

Л. А. НИКОЛАЕВА

**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
САМОРОДНОГО ЗОЛОТА
КАК КРИТЕРИИ
ПРИ ПОИСКАХ И ОЦЕНКЕ
РУД И РОССЫПЕЙ**



Л. А. НИКОЛАЕВА

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
САМОРОДНОГО ЗОЛОТА
КАК КРИТЕРИИ
ПРИ ПОИСКАХ И ОЦЕНКЕ
РУД И РОССЫПЕЙ

2336



МОСКВА «НЕДРА» 1978



Николаева Л. А. Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. М., «Недра», 1978. 101 с. (М-во геол. СССР. Центр. науч.-исслед. геологоразвед. ин-т цветных и благородных металлов).

В работе суммированы известные ранее и новые сведения о типоморфном значении состава и структуры самородного золота в месторождениях группы золото-сульфидно-кварцевых формаций и связанных с ними россыпях и показаны возможности практического применения этих данных с учетом использования при их получении минимального количества методик, доступных работникам производственных лабораторий. Предложена методика полевых и камеральных исследований золота и дана сравнительная оценка отдельных методов изучения золота. Приведены материалы специальных исследований изменений структуры золота при эндогенной перекристаллизации.

Книга рассчитана на широкий круг геологов, занимающихся поисками и разведкой месторождений золота.

Табл. 6, ил. 31, список лит. — 59 назв.

Редактор проф. Г. П. Воларович.

Самородное золото человечество знает и добывает на протяжении многих тысячелетий. Ценность золота определяется не столько промышленным значением, сколько использованием его для ювелирных изделий и главным образом в качестве основного валютного металла. В период интенсивного развития международных экономических связей, при сосуществовании государств с различным социально-политическим строем золото приобретает все большее значение. Это заставляет постоянно совершенствовать методы поисков золота, разрабатывать новые поисковые критерии, изыскивая наиболее эффективные пути для открытия и оценки новых типов месторождений.

Изучение самородного золота — составная часть проводимых в ЦНИГРИ комплексных исследований золотоносных площадей и месторождений рудного и россыпного золота. Автору монографии Л. А. Николаевой представилась возможность более 20 лет изучать самородное золото из большинства рудных и россыпных месторождений, расположенных в золотоносных провинциях страны, и из месторождений ряда зарубежных стран. При составлении монографии Л. А. Николаева использовала накопленный огромный и весьма разнообразный, часто уникальный материал по изучению золота из месторождений различного возраста и формаций, многих минеральных и морфологических типов, локализованных в различных геологических условиях.

Участие в комплексных тематических исследованиях позволило Л. А. Николаевой при обобщении материалов по изучению самородного золота в полной мере учесть весь комплекс геологических данных и направить свои усилия на решение, в первую очередь, поисково-оценочных задач.

Обширный и разнообразный материал был подвергнут автором всестороннему детальному изучению, микроскопическому и аналитическому, с применением широкого комплекса как традиционных, так и самых новейших методик. Все это обуславливает глубину разработки вопросов, затронутых в предлагаемой книге, а также обоснованность сделанных выводов.

Появление работы Л. А. Николаевой через относительно короткий срок после публикации известной монографии Н. В. Петровской «Самородное золото» (1973) представляется вполне закономерным, поскольку за последние годы силами сотрудников ЦНИГРИ и других организаций накоплен обширный материал по изучению самородного золота. Кроме того, книга Н. В. Петровской имеет в целом больше общетеоретическую направленность: в ней дана детальная характеристика золота, рассмотрены вопросы его типоморфизма и генезиса. Предлагаемая работа предназна-

на для использования генетических особенностей самородного золота при поисках и оценке его месторождений. В этом основная ценность и оригинальность данной книги.

Автором приведены новые сведения о генетическом значении ряда особенностей состава и структуры золота. Подчеркиваются признаки неоднократной эндогенной и экзогенной перекристаллизации золота, помогающие при восстановлении истории формирования руд и россыпей. Показаны возможности использования некоторых минералогических особенностей самородного золота в качестве дополнительных критериев к геологическим для выяснения условий образования оруденения, изучения эндогенной зональности, оценки глубины эрозионного среза, выявления обогащенных участков, для суждения о типах и местоположении коренных источников россыпей.

На конкретных примерах автор показывает, что основная информация при такого рода исследованиях может быть получена с помощью методов, доступных работникам производственных организаций.

Рассмотренный в работе Л. А. Николаевой круг вопросов несомненно будет представлять интерес для геологов, занимающихся прогнозированием рудных и россыпных месторождений золота.

Проф. Г. П. Воларович

При прогнозных, поисковых и оценочных работах на рудное и россыпное золото все более важным становится изучение генетических особенностей золота.

Однако систематическое изучение золота на всех этапах геологических работ, направленных на исследование золотоносности отдельных территорий, проводится все еще редко. Это связано как с недооценкой метода, так и с малочисленностью работ, которые показывали бы его возможности при решении ряда задач, поставленных перед геологами.

Проводившееся автором изучение морфологии, структуры и состава выделений самородного золота из месторождений и рудопроявлений, локализованных в различных геологических условиях, показало, что такие исследования, если они проводятся на основе всех известных геологических, минералогических и геоморфологических данных, позволяют получить ряд дополнительных сведений для суждения об условиях отложения золота и истории формирования месторождений и закономерностях их размещения.

Особенности золота могут быть использованы в качестве поисковых и оценочных признаков для выявления обогащенных участков и разбраковки рудных тел.

В работе суммированы известные ранее и приведены новые сведения о типоморфном значении состава и структуры самородного золота в месторождениях группы золото-сульфидно-кварцевых формаций и связанных с ними россыпях и показана возможность практического применения этих данных с учетом использования при их получении минимального количества методик, доступных работникам производственных лабораторий.

Изучение самородного золота — составная часть геологических, геоморфологических и минералогических исследований, проводившихся в ЦНИГРИ под руководством Г. П. Воларовича, С. А. Кашина, Ю. П. Казакевич, Е. Я. Синюгиной, Н. А. Фогельман, С. Д. Шера.

Данные исследований использованы при обобщении материалов. Изучалось золото, полученное при полевых работах автором, собранное многочисленными коллективами геологов и минералогов ЦНИГРИ, комбината Лензолото, Бодайбинской комплексной гео-

логической экспедиции Иркутского ТГУ, трестов и экспедиций МГ УзССР, а также доцентом Ташкентского государственного университета Р. П. Бадаловой.

Аналитические работы проводились в лабораториях ЦНИГРИ Н. Л. Фишковой, Н. Г. Коренновой, Л. И. Бочек, Н. Н. Поповой, Ф. А. Ферьянчиком, А. И. Бухановой, Г. А. Хоменко, И. П. Ланцевым, Л. К. Денисовой. Электронномикроскопические исследования проведены Э. И. Алышевой. Рентгеноспектральное изучение золота выполнено на растровом микроскопе-микроанализаторе «Камебакс» фирмы «Камека» А. П. Плешаковым и на микрозонде IXA-3 сотрудником ВИМСа Л. С. Дубакиной.

Автор выражает искреннюю благодарность всем, предоставившим в ее распоряжение материалы для исследований, помогавшим в их организации, проведении и обсуждении результатов.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ТИПОМОРФИЗМА САМОРОДНОГО ЗОЛОТА

Изучению типоморфных особенностей минералов, с тем чтобы использовать их для суждения о генезисе месторождений и прогнозных и поисково-оценочных целей, придется в последнее время все большее значение.

Самородное золото в этом отношении весьма благоприятный объект для исследования. Оно исключительно чутко реагирует на изменение условий рудоотложения и на эпигенетические воздействия. Обладая высокой пластичностью, золото запечатлевает в своей структуре следы механических деформаций и признаки перекристаллизации при повышенных температурах и давлении.

В то же время золото достаточно химически инертно и, в силу своей ковкости, противостоит хрупким деформациям; поэтому в процессе гипогенных и гипергенных преобразований его относительно крупные выделения длительное время в той или иной степени сохраняют первоначальные признаки.

Продолжительное время изучение самородного золота сводилось к накоплению сведений об его отдельных свойствах, сравнительным исследованиям морфологии, структуры и состава.

Исчерпывающий обзор истории исследований золота сделан в работе Н. В. Петровской «Самородное золото» (1973). Автор отмечает, что современный этап характеризуется изучением состава золота и его неоднородности с применением специальных методик, развитием экспериментальных работ и накоплением данных об особенностях золота различных районов и месторождений разных типов. К последнему периоду относится постановка и разработка общей проблемы типоморфизма золота (Петровская, 1969₁, 1969₂, 1973).

В данной работе будут упомянуты исследования, которые имеют непосредственное отношение к проблеме изучения золота при прогнозных, поисковых и оценочных работах, а также интерпретации типоморфного значения отдельных особенностей самородного золота.

Впервые положения о связи морфологических и структурных особенностей золота с условиями отложения в рудах и преобразованиями в зоне гипергенеза четко сформулированы и доказаны на ряде примеров Н. В. Петровской и А. И. Фасталовичем (1952). Ими была предложена первая морфогенетическая классификация выделений золота, показана зависимость морфологии и внутреннего строения от характера минеральной среды, вмещающей золото, времени и условий его отложения в рудах. Прослежены преобразования золота в зоне гипергенеза и в россыпях; при изучении структуры золота из россыпей доказана возможность рекристаллизации золота в природных условиях. Описаны морфология и струк-

тура золота, переотложенного в зоне окисления (вторичного), и золота, испытавшего химическое переотложение в россыпи (названного «новым»). Н. В. Петровской и А. И. Фасталовичем впервые доказано, что признаки золота могут быть использованы для решения практических вопросов, поставленных перед геологами.

А. П. Переляев (1953) обратил внимание на то, что мощность корродированного слоя у золотин из древних россыпей увеличивается по сравнению с золотом из россыпей более молодого возраста.

В дальнейшем изучение золота шло в двух направлениях: 1) выяснение генетического значения отдельных его признаков и 2) изучение золота отдельных золотоносных провинций, рудных районов, месторождений. Эти два направления, как правило, тесно взаимосвязаны, и именно их сочетание позволяет получить новые данные как для познания рудогенезиса золота, так и для прогнозирования и оценки золотоносности.

Такого рода работы выполняли следующие авторы: Р. А. Амосов, В. Ф. Гуреев (1971), Р. А. Амосов, Н. Г. Чувикина (1974), Р. П. Бадалова (1962 г.), Р. П. Бадалова, С. Т. Бадалов (1967), Р. П. Бадалова и др. (1968), Р. П. Бадалова, Э. П. Николаева (1970), Ю. С. Берман, Т. И. Тренина (1968), Ю. С. Берман, В. М. Новиков (1969), Ю. С. Берман и др. (1972), Ю. Г. Зарембо, Н. Г. Кореннова (1970 г.), В. М. Крейтер и др. (Поведение золота..., 1958), В. Г. Моисеенко (1965, 1966), В. Г. Моисеенко и др. (1974), В. И. Найбродин (1959 г.), В. А. Нарсеев (1969 г.), Л. А. Николаева (1967, 1968, 1973), Л. А. Николаева, Р. П. Бадалова (1970), Н. В. Петровская (1969_{1,2}, 1970, 1973), Н. В. Петровская и др. (Неоднородность самородного золота..., 1971; Особенности самородного золота..., 1971), Н. В. Петровская, М. М. Элисон, Л. А. Николаева (1971), Н. В. Петровская, А. И. Фасталович (1955), Л. В. Фирсов (1963 г., 1969 г.), Л. С. Шер (1968), С. В. Яблокова (1965, 1969, 1974) и др.

В. Г. Моисеенко (1965) обратил внимание на перекристаллизацию золота при процессах контактового метаморфизма и изучил изменение состава, размеров и отчасти структуры золота при термическом метаморфизме.

Большое значение для понимания характера преобразований золота в рудах имеют работы, выполненные в МГУ под руководством М. С. Сахаровой (Сахарова и др., 1968; О раннем золоте..., 1972; и др.). Доказано, что оптимальной для укрупнения золота в пирите является температура 350—450°C, в арсенопирите 400—500°C; при повышении температуры усиливаются процессы дезинтеграции и ослабевают процессы укрупнения. Перераспределение золота в сульфидах происходит уже при 250°C.

Н. В. Петровской (1969₂, 1970) описан ряд признаков интраминерализационной перегруппировки золота.

Экспериментальным путем получены преобразования структуры золота в условиях повышенных температур и давлений (Николаева, 1973).

Работами С. В. Яблоковой (1965, 1974; и др.) установлены ти-

поморфные особенности вторичного золота в зоне окисления, показаны различия вторичного золота, образовавшегося при разложении сульфидов и теллуридов, впервые описаны гетерогенные структуры вторичного золота. Прослежены преобразования морфологии, структуры и состава золота в россыпях в зависимости от дальности переноса его от коренных источников и времени пребывания в россыпи.

Автором рассматривались вопросы изменения структуры и состава золота в корях выветривания, россыпях различного возраста и золота, испытавшего повторную миграцию в россыпях (Николаева, 1967, 1968, Применение результатов..., 1973).

В книге «Самородное золото» (1973) Н. В. Петровская суммировала современные представления о типоморфизме эндогенного и экзогенного золота. В качестве признаков формационной принадлежности рудных образований отмечается увеличение от месторождений глубинных к малоглубинным сложности форм кристаллов, разнообразие строения агрегатов золота, контрастности их неоднородности.

В малосульфидных рудах глубинных месторождений преобладает золото поздней генерации, сравнительно крупное, с преимущественно трещинными формами выделений. Структуры агрегатов грубозернистые, незональные, с широкими двойниками. Мозаичность выражена слабо. Проба золота 950—900, реже 800—850. Кроме примесей железа, меди, свинца, в ряде районов в золоте присутствуют платина, никель, титан, хром.

В среднеглубинных месторождениях развито золото ранних и поздних генераций в различных соотношениях. Формы выделения разнообразны, причем трещинные формы более сложные, чем в золоте глубинных месторождений. Структура золота разномозаичная, часто цепочковидная и двуслойная. Зональность выражена плохо. Субструктуры грубомозаичные или дендритовидные. Проба золота не постоянная, чаще 800—880. В качестве элементов-примесей отмечены железо, медь, свинец, цинк, сурьма, селен, теллур, в отдельных регионах висмут, вольфрам, олово, молибден, ртуть.

Золото малоглубинных месторождений имеет в основном тонкоячеистые интерстициальные формы, а также комковидные и плочные. Развита волосовидная и пластинчатая кристаллы, плоские дендриты. Размеры золотинок изменяются в широких пределах: от тонкодисперсных до небольших самородков. Строение агрегатов мелкозернистое, характерны сложные двойники, зональность. Субструктуры мозаичные, иногда со скоплениями серебра между блоками, и дендритовые. Проба золота закономерно снижается по мере перехода от глубинных к малоглубинным месторождениям. В качестве элементов-примесей типичны ртуть, сурьма, теллур, селен, марганец.

Индикаторами региональных геохимических особенностей золотой минерализации Н. В. Петровская предлагает считать относительно высокие содержания в золоте элементов, распространение которых определяет металлогенический фон рудной провинции.

В качестве признаков стадийности рудного процесса учитывается ряд эмпирических закономерностей: равномерное распределение тонкодисперсного золота в сульфидах рассматривается как типичное для ранней сульфидной ассоциации, а наличие наряду с этим более крупных выделений золота вдоль трещин — как проявление второй рудной стадии. Для золота поздних генераций характерны примеси свинца, цинка, висмута, селена, теллура.

Показателями условий минералообразования Н. В. Петровская считает формы выделений золота, насыщенность их газовыми включениями.

Подчеркивается большая роль интрудных преобразований и послерудного метаморфизма золота, к признакам которых относятся: образование золото-кварцевых сростаний с составом, зависящим от состава вмещающих руд; структуры перекристаллизации золота с разрастанием центральных зерен за счет краевых; реликтовые структуры; автоэпитаксисические нарастания; возникновение зональности, не связанной с кристаллографическими направлениями; мозаичная неоднородность; широкое развитие межблоковых обособлений золота; обрастание обломков ранних золото-кварцевых агрегатов новообразованным золотом. Признаки динамических воздействий — изгибы двойниковых полос, появление систем плоскостей скольжения; признак термического метаморфизма — аномалии состава золота, очищение его от серебра и других примесей. Двойники различного происхождения пока различить трудно. Возможно, двойники прорастания менее типичны для структур роста, а изгибы двойниковых полос и их линзовидные формы отчасти обусловлены внутренними напряжениями в кристаллической решетке золота, связанными с повышенными содержаниями примесей.

Признаками вертикальной зональности оруденения считаются проявляющиеся в ряде месторождений скопления крупного золота в верхних частях богатых зон и закономерное повышение пробы золота с глубиной.

К типоморфным особенностям золота в зоне окисления отнесены высокопробные межзерновые прожилки в зернистых агрегатах эндогенного золота, своеобразие морфологии и структуры гипергенного золота (губчатые, моховидные, землястые, порошковатые скопления и налеты, кристаллы, микродендриты, мелкозернистые, с частыми двойниками прорастания). Рельеф выделений микропочковидный, субструктура наростов вторичного золота на первичном микроглобулярная.

