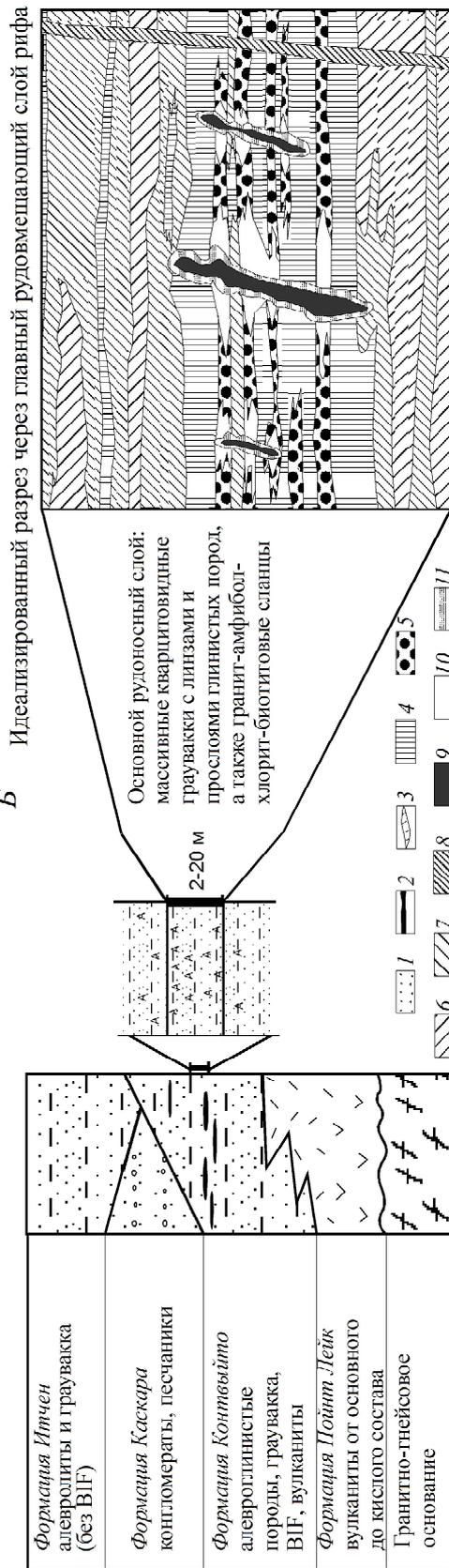


Рис. 5. Положение в литолого-стратиграфических колонках провинций и структурно-металлогенический характер руд стратиформных месторождений шитов:

А — месторождение Телфер, блок Пилбара Западно-Австралийского шита, по [7, 8]; 1 — ранние гидротермальные изменения; 2 — жилы главной продуктивной стадии; 3 — поздние гидротермальные прожилки; Б — месторождение Лупин, Канадский шит, по [6]; 4 — обогатительные прослои; 5 — прослои, обогащенные (>5%) сульфидными; 6 — граувакка; 7 — аргиллиты (филлиты); 8 — диабазовая дайка; 9 — кварцевая жила; 10 — участки, обогащенные арсенопиритом с промышленными концентрациями золота; 11 — хлоритовая оторочка

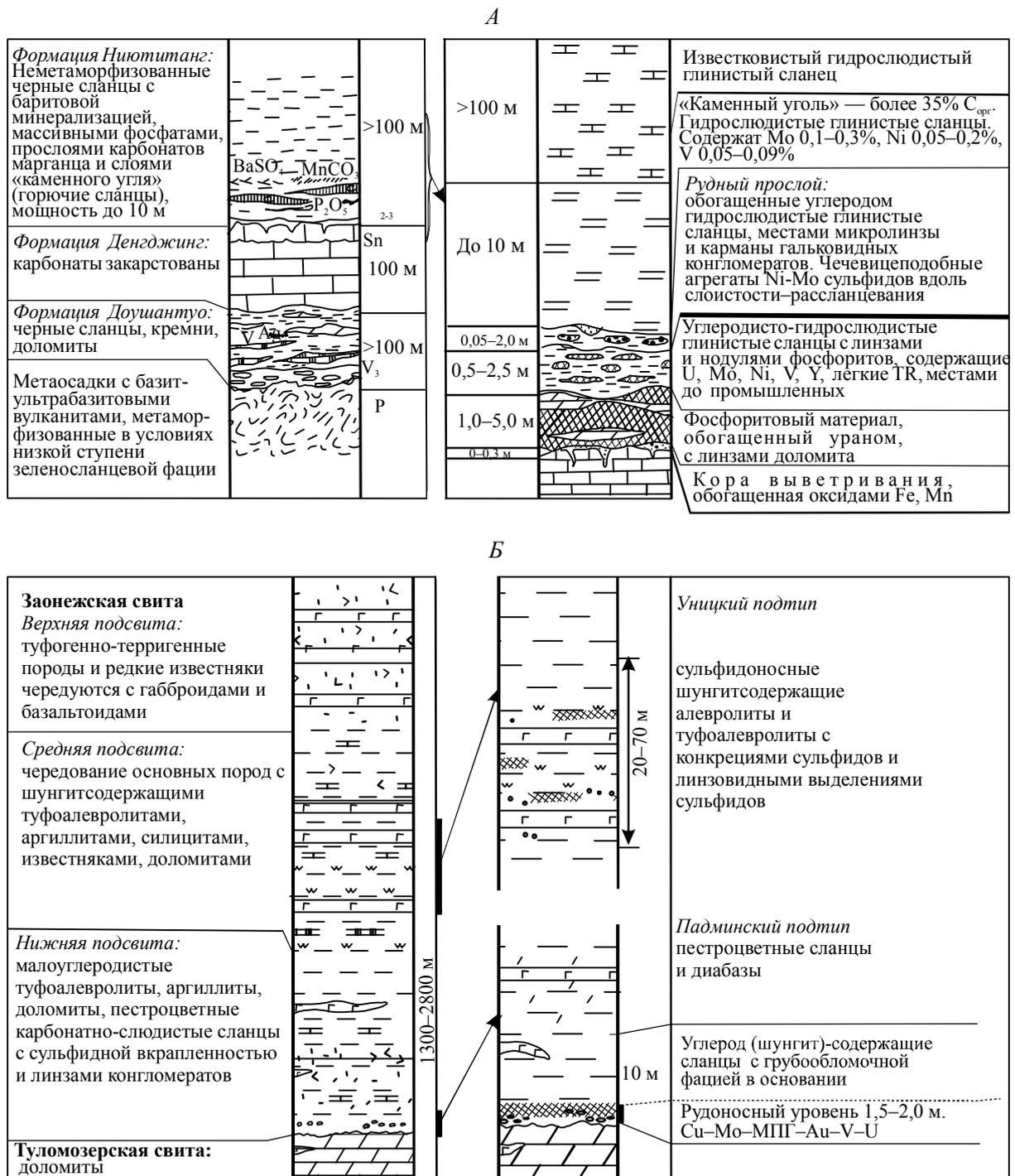


Рис. 6. Позиция черносланцевых месторождений комплексных золотосодержащих и существенно золотых и золото-платиноидных руд в литолого-стратиграфических колонках провинций:

А — Южно-Китайская провинция, месторождение Хуангдживан, по материалам [9]; Б — Карело-Кольская провинция, месторождения Онежской впадины, по материалам [1, 2, 3]

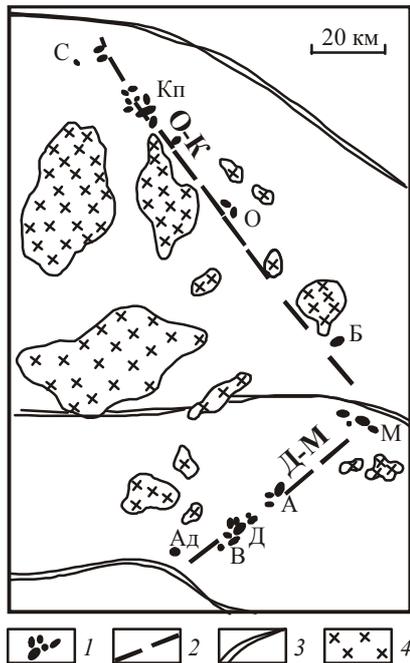


Рис. 7. Тренды размещения основных месторождений в Кызылкумской провинции

1 — месторождения (С — Сопредельное, Кп — Кокпатас, О — Окжетпес, Б — Балпангау, М — Мурунтау, А — Амантайгау, Д — Даугызгау, В — Высоковольное, Ад — Аджибугут); 2 — тренды распространения месторождений: О-К — Окжетпес-Кокпатасский, Д-М — Даугызгау-Мурунтауский; 3 — границы структурно-формационных зон; 4 — массивы гранитоидов

В стратиформных месторождениях более ярко проявлен литолого-стратиграфический контроль рудной минерализации, однако роль и значимость разрывных структур иногда являются определяющими в размещении промышленных руд (см. рис. 5).

Анализ соотношений золоторудных месторождений в терригенных комплексах с магматическими образованиями в большинстве случаев обнаруживает парагенетическую связь их с определенными интрузивными комплексами. Анализ простран-

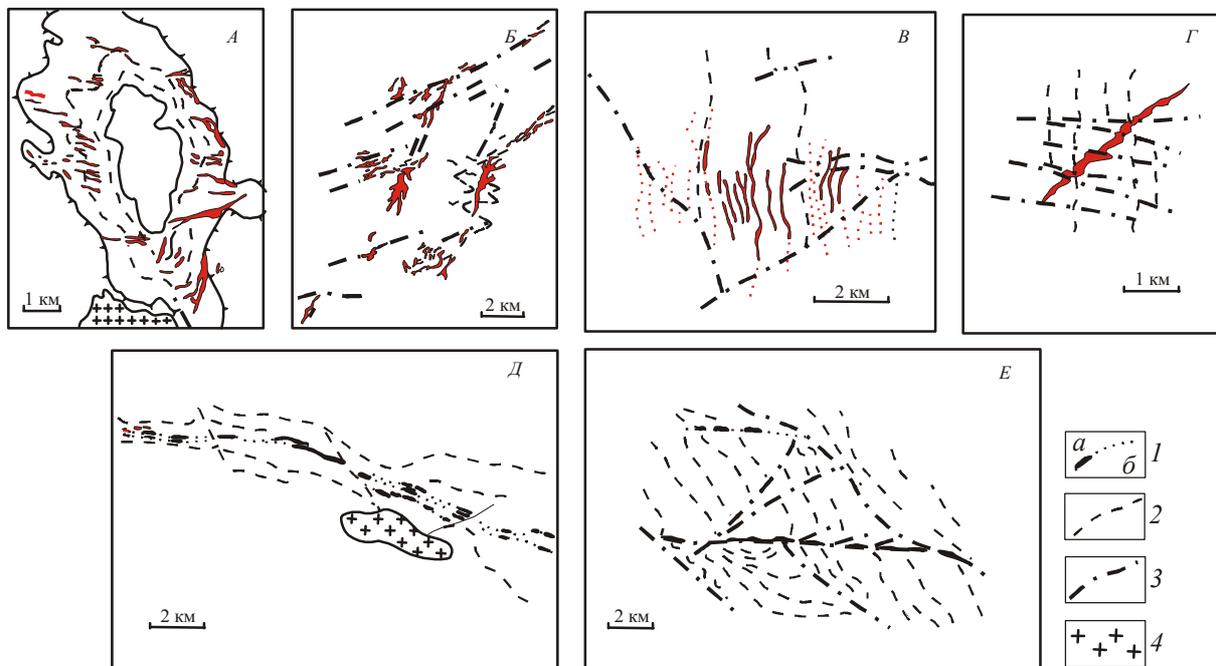


Рис. 8. Структурные условия локализации месторождений золото-сульфидных прожилково-вкрапленных руд:

1 — золотое оруденение установленное (а) и предполагаемое (б); 2 — слоистость вмещающих пород; 3 — разрывные нарушения; 4 — гранитоиды; месторождения: А — Кокпатас, Б — Даугызгау, В — Майское, Г — Кючус; рудоносные зоны: Д — Поймазар-Яфчская, Е — Кызыловская



Рис. 9. Размещение золоторудных полей и месторождений относительно гранитоидных плутонов в некоторых золоторудных провинциях:

1 — плутоны, обнажающиеся на дневной поверхности; 2 — скрытые плутоны, выявленные по геофизическим данным; 3 — толщи, перекрывающие рудоносные комплексы; 4 — месторождения и рудные поля; 5 — золоторудные поля и узлы; 6 — золотороссышные поля и узлы

ственных соотношений золоторудных месторождений и интрузивных массивов показывает, что главные рудоносные площади располагаются над выклиниванием латеральных апофиз плутонов, обычно наиболее удаленных от их корневых частей. Характерна также локализация оруденения в провесах кровли крупных плутонов и между ними (рис. 9).

Важно отметить, что золоторудные месторождения в металлогенических провинциях терригенных комплексов размещаются иногда и в интрузивных телах, прорывающих терригенные рудоносные толщи, однако самые поздние фации гранитов, как

правило, кислые по составу, рудных тел не содержат.