Важный признак гипергенной природы золота — эмульсионные, петельчатые, нитевидные структуры сростаний с гидрогетитом и пленки золота в трещинах дегидратации окислов железа.

Особенности россыпного золота рассматриваются как свидетельства дальности и условий транспортировки золота (окатанность золотин, истирание, сортированность по размерам, деформация золотин, развитие структур пластических деформаций), следы периодов покоя золотоносных отложений (мощность высокопробных оболочек, развитие структур рекристаллизации), показатели

повторной миграции золота в россыпях (последующие деформации окатанных золотин, рекристаллизованного золота, высокопробных оболочек).

В книге «Самородное золото» (1973) Н. В. Петровской предложен ряд новых терминов для обозначения определенных форм выделений самородного золота, его размеров и пробы. При дальнейшем изложении мы будем пользоваться этой терминологией.

Накопленные данные по типоморфизму золота необходимо уточнить и дополнить, но уже в настоящее время они могут быть с успехом использованы при решении вопросов о глубине, стадийности и этапности оруденения, его минеральном типе; выявлении участков с совмещением разновозрастной золотой минерализации, участков интенсивной перекристаллизации и перегруппировки золота; о времени поступления золота из коренных источников в промежуточные коллекторы и россыпи, дальности его переноса и т. п.

Однако значительная часть ценной информации, которая может быть получена быстро и с применением сравнительно несложных методов исследования, остается неиспользованной. Это связано с тем, что не всегда проводится планомерное систематическое изучение золота на всех этапах геолого-геоморфологических исследований на отдельных площадях, а также с отсутствием методических работ, показывающих возможности такого изучения.

В предлагаемой работе в какой-то мере этот пробел восполнен. Так как в работах Н. В. Петровской типоморфное значение форм выделений золота и его размеров рассмотрено с исчерпывающей полнотой, в данной работе описаны только особенности структуры и состава золота в месторождениях группы золото-сульфидно-кварцевых формаций (по классификации Н. В. Петровской, 1973) и в россыпях с коренными источниками этого типа.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА

МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ И КАМЕРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА

При работе на золотоносных площадях и месторождениях перед исследователем стоят две задачи:

- 1) сбор материала для лабораторного изучения золота;
- 2) возможно более полное и детальное изучение видимого золота, полученного при разведке и эксплуатации, а также хранящегося в коллекциях производственных организаций.

Отбор образцов и проб, содержащих золото, в зависимости от целей изучения последнего может осуществляться геологами и геоморфологами, проводящими картирование различного масштаба, поиски, документацию выработок, или минералогами в процессе минералогического картирования. Отбор проб производится по программе, согласованной с исследователем золота.

При мелкомасштабных работах берутся отдельные шtuфы с видимым золотом или пробы различного объема из расчисток, копушей, свалов в пределах зон разнотипной минерализации и на площадях развития пород разного состава и возраста, а также намываются шлихи из рыхлых отложений различного генезиса и возраста.

При поисковых и крупномасштабных тематических работах пробы следует отбирать из участков, благоприятных по условиям локализации, составу и интенсивности проявлений минерализации; наряду с опробованием поверхности часть проб берется из шурфов и скважин.

При документации горных выработок, пройденных в коренных породах, в программу отбора образцов для изучения золота желательно включать сбор проб с различных участков и горизонтов рудопоявления, из разных минеральных типов руд, из бедных и богатых участков, из участков, различающихся по геолого-структурным условиям, морфологии, текстуре, интенсивности минерализации и метаморфизма рудных тел.

В россыпях пробы рыхлых пород рекомендуется брать из пластов, различающихся по литологии, концентрации золота, генезису (элювиальные, делювиальные, аллювиальные, прибрежно-морские и др.), возрасту, характеру плотика, из различных по вертикали участков пласта, из пропластков, по протяжению и по поперечному профилю долины. На практике такая полная отбора образцов не всегда осуществима, но к ней следует стремиться.

Основное условие для последующей максимально полной и верной интерпретации генетического значения особенностей золота — точная геологическая привязка проб, из которых оно выделено.

Наиболее ответствен отбор проб при минералогическом картировании подземных выработок. Здесь желательно участие минера-лога, изучающего самородное золото.

Отбор проб производится по простиранию, вкрест него и по падению рудных тел из участков, сложенных по возможности мине-ральными ассоциациями одностадийных минеральных комплексов, а также определенными минеральными ассоциациями.

Изучение самородного золота в процессе полевых работ предпо-лагает документацию ряда его особенностей с использованием ма-териалов, наблюдения над которым невозможны в лабораторных условиях. Проводится описание золота по определенному плану, делающих его зарисовки, производится фотографирование.

В описании указывается: 1) место взятия золота (адрес и крат-кая характеристика условий локализации); 2) размеры золота: си-товой анализ или размах колебаний крупности золотинок с указа-нием преобладающих размеров, а для самородков — их масса; 3) морфология золотинок, первичная и связанная с пребыванием в гипергенных условиях; 4) скульптура поверхности, проявления ги-пергенной коррозии; автоэпитаксиальные нарастания золота; 5) сростания с золотом других минералов; пленки на поверхности золотинок; 6) проба золота (в полевых условиях определяется с по-мощью пробирных игл), цвет золота на свежем срезе; 7) для золо-та из россыпей — степень окатанности, уплощенности и последую-щие деформации окатанных золотинок.

Методы количественной оценки окатанности и уплощенности зо-лотин рассмотрены в работе С. В. Яблоковой (1969).

По возможности следует вести количественный учет выявлен-ных признаков золота в процентах к массе или числу золотинок, а для небольших проб давать качественную оценку проявления опре-деленных признаков («часто», «редко», «преобладает», «единичные зерна» и т. д.).

В лабораторных условиях по аналогичному плану проводится описание золота, выделенного из руд и пород. Определяются раз-меры, форма, взаимоотношение золота с другими минералами в ан-шлифах и монтированных шлифах руд. В аншлифах и монтирован-ных шлифах изучаются внутреннее строение золота и его проба.

Традиционный метод изучения структуры золота с помощью рудного микроскопа описан в ряде работ (Петровская, Фастало-вич, 1952; Петровская и др., 1974) и здесь не приводится.

Мономинеральные фракции золота, выделенного из протолок и шлихов, используются для изучения морфологии, структуры, со-става золота — пробы и элементов-примесей.

Возможности и границы применения ряда традиционных и но-вых методов изучения золота рассмотрены в следующем разделе.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОТДЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Чем сложнее задачи, которые ставятся при изучении минера-логических особенностей самородного золота, тем более широкий

круг методов исследования привлекается для их решения. Каждый из методов должен применяться дифференцированно, с учетом того, какие признаки золота требуется выявить наиболее полно.

Рассмотрим методы, применявшиеся автором для изучения состава и структуры золота, — двух наиболее информативных его особенностей.

Изучение химического состава золота

При изучении состава самородного золота определяют его пробу, т. е. содержание одного из основных компонентов серебра, выраженное в промиллях, и содержание элементов-примесей. Кроме того, в ряде случаев необходимо изучить состав тонких минеральных включений в золоте.

Определение пробы

Определение пробы золота методом пробирного анализа требует значительных навесок (100 мг для двух параллельных определений) и может применяться только для получения усредненных данных по составу золота в отдельных месторождениях, рудных телах и участках россыпей. Такого рода сведения необходимы для экономических расчетов, в некоторых случаях — для весьма грубых геологических оценок (для сопоставления золота отдельных месторождений участков, реже — золота из различных продуктивных ассоциаций).

Этот метод можно использовать также при определении пробы крупных самородков, однако в связи с неоднородностью состава последних желательно делать несколько анализов золота из разных участков одного самородка.

В подавляющем большинстве случаев для геологических целей определение пробы должно производиться для одной отдельно взятой, часто весьма мелкой частицы золота или для различных участков одной золотины.

Наиболее точные, экспрессные и достаточно локальные методы определения пробы — методы атомно-абсорбционной спектrophотометрии, локальные микроспектральные (искровой и лазерно-искровой) и измерения коэффициентов отражения.

Атомно-абсорбционный метод (Лившиц, Фишкова, 1969) позволяет определить пробу отпрепарированной от вмещающих руд золотинок или порошка (кусочка) золота, выделенного из более крупной его частицы. Определение производится из раствора, поэтому результат получается усредненный, но только для данной частицы (величина 0,2 мм и более). Этот метод дает хорошие результаты в том случае, когда исследуются зерна, не являющиеся сростками золота двух генераций или более и не претерпевшие изменений.

Атомно-абсорбционный метод применяется также для изучения распределения серебра в пределах крупных золотинок и самородков.

В этом случае из нужного участка золотины крупинца золота для исследования должна быть выделена механическим путем.

Атомно-абсорбционный метод не применим в тех случаях, когда нужно определить пробу отдельных участков мелких отпрепарированных выделений золота или пробу золота, заключенного в руде.

Определение пробы методом измерений коэффициентов отражения золота (Бернштейн, Козак, 1970) нередко позволяет решить эту задачу. Так как для получения точных результатов требуются участки полированного золота без дефектов полировки, указанный методика наиболее эффективна для изучения изолированных золотинок в монтированных аншлифах. В обычных аншлифах руды из-за различной твердости минералов получить безрельфные полировки золотин трудно. Важное преимущество метода — полная сохранность золота, подвергнутого исследованию. Локальность метода 0,01 мм. Однако надежные результаты он дает только в интервале пробы 700—1000.

Определение пробы локальным микроспектральным методом (Кореннова, 1969) не требует получения идеально отполированных поверхностей и в то же время позволяет анализировать не только выделенные из руд и шлихов золотишки (размером 0,1—0,2 мм), но и проводить анализ непосредственно под микроскопом в полированных шлифах и рудах параллельно с изучением внутреннего строения золота и взаимоотношений его с другими минералами. В тех случаях, когда проба устанавливается для отдельных участков золотин, соседние остаются ненарушенными, так же как и вмещающие золото минералы. Это определяет широкие возможности применения метода при изучении самородного золота.

Одним из достоинств микроспектральных методов является также то, что наряду с определением пробы можно получить данные о наличии в золоте определенных элементов-примесей.

Рентгеноспектральный метод изучения минералов золота и включений в них обладает рядом преимуществ, главное из которых — его локальность (до 1 мкм). Метод дает возможность изучать содержания серебра в субмикроскопических элементах первичной структуры золота и вторичных новообразованиях, распределение содержаний золота и серебра в самородном золоте. Чувствительность определения серебра достигает сотых долей процента. Возможность видеть изображение исследуемой частицы на таких микроанализаторах, как «Камебакс» и др., позволяет решать вопросы о форме нахождения и распределении в рудах субдисперсного золота.

Метод трудоемкий и сравнительно дорогостоящий, требует получения идеально полированных пришлифовок золота, и его рациональнее применять при изучении золота с целью тонких генетических построений, когда другие методы не соответствуют условиям локальности.

Метод определения пробы на пробирном камне, к сожалению, очень мало распространен. Сравнивая цвет черты золота с цветом черты эталона (пробирной иглы), можно с точностью до 0,5% (аб-

сольютных) определять пробу золотины. Локальность метода при массовых анализах 0,1 мм, при тонких исследованиях — до 0,02 мм. Вначале рекомендуется изучить структуру золотины, а затем с помощью тонкой иглы извлечь ее из аншлифа и определить пробу.

Изучение микротвердости золота также применяется для определения его пробы (Лебедева, 1963; Бадалова и др., 1968; и др.). При большом (несколько десятков) числе замеров микротвердости на полированном срезе золотины средние значения могут относительно точно характеризовать величину пробы. Однако к этому методу следует относиться осторожно, так как микротвердость изменяется даже в пределах золотин с равномерным распределением серебра и зависит от близости точки замера к краю золотины, к инородным включениям и от толщины пришлифованной золотины. В случае неоднородной структуры золота каждый отдельный ее элемент (прожилки, обособления других фаз, зоны, первичные и перекристаллизованные зерна и т. д.) часто имеет различную твердость. Н. В. Петровская (1973) указывает, что на величину микротвердости влияют характер цемента, в который заключены золотины, изменение нагрузки на индентор, протравливание поверхности золотины. Поэтому определение пробы золота путем измерения его микротвердости и последующего сравнения с эталонными значениями лучше применять в тех случаях, когда не требуется большой точности.

Определение элементов-примесей в золоте

Вопрос о форме вхождения примесей в золото до настоящего времени остается открытым. Несомненно, что часть примесей представляет собой субмикроскопические механические включения в золоте других минералов — кварца, карбонатов, слюд, сульфидов, сульфосолей и др.

По существующим представлениям, часть примесей может входить в кристаллическую решетку золота, образуя твердый раствор замещения и интерметаллические соединения (медь, ртуть), а при наличии дислокаций в золоте — и твердый раствор внедрения. Чем меньшая навеска золота требуется для определения в нем примесей, тем более однородный материал может быть отобран для анализа и менее механических включений будет он содержать. Действительно, спектральное приближенно количественное определение примесей из навески 30 мг фиксирует присутствие в золоте десятков примесей; часть из них (кремний, алюминий, кальций и др.) может быть отнесена только за счет включений минералов, из которых даже не все принадлежат к продуктивной золотоносной ассоциации (Росляков, Рослякова, 1969, и др.).

Наиболее перспективным в настоящее время автор считает количественный микроспектральный метод, разработанный И. П. Ланцевым (К вопросу о распределении элементов-примесей..., 1971). Анализ из навесок 5 и 3 мг позволяет в известной мере избежать перечисленных недостатков. Методика приемлема для анализа са-

мородного золота любой пробы, причем систематическая ошибка не превышает 9% (относительных). Полная случайная ошибка колеблется для разных элементов, в зависимости от применяемых координат и использования метода «трех эталонов» или метода «постоянного графика», от 16 до 20% (относительных). При использовании «приведенных» концентраций необходимо знать пробу анализируемых золотин с точностью до 20—30 единиц, для чего вполне подходит экспрессный метод определения пробы с помощью пробирного камня.

Электроннозондовый метод для определения большинства примесей в золоте из-за их ничтожного содержания недостаточно чувствителен.

Распределение содержаний серебра в самородном золоте

Изучение пробы золота в рудах имеет большое значение как один из возможных источников сведений о генезисе оруденения. При изучении пробы золота автором были использованы методы математической статистики, позволяющие получить ряд косвенных признаков для суждения об условиях образования золота в рудах.

Исследовано более 100 выборочных совокупностей, в которые включены результаты определения пробы золотин из месторождений и рудопроявлений различной глубины, относящихся к различным золоторудным формациям и их минеральным типам и расположенных в разных золотоносных провинциях. Проба золота изучалась в выборочных совокупностях, взятых как в целом по серии жил и прожилков на каждом рудном поле, так и в отдельных рудных телах и богатых участках и гнездах в них.

В каждую совокупность включались значения пробы, определенной одним и тем же методом в одной лаборатории. Сопоставление аналитических данных, полученных по одним и тем же выборочным совокупностям, показало, что результаты определения пробы с помощью локального микроспектрального анализа, микрохимического анализа, методом атомной абсорбции, методом пробирных игл не имеют статистически значимых расхождений. Поэтому в выборках использованы только результаты, полученные перечисленными методами.

Выборки производились бесповторные, типические. Вычисление оптимального количества случайных величин, необходимых для достоверного определения параметров исследуемой совокупности, осуществлялось по соответствующей формуле (Шарапов, 1965) с учетом коэффициента вариации и 5%-ного уровня ошибки среднего арифметического содержания.

Так как сумма основных компонентов в самородном золоте — золота и серебра, как правило, превышает 99%, для удобства расчетов в качестве случайных величин рассматривались содержания в самородном золоте серебра.

Подбор математической модели, к которой приближаются эмпирические данные, проводился с помощью проверки гипотезы о соответствии распределения последних нормальному закону методом асимметрии и эксцесса и с помощью критерия d . Построение критериев описано в ряде руководств (Большев, Смирнов, 1965; Бондаренко, 1970; Шарапов, 1965).

Установлено, что если в выборочной совокупности присутствует почти исключительно золото одной генерации, не затронутое процессами перекристаллизации, сопровождавшейся выносом серебра, то распределение содержаний последнего в золоте приближается к нормальному.

Если в выборочной совокупности присутствует золото двух генераций или более, связанных с различными стадиями одного этапа минералообразования, то, как правило, методом асимметрии и эксцесса в совокупностях с числом наблюдений менее 50 (а нередко и 50—100) отклонений от нормального распределения не отмечается. С помощью более мощного критерия d такие отклонения фиксируются даже при минимальном числе анализов золота, включенных в выборку (около 10—15). То же наблюдается, если присутствует золото неизмененное и перекристаллизованное или переотложенное.

В случае совместного нахождения частиц золота, связанного с отложением в различные металлогенические эпохи или с наложением оруденения нескольких золоторудных или золотосодержащих формаций, обычно достаточно эффективен метод асимметрии и эксцесса, показывающий отклонение распределения эмпирических данных от нормальной и логнормальной моделей даже в небольших выборках с числом наблюдений около 20.

Если золото в основном относится к одной генерации, то для более общих выводов о генезисе и истории образования частиц золота можно в первом приближении воспользоваться результатами проверки распределения содержаний серебра методом асимметрии и эксцесса.