В общем случае рудогенная обстановка обуславливается положением термостатированных систем, определяемых благоприятным сочетанием морфологии плутонов, создающих сфокусированный, а не рассеянный термофлюидопоток, рудоэкранирующих поверхностей или реакционно-активными толщами и каркасом разрывных структур, а также положением рудогенерирующих формаций между источником энергии (гранитоидный очаг) и местом рудоотложения (рис. 10).

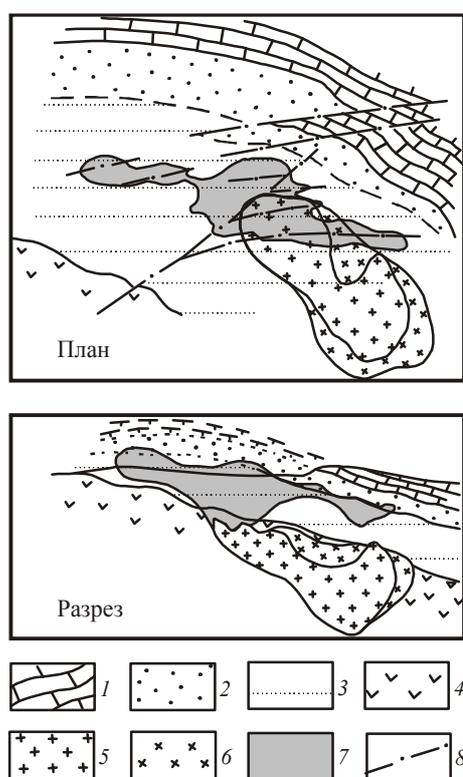


Рис. 10. Упрощенная модель рудогенной обстановки:

1 — толщи карбонатных пород; 2 — толщи грубообломочных пород; 3 — алевро-песчано-сланцевая толща (рудовмещающая рудоносная формация); 4 — вулканогенно-карбонатно-терригенная толща (вероятная рудоносная формация); 5 — граниты, лейкограниты позднего плутоногенного комплекса (рудообразующая формация); 6 — преимущественно гранодиориты раннего комплекса (рудообразующая формация); 7 — золоторудная минерализация; 8 — современный эрозионный срез; 9 — разрывные нарушения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Библибина Т.В., Мельников Е.К., Савицкий А.В. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геология рудных месторождений. 1991. Вып. 6. С. 3–13.
2. Булавин А.В. Формация комплексных медь-уран-молибден-ванадиевых руд зон складчато-разрывных дислокаций Онежской структуры // Металлогения Карелии. Петрозаводск, 1999. С. 246–260.
3. Платинометальные формации / А.И.Голубев, М.М.Лавров, Н.Н.Трофимов и др. // Металлогения Карелии. Петрозаводск, 1999. С. 261–272.
4. Рундквист Д.В. О значении формационного анализа при прогнозных исследованиях // Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые Л., 1986. С. 17–39.
5. Черников А.А. Соотношение процессов коры выветривания и гипергенных факторов при формировании комплексных месторождений онежского типа // Глубинный гипергенез, минерало- и рудообразование. М., 2001. С. 49–59.
6. Bullis H.R., Hureau R.A. and Penner B.D. Distribution of gold and sulfides at Lupin, Northwest Territories // Econ. Geol. 1994. Vol. 89. P. 1217–1227.
7. Goellnicht N.M., Groves D.I., McNaughton N.J. An epigenetic origin for the Telfer gold deposit, Western Australia // Econ. Geol. Monograph 6, 1989. P. 151–167.
8. Rowins S.M., Groves D.J., McNaughton N.J. A reinterpretation of the role of granitoids in the genesis of the Neoproterozoic gold mineralization in the Telfer dom, Western Australia // Econ. Geol. 1997. Vol. 92. P. 133–160.
9. Mao J., Lehmann B., Du A. et al. Re-Os of polymetallic Ni-Mo-PGE-Au mineralization in lower cambrian shales of south China and its geologic significance // Econ. Geol. 2002. Vol. 97. P. 1051–1061.
10. Teal L. and Jackson M. Carlin trend gold deposits and description of recent deep discoveries // SEG Newsletter. 1997. № 31. P. 13–24.
11. Wilde A. The golden triangle of southeast China: another Carlin trend? // SEG Newsletter. 2003. № 55. P. 1, 9–11.

УДК 553.41/.48.044

© Н.К.Курбанов, В.Б.Чекваидзе, И.З.Исакович, 2006

ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ СОПРЯЖЕНИЯ ПОЛИГЕННО-ПОЛИХРОННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ КОНВЕРГЕНТНОГО РЯДА

Н.К.Курбанов, В.Б.Чекваидзе, И.З.Исакович (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

В наиболее полном и завершенном виде сопряжение полигенно-полихронных месторождений цветных и благородных металлов конвергентного ряда проявлено в Болнисском рудном районе, охватывающем западный сегмент известной на Малом Кавказе энсиалической Сомхето-Кафанской островодужной структурно-формационной мегазоны. Эта многообразная в геолого-генетическом и геодинамическом отношениях мегазона возникла и развивалась одновременно (с юга) со столь же масштабной Севано-Акеринской эвгеосинклинально-троговой офиолитовой мегазоной [5, 6]. Период зрелой стадии развития указанной «пары» совпадает с началом замыкания офиолитового трога и постепенным превращением его в мощную зону цветного меланжа, надвинутого на Сомхето-Кафанскую островную дугу, с накоплением на их границах толщ олистостром [1, 2, 5].

Рассматриваемая «пара» в металлогеническом отношении может служить эталоном для характеристики геолого-генетических и прогнозно-поисковых моделей месторождений, тесно связанных друг с другом (во времени и пространстве) определенными рудно-формационными типами месторождений от медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических до убогосульфидных золотых и медно-молибден-порфировых, генетически обусловленных дифференцированными вулканогенными и вулканоплутоническими формациями и ассоциациями гибридного базальтоидно-гранитоидного ряда [3–16].

Следует подчеркнуть, что, в свою очередь, указанная «пара» является неотъемлемой составной частью обширной и весьма протяженной Средиземноморской металлогенической системы мегапровинций (рис. 1), приуроченных к сближенным, разноориентированным микроплитам (срединным массивам) западного и юго-западного сегментов Тетиса. Эти сегменты отличаются мозаично-блоковым строением, существенно влиявшим на состав, последовательность формирования, условия локализации и размещения вышеуказанных типов месторождений в перекрывающих осадочных и вулканоплутонических комплексах мезозоид и частично палеозоид. В этой связи металлогения Централь-

ной (наиболее обширной в юго-западном сегменте Тетиса) области, включающая медно-полиметаллическое, золотое, золото-серебряное и редкометальное оруденение, отличается удивительным разнообразием рудно-формационных типов, от медноколчеданных в Турции (Эргани-Маден) до полиметаллических массивно-жильных в Иране (Нахлак в Центральной пустыне). Фундамент наложенных локальных геосинклинальных структур и многочисленных вулканогенно-осадочных и осадочных

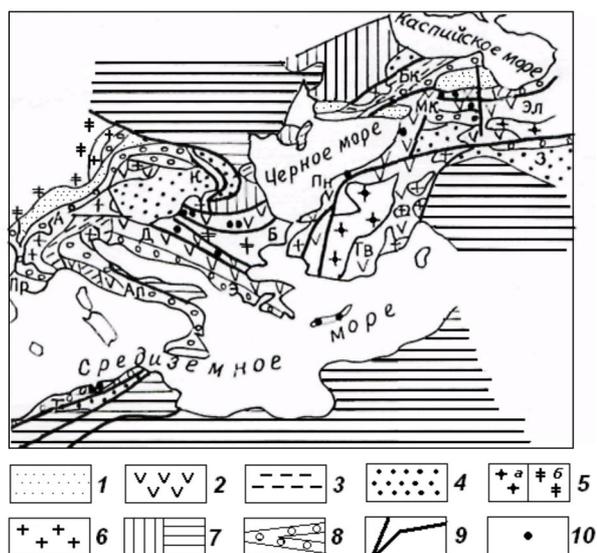


Рис. 1. Схема геологического строения Средиземноморья и размещения альпийских вулканогенных месторождений цветных металлов:

1 — впадины с кайнозойскими молассами; 2 — ареалы развития мезокайнозойских вулканитов; 3 — терригенно-сланцевые складчатые зоны; 4 — верхнемезозойско-нижнекайнозойские флишевые осадки; 5 — выступы до-мезозойского метаморфического фундамента (а — байкальского, б — герцинского); 6 — площади эпигерцинской консолидации; 7 — Восточно-Европейская и Афро-Аравийская платформы; 8 — офиолитовые шовные зоны; 9 — глубинные разломы; 10 — вулканогенные месторождения цветных металлов; горные сооружения: Пр Пиренеи, Т — Тель, Ап — Апеннины, А — Альпы, К — Карпаты, Д — Динариды, Э — Эллиниды, Б — Балканы, Пн — Понтиды, Тв — Тавриды, БК — Большой Кавказ, МК — Малый Кавказ, Эл — Эльбрус, З — Загрос

депрессий, рифтогенных впадин, с мигрирующим кратковременным спредингом, представляет собой в различной степени активизированные и часто различно ориентированные выступающие на поверхности протерозой-палеозойские срединные массивы, во многом определяющие как структурно-формационный облик наложенных геосинклинальных «пар» и депрессий, так и рудно-формационный состав месторождений и проявлений [5, 9, 11, 13].

В отличие от обширной мозаично-блоковой Центральной области (Турция и Иран) с разнообразными обстановкой рудолокализации, составом и масштабом месторождений различных рудно-формационных типов для северного обрамления рассматриваемых сегментов Тетиса (южные области активизации Восточно-Европейского кратона) характерны линейные протяженные геосинклинальные «пары» преимущественно с герцинским салифемическим фундаментом, где преобладают на доколлизиионном этапе медноколчеданные месторождения (Бор и Лика в Югославии, Радка, Красен, Челопек в Болгарии, Маднеули и другие Болнисского рудного района, Алавердское, Кафанское в Армении), а на коллизиионном и постколлизиионном — золото-барит-серебро-полиметаллическое колчеданное и собственно золото-убогосульфидное оруденение (Уэд Эль-Кебир, месторождения Восточных Карпат Румынии, Ридон, Крепелин в Югославии, Давид-Гареджи, Цетели-Сопели, Маднеули Болнисского рудного района; Кедабек, Гюмюшли в Азербайджане, район Мадана Болгарии, Арманис и другие в Армении). Завершает длительный процесс формирования разнотипных месторождений цветных и благородных металлов позднеколлизиионной и постколлизиионной металлогенических эпох широкое развитие молибден-медно-порфирировых месторождений, нередко с заключительной золото-серебряной стадией. К ним относятся неценные проявления Болнисского рудного района Грузии и Кедабекского рудного района Азербайджана, известные крупные месторождения Армении (Каджаран, Агарак).

Не менее масштабные коллизиионные и постколлизиионные рудообразовательные процессы связаны также с линейными вулканогенными и вулканоплутоническими структурно-формационными зонами южного складчатого обрамления Тетиса, вдоль северных окраин Африканского и Аравийского кратонов, металлогенический облик которых определяется прежде всего медно-молибден-порфирировыми и золото-сульфидно-кварцевыми месторождениями мирового класса (Майданпек в Югославии, Речк в Венгрии, Медет и Асарел в Болгарии, Сар-Чешме в Иране и др.) (см. рис. 1) [1–12].

Характеристика прогнозно-поисковой модели сопряжения полигенно-полихронных месторожде-

ний цветных и благородных металлов конвергентного ряда Маднеульского рудного узла. -В пределах Болнисского рудного района Южной Грузии наиболее рудонасыщенным является Маднеульский золото-медно-барит-полиметаллический рудный узел, расположенный в северном опущенном блоке крупного многоэтапного, многожерлового, полигенного вулканического аппарата Маднеули-Демирсу. Он входит в состав субширотной вулканогенной гряды Малокавказской энсиалической островной дуги и контролируется долгоживущим региональным Балчи-Маднеульским разломом субширотного восточно-северо-восточного простирания.

Благодаря длительному центростремительному геодинамическому режиму формирования разновозрастных рудоносных геологических формаций на площади многожерловой вулканической структуры Маднеули-Демирсу сосредоточены многоуровневые промышленные залежи четырех последовательно сменяющих друг друга рудных формаций — медноколчеданной, колчеданно-барит-полиметаллической, золото-малосульфидно-кварцевой и завершающей медно-порфирировой.

В геологическом строении рудного узла, помимо вулканитов маднеульской, участвуют вышележащие вулканомиктовые отложения казретской, а также перекрывающие их вулканиты набакреевской свит (рис. 2).

Вулканиты рудоносных маднеульской и набакреевской свит и разделяющие их слоистые полимиктовые толщи казретской свиты характеризуются значительной пестротой состава и широкими вариациями фаций и мощностей. При этом, как показал анализ размещения сульфидного оруденения, фациальное строение вмещающей вулканической постройки во многом предопределило особенности концентрации руд и морфологию рудных залежей (см. рис. 2).

В составе пород маднеульской свиты выделяются следующие фации андезито-дацитовых, дацитовых и риолитовых вулканитов: агломераты; литокристалловитрокластические туфы; витрокристаллокластические туфы; лавы, лавобрекчии, туфолавы, игнимбриты. Их мощность варьирует от 150–200 до 650–900 м.