Проверка равенства функций распределения двух выборочных совокупностей в случае нормальной модели сводится к проверке двух гипотез — о равенстве центров распределения (здесь совпадающей с гипотезой о равенстве математических ожиданий) и о равенстве дисперсий (Бондаренко, 1970). Состоятельность первой гипотезы проверялась с помощью критерия Стьюдента, второй — Фишера (Шарапов, 1965, и др.).

При геохимических исследованиях статистически значимые отличия в содержаниях компонентов пород обычно расценивают как обстоятельство, свидетельствующее о различном генезисе пород. Дисперсия, при той же формализации, рассматривается как параметр, отражающий сходство или различие в истории становления объекта (Бондаренко, 1970).

Автор осмыслила полученные данные с тех же позиций, учитывая определенную условность выводов, основанных на изучении сознательно упрощенных абстрактных математических моделей,

примененных к реальным геологическим объектам, со сложной историей формирования.

Установлено, что функции распределения содержаний серебра в золоте редко бывают равными. Можно предположить, что даже для одного рудного тела генезис золоторудных растворов и история образования частиц золота часто бывают не одинаковыми.

Различия средних содержаний серебра в золоте, отлагавшемся из постмагматических растворов, предположительно генетически связанных с различными магматическими комплексами одного эволюционирующего очага, статистически значимые.

Колебания пробы золота в месторождениях различной глубины часто весьма значительны (600—960 в абиссальных, 450—940 в близповерхностных), однако средние содержания серебра в месторождениях относительно больших и средних глубин обычно не превышают 25 вес.%, а в месторождениях малых глубин и близповерхностных нередко бывают значительно выше.

В ряде случаев одинаковые средние содержания серебра в золоте не могут быть обусловлены его генетической близостью: это происходит, когда проба золота одной из сравниваемых разновидностей изменяется в результате его перекристаллизации. Подобные выводы были сделаны на основании изучения преобразований внутренней структуры золотин и условий локализации золота в рудах.

Изменения дисперсии содержаний серебра в золоте более закономерны. В изученных выборочных совокупностях, содержащих результаты анализов золота из руд, сформировавшихся на относительно больших и средних глубинах, выборочные дисперсии средних содержаний серебра (S^2) в золоте изменялись от первых единиц до 40. При этом минимальная дисперсия наблюдалась у золота, взятого из локального участка и представленного одной генерацией, и в полностью перекристаллизованном золоте (1—2 как для одной жилы, так и выборки из серии жил в пределах жильного поля); дисперсия несколько повышалась в неизменном золоте из обогащенных участков и гнезд (3—10) и заметно возрастала в выборочных совокупностях, полученных по данным анализов золота из серии рудных тел в пределах рудного поля (15—40). Дисперсия возрастала также при наличии золота других генераций или иного генезиса, не оказывающего из-за небольших его количеств влияния на отклонение распределения серебра в золоте от нормального распределения (при проверке методом асимметрии и эксцесса).

В рудах, сформированных на малых глубинах и в близповерхностных условиях, дисперсии содержаний серебра значительно более высокие. На изученных объектах они изменялись от 56 до 190,4 при значительном преобладании выборочных дисперсий, превышающих 100. Однако в участках с минералогическими признаками метаморфизма руд, сопровождавшегося заметной перекристаллизацией и переотложением золота, дисперсия содержаний серебра в золоте может резко уменьшаться (30—40); в единичных случаях в обогащенных участках рудных тел наблюдалась относительно небольшая выборочная дисперсия (20).

Интересно отметить, что у золота, относящегося к одной генерации, тонкие элементы-примеси (висмут, мышьяк, свинец, теллур, сурьма) также имеют распределение содержаний, приближающееся к нормальному.

Только распределения содержаний меди и ртути в золоте часто не соответствуют нормальной и логнормальной моделям. Это, вероятно, обусловлено тем, что медь и ртуть могут входить в кристаллическую решетку золота в виде твердого раствора замещения или давать с ним интерметаллические соединения и одновременно присутствовать в золоте в виде тончайшей механической примеси в составе других минералов.

Для мышьяка функции распределений его содержаний в золоте месторождений различной глубины и генезиса в ряде золотоносных провинций равны, что может служить одним из доводов в пользу развиваемых рядом исследователей взглядов о переносе золота в золоторудных растворах в виде золото-мышьяковых комплексов.

Итак, статистический анализ распределения в самородном золоте содержаний серебра позволяет получить дополнительные признаки для суждения о глубине, этапности и стадийности формирования руд.

Изучение внутреннего строения

Изучение структуры выделений золота тесно связано с изучением его состава, так как методы структурного травления основаны на выявлении скорости травления разных участков золотин с неодинаковой ориентировкой и отличающихся по содержанию серебра.

Способы подготовки золота к изучению структуры и методика травления детально рассмотрены Н. В. Петровской и А. И. Фасталовичем (1952) и с тех пор мало изменились. В книге Н. В. Петровской (1973) дана сравнительная оценка травителей.

Новое в подходе к изучению внутреннего строения золота с помощью рудного микроскопа — постоянный контроль состава отдельных структурных элементов, выявленных травлением, а также попытки воспроизвести экспериментальным путем особенности структуры золота, которые на основании геолого-минералогических данных интерпретировались как преобразования при метаморфизме руд и изменениях золота в зоне гипергенеза.

Электронномикроскопическое изучение поверхности золотин и их протравленных срезов может дать дополнительный материал об онтогении золотин, их перекристаллизации, формах переноса золота. Выявлены интересные субмикроскопические структуры золота (Вопросы однородности..., 1971; Петровская, 1973), но генетическая интерпретация этих структур только лишь разрабатывается.

Рентгеноструктурное изучение золота применяется в весьма ограниченных масштабах из-за сложностей методического характера. Большей частью изучаются параметры ячейки кристаллической решетки с целью выявления их связи с изменениями состава и усло-

вий образования. Используется дебаевский метод. Убедительных данных пока не получено ввиду трудности изготовления порошковых препаратов, низкого качества рентгенограмм (широкие линии), очень малых пределов изменения параметра.

Метод Лауэ — рентгенограммы качания и вращения могут применяться для изучения зернистости золотых агрегатов, установления кристаллографической ориентировки уплощенных и вытянутых индивидов, выявления законов срастания с другими минералами.

Однако не всегда применение комплекса традиционных и новых методов исследования позволяет получить достаточный материал для интерпретации деталей внутреннего строения золота и распределения в нем примесей. Для того чтобы иметь дополнительные данные, свидетельствующие о преобразованиях золота в рудах, и полное использовать генетическую информацию, которую дает структура золота, автором были проведены методические исследования.

Изменение структуры золота в метаморфизованных рудах

При изучении самородного золота установлено, что, как правило, наиболее информативный признак — внутреннее строение золотин, особенно при одновременном наблюдении изменения деталей внутреннего строения и состава отдельных элементов структуры.

Значительный интерес при разведке и оценке месторождений представляет выявление признаков интраминерализационных и пострудных изменений и перераспределения рудного вещества.

В ряде работ размеры выделений золота, особенности его морфологии, структуры и состава рассматриваются как признаки, указывающие на изменения золота при метаморфизме (Крейтер, 1948; Заварицкий, 1950; Петровская, 1956, 1969, 1970; Л. В. Фирсов, 1956, 1963; Моисеенко, 1965, 1974; Особенности самородного золота..., 1971).

Отдельные наблюдения свидетельствуют о перекристаллизации и укрупнении дисперсного золота при метаморфизме (Крейтер, 1948; Заварицкий, 1950; и др.). Л. В. Фирсовым (1956 г.) описана дезинтеграция золота с образованием монокристаллов. Н. В. Петровская отмечала, что наиболее мелкое золото приурочено к высокометаморфизованному кварцу. В. Г. Моисеенко (1965, 1966; Моисеенко и др., 1974) установил, что при низкой и средней степени термического метаморфизма выделения золота укрупняются, а при высокой — распадаются.

Н. В. Петровской (1969_{1,2}, 1970; Особенности самородного золота..., 1971) выявлены признаки интраминерализационных деформаций, перекристаллизации и переотложения минерального вещества при формировании месторождений. К таким признакам, проявляющимся в изменениях внутреннего строения золота, относятся укрупнение (или дезинтеграция) частиц в сочетании с особенностями ло-

кализации золота; неоднородность структур выделений, наличие в них реликтовых участков, двойников прорастания; приближение к полиэдрически-зернистому строению; появление «линий трансляции».

В близповерхностных месторождениях обнаружены признаки расщепленного роста на периферии кристаллов золота, цементация дезинтегрированных зерен более поздним золотом и образование узких периферических зон, отличающихся по пробе от центральных частей золотин, но не имеющих с ними резких границ (Особенности самородного золота..., 1971).

Н. В. Петровской и А. И. Фасталовичем (1955) при исследованиях золота из россыпей доказано развитие рекристаллизации золота в природных условиях — возникновение в участках с нарушенной структурой новых, недеформированных зерен.

В. Г. Моисеенко (1965, 1966, Моисеенко и др., 1974) было прослежено увеличение пробы золота при контактовом метаморфизме и наблюдалась развивающаяся при этом дезинтеграция выделений золота, а также выявлен ряд признаков, присущих метаморфизованному золоту: регенерированные оболочки и прожилки; пористость в низкопробных зернах по контакту их с высокопробными; локальное распространение золотин с монокристалльным строением. Однако преобразования структуры золота при метаморфизме изучены еще недостаточно, и интерпретация деталей внутреннего строения нередко вызывает затруднения.

Автор изучала внутреннее строение золота, выделявшегося в неизменных рудах и в рудах с признаками деформаций и перетолжения минералов (главным образом кварца). Установлено, что в месторождениях различной глубинности в деформированных рудах широко распространены выделения золота, испытавшие незначительную перекристаллизацию, которая привела к неравномерному, пятнистому распределению серебра или к одинаковой ориентировке слагающих золото зерен. Последняя проявляется в равномерном их протравливании раствором хромового ангидрида в соляной кислоте или царской водкой с образованием однотонной цветной пленки. При этом проба золота не изменяется по сравнению с теми выделениями, где зерна ориентированы различно, но распределение серебра в пределах зерен становится равномерным.

Границы зерен в равномерно затравленных агрегатах обычно выражены очень резко и имеют вид линий, тонких полосок и широких глубоко протравливаемых зон, часто с короткими линзообразными раздувами. Следующую ступень дезинтеграции — разделение зерен при сохранении общих контуров частиц — можно наблюдать без помощи травления (рис. 1). На этой стадии происходит статистически значимое возрастание пробы золота и снижение ее дисперсии.

В ряде месторождений различной глубины в гидротермально-метаморфизованных рудах встречены также полиэдрически-зернистые структуры, образование которых типично для перекристаллизованных металлов.

Отмечены многочисленные случаи выполнения в эндогенных условиях межзерновых промежутков более поздним золотом, отлагавшимся и на поверхности выделений более раннего золота (рис. 2).

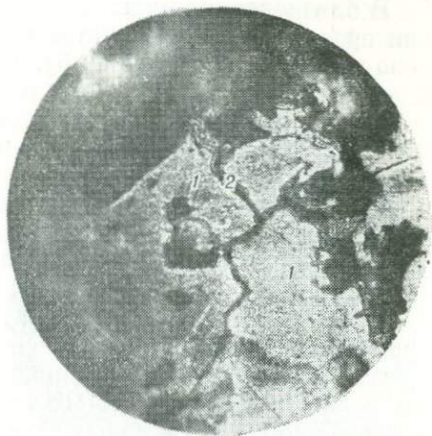
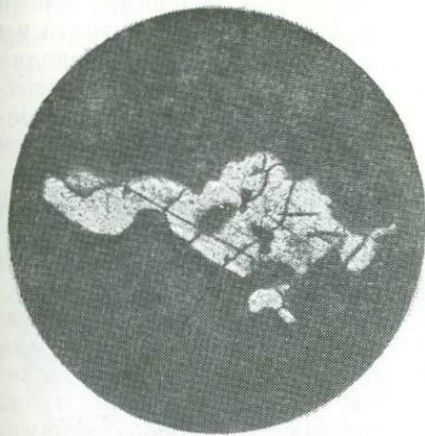


Рис. 1. Дезинтеграция выделений золота. Монтированный аншлиф. Увел. 60.

Рис. 2. Выполнение межзерновых промежутков в раннем золоте (1) поздним (2). Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 60.

В сростках, содержащих золото двух генераций и более, наблюдается перекристаллизация более раннего золота: в раннем золоте по контакту с поздним возникает расплывчатая зона, чаще с повышенным, реже с пониженным содержанием серебра; проявляется неоднородность внутреннего строения раннего золота — пятна, обрывающиеся двойники, реликты золота первой генерации (рис. 3).

На отдельных месторождениях у золота развита структура рекристаллизации с мелкими угловатыми неправильными зёрнами и

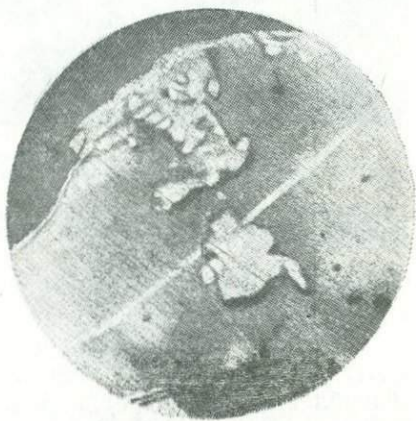
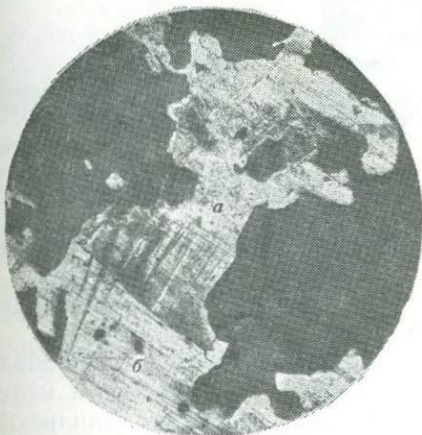


Рис. 3. Перекристаллизация раннего золота (а) по границе с поздним (б). Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 50.

Рис. 4. Уничтожение двойника в результате рекристаллизации. Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 90.

многочисленными двойниками прорастания. Рекристаллизация проявлена на фоне более крупных первичных зерен и существовавших ранее двойников, которые прерываются в участках возникновения рекристаллизованных зерен (рис. 4).

В близповерхностных месторождениях весьма распространенный тип преобразования структуры низкопробного золота — утрата им зонального строения (рис. 5). Явление это локальное. В пределах одного рудного тела часто встречаются частицы золота с concentрически-зональным, неяснозональным, незональным строением зерен и с зонально расположенными неправильными угловатыми пятнами.

Наблюдается чередование внутри зерен отчетливо зональных участков и неясной зональности. Иногда развиваются простые двойники внутри зерен, сохранивших с периферии вокруг двойников участки с зональным строением.

Обычно утрата зональности сопровождается другими признаками метаморфизма — проявлением глубоко протравливающих границ, одинаковой ориентировкой незональных зерен, образованием полиэдрически-зернистых участков или двойников прорастания внутри крупных первичных зерен золота (рис. 6). Порой деформи-

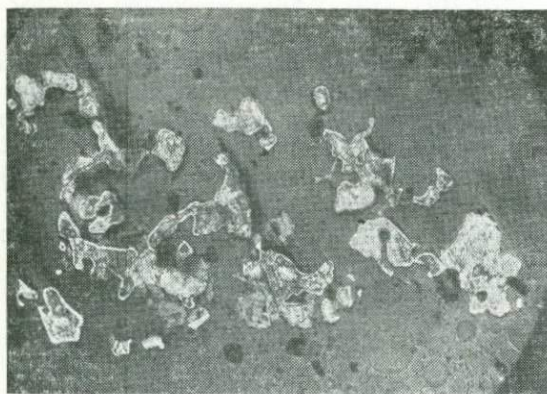


Рис. 5. Частичная утрата зонального строения низкопробным золотом в процессе интракристаллической перекристаллизации. Монтированный аншлиф, протравленный раствором $\text{Сг}_2\text{O}_3$ в HCl . Увел. 90.



Рис. 6. Возникновение полиэдрических зерен на фоне крупного зерна золота, утратившего зональное строение. Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 70.

рованное золото сохраняет зональность, но границы зерен распадаются, отдельные зерна сливаются или проникают в соседние.

В золоте с признаками перекристаллизации в ряде случаев образуются высокопробные, иногда с повышенным содержанием меди, обособления дендритовидной, угловатой, неправильной с извилистыми границами формы. Такие образования (рис. 7) могли появиться в результате распада твердого раствора при изменении температуры или давления (Ф. Гордон Смит, 1968 г.).

В деформированных рудах у золота наблюдалось появление линий скольжения, изгиб и распад двойниковых индивидов. В ряде случаев эти изменения возможно пострудные, так как не сопровождаются отложением рудных минералов и позднего золота.

Широко развиты диффузионные зоны в краевых частях золотин или слагающих их зерен; наиболее часто развиваются зоны, обедненные серебром (рис. 8).