Учитывая, что отложения казретской свиты служат своеобразным маркирующим горизонтом, разделяющим два подэтапа интенсивной вулканической деятельности в районе (маднеульский и набакреевский), а также то, что в кровле и подошве свиты сосредоточены основные запасы колчеданного оруденения, важно подчеркнуть — породы свиты выполняли центральную кальдеру проседания, где в значительной мере замещены метасоматитами и залежами медноколчеданных (в подошве свиты) и барит-полиметаллических (в кровле сви-

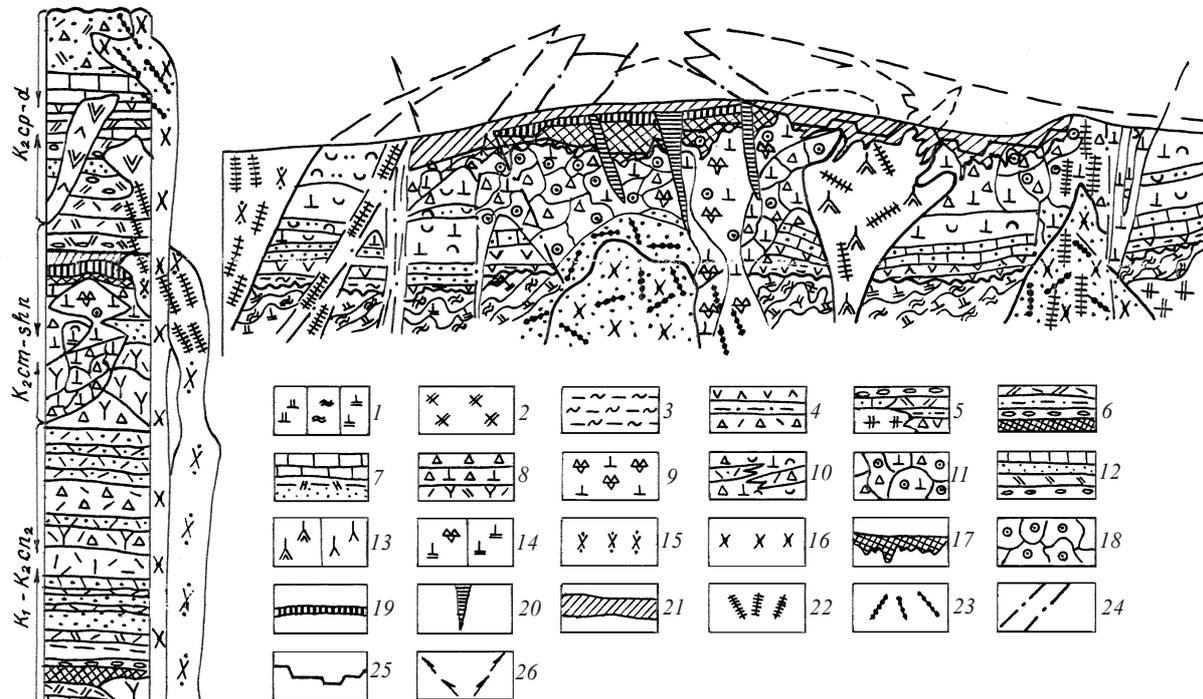


Рис. 2. Сводная прогнозно-поисковая модель Маднеульского рудного узла:

комплекс пород основания: 1 — метаморфические сланцы (а), орто-парагнейсы (б), метаморфизованные кварцевые диориты и гранодиориты (в), PZ_{1-2} ; 2 — плутогенная гранодиорит-гранитная формация (граниты, диориты, гранодиориты), PZ_3 ; юрский комплекс: 3 — терригенно-осадочная песчано-сланцевая формация, J_1h-t ; 4 — глинистые и слюдяные сланцы, песчаники, алевролиты, чередующиеся с туфами, J_2a-bt ; 5 — лавовые потоки, покровы, грубообломочные туфы основного, среднего составов, эструзивно-гиповулканические интрузии габбро-диорит-порфиритов, J_3o-t ; меловой комплекс: нижняя и средняя нерасчлененные толщи маднеульской свиты: 6 — терригенно-карбонатные горизонты и конгломераты, песчаники и рифогенные известняки, чередующиеся с туфами, реже лавами основного (андезито-базальты, базальты) и кислого (риодациты, риолиты) составов, $K_1^1-K_2ch$; 7 — туфы основного и кислого составов, рифогенные известняки, горизонты полимиктовых конгломератов и песчаников $K_1^1-K_2ch$, верхняя толща маднеульской свиты (андезито-дацит, дацит, риодацит, риолитовая непрерывно дифференцированная формация, переслаивающиеся с вулканомиктовыми песчаниками, яшмоидами, спекшимися туфами); 8 — эструзивные брекчии с горизонтами мелко- и грубообломочных туфов, K_2cm_1 , 9 — агломератовые эструзивные брекчии жерла вулкана, $K_2cm_2-shn_1$, 10 — спекшиеся игнимбритоподобные туфолавы с горизонтами мелкообломочных туфов, K_2shn_2 , 11 — средне-мелкообломочные спекшиеся туфы, K_2shn_3 , 12 — мелкообломочные туфопесчаники и туфы (чаще спекшиеся), K_2cp-al ; 13 — субвулканические, эструзивные тела (а) и дайки (б) андезито-дацитовых и дацитовых порфиритов; 14 — субвулканические (а) и эструзивные (б) риолиты; 15 — позднемеловая гипабиссальная габбро-плагиигранитная формация (гранодиориты, гранодиорит-порфиры, диориты, микродиоритовые порфиры); 16 — позднемеловые гиповулканические интрузии, завершающие позднемеловой вулканизм (гранодиориты, гранодиорит-порфиры, микродиориты, габбро-диориты, габбро-диабазы); рудные формации (семейства): семейство колчеданных руд, связанных с кислыми вулканитами: 17–21 — формация золото-цинково-медно-колчеданных руд: 17 — массивные, слоисто-полосчатые, пластообразные эксгалиационно-осадочные руды в кальдере проседания (ранний сольфатарно-фумарольный этап), 18 — подстилающие прожилково-вкрапленные штокверковые руды, охватывающие эксплозивные брекчии риодацитов жерла, 19–20 — семейство золото-колчеданно-барит-полиметаллических руд: 19 — слоисто-полосчатые эксгалиационно-осадочные полиметаллические руды над слоисто-полосчатыми золото-медноколчеданными рудами, 20 — секущие линзы барит-полиметаллических руд, часто в зальбандах крупосекущих кварц-яшмоидных линейных линз-жил; 21 — формация вторичных золотоносных кварцитов кровли медноколчеданных и колчеданно-барит-полиметаллических руд по всей кровле кальдеры проседания; 22 — семейство золото-сульфидно-кварцевых, (с алунитом и серицитом) руд, образующих секущие штокверковые и субпластовые линейные жильные системы в телетермальных метасоматитах, связанных с гиповулканически-гипабиссальными интрузиями габбро-плагиигранитной формации позднего мела и (или) гиповулканическими интрузиями, завершающими позднемеловой вулканизм; 23 — семейство медно-порфировых руд (медно-молибденовое, медное и золото-медно-полиметаллическое краевых фаций), связанных с позднемеловыми плутогенными интрузиями гранодиорит-гранитной формации; 24 — тектонические нарушения (син- и пост-вулканического заложения); 25 — контуры карьера; 26 — границы кальдеры проседания

ты) руд (см. рис. 2).

Особо следует отметить наличие в обломках вулканокластов гидротермально измененных (вплоть до монокварцитов с вкрапленностью сульфитов) пород. Этот факт указывает на проявление гидротермальных процессов до вулканической деятельности более позднего набакреевского этапа.

Кровля отложений маднеульской свиты по отношению к современной поверхности образует в рельефе изометрично вогнутую структуру, где ее центральные части (кальдера проседания) опущены по сравнению с периферическими на 150–200 м и выполнены вулканомиктами казретской свиты.

В набакреевский этап вулканизма в пределы кальдеры внедрились субвулканические породы дацит-риолитового состава. Внедрение происходило главным образом по бортам кальдеры, как наиболее ослабленным участкам, с образованием крутых (подводящие каналы) и пологих субвулканических тел, а также выходящих на поверхность экструзий (вулканокуполов), которые опоясывают края кальдеры, фиксируя полукольцевые, крутопадающие и относительно пологопадающие согласно секущие разломы.

Помимо полукольцевых разломов, заложение которых, вероятнее всего, связано с началом образования кальдеры проседания, существенную роль в строении палеоструктуры месторождения играла многочисленная серия радиальных, преимущественно субвертикальных разломов, нередко выполненных риолитовыми субвулканическими дайками.

Современная брахиформная структура месторождения представляет собой ярко выраженную унаследованную инверсионную структуру палеовулканического аппарата центрального типа, существенно осложненного элементами структур кальдеры. При этом число полукольцевых круто- и согласно секущих (нередко межслоевых) разломов возрастает по мере удаления от свода к крыльям Маднеульской брахиантиклинали.

Рассматриваемый рудный узел, как справедливо подчеркивает Г.А.Тварлчрелидзе (1978), — типичный представитель колчеданных месторождений типа «куроко», которым свойственны синвулканическая природа и гетерогенность. Месторождения рудного узла в этой связи являются комплексными и представлены: залежами колчеданных (медных и полиметаллических) руд; золотоносными вторичными кварцитами и жильными системами убого-сульфидных золото-кварцевых жил, которые пронизывают в виде штокверка пласт кварцитов в кровле кальдеры и широко развиты по периферии рудного узла на мелких месторождениях (Цетели-Сопели, Давид-Гареджи и др.); медно-порфиrowыми с редким молибденом, выраженными штокверковыми скоплениями кварц-халькопирит-пиритовых про-

жилков и порфиrowых вкрапленников.

Руды Маднеульского узла, локализованные в пределах описанной выше кальдеры проседания, многоярусны. Их промышленные залежи сконцентрированы в центральном блоке, где прослеживаются в широтном направлении на 1500, в меридиональном — на 800 и по вертикали — на 250–300 м. Выделены три рудных стратиграфических уровня: нижний медноколчеданный, средний колчеданно-барит-полиметаллический и верхний в виде двух блоков золотоносных вторичных кварцитов (так называемые «центральная» и «восточная» линзы). В ядре основания вулкана и на южном фланге рудовмещающей вулканической постройки, в экзоэндоконтактных зонах гранит-гранодиорит-порфиrowых, диорит и микродиорит-порфиrowых гипабиссально-гиповулканических интрузий сосредоточен основной объем медно-порфиrowых штокверково-вкрапленных руд. Этапы их формирования отражены на рис. 2 и 3.

Условия залегания и морфология нижних, наиболее ранних, медноколчеданных рудных тел. В связи с тем, что основной объем медноколчеданной залежи (ее субгоризонтальная часть) локализован в кровле маднеульской свиты и частично в базальном туфоконгломератовом горизонте казретской свиты, граница двух свит рассматривается как главный нижний уровень локализации колчеданного оруденения (см. рис. 3). В локализации Главной залежи медноколчеданных руд существенную роль сыграли метасоматические процессы, предшествовавшие рудоотложению и представленные ореолами прожилково-вкрапленных руд того же состава (рис. 4).

Отдельные пологие тела медноколчеданных руд отмечаются ниже основного уровня локализации среди обломочных разностей маднеульской свиты. Их положение обусловлено полукольцевыми пологими или согласно секущими срывами на границе неоднородных горизонтов обломочных пород. Расположены они этажно, тяготеют к участкам развития рудораспределяющих разломов радиальной системы, нередко переходят в крутосекущие штокверковые зоны (до глубин 250–300 м), где пересекаются дайковыми фациями гранодиорит-порфиrowой интрузии позднемелового возраста. В свою очередь, в последних проявлены прожилково-вкрапленные штокверковые руды медно-порфиrowого типа с молибденитом. Оруденелые гранит-гранодиорит-порфиры на поверхности выступают только вдоль южного обрамления Маднеульского рудного узла и в основании вулканического сооружения в виде полифазного интрузива (подсечен скважинами).

Условия залегания и морфология колчеданно-барит-полиметаллических рудных тел. В пределах месторождения занимают самые верхние гипсометрические уровни и распространены над меднокол-

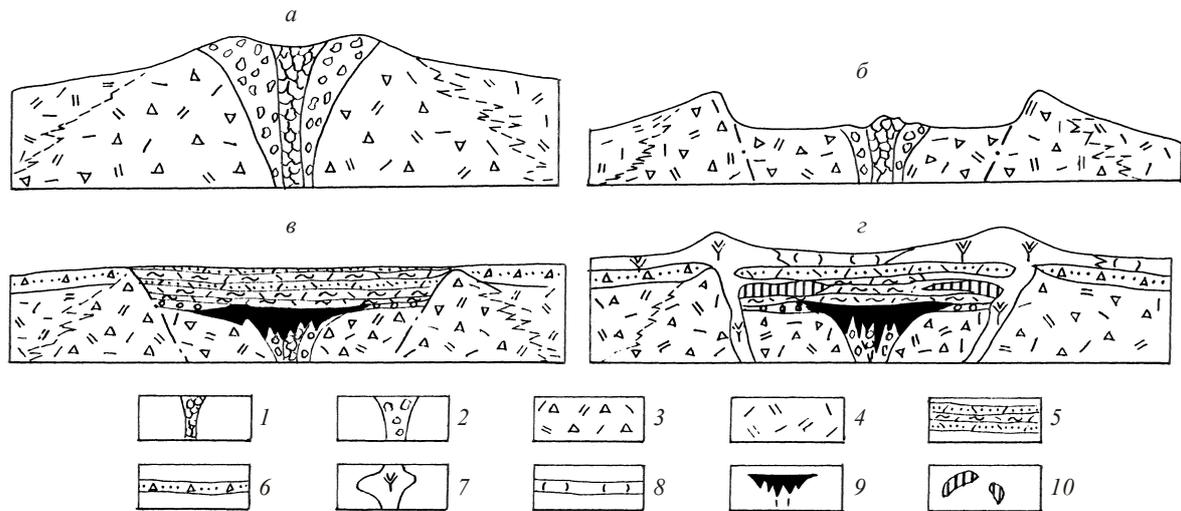


Рис. 3. Схема последовательности формирования Маднеульского рудного узла:

а — образование Маднеульского вулканического аппарата; *б* — образование кальдеры проседания на месте Маднеульской вулканической постройки; *в* — накопление вулканомиктовых отложений казретской свиты в пределах кальдеры, гидротермально-осадочная деятельность с последующим образованием медноколчеданных руд (первый рудный подэтап); *г* — вулканическая деятельность набакреевского периода — внедрение вдоль бортов кальдеры магматических расплавов с образованием крутых и пологих субвулканических тел и вулканокупольных структур, завершающая набакреевский вулканизм гидротермальная деятельность второго колчеданно-барит-полиметаллического рудного подэтапа; 1 — жерловые фации (жерловина) — аглютинаты; 2 — околожерловые фации — агломеративные туфы; 3 — прижерлово-удаленные фации — туфобрекчии; 4 — удаленные фации — мелко- и среднезернистые туфы; 5 — тонкослоистые и вулканомиктовые породы казретской свиты; 6 — грубослоистые вулканомиктовые породы казретской свиты; 7 — субвулканические тела и вулканокупола набакреевской свиты; 8 — туфы, туфобрекчии казретской свиты; 9 — медноколчеданные руды (первый рудный подэтап); 10 — колчеданные барит-полиметаллические руды (второй рудный подэтап)

чеданными, среди туфопесчаников и туфов верхней грубослоистой толщи казретской свиты, вблизи или непосредственно под вулканитами набакреевской свиты, нередко интенсивно замещающая последние (см. рис. 3). Образуют второй главный уровень стратиформных залежей (рис. 5). Между рудами выделенных групп непосредственных переходов не наблюдается. Более того, между рудными залежами двух главных уровней нередко прослеживаются линзы золотоносных кварцитов с убогой и рассеянной сульфидной вкрапленностью (см. рис. 3, 4).

Условия залегания и морфология золото-убого-сульфидно-кварцевых рудных тел. В пределах сближенных в пространстве и времени месторождений рудного узла золото и серебро установлено в виде редких попутных компонентов во всех типах медно-полиметаллических руд. Наибольшие содержания золота сосредоточены в серебро-барито-свинцовых рудах (Au_{cp} 5,7 г/т); золото отмечается также в штокверковых прожилках, относящихся к поздним стадиям рудного процесса и приуроченных к выше лежащим вторичным кварцитам (см. рис. 2–4). Главный объем золотого оруденения связан с вторичными кварцитами, перекрывающими «панцирем» разнотипные колчеданные руды (две линзы) и

фациально замещающими (в плане) по периферии пластообразные массивные залежи (см. рис. 3, 4). В большинстве случаев первичная структура в кварцитах полностью утрачена, но иногда отчетливо наблюдаются флюидалность, маркируемая поздними кварцевыми прожилками, и блоки серых интенсивно пиритизированных и окварцованных туфопесчаников.

Интенсивность развития кварцевых прожилков уменьшается от подошвы линз вторичных кварцитов к кровле, так же как количество прожилков и объем жильной массы резко сокращаются от центра к флангам, если принять за центр участок вторичных кварцитов над медноколчеданными рудами. В этом же направлении (от подошвы к кровлям линз) уменьшаются содержания золота и серебра (табл. 1).

1. Содержания Au и Ag на разных горизонтах месторождения Маднеули, г/т

Горизонт, м	Число проб	Au	Ag	Au/Ag
1110	58	0,9	8,8	1/9,8
1074	131	1,4	5,7	1/4,1
1050	141	8,6	14,7	1/1,7
1026	40	5,7	23,3	1/4,1

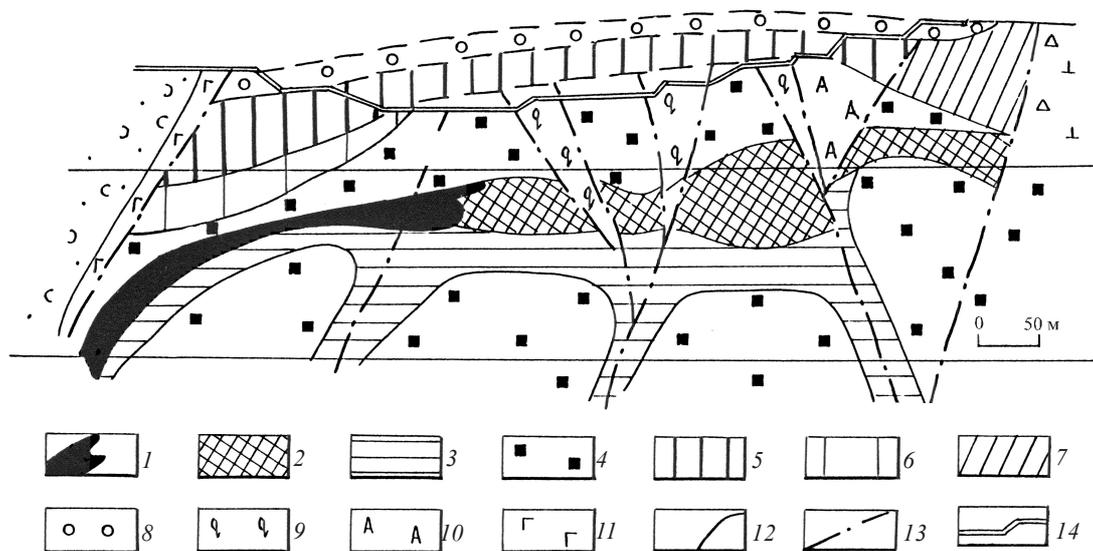


Рис. 4. Модель распределения золото-медно-полиметаллических рудных формаций различных типов на Маднеульском рудном узле:

медноколчеданные руды: 1 — массивные, 2 — штокверковые, 3 — жильные, 4 — ореолы рассеянной пиритовой минерализации; барит-полиметаллические руды: 5 — массивные, 6 — штокверковые, 7 — совмещение штокверковых барит-полиметаллических руд и метаколлоидных медноколчеданных, 8 — убогосульфидные золотые руды в кварцитах; 9 — яшмовидный кварц; 10 — alunит; 11 — гипс; 12 — границы руд и минералогических ореолов; 13 — тектонические нарушения; 14 — контур карьера Маднеульского рудного узла

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

золотоносность вторичных кварцитов обусловлена наложенной минерализацией в виде убогосульфидных кварцевых прожилков и жил;

зона окисления медноколчеданных и полиметаллических руд практически не отразилась на характере распределения золота во вторичных кварцитах;

приуроченность максимума штокверкового окварцевания к участку над медноколчеданными рудами, уменьшение общей золотоносности вверх по разрезу вторичных кварцитов, близость состава рудного минерального комплекса золотоносных кварцевых жил и прожилков к медноколчеданным и полиметаллическим рудам, попутная синхронная золотоносность медноколчеданных и полиметаллических руд свидетельствуют о единстве процесса золотого и медно-полиметаллического рудообразования и обусловлены, вероятнее всего, процессом регенерации в завершающую стадию сольфатарных изменений; приуроченность золотого оруденения к горизонту монокварцитов связана с интенсивным развитием трещиноватости в наименее пластичных породах.

Условия залегания и морфология молибден-медно-порфировых руд. Как уже отмечалось выше, основной объем проявлений штокверковых прожилково-

во-вкрапленных руд установлен в позднемиоценовых гипабиссально-гиповулканических полифазных гранит-гранодиорит-порфировой и гранодиорит-микродиорит-порфировой интрузиях, вскрытых в ядре вулканической постройки Маднеули-Демирсу (по данным единичных скважин, вскрывших оруденение на глубинах более 350–400 м от рудовмещающей кальдеры) и на дневной поверхности на уда-

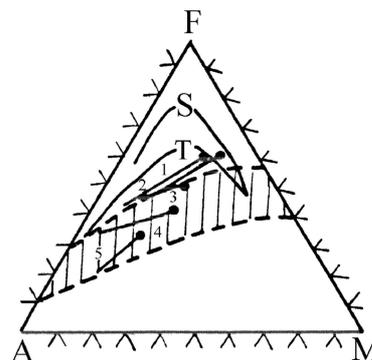


Рис. 5. Диаграмма FMA:

толеитовое поле ограничено трендами дифференциации интрузии Скаэргард и вулкана Тхингмули, известково-щелочная полоса заштрихована; андезитовые комплексы: 1 — Кафанский, 2 — Алавердский, 3 — Болнисский районы (медноколчеданные месторождения); риодацитовые комплексы: 4 — Алавердский, 5 — Болнисский районы (барит-полиметаллические месторождения)

ленном южном фланге рудного узла (см. рис. 2). Кроме того, системы крутых линейно-штокверковых прожилково-вкрапленных медно-порфириновых руд (нередко с более частым проявлением вкрапленный молибденита) секут поздне меловые гипабиссальные интрузии габбро-плагиогранитной формации, прорывающие ранне-среднемеловые вулканогенно-вулканомиктовые отложения на флангах рудоносной многожерловой вулканической постройки рассматриваемого рудного узла (см. рис. 2). По данным А.И.Кривцова, В.С.Звезда [8], описываемый тип наиболее близок к сочетанию медно-порфириновой и золото-медно-порфириновой рудных формаций обширного семейства, связанного с поздние и постколлизийными этапами становления энсиалических островных дуг.

Прожилково-вкрапленные залежи медно-порфириновых формаций охватывают обширные экзо-эндоконтактные ореолы рудоносных интрузий. Они развиваются в виде кварц-полисульфидных прожилков с халькопиритом (борнитом, магнетитом, весьма редко на глубоких горизонтах с молибденитом) в метасоматитах, характеризующихся выраженной зональностью: от кварц-магнетит-биотит(хлорит)-актинолит-ангидритовых в центре до пропиловых во внешних (часто симметричных) частях. Только в крутосекущих линейно-штокверковых порфириновых зонах проявляется поздняя филлизитовая зона (кварц+пирит+слюды и глинистые минералы), наложенная на полевошпатовую.

Подводя итоги рассмотрения условий многоэтапного полигенно-полихронного формирования многоуровневых залежей Маднеульского рудного узла, связанных с четырьмя этапами рудоотложения цветных и благородных металлов и отражающих единый конвергентный ряд (см. рис. 2–4) в истории их становления, отметим следующее.

1. Начало процесса — это бурная эксплозивная деятельность (маднеульская свита), образование многожерловой постройки Маднеули-Демирсу.

2. Завершение вулканической деятельности ознаменовалось проседанием жерловой и прижерловой частей Маднеульского аппарата — образование кальдеры проседания.

3. Интенсивная вулканическая деятельность сменилась накоплением вулканогенно-осадочных пород (казретская свита) в кальдере проседания (обрушения) в субэриальной обстановке.

После литификации (диагенеза) осадков кальдеры сольфатарно-фумарольная деятельность привела к гидротермально-метасоматическим изменениям как нижних маднеульских вулканитов, так и слоистой толщи казретской свиты. Судя по структуре зон гидротермально измененных пород, движение гидротермальных, а затем и рудоносных растворов на месторождении определялось на глу-

бине, в жерловых фациях, радиальной системой синвулканических разрывов (узкие зоны метасоматической колонки первого типа), обусловивших и локализацию жерловин (основной и второстепенных) аппаратов Маднеули-Демирсу. Вблизи выхода растворов к палеоповерхности дна кальдеры движение их осуществлялось и по напластованию вулканогенно-осадочных пород (отсюда широкое площадное развитие гидротермально измененных пород — метасоматическая колонна второго типа) (см. рис. 3). В пользу образования минеральных агрегатов метасоматической колонны второго типа в связи с сульфатно-хлоридными и сульфатными газогидротермами (рН до 3) свидетельствует широкое развитие опалолитов и алунитов, содержащих гнездовые выделения самородной серы.

Наконец, не менее важная роль газогидротерм сольфатарно-фумарольной деятельности в том, что вызванные ими процессы аргиллизации сопровождались интенсивным кислотным выщелачиванием, обусловившим подготовку пространства во вмещающих породах для последующего рудоотложения (см. рис. 3, 4) — золото-медноколчеданных, а затем золото-колчеданно-барит-полиметаллических (стратиформных массивных и прожилково-вкрапленных) и золото-малосульфидно-кварцевых прожилково-вкрапленных руд в сольфатарно-фумарольных кварцитах кровли. Завершает рудообразование в многожерловой вулканической структуре внедрение в основание ее ядра поздне меловой гипабиссально-гиповулканической полифазной порфириновой интрузии с последующим развитием медно-порфирикового оруденения.