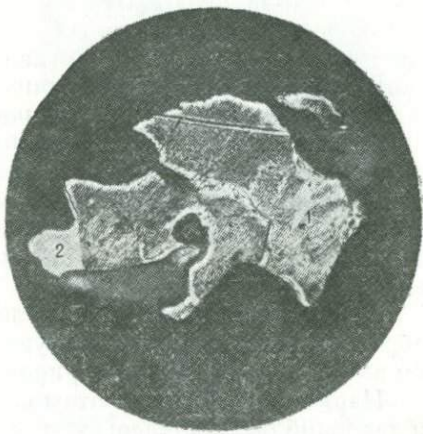
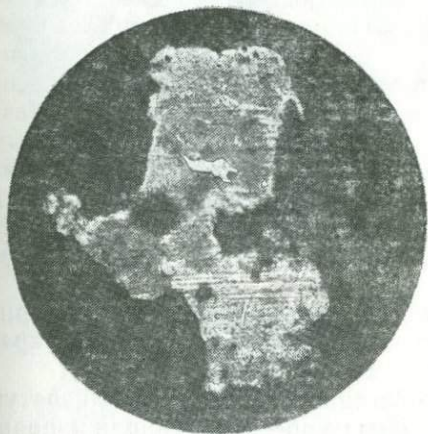


Рис. 7. Высокопробные обогащения в низкопробном золоте. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 300.

Рис. 8. Диффузионная высокопробная зона по границам золота первой генерации (1). Золото второй генерации (2) не затронуто перекристаллизацией. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 300.

Моделирование эндогенной перекристаллизации золота

Для того чтобы убедиться в метаморфогенном характере некоторых преобразований структуры золота, его самородные выделения нагревались в автоклаве до температуры 380°C при давлении 700—1000 бар в воздушной среде в течение 72 ч. Изучалась структура полированных срезов относительно крупных золотин (+1 мм) до и после эксперимента.

В испытуемых образцах средне- и крупнозернистого золота основные черты структуры (размеры, очертания, границы первичных зерен) сохранились. Различия, заключающиеся в интенсивности травления раствором хромового ангидрида в соляной кислоте, исчезли. Все зерна стали протравливаться равномерно и покрываться одноцветной пленкой с одинаковой интенсивностью окраски. В золотинах с участками рекристаллизации первичных зерен в одних случаях рекристаллизованные зерна также сохранились, но приобрели одинаковую ориентировку. Границы между зернами стали более четкими, местами двойными или в виде узких быстро протравливаемых зон. Отдельные зерна утратили угловатость, форма их приблизилась к изометричной, часть зерен приобрела полиэдриче-

ские очертания. В других образцах характер зернистости в участках рекристаллизации изменился: произошло резкое (в 5—10 раз) укрупнение зерен (собирательная рекристаллизация). Площадь внутри первичного зерна, захваченная рекристаллизацией, увеличилась. Отмечено также образование полиэдрически-зернистых структур в пределах крупных первичных зерен (рис. 9, а—в).

Границы полиэдрических зерен нередко двойные или имеют вид четких затравливающих зон с линзовидными раздувами. В единичных случаях в первичных зернах возникали обрывающиеся мелкие двойниковые полоски и отдельные угловатые зерна с иной ориентировкой; эти зерна аналогичны рекристаллизованным. В некоторых образцах отдельные первичные зерна разбивались на ряд различно затравливающих незональных зерен и пятен; в крупных первичных зернах возникли полиэдрически-зернистые участки с одинаково ориентированными зернами. В зональных выделениях золота после эксперимента зональность была утрачена полностью или частично (рис. 9, г). Окраска пленки, покрывшей зерна после травления, идентичная или близкая.

В большинстве случаев после опыта испытываемые золотины приобретали тонкую расплывчатую более высокопробную зону по краям выделения или дезинтегрированных зерен.

Наряду с рудным золотом воздействию повышенных температур и давлений были подвергнуты золотины из россыпей. Общая направленность изменений их структуры аналогична описанной, но можно было наблюдать ряд явлений, связанных с дальнейшей перекристаллизацией структур гипергенной перекристаллизации. Так, мелкозернистые корродированные оболочки, содержащие повышенные количества меди и имеющие интенсивно розовую окраску, местами очистились от меди и приобрели желтый цвет. Мелкие зерна корродированного слоя вначале укрупнялись, а в дальнейшем происходила дезинтеграция слившихся зерен, причем в промежуточном слое между высокопробной оболочкой и ядром золотины возникали ромбические зерна промежуточного состава.

Выделение, представлявшее собой сросток зонального низкопробного золота, замещавшего незональное более высокопробное золото (первичное золото обеих генераций было интенсивно корродировано медистым гипергенным золотом), обнаружило выравнивание состава первичных зерен. Золото второй генерации утратило зональность и в отдельных участках приобрело розовую окраску за счет диффузии меди из оболочки. Структура низкопробного золота стала мелкозернистой с отдельными пятнами внутри зерен, проба повысилась с 700 до 750. Структура более высокопробного золота осталась монокристаллической, но вблизи границ с низкопробным золотом стала неоднородной; средняя проба снизилась с 850 до 820. Медистое золото с петельчатыми структурами распада твердого раствора после опыта приобрело мелкозернистое полиэдрическое строение.

Все испытываемые образцы были повторно подвергнуты нагреванию при 500°C и атмосферном давлении в воздушной среде в течение двух часов.

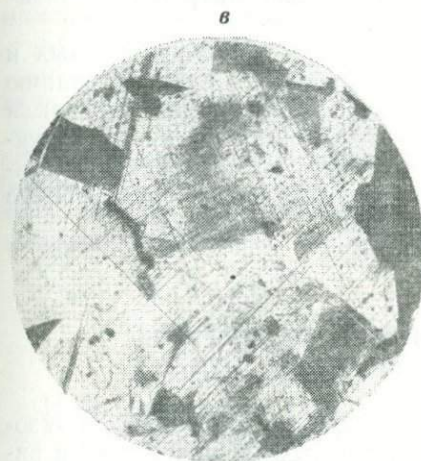
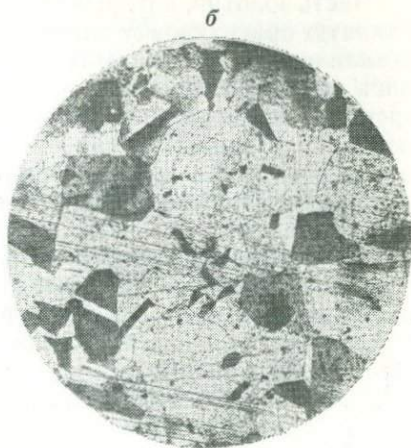
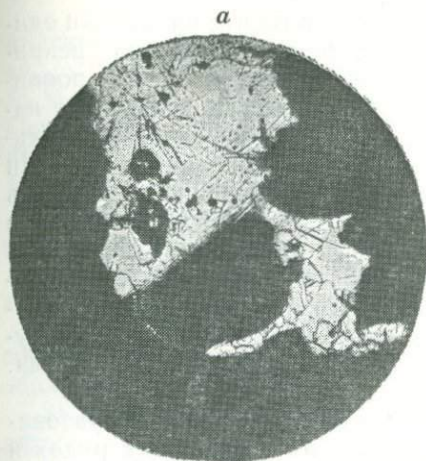
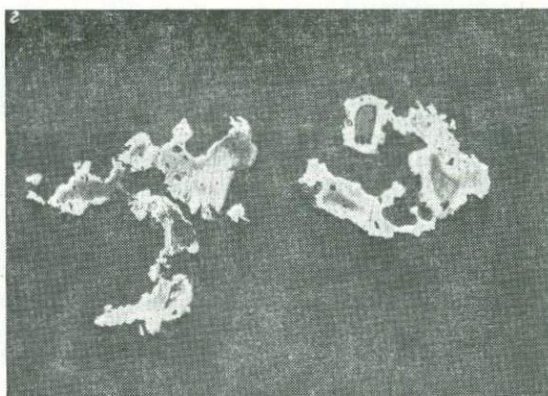


Рис. 9. *a* — рекристаллизованное золото с одинаковой ориентировкой зерен. Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 90; *б* — структура рекристаллизации золота. Аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 60; *в* — та же золотина после нагревания до 380° С при давлении 700 бар. Структура собирательной рекристаллизации. Увел. 60; *г* — слияние зон и возникновение неяснозональных структур при метаморфизме зонального золота. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 90.



Часть золотин, которые при первом эксперименте приобрели одинаковую ориентировку зерен, после нагревания полностью рекристаллизована. В отдельных перекристаллизованных зернах появились высокопробные обособления. Другие золотины в процессе нагревания перекристаллизовались с образованием полиэдрически-зернистых участков с глубоко протравливающимися границами зерен в виде зон. Внутри крупных первичных зерен образовались отдельные обрывающиеся двойники. В ряде зональных золотин, где при первом опыте на месте первичных зерен возник мелкозернистый агрегат, после повторного нагревания большая часть зерен распалась, произошло их слияние. Проба золота не изменилась. В других случаях началась дезинтеграция выделений: образовалась глубоко протравливающаяся зона по границам полиэдрических зерен. Проба золота значительно возросла.

Таким образом, опытным путем получены многие преобразования внутреннего строения золота, которые наблюдались в рудах и интерпретировались как изменения в процессе интраминерализационного и пострудного метаморфизма.

Сравнительные исследования золота из метаморфизованных и неизмененных руд и экспериментальные работы по преобразованию золота под влиянием повышенных температур и давлений позволили установить, что конкретные проявления перекристаллизации в структуре самородного золота зависят не только от интенсивности и длительности воздействий на золото, но и от состава и структуры его выделений перед началом преобразований.

Глава II

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА ЭНДОГЕННОГО ЗОЛОТА

В процессе изучения самородного золота из эндогенных и экзогенных месторождений, рудопроявлений и рыхлых отложений в ряде золотоносных провинций Советского Союза и некоторых зарубежных стран автором были получены новые и уточнены известные данные о генетическом значении особенностей, главным образом структуры и состава золота (Николаева, 1967, Николаева, Бадалова, 1970, 1974; и др.) в месторождениях группы золото-сульфидно-кварцевых формаций.

Сравнительному исследованию было подвергнуто золото в провинциях различного возраста — байкальского, каледонского, герцинского, киммерийского, альпийского, в меньшей мере — в рудопроявлениях более древних провинций, в месторождениях различных золоторудных формаций и разных минеральных типов, сформировавшихся в различных геолого-структурных условиях.

Учтены также материалы работ сотрудников ЦНИГРИ Ю. С. Бермана, А. М. Гаврилова, Н. И. Карпинского, Т. Н. Косовец, А. Н. Некрасовой, Л. С. Шер, С. В. Яблоковой и другие источники (Р. П. Бадалова, 1962 г.; Р. П. Бадалова, С. Т. Бадалов, 1964 г.; В. И. Вер-

надский, 1922, 1953 гг.; М. Г. Кожевников, 1935 г.; Поведение золота..., 1958; В. И. Майбородин, 1959 г.; В. А. Нарсеев, 1969 г.; В. М. Новиков, 1968 г.; Переляев, 1953; Петровская, 1969^{1,2}, 1970; Петровская, Фасталович, 1955; Л. Н. Пляшкевич, 1967 г.; А. Е. Ферсман, 1931, 1939 гг.; Шер, 1972, 1974; E. L. Dunn, 1929 г.; W. M. Emmons, 1937 г.; Fisher, 1935; R. Mackey, 1944 г.; и др.).

Основными факторами, влияющими на формирование особенностей золота, являются:

- 1) изменчивость термодинамических условий рудоотложений, в значительной мере определяемая глубиной месторождений;
- 2) стадийность оруденения и отложение золота на различных ступенях минерального равновесия в пределах одной стадии рудообразования;
- 3) интраминерализационные и пострудные преобразования золота;
- 4) металлогеническая специализация территории и связь золотой минерализации с определенными проявлениями магматизма;
- 5) относительный возраст оруденения;
- 6) отложение золота в месторождениях, локализованных в различных геолого-структурных условиях.

Все эти факторы в сумме обуславливают различия или конвергентность особенностей золота в эндогенных месторождениях. Коротко рассмотрим влияние каждой из указанных причин на образование отдельных признаков, характеризующих строение и состав выделений самородного золота.

ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТА В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ГЛУБИНЫ

Н. В. Петровская (1973) указывает, что общая направленность изменения особенностей золота от месторождений глубинных к малоглубинным заключается в возрастании сложности форм кристаллов и строения агрегатов золота, в закономерном понижении пробы золота и в связи с этим в повышении контрастности неоднородности выделений золота.

Сравнительное изучение структуры и состава самородного золота из месторождений различной глубины позволило детализировать перечисленные особенности и в ряде случаев уточнить их типоморфное значение.

Структура самородного золота

Наиболее тесную зависимость от глубины формирования месторождения обнаруживают признаки зонального строения золотин и отдельных зерен в агрегатах самородного золота. Речь идет о зональности, подчиняющейся кристаллографическим направлениям (Неоднородность самородного золота, 1971) и обусловленной изменением содержания серебра в самородном золоте в процессе его кристаллизации.

Зональное строение характерно для отложения золота в условиях быстро меняющихся термодинамических параметров, и поэтому наиболее широко развито в близповерхностных месторождениях (Берман, Тренина, 1968). Зональное внутреннее строение, как правило, проявляется у относительно низкопробного (проба редко выше 800) золота.

На многочисленных примерах установлено, что золото с пробой ниже 700 в глубинных и среднеглубинных образованиях часто имеет монокристаллическую и зернистую незональную структуру, аналогичную структуре встреченного в тех же минеральных ассоциациях золота более высокой пробы — от 800 до 920. Однако в одном из глубинных месторождений наблюдалось понижение пробы и появление в составе одной и той же продуктивной минеральной ассоциации неяснозональных и даже зональных монокристаллических золотин по мере удаления от рудоконтролирующих разломов (Ю. Г. Зарембо, Н. Г. Кореннова, 1974 г.).

Следовательно, нельзя исключить возможности возникновения зональных структур золота в открытых системах в локальных участках месторождений больших и средних глубин (например, при приоткрывании трещинных полостей, при удалении от рудоконтролирующих структур и т. п.).

В рудах, образовавшихся на больших глубинах, но несколько различающихся, судя по геологическим данным, по глубине формирования, структура золота в менее глубинных фациях иногда обнаруживает следы неясной зональности. Последняя, как правило, улавливается только с помощью рентгеноспектрального анализа и редко выявляется при обычном структурном травлении и послойном микрхимическом анализе золотин.

В кварцевожильных месторождениях и рудопроявлениях, сформировавшихся на средних глубинах, в ряде случаев золото обнаруживает неяснозональное строение выделений или отдельных зерен в агрегатах. Количество зон ограниченное, границы зон размазанные; часто различается только одна периферическая зона и центральная часть в виде округлого расплывчатого пятна.

В отдельных случаях низкопробное золото с отчетливо зональной, но с ограниченным числом зон структурой встречено в образованиях, которые по сумме геологических признаков отнесены к переходным от среднеглубинных к малоглубинным. В той или иной степени выраженные признаки зонального строения отмечены также и у низкопробного золота (проба 700—750, реже 750—800) в рудах, сформировавшихся на средних глубинах. Такого рода структуры характерны для золота месторождений киммерийского возраста и менее развиты в рудах герцинского возраста. При этом в разновозрастных месторождениях низкопробное золото с неяснозональной структурой развито там, где по геологическим признакам отложение его происходило на относительно меньших глубинах.

Наиболее четкая зональность с большим числом узких зон со слабо размытыми границами наблюдалась автором у кристаллов золота одного из рудопроявлений Кубы (сборы И. С. Рожкова) и в

некоторых близповерхностных неоген-палеогеновых рудопоявлениях, расположенных в пределах вулканогенных поясов (рис. 10).

Мелкозернистые неяснозональные и зональные структуры были встречены у золота в более древних (меловых) близповерхностных месторождениях в пределах тех же поясов. В одном из этих месторождений, наряду с развитыми в локальных участках мелкозернистыми агрегатами золота, в рудном штокверке широко распространено золото, имеющее зональное строение с небольшим числом сравнительно широких зон.

В близповерхностных рудопоявлениях наблюдались специфиче-



Рис. 10. Зональное внутреннее строение золота из субвулканического месторождения. Реликты раннего золота приобрели мелкозернистое близкое к полиэдрическому строение. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 70.

Рис. 11. Внутреннее строение золота с чередованием нескольких серий зон с постепенно изменяющимся составом. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 70.

ские зональные структуры монокристаллов золота. При многократном их травлении слабым раствором хромового ангидрида в соляной кислоте сначала протравливаются зональные участки, заключенные внутри более высокопробного золота и повторяющие контуры кристаллов. Иногда в них наблюдаются признаки расщепленного роста. В дальнейшем затравливаются и относительно высокопробные участки кристалла, обнаруживающие также зональное строение. По-видимому, на протяжении одной стадии рудоотложения сменялось несколько ступеней минерального равновесия с различными окислительно-восстановительными условиями, что приводило к отложению золота, заметно различающегося по пробе. Нередко чередуются повторяющиеся серии зон с постепенно изменяющимся составом внутри каждой серии (рис. 11).

Низкопробное золото на разных горизонтах одного месторождения может различаться по структуре. Так, прослежена на протяжении 200 м по вертикали смена зонального золота неяснозональным и незональным.