Представляется, что прогнозно-поисковая (и одновременно геолого-генетическая) модель как вулканогенных, так и вулканоплутонических месторождений должна базироваться на господствующей концепции, согласно которой концентрирование рудного вещества является следствием сложного механизма взаимодействия гидросферы и литосферы, но при наличии прежде всего крупного источника эндогенной элизийной энергии.

С учетом сказанного столь удачное сочетание указанных процессов в концентрированной форме центростремительной геодинамики развития относительно компактной структуры крупного многофазного вулканокупольного многожерлового поднятия Маднеульско-Демирсурского рудного узла и его сателлитов предопределило образование сочетающихся на небольшой площади залежей четырех рудных формаций соответственно на четырех вертикальных уровнях (см. рис. 2). Объект стал эталонным для разработки прогнозно-поисковой (геолого-генетической) модели формирования гетерогенных полигенно-полихронных комплексных месторождений, связанных с длительными процессами регене-

рации и имеющими поступательный характер — от ранних залежей колчеданного семейства к поздним золото(серебро)-малосульфидно-кварцевым и медно-порфировым. Подчеркнем, что механизм оказался также эталонным (естественно, только на качественном уровне!) для многих рудных районов не только Малокавказской энсиалической островной дуги, но и ее продолжения на запад в Понтидах (Турция) и на восток в Эльбурс-Мешхед (Иран).

Отметим некоторые аспекты накопленной информации о механизме формирования такого типа прогнозно-поисковых моделей. На основе исследований медно-полиметаллических и золотых месторождений юго-западного сегмента складчатой системы Тетиса нами за основу принят многокомпонентный состав как гидротермально-осадочных, так и эпигенетических руд, механизм отложения которых определяется палеодинамическими и палеофациальными условиями становления генерирующих рудно-магматических систем. Нередко это зависит от петрохимических особенностей вулканитов при рециклинговом режиме фильтрации среды выщелачивания и привноса в бассейн рудоотложения полезных компонентов [3, 4, 7, 8] или в случае преобладания субинтрузивных комагматов и привноса из непосредственных источников, что видно на диаграмме *FMA* (см. рис. 5): в депрессиях или продуктах заполнения кальдер проседания, где в разрезе устанавливается антидромный ряд (K-Na андезиты–риодациты–риолиты и натриевые андезиты–андезито-базальты, относящиеся к разновозрастным циклам извержения), возможны обстановки совмещения в пространстве разнотипной минерализации, как на месторождениях Маднеули, Заглик, Алаверди и др.

Медноколчеданная минерализация сформировалась вслед за интенсивными восходящими движениями, о чем свидетельствуют субаэральные и переходные от субмаринных к субаэральным условиям накопления позднемеловых андезито-базальтовых комплексов (см. рис. 2, 5) Маднеульского рудного узла.

В наиболее изученных рудных узлах и полях масштабы промышленной минерализации оказались в прямой зависимости от объемов пород, слагающих вулканоструктуры, и от количества метал-

лов, содержащихся в них (табл. 2). При этом на месторождениях, связанных с сольфатарно-фумарольными процессами, мотив зональности, особенно предрудных метасоматитов (вторичных кварцитов, пропилитов субаэральных уровней), аналогичен наблюдаемым в гидротермально измененных породах областей современного вулканизма [5–7, 9, 10, 12–16], которые развиваются часто в объемах тел взрывных брекчий (см. рис. 5).

В этой связи в барит-полиметаллических рудах данные по изотопному составу водорода флюидных включений и кислорода в кварцах, барите и кальците могут интерпретироваться в пользу высокой доли участия метеорных вод в рудообразовательных процессах, которая растет во флюиде, отлагаящем баритовые руды. Напротив, в собственно медноколчеданной руде метеорная вода часто уступает по значению магматогенной (рис. 6). Интересно, что при этом сера сульфидов из руд Маднеули (впрочем, и большинства подобных других малокавказских месторождений) близка по изотопному составу метеорной, а сульфидов — утяжелена на $14\pm 3\%$ (рис. 7). Незначительно облегчена сера сульфидов и сульфатов барит-полиметаллических руд по сравнению с медноколчеданными и медноцинковыми рудами [12–14].

Сульфиды гидротермально-осадочных залежей основного объема массивных медноколчеданных руд, сосредоточенных в виде пластообразной залежи в кальдере Маднеульской многожерловой вулканической постройки, устойчиво характеризуются более легкой серой ($\delta^{34}\text{S} = -2 \dots -11\%$).

Согласно аналитическим данным [2], рудообразующие флюиды Сомхето-Кафанской островной дуги Малого Кавказа, в том числе и Болнисского рудного района, были хлоридно-натриевого профиля, и перенос основных компонентов руд осуществлялся хлоридными комплексами [10, 12–16], а кремния — гидрокомплексами, так как гидросульфидные и (или) хлоридные модели для кремния и алюминия требуют высоких концентраций соответственно серы и хлора и маловероятны в рассматриваемых обстановках.

Формирование минеральной зональности залежей протекало в условиях градиентов температур, фу-

2. Масштабы промышленной минерализации в зависимости от объемов пород

Сравниваемые показатели	Рудные районы	
	Болнисский	Заглик-Кедабекский
Количество металлов (Cu, Zn, Pb) в месторождениях, млн. т	1,6	0,27
Объемы рудоносных впадин-рифтов, км ³	425	75–77
Объемы пропилитизированных пород, км ³	790	100
Объемы метасоматитов, ореолов рудных залежей, км ³	26	6–7
Количество металлов в рудоносных рифтогенных впадинах, млн. т	112	29
Количество металлов в пропилитах, млн. т	298	42

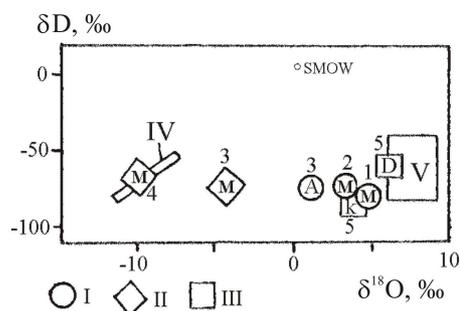


Рис. 6. Изотопный состав воды минералоотлагавших флюидов вулканогенных месторождений Малого Кавказа:

А — Алаверди; D — Давид-Гареджи; К — Кафан; М — Маднеули; минеральные типы: 1 — серноколчеданные, 2 — медноколчеданные, 3 — барит-полиметаллические, 4 — баритовые, 5 — карбонатные; величины δD соответствуют изотопному составу воды флюидных включений, $\delta^{18}O$ — изотопному составу кислорода воды, равновесной с кислородом кристаллических решеток кварца (I), барита (II) и кальцита (III); изотопный состав: IV — современных грунтовых вод региона, V — магматогенных вод

гитивности кислорода и серы. Окончательному формированию рудных тел, по-видимому, соответствовали устойчивые градиенты температур от 140–170 (на верхних уровнях) до 260–320°C (на нижних).

Из проведенного анализа условий формирования месторождений Маднеульского рудного узла (и, по-видимому, подобных месторождений Сомхето-Кафанской островной дуги и юго-западного сегмента Тетиса в целом) видно, что гидротермальным процессам предшествовали: накопление мощных терригенно-вулканогенных отложений в рифтогенных впадинах (начало зарождения энсиалической островной дуги); образование сложно построенных,

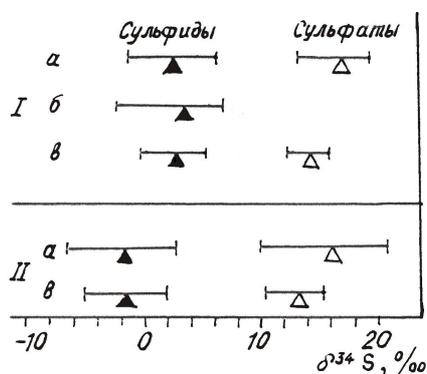


Рис. 7. Изотопный состав серы в минералах месторождений Малого Кавказа:

треугольниками показан средний изотопный состав серы; районы: а — Болнисский, б — Кафанский, в — Алавердский; руды: I — медноколчеданные и медно-цинковые, II — барит-полиметаллические и баритовые

многофазных и многожерловых вулканогенных гряд непрерывно дифференцированной формации, очаги выплавления магм которых, вероятнее всего, размещались на глубинах не более 20–25 км и отличались горизонтами пониженной вязкости, выявленными магнитотеллурическим зондированием [1, 2, 4–6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович И.И., Клушин И.Г.* Геодинамика и металлогения складчатых областей. — Л.: Недра, 1987.
2. *Аревадзе Д.В., Гогшвили В.Г., Ярошевич В.З.* Геология и генезис Маднеульского медно-барит-полиметаллического месторождения (Южная Грузия) // Геология рудных месторождений. 1983. № 6. С. 10–22.
3. *Камишлина Е.М., Кривцов А.И.* Рудообразующие процессы и системы // Советская геология. 1989. № 6. С. 68–74.
4. *Курбанов Н.К.* Вулканогенные формации базальтоидного ряда и связь с ними колчеданного оруденения в различных провинциях СССР // Эволюция вулканизма в истории Земли. М., 1974.
5. *Курбанов Н.К.* Медноколчеданные, меднопорфировые, барит-полиметаллические и золоторудные месторождения металлогенической провинции Малого Кавказа // Геология СССР. Т. 47. М., 1976.
6. *Курбанов Н.К.* Колчеданные месторождения Кавказского региона // Тр. XXVII Международного конгресса. М., 1984.
7. *Курбанов Н.К., Фогельман Н.А.* Гетерогенность и конвергентные ряды месторождений золотоносных рудно-энергетических систем // Отечественная геология. 1996. № 1. С. 11–20.
8. *Меднопорфировые месторождения / А.И.Кривцов, В.С.Звездов, И.Ф.Мигачев и др.* — М.: ЦНИГРИ, 2001.
9. *Основные черты геологии и структуры Маднеульского рудного поля / Н.К.Курбанов и др.* // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1983. Т. 58. Вып. 2.
10. *Скиннер Дж.Б.* Генетическое разнообразие гидротермальных месторождений // Геохимия гидротермальных руд, месторождений. М., 1982.
11. *Состояние и пути дальнейшего совершенствования методов поисков скрытых (слепых) рудных тел свинцово-цинковых, золото-серебряных и медных, оловянных и вольфрамовых месторождений / Н.К.Курбанов и др.* — М., 1973.
12. *Твалчреидзе Г.А.* Металлогеническое районирование Центрального Средиземноморского пояса // Тектоника Средиземноморского пояса. М., 1980. С. 108–119.
13. *Франклин Дж.М., Лайдон Дж.У., Сангстер Д.Ф.* Колчеданные месторождения вулканической ассоциации // Генезис руд, месторождений. М., 1984. Т. 2. С. 39–252.
14. *Ярошевич В.З.* Генетические особенности месторождений основных рудных формаций Кавказа по данным изотопных исследований: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — Тбилиси, 1985.
15. *Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration / J.Hedenquist, E.Izawa, A.Aribas et al.* // Resource Geology Special Publication. Number 1. Tokyo, 1996.
16. *Hedenquist J., Henley R.* The importance of CO₂ on freezing point measurement of fluid inclusions: evidence from active geothermal systems and implications for epithermal ore deposits // Econ. Geol. 1985. Vol. 80. P. 1379–1406.

УДК 553.411 (575.1)

© О.В.Минина, 2006

МОДЕЛЬ КАУЛЬДИНСКОЙ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (УЗБЕКИСТАН) КАК ОСНОВА ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

О.В.Минина (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Ассоциация близких по возрасту месторождений разных рудно-формационных типов широко распространена в вулканоплутонических поясах мира [3]. Геолого-генетическая интерпретация этого явления основывается на представлениях о магматогенно-рудных (флюидно-магматических) системах [5, 8] типа андезитового стратовулкана с расположенным под ним рудоносным интрузивом. В обобщенной модели такой системы размещение разнотипных продуктов рудогенеза (медно-порфировых, медноскарновых, свинцово-цинковых, золото-серебряных, мышьяково-сурьмяно-ртутных, серных и серноколчеданных) подчиняется вертикальной рудной зональности при незначительной роли латеральной ее составляющей. При этом медно-порфировые месторождения располагаются на нижних, а эпиптермальные золото-серебряные — на самых верхних уровнях. Несомненно, установление закономерных пространственных соотношений этих объектов играет существенную роль при их прогнозе и поисках в комплексных рудных районах, что определяет необходимость уточнения и совершенствования идеализированной модели.

К числу комплексных относится и Алмалыкский рудный район в Узбекистане. На его площади, помимо шести ведущих медно-порфировых месторождений, среди которых есть и крупные, присутствуют кварц-халцедон-золоторудные эпиптермальные, а также жильные и стратиформные (в том числе скарнированные) колчеданно-полиметаллические месторождения. Район расположен в Среднем Тянь-Шане, в структурах Бельтау-Кураминского вулканоплутонического пояса (ВПП), сформированного в среднем карбоне–перми на южной окраине Северо-Кызылкумского микроконтинента. Исключительно высокая рудонасыщенность этой площади может быть связана с ее положением на участке разворота пояса вблизи его юго-восточного замыкания, в узле пересечения тектонических структур глубокого заложения [4].