Таким образом, общая закономерность, заключающаяся в более широком развитии зональных структур низкопробного золота по мере уменьшения глубины его образования, прослеживается достаточно четко.

Отчетливая первичная зональность отмечена у золота ниже 780 пробы. Неясная зональность, которую можно выявить с помощью травления реактивами, наблюдается у золота не выше 830 пробы.

Зависимость размеров зерен, слагающих выделения гипогенного золота, и количества двойников от глубины формирования руд менее прямолинейна. Н. В. Петровская (1973) отмечает тенденцию уменьшения зерен в агрегатах золота при переходе от глубинных к малоглубинным месторождениям и указывает на зависимость размеров зерен от величины выделений золота в среднеглубинных образованиях. Автор считает правильным более раннее указание (Петровская и Фасталович, 1952) о том, что размер зерен в общем пропорционален крупности выделений золота в рудах. Это характерно для золота различной глубины. Как правило, зернистое строение мелких золотин проявляется лишь в результате эндогенной перекристаллизации или при срастании золота несколько генераций. Так, на некоторых рудных полях, формирование которых происходило на больших глубинах, при преобладании монокристалльного строения мелкого и микроскопического золота из зон прожилковой сульфидной минерализации часть его выделений весьма мелкозернистого строения. Крупное золото из кварцевых жил тех же участков образует монокристаллы и грубозернистые агрегаты.

Для различных золотоносных провинций и даже отдельных месторождений количественная характеристика зернистости золота различна: так, средний размер зерен, слагающих выделения золота, в рудопоявлениях больших глубин некоторых золотоносных районов 0,1—2,5 мм, других районов — 0,05—0,2 мм.

В близповерхностных месторождениях размер зерен в агрегатах золота также пропорционален величине золотин. В более редких случаях, когда крупные массивные выделения золота развиты в малоглубинных рудах, размеры зерен в агрегатах изменяются в тех же пределах, что и у крупного золота месторождений больших глубин. Если относительно крупные выделения золота характеризуются мелкозернистой структурой, нередко есть основания считать, что золото претерпело перекристаллизацию, приведшую к образованию полиэдрической или неправильной мелкой зернистости.

В тонких нитевидных выделениях и отростках золотин на фоне удлинённых зерен образуются более мелкие, угловатые, различно ориентированные. Возникновение их, возможно, связано с рекристаллизацией в процессе роста самой золотины (Е. Suito, N. Uyeda, 1970 г.).

Сложное многостадийное формирование близповерхностных месторождений в быстро изменяющейся обстановке обуславливает многочисленные проявления частичной перекристаллизации золота, а молодой возраст оруденения способствует сохранности структур.

Эти обстоятельства приводят к сравнительно широкому развитию мелкозернистого золота в месторождениях малых глубин. Характерная особенность структуры агрегатов золота в малоглубинных месторождениях — присутствие нескольких стабильных по составу фаз, связанных с отложением золота на разных ступенях минерального равновесия (Гребенчиков, Николаева, 1974; Некрасова, Шохор, 1974).

Двойники золота могут возникать не только в процессе его кристаллизации, но и при внутрирудных и пострудных деформациях.

В отличие от данных других исследователей (Петровская, 1973), в изученном автором золоте наблюдалась существенно иная картина: количество сдвойникованных кристаллов и зерен составляло 10—20% и только в отдельных случаях повышалось до 30—80%. Появление большого числа двойников, нередко сложной формы, наблюдалось преимущественно в участках развития интенсивной трещиноватости, совмещения разновременной минерализации.

Сопоставление золота из рудопроявлений и россыпей в ряде золотоносных районов показало, что в обмятом и окатанном золоте значительно чаще встречаются изогнутые двойниковые полоски (даже достаточно широкие), чем в рудном золоте аналогичного состава. По-видимому, по крайней мере часть изгибающихся двойников появляется в результате напряжений, возникающих при механических деформациях золота, в том числе и почти свободного от примесей. В ряде случаев подобное происхождение, вероятно, имеют и тонкие полисинтетические двойники в золоте месторождений больших глубин, для которого они обычно не свойственны. Такие двойники появлялись в золоте ранних генераций вблизи контакта его с зернами позднего золота. Интенсивность двойникования может изменяться в пределах одной золотины, различные участки которой заключены в разные минералы, причем максимальное развитие двойников наблюдается в зернах, выделившихся на границах двух сред (например, пирита и кварца). Количество двойников у золота весьма различно в месторождениях одинаковой глубины, расположенных в отдельных золотоносных провинциях или даже отдельных рудных полях. В целом все же намечается некоторая тенденция к увеличению числа сдвойникованных индивидов золота и усложнению формы двойников (развитие полисинтетических двойников и двойников прорастания) от глубинных месторождений

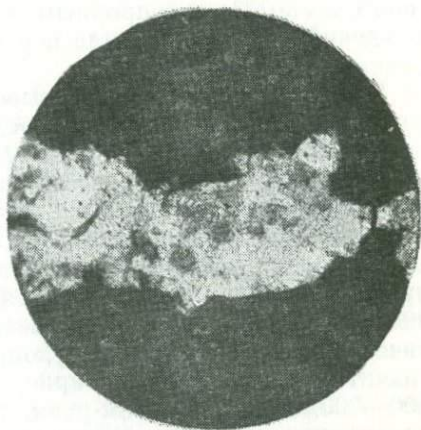


Рис. 12. Пятнистая структура золота. Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 70.

к близповерхностным. Однако трудно сказать, является ли это следствием условий кристаллизации или результатом последующих деформаций золота.

В отдельных участках близповерхностных месторождений наблюдалось появление изогнутых и полисинтетических, часто обрывающихся двойников в частично перекристаллизованном первично зональном золоте.

Первичная гетерогенность структуры золота проявляется также в пятнистом распределении примеси серебра в пределах отдельных зерен. Пятнистая неоднородность выявляется при структурном травлении в виде неравномерного затравливания зерен золота. Форма пятен угловатая (четыреугольная, полигональная) или неправильная с округленными контурами (рис. 12). Пятнистая неоднородность наблюдалась у золота из месторождений различной глубины.

Состав самородного золота

Закономерное возрастание содержания серебра в самородном золоте и, следовательно, понижение его пробы по мере уменьшения глубины формирования руд отмечалось рядом исследователей (В. В. Щербина, 1956; Петровская, 1969, 1973; и др.). Исключение составляют близповерхностные месторождения золото-теллуридного типа с весьма высокопробным золотом и отдельные участки месторождений, где происходила перекристаллизация золота, сопровождавшаяся выносом серебра.

Как показала обработка выборок с анализами золота из месторождений различных глубин, средняя проба золота в близповерхностных месторождениях не превосходит 750, в месторождениях средних и больших глубин превышает 750; при этом в глубинных месторождениях часто встречается золото пробы выше 900.

Размах колебаний пробы золота в пределах рудного поля нередко по порядку величины (сотни единиц) одинаков в месторождениях различной глубины: 700—950 для некоторых глубинных проявлений, 290—616 и 545—745 на близповерхностных месторождениях. Практически во всех глубинных рудопроявлениях и месторождениях в незначительном количестве присутствует незональное золото пробы 600—700. Однако в целом размах колебания пробы золота в близповерхностных месторождениях, не относящихся к золото-теллуридному типу, более значительный и составляет в рудопроявлениях и месторождениях отдельных провинций соответственно 250—900, 160—860, 207—783 и 220—875.

Дисперсия пробы золота в близповерхностных месторождениях, как правило, значительно возрастает. Выборочные дисперсии пробы (S^2) в выборках, составленных по данным анализов золота, взятого из одного рудного тела или из серии рудных тел в пределах рудного поля, как правило, на порядок больше для золота месторождений близповерхностных и малоглубинных по сравнению с более глубинными месторождениями (табл. 1). Особенно резко возрастает дисперсия пробы при включении в выборку анализов золота разных ге-

Таблица 1

Средняя проба самородного золота и ее выборочная дисперсия
в месторождениях различной глубины (на примере месторождений ряда
золотоносных провинций)

Глубина формирования руд	Условия отбора золота	Средняя проба, ($\bar{x}$)	Выборочная дисперсия (S^2)
Большая и средняя	По серии жил	859	3117
	По одной жиле	884	2466
	По серии жил	804	3995
	По одной жиле	821	67
	По серии жил	829	2480
	По одной жиле	867	337
	По серии жил	874	2150
	По одной жиле	890	1262
	По серии жил	909	453
	По одной жиле	906	271
Малая и близповерхностная	По серии жил	642	12 370
	По одной жиле	607	19 040
	По серии жил	674	12 760
	По одной жиле	627	10 620
	По серии жил	699	10 800
	По одной жиле	712	11 420
	По серии жил	623	10 010
	По одной жиле	551	11 090

нераций или представляющего собой сростки золота двух генераций и более. Дисперсия пробы в близповерхностных месторождениях часто обусловлена тем, что в одностадийных минеральных комплексах присутствует самородное золото нескольких фаз. Наряду с этим в отдельных месторождениях установлен непрерывный ряд золото-серебряных минералов от самородного серебра до весьма высокопробного золота (данные Ю. С. Бермана).

Изменение пробы золота в пределах золотин, связанное с гетерогенностью состава золота в близповерхностных месторождениях, бывает весьма существенным. Так, на одном из близповерхностных рудопроявлений было изучено изменение пробы золота, взятого из локальных участков рудного тела, и пробы золота в пределах одной золотины (Гребенчиков, Николаева, 1974). Для различных минеральных комплексов изменения пробы золотин составляли 40—410‰, а изменения пробы в пределах одной золотины — 25—200‰ (определения с помощью измерения коэффициента отражения).

В близповерхностных рудопроявлениях по данным электронного зондирования и атомной абсорбции наиболее частые колебания пробы в пределах зональных частиц золота одной генерации составляют 40—80‰; проба в центральных частях соседних зон отличается на 5—30 единиц. Наибольшие различия пробы золота в различных зонах 180‰.

Различия содержания серебра в «пятнах» внутри золотин менее резкие, чем в контрастных зонах, и составляют от 5 до 40‰.

В месторождениях, сформировавшихся на больших глубинах, дисперсия пробы золотин, как правило, колеблется в пределах 5—15%. Более значительные изменения (до 50%) зафиксированы для различных участков крупных самородков, а также, в отдельных случаях, в мелких самородках в участках, заключенных в различной минеральной среде: проба 870 в галените и 920 в кварце.

В последнее время электроннозондовые анализы позволили более детально изучить неоднородность распределения серебра в самородном золоте. Н. В. Петровская (1973) пришла к выводу, что высоко-серебристое золото метастабильно и состав низкопробного золота изменялся во времени. Она предполагает, что золото могло кристаллизоваться как относительно гомогенный минерал; затем происходило в основном диффузионное перераспределение серебра, часто сопровождавшееся распадом твердых растворов. На основании анализа встречаемости золота различной пробы сделано заключение, что наиболее устойчивым членом гипотетического ряда интерметаллических соединений должно быть золото с пробой 790 (Au_2Ag).

Существование обширного ряда интерметаллических соединений, предполагавшихся Г. Б. Буссенго (G. B. Boussingault, 1951 г.), считается маловероятным. Золото, проба которого превышает 790, относится к измененной модификации, потерявшей сверх избыточной часть серебра, более прочно связанного с кристаллической структурой золота. Низкопробное золото содержит заметное количество избыточного серебра, находящегося в виде твердого раствора.

К. В. Кистеров на основании анализа встречаемости золота различной пробы в россыпях пришел к заключению, что гипотетические интерметаллические соединения золота, выделенные Г. Б. Буссенго для месторождений Американского континента, могут реально существовать.

Материалы автора показывают, что представления о фазе Au_2Ag как наиболее устойчивом, конечном (в условиях естественного старения) интерметаллическом соединении золота с серебром подтверждаются многочисленными наблюдениями. В месторождениях больших и средних глубин золото пробы 790 (и близкой к ней) характерно для наиболее поздних стадий и этапов рудоотложения или для одностадийных комплексов, не подвергавшихся интраминерализационным или пострудным воздействиям. Слабо метаморфизованное золото приближается к стехиометрическому составу соединения Au_3Ag (около 15% Ag), а проба золота с более четкими признаками перекристаллизации составляет 900—920 (Au_5Ag — Au_6Ag). Наконец, для глубоко перекристаллизованного золота типична проба 940—960 (Au_8Ag — $Au_{12}Ag$).

Для близповерхностных месторождений со сравнительно высокопробным золотом характерны те же закономерности. В месторождениях с более серебристым золотом из возможных интерметаллических фаз наиболее широко распространена $AuAg$ (проба 650); реже наблюдается золото пробы 790. Последняя в ряде случаев слагает в пределах золотин только обособления (неправильной формы или в виде зон).

Выделения наиболее низкопробного золота также могут представлять собой ряд четко ограниченных обособлений, изолированных или в виде взаимных сростаний. Однако состав их далек от стехиометрического (проба 500—600) или же может соответствовать фазам с преобладанием серебра (например, AuAg_3). Возможность существования интерметаллического соединения такого состава показана Н. В. Грум-Гржимайло (1956). Таким образом, представляется вероятным существование интерметаллических соединений ряда золото — серебро.

Однако Ю. С. Берманом с помощью электронного микроанализатора на субвулканических золото-серебряных месторождениях установлено присутствие непрерывного ряда золото-серебряных минералов, содержащих 0—100% Ag и 1,5—98,5% Au. По-видимому, в зависимости от физико-химических условий кристаллизации состав твердого раствора золото — серебро может варьировать практически без ограничений. Но в процессе перекристаллизации и естественного старения структура самородного золота стабилизируется и состав его приближается к стехиометрическому составу интерметаллических соединений золота с серебром.

Форма вхождения тонких примесей в золото требует дальнейшего изучения. В ряде случаев полимодальный характер их распределения в золоте одной генерации может указывать на полигенность той или иной примеси. Состав и содержание элементов-примесей в золоте (за исключением серебра) изучались автором по результатам микроспектральных анализов, выполненных И. П. Ланцевым. Всего проанализировано свыше 400 образцов золота из более чем 40 эндогенных месторождений и рудопроявлений, сформировавшихся в разных условиях, в частности на разных глубинах.

Во всех анализировавшихся образцах, кроме количественного определения мышьяка, сурьмы, теллура, меди, свинца, железа, спектрограммы были также полуколичественно расшифрованы (по эталонам на золото-серебряных основах) на висмут, олово, вольфрам, никель, кобальт, марганец, хром, титан, цинк, кадмий, германий, галлий.

Проведенные анализы, несмотря на их ограниченное количество, позволяют наметить некоторые закономерности в изменении состава и содержания элементов-примесей в самородном золоте из руд, образовавшихся на различной глубине. Частота нахождения ряда элементов и содержание основных примесей в золоте месторождений и рудопроявлений различной глубины приведена в таблицах 2 и 3. Рассмотрение имеющихся данных позволяет сделать следующие выводы (К вопросу о распределении элементов-примесей..., 1971).

Число элементов-примесей в самородном золоте возрастает по мере перехода от руд, сформировавшихся на больших глубинах, к рудам близповерхностного генезиса. Содержания большинства примесей возрастают в той же последовательности.

Частота нахождения примесей, за исключением меди и титана, также увеличивается в золоте менее глубинных месторождений.

Таблица 2

Частота встречаемости элементов-примесей в самородном золоте из руд, сформировавшихся на различных глубинах (в процентах к числу проанализированных образцов по каждой группе)

Глубина формирования руд	Частота встречаемости, %													
	Fe	Cu	Pb	As	Sb	Te	Zn	Bi	Ti	Ni	Co	Mn	Cr	Sn
Малая	100	85	92	31	62	8	39	47	31	23	8	62	8	23
Средняя	100	82	82	26	52	7	15	33	44	11	4	26	23	—
Большая	100	100	69	13	—	—	—	13	69	6	—	6	—	—

Колебания содержания элементов-примесей в самородном золоте из руд,

Глубина формирования руд	Содержание, % к				
	Fe	Cu	Pb	As	Sb
Малая .	0,003—0,3	0,006—1	0,002—0,1	0,005—0,1	0,002—0,2
	0,01—0,2	0,02—0,6	0,002—0,06	0,005—0,05	0,006—0,04
Средняя	0,001—0,3	0,006—0,6	0,002—0,04	0,008—0,2	0,001—0,2
	0,01—0,03	0,006—0,01	0,002—0,003	0,05—0,08	0,003—0,01
Большая	0,001—0,1	0,006—0,1	0,002—0,006	0,002—0,003	—
	0,006—0,03	0,03	0,002	—	—

Примечание. В числителе — минимальное и максимальное содержание, в знаменателе —

Отмеченные закономерности могут быть вызваны двумя причинами:

1) диффузией изоморфных и механических примесей из золота при его перекристаллизации при высоких температурах (Моисеенко, 1965; 1966; Николаева, 1967);

2) более сложным составом близповерхностных руд, представляющих собой обычно телескопированные образования, формирование которых было растянуто во времени; это обуславливает разнообразие дисперсных минеральных включений в золоте, и возможно, изоморфных примесей, имеющих различные формы миграции и условия выделения из растворов.

Существуют элементы, в равной (железо) или почти равной степени (медь и свинец) присутствующие золоту всех групп месторождений.

Содержание примесей в самородном золоте невелико и обычно не превышает в сумме сотых или десятых долей процента. Содержание отдельных элементов в золотинах колеблется от десятитысячных до десятых долей процента, лишь в единичных случаях количество меди превышает 1%.

Для золота из руд, сформировавшихся на больших глубинах, постоянны примеси меди и железа. Часто встречаются свинец и титан, значительно менее характерны мышьяк и висмут. В небольшом количестве образцов отмечены никель, марганец и теллур. Типичны наиболее низкие содержания мышьяка, свинца, железа, титана и более низкие, чем в месторождениях средних глубин, содержания висмута. Содержания теллура в золоте некоторых минеральных типов месторождений достигают значительной величины (0,3% и более).

В золоте из руд, сформировавшихся на средних глубинах, единственная постоянная примесь — железо. Весьма характерны примеси меди и свинца, в заметном числе образцов встречены сурьма, титан,

Таблица 3

сформировавшихся на различных глубинах

к массе золота				
Te	Zn	Bi	Ti	Mn
До 0,3	0,02—0,1	0,0006—0,001	0,001—0,007	0,0005—0,02
	0,02—0,06	0,0006		0,0005—0,003
0,006	0,008—0,04	0,0006—0,006	0,001—0,003	0,0005—0,094
	0,02—0,03	0,001—0,006	0,001	0,0005
До 0,3	—	0,0006—0,001	0,001—0,007	0,007
		—	—	

преобладающее содержание.

висмут, мышьяк, реже наблюдались цинк, марганец, хром и в отдельных образцах теллур, германий. Характерны повышенные содержания меди.

В золоте из близповерхностных месторождений постоянной примесью является железо, почти всегда присутствуют свинец и медь. Часто встречаются сурьма, марганец, несколько реже висмут, цинк и мышьяк. Менее обычны, чем в других группах месторождений, титан и хром. Значительно чаще, чем в более глубоких месторождениях, отмечены никель и кобальт. Олово установлено только в рудах близповерхностных месторождений, но, возможно, при увеличении числа анализов и расширении круга изученных месторождений олово будет определено и в рудах иного генезиса.

В золоте из месторождений малых глубин отмечены максимальные концентрации сурьмы, свинца, цинка, марганца, теллура и некоторое снижение содержания мышьяка, висмута и титана. В исследованных образцах золота из близповерхностных месторождений установлены также наиболее высокие содержания меди, но не исключено, что это объясняется геохимическими особенностями рудных регионов, золото которых анализировалось. Повышенные содержа-

ния теллура (до 0,3%) встречены как в золоте месторождений близ-поверхностных, так и глубинных.

Так как состав и содержание примесей в золоте во многом определяются геохимическими особенностями металлогенических провинций и отдельных месторождений, большой интерес представляет сравнение состава, содержания и распределения элементов-примесей в золоте из руд, сформировавшихся на различных глубинах в пределах одних и тех же золотоносных областей. К сожалению, для подобного сопоставления мы располагаем незначительным материалом.

В одной из золотоносных провинций наблюдалось существенное различие в содержаниях элементов-примесей в золоте месторождений различной глубины (табл. 4).

Таблица 4

Содержание элементов-примесей в самородном золоте из месторождений различной глубины двух структурно-металлогенических зон

Зоны	Глубина формирования руд	Число анализов	Содержание, %				
			Cu	As	Bi	Sb	Pb
I	Большая и средняя	28	0,0159	0,0117	0,0006	0,0056	0,0052
	Малая	19	0,0024	0,0273	0,00008	0,0596	0,0215
II	Средняя	13	0,0158	0,1827	0,0014	0,0134	0,0052
	Малая	10	0,2780	0,0534	0,0344	0,0518	0,0474

Примечание. Содержание вычислено по формуле максимального правдоподобия.

В месторождениях и рудопроявлениях больших и средних глубин в пределах одной из структурно-металлогенических зон указанной провинции средние содержания в золоте висмута и меди на порядок выше, а свинца и сурьмы на порядок ниже, чем в золоте из месторождений предположительно малых глубин. Различия в средних содержаниях мышьяка незначительны. В то же время количество мышьяка в золоте резко колеблется в месторождениях, сформировавшихся на близких глубинах, но в районах с неодинаковой интенсивностью мышьяковой минерализации.

В соседней структурно-металлогенической зоне в близповерхностных месторождениях средние содержания в золоте сурьмы, меди, висмута, свинца существенно выше, а мышьяка ниже по сравнению с золотом в месторождениях средних и переходных к малым глубин. Таким образом, для рассматриваемой провинции повышенные содержания сурьмы и свинца в золоте являются типоморфными для близповерхностных месторождений; содержания меди и мышьяка определяются геохимическими особенностями рудных полей.

Для месторождений средних глубин в пределах разных структур-

но-металлогенических зон, как и для месторождений близповерхностных, распределения содержаний элементов-примесей весьма близки, а для месторождений различной глубины в пределах одной зоны существенно различаются по величине и знаку асимметрии (рис. 13).

Для золота месторождений предположительно малых глубин в пределах первой зоны установлена отрицательная линейная корреляция содержаний сурьмы и мышьяка; в месторождениях средних глубин такая связь отсутствует.

Таким образом, глубина формирования месторождений, как известно, наиболее существенно влияющая на термодинамические условия рудоотложения, во многом определяет особенности структуры и состава золота.

В дополнение к ранее известным изменениям этих особенностей по мере уменьшения глубины формирования оруденения отмечены: развитие мелкой зернистости среди золота близповерхностных месторождений в основном за счет перекристаллизации; более умеренное, чем представлялось прежде, двойникование зерен золота в месторождениях различной глубины; проявление четкой зональности у золота не выше 780 пробы, неясной — не выше 830 пробы; увеличение на порядок выборочной дисперсии содержаний серебра в золоте малоглубинных месторождений; возрастание числа золото-серебряных фаз, выделяющихся в составе продуктивной ассоциации на разных ступенях минерального равновесия; увеличение набора элементов-примесей в золоте одного месторождения и возрастание их содержаний.

ПРИЗНАКИ СТАДИЙНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ

Чем более сложным — многоэтапным или многостадийным — было формирование золотых руд, тем более многократным и разнообразным воздействиям подвергалось самородное золото. Повышение в начале каждой новой стадии температуры рудообразующих растворов, несущих новые порции золота или незолотоносных, способно вызвать перекристаллизацию относительно крупных и дезинтеграцию и растворение дисперсных частиц золота. Перестройка структурного плана территории обуславливала механические напря-

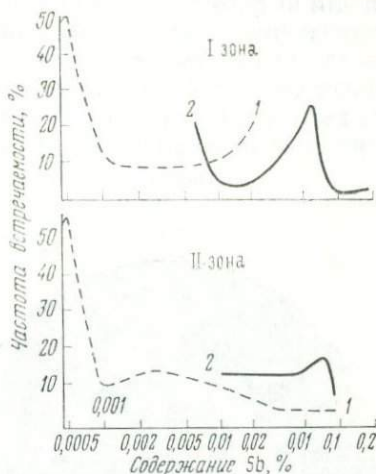


Рис. 13. Кривые распределения содержаний Sb в самородном золоте из среднеглубинных и субвулканических месторождений, расположенных в двух различных структурно-металлогенических зонах Средней Азии:

1 — в месторождениях средних глубин; 2 — в месторождениях близповерхностных

жения, а проявления интравудного магматизма — термические воздействия на золото. Все это приводило к частичной или полной перекристаллизации и переотложению раннего золота и выделению более поздних его генераций.

Общая закономерность при многостадийном формировании оруденения — возрастание числа обособленных фаз твердых растворов или интерметаллических соединений ряда золото — серебро, различающихся временем отложения из растворов и, возможно, в отдельных случаях генезисом (гидротермальным и, предположительно, метаморфогенным), размерами, формой, структурой, составом выделений и условиями локализации в рудах. Отнести разновозрастное золото к одной или различным стадиям оруденения можно только, учитывая все геолого-структурные и минералогические данные.

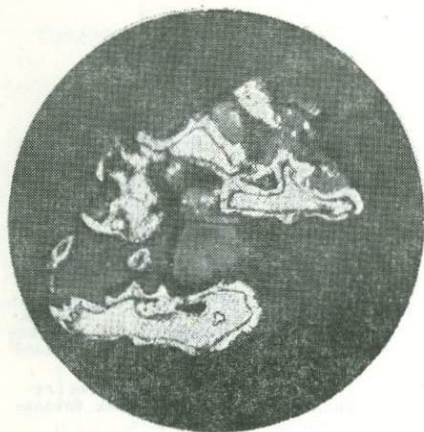


Рис. 14. Обрастание раннего золота поздним. Раннее золото утратило зональность; в нем появились высокопробные выделения. Монтированный шлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 300.

Широко распространено в месторождениях различных формаций описанное Н. В. Петровской (1973) и другими тонкодисперсное золото ранней продуктивной стадии и преимущественно более крупное золото, связанное с поздней полиметаллической стадией. Как отмечается многими исследователями, в местах пересечения прожилками, сложенными минеральным комплексом этой стадии, участков с ранней золотоносной минерализацией наблюдается обогащение руд золотом. Четкие временные критерии удается получить при наблюдениях над сростками золота различных генераций.

Описанные взаимоотношения золота различных генераций наблюдались автором в рудах месторождений различной глубины в ряде золотоносных провинций.

В близповерхностных золото-серебряных месторождениях более позднее золото часто нарастает без признаков коррозионных взаимоотношений на раннее, примыкает к нему или образует сплошные прерывистые зоны. Раннее золото при этом обычно испытывает частичную перекристаллизацию: оно в той или иной степени утрачивает первичное зональное строение, приобретает пятнистую гетерогенную структуру; в результате распада твердого раствора в нем нередко появляются обособления иной фазы, обычно весьма высокопробной, — каплевидные, дендритовидные, угловатые неправильные с извилистыми границами (рис. 14).

В рудопроявлениях больших глубин золото по контактам с более поздним золотом обнаруживает неоднородное пятнистое строение; двойники в нем расщепляются (см. рис. 3).

Позднее золото в месторождениях различной глубины также выделяется по межзерновым промежуткам в дезинтегрированном раннем золоте или корродирует его (см. рисунки 2, 10). Позднее золото полностью выполняет межзерновые промежутки в метаморфизованном золоте или выделяется по границам зерен в виде мелких каплевидных и пленочных обособлений. Закономерное изменение в составе элементов-примесей (например, повышенные содержания сурьмы, свинца, ртути) у раннего золота с включениями более позднего позволяет предположить, что последнее привнесено новыми порциями рудоносных растворов.

Н. В. Петровская (Особенности самородного золота..., 1971) для одного из близповерхностных месторождений считает наиболее вероятным образование позднего низкопробного золота за счет перетолжения дисперсного золота в процессе метаморфизма.

В природных условиях, по-видимому, могут встретиться оба этих случая. С перетолжением дисперсного золота и выделением золота из новых порций золоторудных растворов может быть связано и образование сплошных и прерывистых каемок на золотилах. Образование поздним золотом раннего часто сопровождается коррозией последнего.

В раннем золоте вдоль контакта его с более поздним часто образуется узкая зона промежуточного состава с расплывчатой внутренней и резкой наружной границами.

На близповерхностных месторождениях оболочка на некоторых выделениях золота сплошная или прерывистая, более высокопробная, чем центральное ядро. Ее внутренние границы резкие, неровные, извилистые или представляют собой узкие зоны с пылевидными включениями рудных минералов (см. рис. 14). Центральные части выделений обычно утрачивают зональную структуру, свойственную золоту этих месторождений. Иногда травлением выявляется мелко-

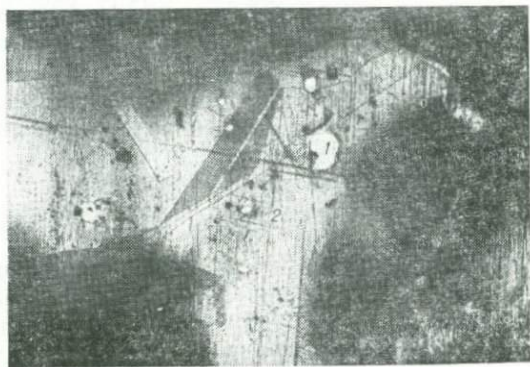


Рис. 15. Реликты более высокопробного раннего золота (1) в позднем (2). Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 50.

зернистая, с зональным строением зерен структура внешней оболочки.

Распространены случаи замещения раннего золота поздним. От раннего золота остаются реликты, окруженные золотом с существенно иной пробой и структурой (рис. 15). Замещение идет по ослабленным направлениям — трещинам, границам зон. В участках совмещения разновозрастного оруденения наблюдается также золото с промежуточной пробой и структурой. Оно встречено непосредственно по контакту золота различных генераций и в виде обособленных выделений. Так, на одном из рудопроявлений в кварцевых жилах преобладает среднезернистое золото пробы 780—820; проба более раннего крупнозернистого золота с признаками перекристаллизации 890—920. По контакту зерен пробы 830 и 900 встречены зерна пробы 865; средне- и крупнозернистое золото пробы 850—870 развито не только в этой жиле, но и на всем рудном поле.

Распределение серебра в золоте одной генерации соответствует нормальному, дисперсия пробы низкая. В выборках с данными анализов золота нескольких генераций или разного генезиса распределение серебра отклоняется от нормального, а дисперсия пробы возрастает (см. табл. 4).

А. Е. Ферсман (1939 г.) указывал на изменение состава золота в процессе рудоотложения: чем ниже температура, при которой начинается выделение золота, тем выше содержание в нем серебра. Для каждого жильного комплекса с золотом нескольких генераций позднее золото становится более высокопробным, чем раннее.

Сравнительное изучение состава и внутреннего строения золота из месторождений, сформировавшихся в различных геологических условиях, позволило подтвердить на ряде примеров закономерности, отмеченные А. Е. Ферсманом. Однако наблюдались многочисленные проявления и обратной зависимости. Там, где условия формирования рудных тел изменяются с течением времени от более глубинных к менее глубинным, обычно наблюдается понижение пробы золота более поздних генераций.

Повышение пробы золота от ранних его генераций к поздним происходит преимущественно в месторождениях близповерхностных и гипабиссальных, реже — в переходных от мезабиссальных к менее глубинным. Эта закономерность присуща только месторождениям с повышенными содержаниями сульфидов, связывающих часть серебра, и месторождениям с развитием поздних, содержащих теллуриды, продуктивных ассоциаций. К теллуридам бывает приурочено наиболее высокопробное золото. Внутри одной ассоциации проба золота часто зависит от минерала-хозяина и возрастает в ряду кварц — сульфиды — теллуриды.

В убого- и малосульфидных месторождениях различной глубины проба золота, как правило, понижается к концу процесса минералообразования или изменяется во времени незакономерно, в зависимости от состава минеральной ассоциации, с которой золото связано. Проба золота одной генерации в значительной степени зависит от вариаций минерального состава вмещающей среды и уменьшается

в ряду кварц — сульфиды и теллуриды — кварц — сульфиды. В месторождениях, где формирование оруденения протекало в два этапа, золото, связанное со вторым этапом, обычно более низкой пробы. Это может быть связано не только с изменением окислительно-восстановительной обстановки во время рудоотложения и изменением состава рудообразующих растворов, но и с упорядочением структуры раннего золота и удалением из него серебра в процессе интраминерализационной перекристаллизации.

Комплекс и содержание элементов-примесей в золоте различных стадий и даже этапов рудоотложения в месторождениях больших и средних глубин не всегда имеют значимые отличия. Последние обычно заключаются в появлении в более позднем золоте ряда элементов, характерных для сульфидов полиметаллов, сульфосолей, реже теллуридов. Напротив, в близповерхностных месторождениях золото различных генераций, как правило, отличается по составу примесей. Там, где формирование оруденения было двухэтапным, распределение содержаний некоторых элементов, входящих в золото в виде тонких минеральных примесей (сурьмы, свинца, мышьяка), не подчиняется нормальному и логнормальному законам, так как происходит искусственное объединение двух различных распределений. Кривая распределения в этих случаях двумодальная. В то же время распределение тонких примесей в золоте отдельно взятых близповерхностных месторождений первого и второго этапов приближается к нормальному и логнормальному законам и различается только по знаку асимметрии и величине эксцесса.

Так, установлено, что в одной из структурно-металлогенических зон золотоносной провинции распределение сурьмы в золоте близповерхностных месторождений соответственно первого и второго этапов оруденения логнормальное; асимметрия положительная для месторождений первого этапа и отрицательная для месторождений второго этапа (см. рис. 13). В целом для всех близповерхностных месторождений этой зоны распределение сурьмы в золоте логнормальному закону не подчиняется. В месторождениях, где на одном уровне в настоящее время совмещено оруденение, сформировавшееся предположительно на разных глубинах, золото разных этапов рудообразования также различается по составу и содержанию тонких примесей (появление повышенных концентраций сурьмы в менее глубинном золоте и т. п.).