Субстратом пояса служат породы терригенной флюидной формации ордовика–силура, вулканисты раннедевонского ВПП и терригенно-карбонатные верхнедевонско-нижнекаменноугольные отложения. Рудный район тяготеет к восточному флангу крупного выступа фундамента, который несет черты длительного (с силура до перми) унаследованного развития в режиме поднятия с соответствующим сокращением мощностей перекрывающих средне-позднепалеозойских стратифицированных комплексов и изменением их фациального состава, а также с широким развитием интрузивных образований того же возрастного диапазона. Более половины площади района занимает крупный полихронный Алмалыкский плутон ранне-среднекаменноугольного возраста, в пределах которого совмещены габброиды, гранитоиды с натриевым и калиевым типами щелочности, сиениты, а также тела порфировых пород (гранодиоритов, кварцевых диоритов и монцонитов) завершающих стадий его становления.

В северном блоке фундамента в контурах Алмалыкского плутона сосредоточены крупные золото-молибден-медно-порфировые месторождения — Кальмакыр, Дальнее и Северо-Западный Балыкты, тяготеющие к области перехода диоритов внутренней части плутона к сиенитодиоритам внешней зоны. Рудоносные порфировые интрузивы имеют гранодиорит-кварц-монцонитовый состав. Жильные золоторудные объекты (Актурпак, Гольдуран, Акджен, Сартабуткан), располагающиеся по периферии этих месторождений, также принадлежат к продуктам рудогенеза медно-порфировой системы [1]. В выступах фундамента локализованы стратиформные колчеданно-полиметаллические залежи в вулканогенно-карбонатном комплексе фамена–раннего карбона (Кульчулак), некоторые из которых (Кургашикан) скарнированы, а также рядовые медно-порфировые объекты (Сарычеку).

Важнейшим элементом строения района является Центрально-Алмалыкский вулканотектониче-

ский грабен площадью около 60 км², осложняющий выступ фундамента с перечисленными выше месторождениями. Грабен выполнен вулканитами андезит-дацитово-формации (С₂п–С₃) мощностью около 800 м, залегающими на верхнедевонско-нижнекаменноугольных терригенно-карбонатных отложениях с базальной толщей известняковых конгломератов, песчаников и алевролитов в основании.

В вулканогенном разрезе выделяются нижняя андезитовая, средняя андезитодацитовая и верхняя андезитодацит-дацитовая толщи, отвечающие известным в регионе ранне-, позднеакчинскому и надакскому вулканогенным комплексам соответственно. В составе нижней толщи преобладают лавы андезитов, менее распространены андезитобазальты. Выше лежащая андезитодацитовая толща представлена экструзивными куполами нескольких генераций, продуктами их разрушения и перемыва. Над куполами ранней генерации присутствует горизонт лав мелкопорфировых андезитодацитов мощностью в несколько десятков метров, являющийся маркирующим для западной части грабена. Верхняя андезитодацит-дацитовая толща сложена вулканомиктовыми породами (песчаниками, алевролитами, туффидами) и вулканитами андезитодацитового и дацитового составов в лавовых, туфовых и экструзивных фациях.

В вулканитах локализованы залежи Каульдинского эпитеpmального золоторудного месторождения и нескольких рудопроявлений, близких ему по составу руд. В поднятиях основания грабена под экраном толщи известняков располагаются рудные тела рядовых медно-порфировых месторождений Кызата и Нижнекаульдинское.

Анализ большого объема данных поискового и разведочного бурения, проведенного в Центральном-Алмалыкском грабене, позволяет выявить характер размещения проявлений эпитеpmальной золоторудной минерализации в разрезе вулканитов и раскрыть их тесную пространственно-временную связь с медно-порфировыми рудами Нижнекаульдинского месторождения, отражающую принадлежность и тех и других к единой Каульдинской рудно-магматической системе (РМС).

Центральный элемент Каульдинской РМС — рудоносный порфировый интрузив, внедрившийся в породы основания вулканогенного разреза и сопровождающийся молибден-золото-медными прожилково-вкрапленными рудами Нижнекаульдинского месторождения. Во внешних зонах РМС располагаются различные по масштабам проявления золоторудной минерализации, локализованные в разрезе вулканитов андезит-дацитово-формации на трех литолого-стратиграфических уровнях: ниж-

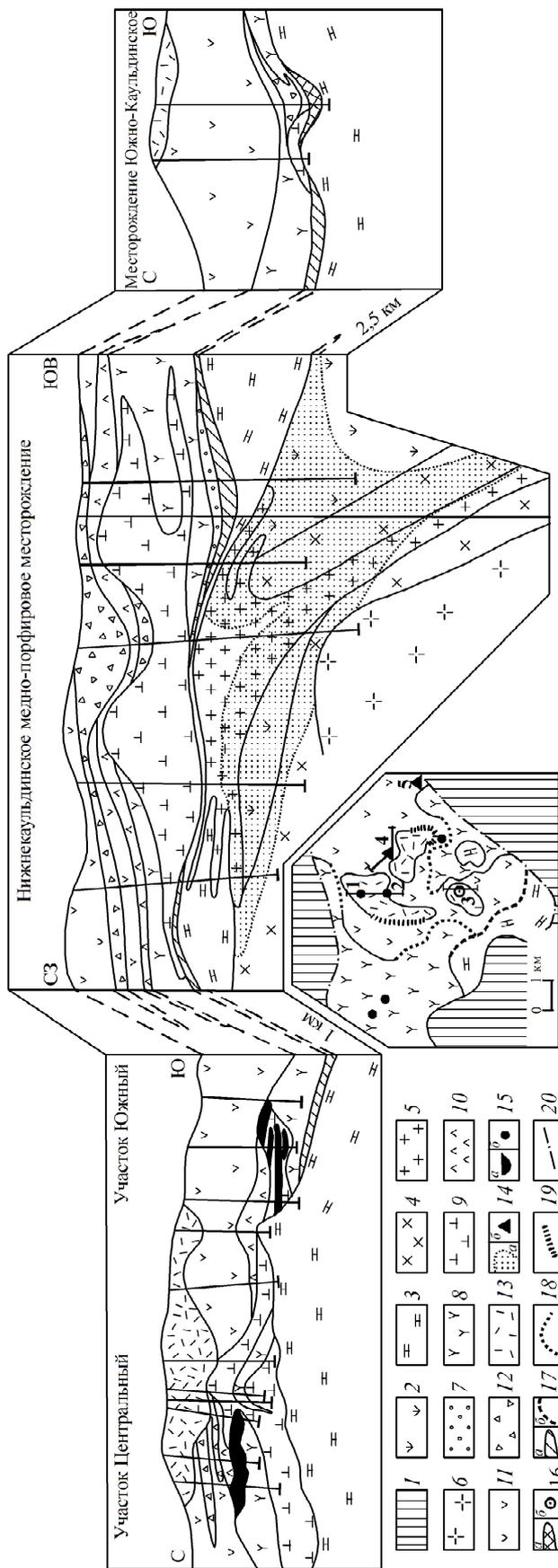
нем — на палеоповерхности карбонатной толщи; среднем (основном) — на контакте андезитовой и андезитодацитово-формации; верхнем — на палеоповерхности андезитодацитово-формации.

Ниже приведена характеристика рудных и магматических составляющих Каульдинской рудообразующей системы в порядке их формирования.

Плащеобразные тела слабозолотоносных кварцитов — наиболее ранние продукты Каульдинской РМС — принадлежат к *нижнему золотоносному уровню*. На современном эрозионном срезе этот уровень обнажается в южной части грабена, где прослеживается вдоль контакта известняков и вулканитов андезитовой толщи (рисунок). Светло-серые и розовые криптозернистые кварциты сложены сближенными кремнистыми обломками, скрепленными серицит-хлорит-карбонатным и кварц-гематитовым цементом, объем которого составляет 5–20%. Породы содержат гнезда и тонкую вкрапленность пирита, пронизаны микропрожилками хлорита и халькопирита. Концентрация золота в них не превышает 1 г/т. Кварциты залегают непосредственно на палеоповерхности известняков, а многочисленные их обломки присутствуют в выше лежащей базальной толще. Область контакта известняков и вулканитов фиксируется также стратиформными геохимическими ореолами Pb, Zn, Cu, Au (0,1–1 г/т), Ag (1–10 г/т) и их спутников (As, Sb, Bi).

На нижнем уровне локализовано и *месторождение Южно-Каульдинское II*, представленное пластообразной залежью мощностью более 10 м с промышленным содержанием золота. Она сложена брекчиевидным халцедоновидным кварцем с подчиненными гидрослюдами и редкой вкрапленностью пирита. В карбонатной толще лежащего борта наблюдается переслаивание 4–5-метровых горизонтов известняков и волластонитовых скарнов с вкрапленностью галенита и сфалерита. Золоторудная залежь тяготеет к прикупольной депрессии небольшого андезитодацитово-формации экстрозива (см. рисунок), продукты разрушения которого содержат рудокласты.

Слабозолотоносные кварциты, развитые на палеоповерхности карбонатной толщи, очевидно, не принадлежат к формации вторичных кварцитов, так как не содержат высокоглиноземистых минералов, являющихся для них типоморфными. Представляется более правильным отнесение их к продуктам фумарольно-сульфатарной деятельности, не сохранившим скоплений самородной серы, типичных для современных обстановок их формирования. Однако по составу и характеру распространения эти кварциты в значительной степени близки



Сводный разрез Каульдинской рудно-магматической системы с золото-молибден-медно-порфировыми и золоторудными месторождениями в Алмалыкском рудном районе Республики Узбекистан:

породы основания ВПП: 1 — нерасчлененные, 2 — риодациты (D₁), 3 — известняки и доломиты с прослоями кварцитов, аргиллитов и песчаников (D₂-C₁); средне-позднекаменноугольные магматические комплексы и формации Бельгау-Кураминского ВПП (от ранних к поздним — *платиногенные*: 4 — сиенитодiorиты, 5 — рудоносные гранодиорит-порфиры (4-5 — алмалыкский комплекс табро-монцитовой формации, продуктивной на медно-порфировые руды), 6 — комплекс калиевых гранодиоритов-адамеллитов; *вулканогенные и обломочные толщи*: 7 — базальная известняковых конгломератов, песчаников, алевролитов, 8 — андезитовая, 9-12 — андезитодацитов горизонт, 11 — полифировые андезитодациты и экструзивные тела полифировых андезитодацитов ранней генерации, 10 — мелкопорфировые андезитодациты маркирующего горизонта и перемычка экструзивных куполов), 13 — андезитодацит-дацитовая экструзивно-лавова-пирокластическая (8-13 — андезит-дацитовая формация, продуктивная на золото-халцедон-кварцевые руды); 14-16 — рудные тела и проявления рудной минерализации (а — на разрезе, б — на врезке); 14 — золото-молибден-медно-порфировые, 15 — золоторудные в кварц-гидрослюдистых метасоматитах по автомагматическим брекчиям андезитов в кварцитах; литолого-стратиграфические уровни локализации золоторудных залежей и горизонтов повышенных концентраций золота: 17 — нижний кварцитовый на палеоперхности карбонатной толши (а — на разрезе, б — на врезке), 18 — средний (основной) кварц-гидрослюдистых метасоматитов на палеоперхности андезитовой толши, 19 — верхний гематит-алунит-каолинит-пиррофиллитовых кварцитов и аргиллитов на палеоперхности андезитодацитовой толши, 20 — разломы, ограничивающие Центрально-Алмалыкский грабен; на врезке — схема строения западной части Центрально-Алмалыкского грабена с взаиморасположением разрезов месторождений и рудопроявлений: Каульдинского золото-халцедон-кварцевого (участки: 1 — Центральный, 2 — Южный, 3 — Южный П), 4-5 — золото-молибден-медно-порфировых (4 — Нижнекаульдинского, 5 — Кызата)

гидротермально-осадочным синтерам — продуктам осаждения кремнезема на поверхности, широко распространенным в современных геотермальных системах типа Йеллоустона и Паужетки [6].

В рассматриваемом случае золотоносные кварциты, сформировавшиеся на палеоперехватной карбонатной толще, являются наиболее ранними продуктами становления Каульдинской РМС и непосредственно предшествуют образованию медно-порфировых руд.

Нижнекаульдинское медно-порфировое месторождение является стержнем рудообразующей системы. Оно локализовано в выступе субстрата грабена, обрамленном шлейфом обломочных пород, развитых на палеоперехватной карбонатной толще (см. рисунок). Мощность известняков здесь сокращена до нескольких метров. Поднятие вмещает тела плутонов алмалыкского комплекса, продуктивного на медно-порфировые руды. Диориты и сиенитодиориты ранней фазы располагаются под экраном карбонатной толщи, а рудоносный порфировый интрузив — в основном внутри ее. Он имеет грибообразную форму, отражающую сочетание крутопадающего подводного канала и примыкающих к нему близгоризонтальных апофизисиллов, согласных с напластованием известняков рамы. Верхняя часть порфирового интрузива по составу ближе к гранодиоритам, а нижняя, неизменная, — к кварцевым монцитам.