Золото различных генераций, связанных с разными минеральными ассоциациями в пределах одной стадии рудоотложения, как правило, отличается менее резко по структуре и составу. Однако в ряде случаев в близповерхностных месторождениях эти различия весьма значительны. Так, на одном из золото-серебряных рудопроявлений в рудах одностадийного адуляр-кварцевого минерального комплекса встречены три четко разграниченные фазы золота (в порядке их выделения): крупнозернистое и монокристалльное золото пробы 500—600, более низкопробное (300—450) тонкозональное и золото пробы 735 с неяснозональным и незональным строением. В продуктивных ассоциациях более позднего галенит-сфалерит-кварцевого

минерального комплекса отмечено несколько более раннее незональное пробы 770 и высокосеребристое (250—600) зональное золото.

Даже в одной минеральной ассоциации состав и структура выделений золота, отлагавшегося на разных ступенях минерального равновесия, могут резко отличаться.

Выше упоминалось о понижении пробы и появлении признаков зонального строения у золота из месторождений больших глубин по мере удаления от рудоконтролирующих структур.

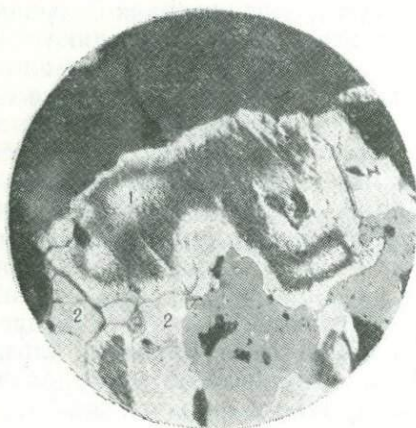


Рис. 16. Срастание зонального кюстелита (1) с низкосеребристым незональным золотом (2) в близповерхностном золото-серебряном месторождении. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 230. Снимок А. Н. Некрасовой.

типично развитие неоднородных, но не распавшихся на отдельные фазы (или распавшихся лишь частично) выделений золота, отдельные частицы которого даже в одной минеральной ассоциации имеют различную пробу.

В целом для золота разных стадий типичны чередование обрастания и коррозии раннего золота поздним; цементация дезинтегрированных агрегатов раннего золота; существенные признаки перекристаллизации внутреннего строения зерен последнего, возникновение структур частичной перекристаллизации и зон с промежуточным составом; признаки резкого перерыва между отложением золота, иногда зафиксированного развитием тонкозернистых сульфидов на поверхности раннего золота до выделения на нем позднего. Золото, связанное с различными стадиями и этапами рудоотложения, как правило, имеет значимые (при $q=0,01-0,05$) различия средней пробы. Наблюдаются отклонения от нормального закона распределения содержаний серебра и ряда тонких примесей в сростках или смеси золота разных генераций.

А. Н. Некрасовой (Некрасова, Шохор, 1974) установлено на одном из близповерхностных месторождений присутствие самородного золота и кюстелита с содержанием серебра 37—41, 60, 84% и показано, что высокая дисперсия пробы золота обусловлена присутствием в выборках трех указанных разновидностей его выделений (рис. 16). Интересно, что такое резкое обособление золото-серебряных фаз наблюдается в относительно более древних (меловых) близповерхностных месторождениях вулканогенных поясов. Для золота более молодых месторождений ти-

Интраминерализационная и пострудная перекристаллизация самородного золота проявлена чрезвычайно широко, и трудно найти рудопроявление или месторождение, где бы она не наблюдалась хотя бы в незначительной степени. Различия объясняются причинами, вызвавшими перекристаллизацию, масштабами и интенсивностью ее развития.

В главе I рассмотрены признаки перекристаллизации, проявляющиеся в изменениях внутреннего строения частиц золота, содержания и распределения в них серебра. В этом разделе остановимся лишь на некоторых моментах, не затронутых выше.

При контактовом метаморфизме в ряде случаев происходит изменение морфологии золота. На одном золото-молибденитовом близповерхностном рудопроявлении на расстоянии 1—2 м от пострудной дайки наблюдались преобразования формы мелких золотин: притупление ребер и вершин кристаллов и появление округленных каплевидных и дробевидных частиц. Иногда внутри таких золотин находились изолированные редкие угловатые мелкие зерна, аналогичные рекристаллизованным. Возможно, такое же влияние оказывает сильный прогрев при внедрении более крупных магматических тел и на крупные выделения золота.

И. И. Шафрановский и К. М. Малкова (1950 г.) считают, что округление кристаллов, связанное с появлением граней с малой ретикулярной плотностью, может быть вызвано частичным растворением золота. Н. В. Петровская (1973) указывает, что это один из вероятных способов формирования каплевидных частиц золота при многократной интраминерализационной перегруппировке рудного вещества.

Усложнение форм растущих кристаллов золота, по Н. В. Белову (1966 г.), может быть связано с процессом освобождения их от примесей; при этом ребра куба или октаэдра притупляются развивающимися гранями (110). Известно, что вынос серебра характерен для золота, испытавшего метаморфизм (Моисеенко, 1965, 1966; Моисеенко и др., 1974).

Действительно, октаэдры и кубооктаэдры с притупленными ребрами и вершинами, а также сложные изометричные с выпуклыми гранями кристаллы, каплевидные и дробевидные золотины нередко содержат минимальные примеси серебра (4—6% и ниже) как вблизи пострудных малых интрузий, так и в надинтрузивных толщах, возможно испытавших длительное прогревание в результате внедрения гранитоидных массивов (некоторые месторождения, локализованные в углистых толщах, на площадях развития гранитоидного магматизма).

Один из характерных признаков частичной и полной перекристаллизации золота без изменения его состава — возникновение структур рекристаллизации. Последняя представляет собой частный случай перекристаллизации и приводит к развитию более мелких, чем

первичные, угловатых зерен с обилием обрывающихся двойников (см. рис. 9, а, б, в).

Н. В. Петровской и А. И. Фесталовичем (1952, 1955) было доказано возникновение структур рекристаллизации в участках пластических деформаций россыпного золота. Как показали наблюдения автора, в эндогенных условиях в той или иной степени рекристаллизованное золото также обычно появляется в местах, где оно могло быть механически деформировано: в участках интенсивной пострудной трещиноватости руд, развития зеркал скольжения, в зонах тектонических нарушений.

В природных условиях, по-видимому, в результате значительно более длительного нагревания и медленного охлаждения структуры рекристаллизации менее характерны для перекристаллизованного при нагревании золота, чем это наблюдается в искусственных сплавах. При контактовом воздействии на руды магматических тел чаще происходит дезинтеграция или укрупнение золотинок, исчезновение двойников (Моисеенко, 1964; Моисеенко и др., 1974; и др.).

В близповерхностных месторождениях скорее могут возникнуть условия для более быстрого прогрева и охлаждения, поэтому структуры рекристаллизации в зонах контактового метаморфизма наблюдаются в них чаще.

В ряде случаев участки рекристаллизации на фоне первичных зерен появлялись при расширении и взрывах газовой-жидких включений в золоте.

Различные по интенсивности и конкретным проявлениям преобразования структуры золота наблюдались на золото-серебряных близповерхностных месторождениях. Начальные стадии перекристаллизации, выражающиеся в появлении гетерогенных пятнистых структур или, напротив, в исчезновении первичных пятен и в приобретении одинаковой ориентировки зернами в агрегатах золота, типичны для участков с гидротермальным прогревом руд (наложением более поздних стадий минерализации) и для зон небольших механических деформаций. Интенсивные термические и механические воздействия приводили к более специфическим проявлениям перекристаллизации золота.

При гидротермальном прогреве (наложении минеральных ассоциаций более поздних стадий) пятна, различающиеся по содержанию серебра, приобретали полигональные, овальные и изометричные формы; на их месте возникали также участки полиэдрической зернистости (рис. 17).

При наложении еще более поздних ассоциаций наблюдаются начальные стадии дезинтеграции вновь возникших зернистых агрегатов золота: появление широких глубоко протравливающих границ, образование двойных границ вокруг зерен. Начальная дезинтеграция указывает здесь на повторное проявление перекристаллизации.

На этой стадии перекристаллизации в ряде месторождений иногда отмечается статистически значимое, но незначительное возрастание пробы золота (на 20—30 единиц), но обычно оно наблюдается

(см. рис. 8) только в краевых частях золотин или отдельных зерен в агрегатах (так называемые «диффузионные зоны»). Образование таких зон описано в работе Н. В. Петровской и др. (Особенности самородного золота..., 1971).

а

б

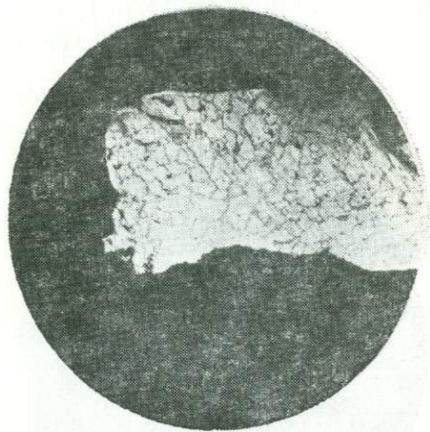


Рис. 17. а — структура частичной перекристаллизации зонального золота: возникновение пятнистых структур и мелкой, близкой к полиэдрической, зернистости. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 30;

б — структура полной перекристаллизации золота: возникновение мелкой, местами полиэдрической, зернистости. Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 70.

При интенсивных деформациях в участках дробления руд в золоте появляются зоны линий скольжения. Пятна приобретают угловатые очертания, образуются узкие изгибающиеся двойники, полисинтетические двойники и двойники прорастания, и в некоторых зернах структура становится аналогичной структуре рекристаллизации. Последняя развивается также в зонах трансляций, уничтожая линии скольжения, подобно тому как это происходит в золоте из россыпей.

Была прослежена различная направленность преобразований зональных структур золота. Установлено, что перекристаллизация зонального золота с утратой им зонального строения происходит в различной последовательности: 1) распад зон на пятна; обособление их в зернистые агрегаты типа полиэдрически-зернистых или рекристаллизованных (рис. 18); частичная дезинтеграция полиэдрически-зернистых агрегатов; 2) слияние пятен и приобретение ими одинаковой ориентировки; зональные монокристаллы становятся незональными; 3) слияние зон без распада на пятна. Сначала образуются неяснозональные структуры в результате слияния соседних зон и возникновения на месте четких межзональных границ более расплывчатых. Затем состав зон окончательно выравнивается, границы между ними исчезают. Часто при этом в центральной части зерна остается неправильное пятно с расплывчатыми границами и другой пробой (рис. 19).

На одном из рудопроявлений отмечено, что золото, заключенное

в карбонаты и сульфиды, сохраняло зональную структуру, а золото, выполняющее интерстиции в кварце, было перекристаллизовано. Оно приобрело равномерную мелкозернистую, а в ряде золотин полиэдрически-зернистую структуру; вокруг частиц золота образовалась за счет выноса серебра тонкая, но четкая диффузионная зона (рис. 20). Интенсивность травления и окраска зернистого агрегата изменялись зонально, хотя границы этих остаточных зон очень размытые.

Перекристаллизация зонального золота, как правило, интраминер-

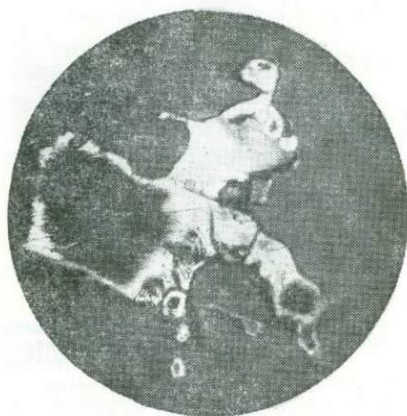


Рис. 18. Структура частичной перекристаллизации зонального проволочковидного золота: распад зон с образованием пятнистых структур и участков рекристаллизации. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 70.

Рис. 19. Структура частичной перекристаллизации зонального золота: слияние зон. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 50.

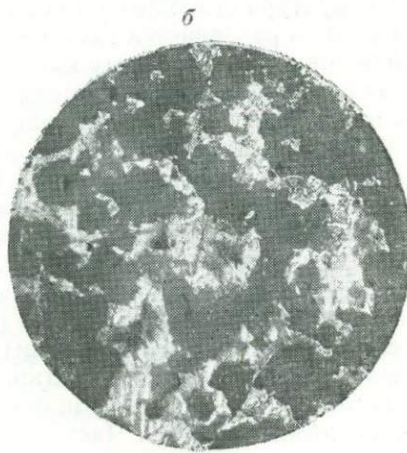
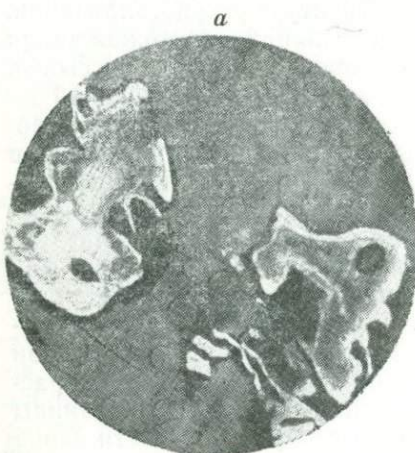


Рис. 20. *a* — зональное золото из карбонатов и сульфидов (близповерхностное месторождение); *б* — перекристаллизованное мелкозернистое золото из кварца (близповерхностное месторождение). Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 110.

рализационная, так как между зернами золота и на его поверхности выделяется более позднее низкопробное зональное золото.

В ряде случаев серии прожилковидных выклинивающихся выделений зонального низкопробного золота располагаются веерообразно, кулисообразно и спиралеобразно (рис. 21), как бы проникая в раннее золото по ослабленным направлениям, которыми могли быть границы исчезнувших при метаморфизме зон или линии скольжения (Николаева, Бадалова, 1970).

Один из признаков перекристаллизации золота — возникновение двойников. В близповерхностных месторождениях в деформированных рудах отмечено появление в центральных частях зерен золота широких пластинчатых двойников, расщепляющихся на ряд более тонких, которые обрываются, не доходя до границ зерна.

На искусственных срезах золотин возникали двойники, узкие, субпараллельные, часто изогнутые и ориентированные поперек среза. По контакту золота двух генераций в более раннем золоте, как упоминалось при рассмотрении признаков стадийности отложения золота, иногда образуются двойники, ориентированные перпендикулярно или под углами к контакту, но всегда субпараллельные друг другу в пределах одного зерна. В отдельных случаях в золоте более ранней генерации по контакту с поздним происходит распад (расщепление) зерна на ряд двойниковых полосок. Несколько дальше от границы в раннем золоте образуется пятнистая структура (см. рис. 3).

Структуры распада твердого раствора отмечены преимущественно у золота из близповерхностных месторождений. Наиболее часто они представляют собой мелкие обособления внутри зерен золота, полностью или частично утратившего зональную структуру, — дендритовидные, амебовидные, каплевидные, шаровидные, линзовидные и неправильные угловатые, часто с выпуклыми или вогнутыми границами (см. рис. 7). Проба таких обособлений обычно весьма высокая (950—990) и окраска нередко розовая за счет повышенных содержаний меди.

На некоторых рудопроявлениях наряду с появлением в золоте мелких обособлений наблюдается возникновение участков, сложенных полиэдрическими зернами или агрегатом округлых зерен, внешние зоны которых выполнены высокопробным золотом, а центральные части зерен — низкопробным или высокосеребряным золотом.

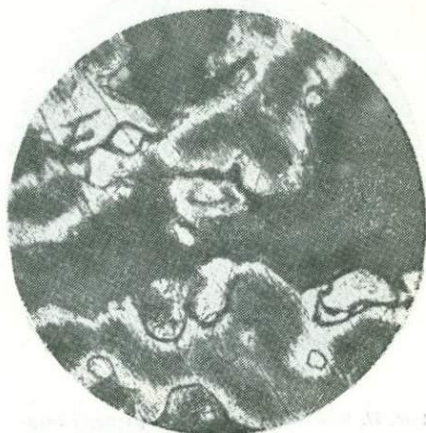


Рис. 21. Выделение зонального золота второй генерации по ослабленным направлениям в раннем золоте. Монтированный шлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 300.

Высокопробные зоны образуют характерные ячеистые или сотовые структуры (рис. 22).

В россыпях у золота с повышенным содержанием меди в ряде случаев отмечены структуры распада твердого раствора с неправильными по форме и различными по размерам петельчатыми обособлениями, сложенными более низкопробным, с высокими содержаниями меди золотом.



Рис. 22. «Сотовые» структуры распада твердого раствора самородного золота. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 300. Снимок В. В. Крыловой.

Повторные термические и динамические воздействия вызывают дальнейшую перекристаллизацию золота, что было подтверждено экспериментально (см. гл. I).

Если деформации подвергались зерна с петельчатыми структурами, в процессе нагревания под давлением строение их становилось гомогенным. При нагревании золота при нормальном и повышенном давлении наблюдалось укрупнение рекристаллизованных и полиэдрических зерен без утраты их конфигурации. Поэтому такие структуры, сохранившие характерный облик, но отличающиеся крупными размерами зерен, можно, очевидно, рас-

сматривать как результат собирательной рекристаллизации при повторном метаморфизме. В некоторых случаях она могла происходить самопроизвольно в течение длительного геологического времени (месторождения байкальского возраста).