Молибден-золото-медный штокверк располагается на глубине 580–960 м от современной поверхности. Форма рудного тела, оконтуренного по бортовому содержанию Cu 0,2%, грибообразная, подобная форме рудоносного порфирового интрузива (см. рисунок). Здесь сосредоточены значительные ресурсы бедных руд со средним содержанием Cu 0,32%, Mo 0,007%, Au 0,4 г/т, Ag 2,8 г/т.

Медно-порфировые руды представлены вкрапленностью и прожилками пирита, халькопирита и молибденита в карбонат-серцит-хлорит-кварцевых метасоматитах, развитых по рудоносным гранодиорит-порфирам, диоритам, сиенитодиоритам и раннедевонским риолитам. Известняки рамы слабо минерализованы и для части руд служат экраном. В экзоконтактах тел гранодиорит-порфиров локально проявлена наиболее ранняя скарновая халькопирит-магнетит-пиритовая минерализация. Промышленные концентрации меди связаны с золото-молибденит-халькопирит-пиритовым минеральным комплексом, слагающим разноориентированные прожилки и гнезда. Выделяются также кварц-ангидрит-карбонат-полисульфидный (содержание Au до 2,2, Ag до 39 г/т) и пострудный кварц-карбонатный комплексы.

В апикальной части рудоносный порфировый

интрузив надстраивается караваеобразным экструживно-субвулканическим телом андезитодацитов мощностью до 400 м, в основании которого залегает лишь прерывистый маломощный горизонт карбонатных пород (см. рисунок). Основной объем этого тела размещен в толще андезитовых лав. В то же время, наиболее крупные экструживные выступы его кровли в сопровождении продуктов разрушения и перемыва, накопившихся в депрессионной просадке, возвышаются над палеоперехватной андезитовой толщей. На площади Нижнекаульдинского месторождения и в других детально разбуренных частях Центрально-Алмалыкского грабена не выявлены тела рудоносных гранодиорит-порфиров, пересекающие вулканические андезит-дацитовой формации, как и обломки этих пород в базальной толще на поверхности известняков. Эти факты позволяют предполагать близсинхронное становление гранодиорит-порфиров рудоносного интрузива и близких им по составу экструживно-субвулканических андезитодацитов кровли.

Подобное экструживно-субвулканическое тело андезитодацитов присутствует в разрезе андезитовой толщи и над медно-порфировым месторождением Кызата, расположенным в 1,5 км восточнее. В отличие от вышеописанного месторождения мощность толщи известняков, служащей экраном для медно-порфировых руд, достигает здесь 500 м. Однако и в этом случае рудоносный интрузив соединяется с телом андезитодацитов дайкообразными апофизами минерализованных гранодиорит-порфиров, пересекающими карбонатную толщу.

Тело андезитодацитов, надстраивающее сверху рудоносный порфировый интрузив Нижнекаульдинского месторождения, очевидно, обеспечивало необходимый температурный режим при формировании медно-порфировых руд, дополняя своим объемом сокращенную мощность пород кровли — известняков и вулкаников андезитовой толщи. Выступы, сложенные экструживными фациями андезитодацитов, возвышаются над палеоперехватной андезитовой толщей и вместе с сопровождающими их брекчиями разрушения перекрыты маркирующим горизонтом мелкопорфировых андезитодацитовых лав. Этим определяется возрастная интервал становления как самого экструживно-субвулканического тела андезитодацитов, так и сопряженного с ним рудоносного порфирового интрузива и, соответственно, медно-порфировых руд — после накопления андезитовой толщи и до появления лав мелкопорфировых андезитодацитов.

Вулканики андезит-дацитовой формации, залегающие в надрудной зоне Нижнекаульдинского месторождения, не содержат золоторудной минерализации, тяготеющей, согласно идеализированной

модели, к верхним частям медно-порфировых систем. Залежи Каульдинского золоторудного месторождения удалены по латерали от стержневой зоны РМС, фиксированной медно-порфировыми рудами, на расстояние более 1 км (см. рисунок).

Каульдинское месторождение принадлежит к эпитермальной малосульфидной кварц-халцедон-золоторудной формации. Залежи Центрального и Южного участков локализованы в пластообразных телах кварц-карбонат-гидрослюдистых метасоматитов мощностью до 100 м. Вслед за С.Д.Шером (1975 г.), эти образования рассматриваются как фациальный тип аргиллизитов.

Тела эпитермальных золотоносных аргиллизитов находятся на одном литолого-стратиграфическом уровне разреза вулканитов — в области контакта андезитовой и вышележащей андезитоацитовой толщ (см. рисунок), т.е. принадлежат к *среднему уровню рудолокализации*. Андезиты лежачего бока интенсивно пропилитизированы, надрудные андезитоациты изменены значительно слабее. На этом уровне основной рудоконтролирующей структурой является Каульдинская палеовулканическая котловина площадью около 10 км², выполненная вулканитами двух верхних толщ рудоносной андезит-ацитовой формации. Эта палеоструктура занимает внутреннюю часть Центрально-Алмалыкского грабена, отличающуюся наиболее полным разрезом вулканитов. Ограничениями котловины служат андезитовые палеовулканы ранних этапов становления формации, а также выступы основания грабена, в одном из которых локализовано Нижнекаульдинское медно-порфировое месторождение.

В Каульдинской котловине сосредоточены все участки одноименного месторождения, тяготеющие к единой зоне меридионального простирания. Контакт андезитовой и андезитоацитовой толщ, отвечающий среднему золотоносному уровню, меняет свое залегание с близгоризонтального до наклонного под углом 10–40° к востоку и юго-востоку. По восстанию он пересекается современным эрозийным срезом, подчеркивая своим положением конфигурацию западного и частично северного контуров Каульдинской котловины (см. рисунок).

В 1972–1987 гг. Каульдинское месторождение детально изучалось Е.З.Мещаниновым, Г.С.Мещаниновой, А.И.Жирновым, Ж.Н.Кузнецовым, А.А.Бем, данные которых о строении рудовмещающих зон метасоматитов и рудных тел использованы при дальнейшем рассмотрении этого объекта.

Пластообразные тела рудоносных метасоматитов сложены тонкозернистым агрегатом слюдистых минералов и кварца. Нередко обособляется внутренняя монокварцевая зона, включающая рудные

залежи. На 95% она сложена халцедоновидным кварцем, присутствуют также гидрослюды, карбонат и пирит. Мощность этой зоны колеблется от нескольких сантиметров до 4–5 м при протяженности отдельных фрагментов от первых метров до 70–80 м. Внешняя кварц-(карбонат-хлорит)-гидрослюдистая зона сменяется на флангах эпидот-альбит-хлоритовыми пропилитами.

Промышленная золотоносность связана с локально проявленным кварц-золоторудным комплексом, представленным линзами, гнездами и прожилками молочно-белого криптозернистого колломорфно-полосчатого халцедоновидного кварца с высоким (до 17 г/т) содержанием золота. Преобладают руды брекчиевой, прожилково-вкрапленной и колломорфно-полосчатой текстур. Ж.Н.Кузнецовым и Е.Ю.Клюевым (1987) в рудах Каульдинского месторождения выявлены две продуктивные золото-кварцевые ассоциации. Наиболее распространена ранняя с редкой вкрапленностью пирита и тонкодисперсным золотом. Для более поздней кварц-карбонат-полисульфидной ассоциации, присутствующей и в медно-порфировых рудах Нижнекаульдинского месторождения, характерно несколько более крупное и менее высокопробное золото.

Главные рудные минералы — самородное золото, пирит и электрум, второстепенные — сфалерит, халькопирит, блеклые руды и галенит. Среднее содержание в пирите Au 33 г/т, Ag от 1 до 41 г/т. Самородное золото представлено колломорфно-тонкозернистыми зональными микроскопическими выделениями, в том числе шарообразными формами выявленного А.И.Жирновым (1972) коллоидного и метаколлоидного тонкодисперсного золота в ассоциации с таким же халцедоном. Широкое развитие коллоидного золота с размерами частиц в десятые–сотые доли микрометра, реже до нескольких микрометров является характерной чертой промышленных руд Каульдинского месторождения.

Оконтурено более десяти рудных тел линзо- и пластообразной форм. В плане они сопоставимы по размерам и составляют от 60–100 до 200–380 м в поперечном и продольном сечениях соответственно. Мощность их колеблется в более широких пределах от 0,3–0,5 до 19–28 м. Содержание золота и серебра в рудах сравнительно невысокое, а их отношение в среднем близко к 3:1. По данным разных лабораторий, на Центральном участке, где сосредоточено 55% запасов месторождения, среднее содержание Au составляет 12,4–13,4, а Ag 4–6 г/т. На Южно-Каульдинском участке руды несколько более бедные: Au 8,3–10,4, Ag 3–3,5 г/т.

В локализации золоторудных залежей Каульдинского месторождения ведущая роль принадлежит палеовулканическим структурам. Размеры

рудных тел в плане и детали их морфологии контролируются элементами палеорельефа поверхности подрудной андезитовой толщи. Залежь Центрального участка благодаря изменению мощности нивелирует отдельные неровности этого рельефа, а на Южном этажно расположенные пластообразные рудные тела сосредоточены в пределах отчетливо выраженной депрессии (см. рисунок). Локальные выступы палеоповерхности андезитовой толщи служат естественными ограничениями отдельных участков месторождения, а более крупные — границами рудного поля, определяемыми контуром Каульдинской котловины.

В качестве рудовмещающей и надрудной выступает андезитодацитовая толща. Основной элемент ее разреза — Каульдинский андезитодацитовый экстрозив ранней генерации, сформированный на палеоповерхности подрудной андезитовой толщи. Он состоит из магмовыводящего канала, расположенного над ним купола выжимания высотой до 150 м и обрамляющего последний лавового шлейфа протяженностью до 1 км, выклинивающегося на флангах месторождения (см. рисунок).

Магмовыводящий канал Каульдинского купола представлен крутопадающими дайкообразными телами андезитодацитов, пересекающими вулканы подрудной андезитовой толщи и соединяющими экстрозив с малоглубинной магматической камерой, сложенной субвулканическими андезитодацитами и гранодиорит-порфирами. Близость состава гранодиорит-порфиров, несущих непромышленную медно-порфировую минерализацию, и андезитодацитов Каульдинского купола, а также возможные их взаимоотношения в пределах единых силлообразных тел, залегающих в лежачем боку золоторудных залежей, ранее отмечались Ж.Н.Кузнецовым (1971) и Е.З.Мещаниновым (1980). Эти факты отражают близодновременное формирование упомянутых магматических тел в рамках становления Каульдинской РМС. Известно также, что и на других золоторудных объектах региона (Кочбулак, Кызылалма) присутствуют дорудные гранодиорит-порфиры.

Большая часть Каульдинского купола перекрыта лавами мелкопорфировых андезитодацитов, выше которых разрез андезитодацитовой толщи представлен экстрозивными куполами поздних генераций. Купол выжимания и сопровождающие его продукты разрушения по сравнению с лавовым шлейфом занимают более высокое положение в разрезе и перекрыты породами верхней андезитодацит-дацитовой толщи.

Экстрозив сложен кварц-роговообманково-плагиоклазовыми андезитодацитами неоднородного порфирового строения с широким развитием авто-

магматических брекчий, изменчивой степенью раскристаллизации базиса, отсутствием упорядоченности в распределении вкрапленников и значительными вариациями их размеров. Его нижняя, приподшвенная часть и лавовый шлейф обладают типичным для экстрозивных куполов обломочным строением с преимущественным развитием андезитодацитовых кластолав и лавокластических брекчий со стекловатым цементом и угловатыми обломками андезитодацитов и нижележащих андезитов.

В нижней части экстрозива на контакте с подрудной андезитовой толщей локализованы золоторудные залежи Каульдинского месторождения: на Центральном участке — в основании лавового шлейфа купола, на Южном — во фронтальной его части. Такая позиция определяет отчетливо выраженный литологический контроль рудных тел автомагматическими брекчиями и кластолавами, слагающими нижнюю и фронтальную части Каульдинского купола. На уровне рудокализации проявлены синвулканические дислокации, сопровождающие накопление надрудных толщ, однако вулканическая природа обломочных пород, вмещающих рудные тела, не вызывает сомнения.

Палеовулканические факторы контроля кварцхалцедон-золоторудных залежей определяют характер рудоконтролирующих и рудовмещающих структур. Так, аргиллизиты с повышенными концентрациями золота широко распространены по палеоповерхности андезитовой толщи на Каульдинском месторождении и ряде рудопроявлений (Чилик, Южный I), однако не выходят за пределы Каульдинской котловины. Промышленные же руды сосредоточены в депрессионных структурах, которые вмещают также фрагменты лавового шлейфа андезитодацитового экстрозива, сформированного на палеоповерхности подрудной толщи.

Большинством вышеназванных исследователей рудоносные кластолавы относятся к субвулканическим образованиям, завершающим накопление андезитодацитовой толщи, поэтому с этим этапом связывается и формирование золоторудных залежей Каульдинского месторождения. В то же время, присутствие обломков золотосодержащих аргиллизитов на разных уровнях надрудного разреза, а также рудокластов в породах кровли залежей Центрального участка показывает, что формирование промышленных руд по времени близко к вмещающим породам, принадлежащим приподшвенной зоне Каульдинского андезитодацитового экстрозива.

Период формирования промышленных золоторудных залежей в рамках становления андезит-дацитовой формации имеет четкие ограничения как снизу (локализация в депрессиях палеоповерхности андезитовой толщи), так и сверху (литологиче-

ский контроль лавокластитами подошвы андезитодацитового экструзива и присутствие рудокластов в породах висячего бока). Рудоносный Каульдинский экструзив частично перекрыт тем же маркирующим лавовым потоком мелкопорфировых андезитов, что и купол, надстраивающий порфировый интрузив Нижнекаульдинского месторождения. Это свидетельствует о близсинхронном формировании медно-порфировых и промышленных золоторудных тел и, с учетом небольшого расстояния между ними, позволяет отнести залежи Каульдинского месторождения к продуктам внешней зоны медно-порфировой системы.

Присутствие в надрудном разрезе Каульдинского месторождения локальных золотосодержащих участков свидетельствует о дальнейшем продолжении рудного процесса с образованием на завершающем этапе становления Каульдинской РМС промышленных концентраций золота. Продуктами этого этапа являются *золотосодержащие образования верхнего уровня*, отвечающего палеоповерхности андезитодацитовой толщи. Они представлены плащеобразными телами алуниг-гематит-пиррофиллитовых кварцитов и каолинитов мощностью до 30–40 м со слабо повышенным (до 1–2 г/т) содержанием золота. Эти породы развиты на Высотном и Чиликском участках в центральной и южной частях Каульдинской котловины (см. рисунок).

Рассмотренные пространственно-временные соотношения медно-порфировых руд и эпитеpmальных золоторудных тел в пределах Центрально-Алмалыкского грабена подтверждают правомерность выделения здесь Каульдинской РМС и показывают, что определяющей для нее была латеральная, а не вертикальная рудно-формационная зональность. Каульдинское золоторудное месторождение, хотя и располагается на более высоком уровне разреза, чем Нижнекаульдинское медно-порфировое, гораздо больше удалено от него по латерали — от 1 до 2,5 км. На фланги РМС смещены и алуниг-гематит-пиррофиллитовые кварциты верхнего золотоносного уровня. В то же время, слабозолотоносные кварциты нижнего уровня, содержащие участки промышленных руд и отвечающие наиболее раннему этапу становления рудообразующей системы, распространены как в центральной ее части, вмещающей медно-порфировое месторождение, так и на флангах.

Латеральный тип рудно-формационной зональности — в целом ведущий для Алмалыкского комплексного рудного района. Пространственные соотношения крупных медно-порфировых объектов, сосредоточенных в северном блоке фундамента, с одной стороны, и эпитеpmальных золоторудных залежей Каульдинского месторождения, локализо-

ванных в вулканитах Центрально-Алмалыкского грабена, с другой, не вписываются в идеализированные схемы рудно-магматических систем, предлагаемые Р.Силлитом и другими исследователями [8 и др.]. Их пространственная сближенность обусловлена присутствием в контурах рудного района пары взаимосвязанных структур, определяющих позицию соответствующих месторождений: поднятого блока фундамента, необходимого для становления плутонитов, продуктивных на медно-порфировые руды, и примыкающего к нему компенсационного вулканотектонического грабена, заполняющегося вулканитами рудоносной андезит-дацитовой формации с эпитеpmальной золоторудной минерализацией.

К аналогичным выводам пришли Л.Ф.Мишин и Н.В.Бердников на основе разработанной ими модели геолого-геохимических обстановок образования вторичных кварцитов и связанных с ними эпитеpmальных золото-серебряных и медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона. С учетом близких условий образования вторичных кварцитов на тех и других объектах обоснована принадлежность названных месторождений не к вертикальному ряду, а к горизонтальному [7].

Фактор латеральной рудно-формационной зональности, отражающий пространственно-временные соотношения медно-порфировых и эпитеpmальных золоторудных месторождений, наряду с другими поисковыми критериями, должен учитываться при прогнозировании объектов этих геолого-промышленных типов в комплексных рудных районах.

Необходимым условием формирования во внешних частях медно-порфировых систем промышленных золоторудных залежей, очевидно, является высокая золотоносность медно-порфировых руд в обстановках, характеризующихся присутствием в субстрате продуктов базальтоидного магматизма, в том числе связанных с зонами высокой проницаемости коры. Рассмотренный выше Алмалыкский рудный район, хотя и приурочен к сиалическому блоку фундамента вулканоплутонического пояса, своим северным флангом, где располагается одноименный рудоносный плутон, примыкает к рифтогенной системе серпуховско-раннебашкирского возраста, включающей внутриконтинентальные рифтогенные структуры и краевые спрединговые зоны Туркестанского палеоокеана [4]. Такая позиция обуславливает повышенную основность и щелочность плутонитов, продуктивных на медно-порфировые руды, и обеспечивает высокую их золотоносность, сопоставимую с таковой медно-порфировых месторождений, сформированных на существенно базальтоидном субстрате [2]. Подтверж-

дением этого служит и наиболее часто встречающееся пространственное совмещение медно-порфировых и золото-серебряных месторождений в мезокайнозойских базальтоидных поясах юго-западной части Тихого океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голованов М.М., Николаева Е.И., Кажихин М.А. Комплексная прогнозно-поисковая модель меднопорфировой формации. – Ташкент: Фан, 1988.
2. Кривцов А.И. Геологические основы прогнозирования и поисков меднопорфировых месторождений. – Москва: Недра, 1983.
3. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф. Металлогения андезитовидных вулканоплутонических поясов. Ч. 1. М.: ЦНИГРИ, 1997.
4. Крупные меднопорфировые рудно-магматические системы и их геотектоническая позиция / О.В.Минина, В.С.Звездов, И.Ф.Мигачев и др.: Обзор. Сер. Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений металлических полезных ископаемых. – М.: ВИЭМС, 1991.
5. Магматогенно-рудные системы / Г.М.Власов, В.Н.Компаниченко, Ю.Ф.Мальшев и др. – Москва: Наука, 1986.
6. Метасоматизм и метасоматические породы / В.А.Жариков, В.Л.Русинов, А.А.Маракушев и др. – М.: Научный мир, 1998.
7. Мишин Л.Ф., Бердников Н.В. Вторичные кварциты и их рудоносность. – Владивосток: Дальнаука, 2003.
8. Sillitoe R.H. The influence of magmatic-hydrothermal models on exploration strategies for volcano-plutonic arcs // Magmas, fluid and ore deposits. Mineralogical Assoc. of Canada. Short course ser. 1995. Vol. 23. P. 511–525.

12 июня 2006 г. трагически погибли сотрудники ЦНИГРИ Любовь Михайловна АЛЕКСЕЕВА, Галина Викторовна ЗЕМСКОВА, Николай Михайлович ДИЯНОВ.

Направляясь на выставку в Санкт-Петербург, организованную в рамках X Международного экономического форума, они везли выставочные материалы и аппаратуру института. Возле Новгорода со встречной полосы перед машиной упал контейнер, в результате чего произошла автомобильная катастрофа.

Погибли активные, деятельные люди в расцвете творческих сил, наши друзья, коллеги.

Любовь Михайловна АЛЕКСЕЕВА родилась 9 августа 1950 г. в пос. Первомайский Уинского района Пермской области. После окончания Пермского университета работала в системе Минводхоза СССР, с 1979 г. — в ЦНИГРИ сначала в отделе горно-разведочных работ, затем — компьютерных технологий и информатики в должности заместителя заведующего отделом.

Сферой профессиональных интересов Любови Михайловны были реклама и маркетинг. При ее личном участии подготовлены десятки рекламных описаний научно-технической продукции по всем направлениям деятельности ЦНИГРИ. Она участвовала в составлении рекламных буклетов института, проводила рекламу в средствах массовой информации. Значительный вклад Любовь Михайловна внесла в пропаганду научно-технических достижений ЦНИГРИ. Она обеспечивала участие института в международных, отраслевых и межотраслевых выставках, презентациях, конференциях, совещаниях.

Будучи ответственным, доброжелательным и отзывчивым человеком, Любовь Михайловна снискала любовь и уважение коллектива института. Л.М.Алексеева награждена грамотами Министерства природных ресурсов России, премией им. Н.И. и М.Б.Бородаевских.

Память о Любови Михайловне Алексеевой навсегда сохранится в наших сердцах.



Галина Викторовна ЗЕМСКОВА родилась 30 января 1946 г. После окончания школы пришла работать в ЦНИГРИ в лабораторию физико-минералогических методов. Без отрыва от производства поступила в МГУ на геолфак, который с отличием окончила в 1971 г. по специальности "геохимия". В ЦНИГРИ последовательно занимала должности инженера, старшего инженера, младшего научного сотрудника, научного сотрудника, специализируясь в области геохимии и петрографии мафит-ультрамафитовых образований и связанных с ними месторождений никеля, меди и платиноидов. Будучи хорошим организатором, она в течение многих лет совмещала научные исследования с выполнением нелегких обязанностей начальника партии, обеспечивая полевые работы в районах Крайнего Севера (Норильский район), на Кольском полуострове, в Карелии и Архангельской области.

С 1996 г. Г.В.Земскова работала в отделе компьютерных технологий и информатики. Освоив различные компьютерные программы, выполняла верстку и макетирование институтских изданий, журнала "Руды и металлы". Ее трудолюбие, ответственность и принципиальность при выполнении порученных работ находили также применение в подготовке и проведении выставок, презентаций, конференций и совещаний.

В коллективе отдела и института Г.В.Земскова пользовалась заслуженным авторитетом и уважением. Награждена медалями "За трудовую доблесть", "В память 850-летия Москвы", "Лауреат ВВЦ", "Ветеран труда" и знаком "300 лет горно-геологической службе России".

Память о Галине Викторовне Земсковой навсегда сохранится в наших сердцах.



Николай Михайлович Диянов родился 10 августа 1943 г. в г. Москве. После окончания средней школы в 1962 г. поступил работать техником-геологом в ЦНИГРИ. С ноября 1962 г. по 1965 г. служил в рядах Советской Армии, демобилизовавшись вернулся в институт. В 1967-1973 гг. без отрыва от производства учился в Московском полиграфическом институте, окончив который стал работать литографом в отделе оформления ЦНИГРИ. В 1969 г. Н.М.Диянов был выдвинут кандидатом в депутаты Советского райсовета. В качестве депутата проработал десять созывов. С 1981 г. работал заведующим отдела кадров, с 1986 г. — заместителем директора по кадрам и социальным вопросам. Николай Михайлович совмещал работу в отделе кадров с полиграфической деятельностью. Он организовал современную полиграфическую базу института, печатал журнал "Руды и металлы" с многокрасочной обложкой, монографические издания ЦНИГРИ. Выполненные им фотографии совещаний, коллоквиумов, выставок, экскурсий украшали стенды института.

Н.М.Диянов пользовался заслуженным авторитетом и уважением сотрудников института. За профессио-нальную деятельность он награжден грамотой Мингео СССР, премией им. Н.И. и М.Б.Бородаевских, медалями "Горно-геологическая служба России", "В память 850-летия Москвы", знаками "Отличник разведки недр", "300 лет горно-геологической службе России".

Память о Николае Михайловиче Диянове навсегда останется в наших сердцах.



ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

Программно-целевая система прогноза и воспроизводства минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов Российской Федерации. – М.: ЦНИГРИ, 2006. 75 с. 19 ил. 17 табл.

Авторы: *Б.И.Беневольский, С.С.Вартанян, В.И.Кочнев-Первухов, А.И.Кривцов, В.В.Кузнецов, В.И.Куторгин, И.Ф.Мигачев, Б.К.Михайлов, В.П.Новиков, Г.В.Ручкин.* Отв. редактор *А.И.Кривцов.*

Научно-прикладная программно-целевая система управления воспроизводством минерально-сырьевой базы (МСБ) благородных и цветных металлов включает: комплексные модели месторождений основных типов и методические рекомендации по оценке прогнозных ресурсов; систему оценок и мониторинга прогнозных ресурсов; геолого-экономические модели использования и воспроизводства мировой и отечественной МСБ и многовариантные прогнозы до 2025 г.; среднесрочные (до 2010 г.) и долгосрочную (до 2020 г.) программы воспроизводства МСБ благородных и цветных металлов России; научно-методическое обеспечение и сопровождение оперативных программ и проектов федеральных геологоразведочных работ (ГРР). Работа основана на многолетних исследованиях авторского коллектива по прогнозу, поискам и оценке месторождений стратегических полезных ископаемых, целевом анализе воздействия процессов глобализации на сырьевую базу экономики России, оценке состояния ее минерально-сырьевой безопасности.

Цель работы — создание и внедрение эффективной системы управления воспроизводством МСБ и выявлением ресурсов недр в современных условиях России для устойчивого сырьевого обеспечения экономики и создания новых сырьевых баз. Работа направлена на повышение эффективности реального сектора экономики — горнодобывающей промышленности цветной металлургии; она имеет государственное значение, обеспечивает реализацию мероприятий «Основ государственной политики в области использования минерального сырья и недропользования», утвержденных распоряжением Правительства РФ от 21 апреля 2003 г. № 494р.