Один из характерных, но сравнительно мало распространенных признаков перекристаллизации — присутствие реликтов более раннего золота в более позднем. При этом в изученных автором образцах золота из месторождений больших и средних глубин реликты были мелкими, неправильной округленной или угловатой формы и сохраняли пробу, присущую золоту ранней генерации (см. рис. 15). Проба окружавшего их более позднего золота в ряде случаев была промежуточной между пробой, типичной для раннего и позднего золота (например, проба раннего золота 860—900, позднего 760—790, реликтов раннего золота 860—910, а включающей его золотины — 820—840).

В близповерхностных золото-серебряных месторождениях были встречены в отдельных случаях не только мелкие, но и относительно крупные (одного порядка с более поздними выделениями) включения более высокопробного незонального золота в низкопробном зональном. Крупные реликты имели округленные формы и резко отличались по пробе и рельефу от позднего золота. Признаков коррози-

онных взаимоотношений одновременного золота при этом не выявлено.

Более обычно для указанных месторождений замещение поздним золотом раннего по границам зон роста последнего. В этом случае реликты раннего золота представляют собой ядра внутри зерен позднего золота или линзовидные незамещенные участки, вписывающиеся в контуры вновь образованных зон. Разница в пробе реликтов и позднего золота достигала 325 единиц.

С учетом данных экспериментальных работ, описанных в главе I, к вновь отмеченным признакам эндогенной перекристаллизации золота следует отнести возникновение мелкой зернистости; развитие структур собирательной перекристаллизации и слияние зерен при повторном метаморфизме; развитие структур рекристаллизации; появление структур распада твердого раствора (в том числе сотовых, пчельчатых) и гомогенизацию при повторном метаморфизме; утрату зонального строения; дезинтеграцию полностью перекристаллизованного золота как признак повторного метаморфизма; гомогенизацию зерен в агрегатах и развитие глубоко протравливающихся границ как характерные признаки частичной перекристаллизации.

Признаки многократных преобразований не только золота, но и других минералов могут быть использованы в качестве типоморфных, указывающих на историю формирования оруденения. Особенно перспективно в этом отношении изучение ковких минералов (аргента и др.), в структуре которых, по данным автора, сохраняются следы пластических деформаций и перекристаллизации.

ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВА ЗОЛОТА ОТ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИИ

Металлогеническая специализация территорий определяет минеральный тип месторождения и отражается, как это указывалось рядом исследователей (Н. V. Warren, R. M. Thompson, 1944 г.; и др.), на содержании в золоте отдельных элементов-примесей.

Хотя форма вхождения тонких примесей в золоте изучена недостаточно, обширный комплекс элементов, типичных для минералов золоторудных месторождений, может присутствовать в золоте в виде тонких механических минеральных примесей. Это обуславливает прямую связь состава золота, определяемого микрохимическими и спектральными методами, с минеральным типом месторождения. Общие закономерности распределения содержаний тонких примесей в золоте неизвестны, поэтому за основу принято распределение примесей, установленное по результатам 360 микрохимических анализов золота из рудных и россыпных месторождений различного типа и возраста, расположенных в ряде золотоносных провинций. Анализы проводились под руководством Ф. А. Ферьянчика по разработанной им методике; характер распределения содержаний примесей изучен И. П. Ланцевым.

В указанной генеральной совокупности распределение большин-

ства примесей логнормальное; количество определений сурьмы и теллура недостаточно и закономерности только намечены. Кривая распределения меди двумодальная, что, вероятно, связано с присутствием меди в золоте в качестве изоморфной примеси (или интерметаллического соединения) и в составе минеральных включений.

Автором на основании результатов более 400 микроспектральных анализов, выполненных И. П. Ланцевым и Л. К. Денисовой по методике И. П. Ланцева, изучены распределения содержаний элементов-примесей в золоте отдельных золотоносных провинций, рудопроявлений и месторождений. Установлено, что в выборках с анализами золота одной генерации распределение содержания большинства элементов соответствует нормальному закону. Распределение элементов-примесей, которые могут входить в кристаллическую решетку золота и присутствовать в нем в виде тонких минеральных включений (меди, свинца), часто двумодально. В изученных регионах распределение примесей в золоте не только повторяет в основном общие закономерности, но и характеризуется рядом особенностей.

Так, в одной золотоносной провинции наблюдаются отклонения от нормального распределения некоторых примесей (свинца, мышьяка) в золоте, относящемся к одной генерации в близповерхностных месторождениях. Зная о слабой способности этих элементов образовывать с золотом твердые растворы замещения и об отчетливой связи их содержаний с составом парагенетических ассоциаций в рудах, можно предположить, что в близповерхностных месторождениях создаются условия, благоприятные для возникновения твердых растворов внедрения из-за дефектов кристаллической структуры золота (Петровская, 1969₂).

Выделяются отдельные провинции или рудные районы, для которых характерны определенные примеси в золоте — ртуть, теллур, олово. Присутствие специфических примесей может быть связано как с наличием минералов этих элементов в продуктивных ассоциациях или минеральных комплексах, их вмещающих (теллур, мышьяк, висмут), так и с присутствием чуждых ассоциаций, пространственно совмещенных с золотоносными (вольфрам, олово).

Металлогеническая специализация провинций сказывается на количестве в золоте отдельных элементов-примесей. Повышенные содержания в золоте меди, олова и мышьяка отмечены в районах соответственно с медной, оловянной и мышьяковой минерализацией. При этом распределение мышьяка, как правило, не зависит от глубины формирования месторождений; оно аналогично для месторождений разных глубин, но с одинаковой интенсивностью мышьяковой минерализации. Корреляция содержаний различных примесей также зависит от геохимической специфики района. Так, для месторождений различного возраста и разной глубины в одной из структурно-металлогенических зон существует тенденция к положительной линейной корреляции содержаний свинца и мышьяка. Для соседних структурно-металлогенических зон той же золотоносной провинции такая тенденция отсутствует.

Металлогеническая специализация территорий на протяжении

нескольких этапов рудообразования в ряде случаев не изменяется. При этом состав элементов-примесей остается практически постоянным, но происходит изменение количества серебра в самородном золоте. В других случаях в соответствии с изменением металлогенической специализации на более поздних этапах развития территории изменяются комплекс примесей, их содержание и распределение. Так, в некоторых провинциях в более позднем золоте появляются примеси ртути, теллура, свинца, реже селена.

Особенности золота зависят и от характера магматических комплексов, с которыми ассоциируется оруденение. Несмотря на то, что доказательства генетической и даже парагенетической связи золоторудных месторождений с определенными проявлениями магматизма, за редким исключением, косвенны, особенности золота соответствуют характеру магматических комплексов, с которыми пространственно ассоциируются месторождения (фациям глубинности магматических образований, их составу, геохимической специализации, возрасту, предполагаемым источникам магматического вещества).

ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТА В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РАЗЛИЧНОГО ВОЗРАСТА

Существенный фактор, влияющий на характер признаков золота, — время его отложения. Н. В. Петровская и А. И. Фасталович (1952) высказали предположение, что золото из месторождений, связанных с поздними металлогеническими циклами, будет отличаться от золота более древних месторождений.

При изучении золота из разновозрастных месторождений выявлена определенная тенденция — при прочих равных условиях, чем древнее золото, тем слабее выражены в нем структуры перекристаллизации, менее гетерогенна его структура и состав. Это обусловлено процессами рекристаллизации, уничтожающей следы пластических деформаций, собирательной перекристаллизации, затушевывающей рекристаллизацию, и диффузии, приводящей к более равномерному распределению примесей.

Наиболее четко гетерогенность структуры и состава золота проявлена в месторождениях мезо- кайнозойского возраста. Изменения особенностей золота во времени особенно хорошо прослеживаются в месторождениях близповерхностных формаций, характеризующихся максимальной неоднородностью структуры и состава самородного золота. Относительно меньшая гетерогенность типична для золота позднепалеозойских месторождений в областях позднеорогенного вулканизма, а наибольшая — для золота, связанного с альпийским рудогенезом.

В месторождениях вулканогенных поясов по мере перехода к более молодым месторождениям масштаб и интенсивность проявления структур частичной перекристаллизации золота отчетливо возрастают. В то же время в относительно древних (меловых) месторождениях четче проявлено обособление фаз самородного золота и кю-

стелита, имеющих резкие границы, определенный состав и неоднородное, для более поздних фаз обычно зональное, внутреннее строение.

ИЗМЕНЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗОЛОТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

По геолого-структурным условиям размещения могут быть выделены две группы месторождений, в которых расшифровка типоморфного значения особенностей золота требует различного подхода.

К первой группе относятся месторождения, расположенные в миогеосинклинальных зонах и не испытывавшие воздействия тектономагматической активизации.

Золоторудные проявления приурочены к областям развития терригенно-осадочных, флишеидных, часто обогащенных углистым веществом толщ с ограниченным развитием магматических пород; рудопроявления нередко находятся на значительном расстоянии от проявлений магматизма. Месторождения в основном сформированы на больших и средних глубинах, реже на небольших глубинах, и относятся к ограниченному числу формаций и минеральных типов. Минеральные комплексы, связанные с различными стадиями и даже этапами рудообразования, весьма сходны и нередко могут быть выделены прежде всего на основании изменения особенностей золота.

Однако именно в этих месторождениях свойства золота наиболее постоянны. Необходимо изучить большое число образцов для выявления признаков перекристаллизации золота, изменения их интенсивности, взаимоотношений золота различных генераций, статистически значимых различий формы, размеров золотинок, их пробы, состава, содержания и распределения элементов-примесей. Именно эти нерезкие, но статистически значимые различия могут в ряде случаев рассматриваться как признаки, указывающие на принадлежность золота к месторождениям различных формаций, минеральных и структурно-морфологических типов.

Ко второй группе относятся месторождения, расположенные в областях, которые характеризуются неоднородным составом пород, вмещающих золотое оруденение, различными по составу и фациям глубинности проявлениями магматизма, разнообразием минеральных типов золоторудных проявлений. К ним относятся преимущественно месторождения близповерхностные и гипабиссальные, минералообразование в которых происходило в быстро меняющихся термодинамических условиях.

Особенности золота значительно изменяются. Даже в пределах одностадийного минерального комплекса золото различных минеральных ассоциаций обычно значительно отличается. Золото, связанное с разными стадиями минерализации, нередко различается более резко, чем золото, отлагавшееся на разных этапах рудообразования в месторождениях первой группы.

Характер изменения золота в месторождениях различных обла-

стей следует учитывать при восстановлении истории формирования оруденения, выявлении типов золотой минерализации и закономерностей их распространения, определении участков с наложением разновозрастной или разнотипной минерализации.

Таким образом, некоторые из типоморфных признаков могут рассматриваться как общие для всех изученных месторождений с близкими условиями образования. Такими признаками являются проявления зонального строения, структуры перекристаллизации, содержания в золоте серебра, сурьмы, состав других примесей, морфология золота, закономерно изменяющиеся в месторождениях различной глубины, генезиса и в рудах, подвергшихся метаморфизму.

Другие признаки золота более частные; они связаны с условиями его образования в пределах золотоносных провинций, структурно-металлогенических зон и отдельных рудных полей. К таким признакам относятся изменения пробы, состав, среднее содержание и характер распределения примесей, зависящие от стадийности и этапности рудообразования и геохимических особенностей района; характер зернистости, двойникования, зональности, присущий золоту различных генераций; взаимоотношения золота различных генераций, отражающие стадийность и этапность рудоотложения, а также не рассматривавшиеся здесь детали морфологии, указывающие на выделение золота в определенной минеральной среде.

Глава III

ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА САМОРОДНОГО ЗОЛОТА В ЭКЗОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Изменение особенностей золота в экзогенных условиях происходит в основном под влиянием механических деформаций, химических и электрохимических воздействий и в результате процессов диффузии.

Остановимся на этих преобразованиях и их типоморфном значении, подробнее охарактеризовав те из них, которые были предметом более пристального внимания — изменения состава и структуры золота в зависимости от времени пребывания его в зоне гипергенеза и последующей механической миграции частиц.

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТА В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ И В ЗОНЕ ОКИСЛЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Н. В. Петровская (1973), С. В. Яблокова (1974) и другие исследователи выделяют в окисленных рудах золото «остаточное», аналогичное золоту первичных руд, но часто в той или иной степени измененное в гипергенных условиях, и вторичное — образовавшееся в корях выветривания и в зонах окисления в результате выделения из мигрирующих в них растворов.

К преобразованиям остаточного золота в корях выветривания упомянутыми авторами относятся растворение и сглаживание выступов поверхности золотин и развитие высокопробных межзерновых прожилков (рис. 23).

Формирование межзерновых высокопробных прожилков Н. В. Петровская (1973) считает кратковременным процессом, отмечая, что нет признаков их возникновения и разрастания в россыпях. Предполагается, что эти прожилки образуются в результате самозалечивания межзерновых полостей, которые возникали при неравномерном сокращении первичного объема зерен золота. Содержание серебра в агрегатах золота не изменяется, поэтому можно предположить, что объемной диффузии серебра в зернах золота в зоне гипергенеза не происходит и полости возникали при диффузии и удалении из золота газов. Последние скоплялись у межзерновых границ, а после их удаления полости залечивались золотом.

Однако эта гипотеза не объясняет, почему диффузия газов с залечиванием межзерновых полостей весьма высокопробным золотом не происходит при внутрирудном метаморфизме золота (регенерированные прожилки, как правило, бывают низкопробными).

В одной из работ автора (Л. А. Николаева, 1968 г.) межзерновые прожилки были названы «краевыми», так как при последующем наложении пластических деформаций они иногда ведут себя как часть одного из контактирующих зерен, разделенных этим прожилком: двойники и линии скольжения продолжают из одного зерна в межзерновой прожилок и обрываются у границы соседнего зерна (рис. 24). Кроме того, сравнительно часты случаи, когда межзерновые прожилки развиваются не между зёрнами золота, а в приповерхностном слое, в том числе и у монокристаллических частиц. Весьма высокая проба золота межзерновых прожилков (950—995) свидетельствует о том, что при их образовании почти все серебро

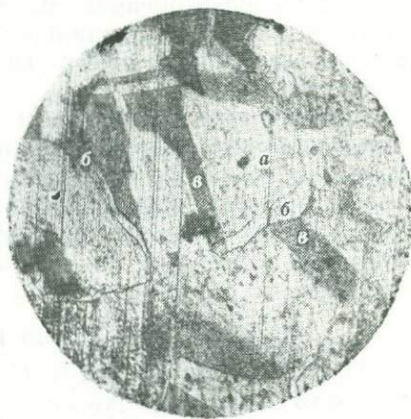
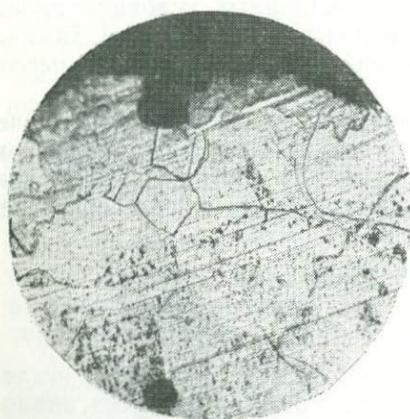


Рис. 23. Межзерновые высокопробные прожилки в золоте. Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 90.

Рис. 24. Взаимоотношение межзерновых прожилков (б), развитых в краевых частях первичных зерен золота (а), с возникшими после деформаций в россыпи двойниками и рекристаллизованными зёрнами (а). Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 60.

выносилось из золотин. В корях выветривания и в мезозойских (реже в нижнечетвертичных) россыпях отмечались межзерновые прожилки, окруженные узкими заливами золота с пониженным, по сравнению с небольшими реликтами первичного золота, содержанием серебра. В отдельных участках древних долин присутствуют золотины, состав которых целиком отвечает составу межзерновых прожилков, а структура их монокристаллическая или зернистая. По-видимому, процесс разрастания межзерновых прожилков в естественных условиях протекает чрезвычайно медленно, поэтому интенсивные проявления его наблюдались только у золота, относительно длительно находящегося в экзогенных условиях. Наиболее значительное разрастание прожилков отмечено у золота, испытавшего интраминерализационную перекристаллизацию и имеющего несколько дезинтегрированную полиэдрически-зернистую структуру (Николаева, 1973), облегчавшую диффузию атомов серебра по границам и поверхности зерен.

Диффузия газовых включений в золоте, как на это указывала Н. В. Петровская (1973), также ускоряет этот процесс, способствуя расширению межзерновых полостей. С. В. Яблокова установила при исследованиях на микрозонде, что количество серебра в зернах золота уменьшается по границе с высокопробными прожилками.

Таким образом, межзерновые прожилки, по-видимому, в основном образуются за счет выноса серебра из самородного золота в процессе самодиффузии. Наличие межзерновых полостей ускоряет удаление серебра с поверхности зерен. Объемная диффузия происходит медленнее и не всегда приводит к заметному изменению состава зерен.

Кроме того, формирование прожилков может быть связано с удалением серебра в процессе диффузии с поверхности только одного из зерен золота. Это приводит к образованию краевых прожилков, расположенных по периферии золотин, а также внутри зернистых агрегатов. В последнем случае, как было указано, высокопробные прожилки при пластических деформациях ведут себя как участки неизмененного зерна.

Наличие высокопробных корродированных оболочек (R. G. Mc Connel, 1907 г., Fisher, 1935; Петровская, Фасталович, 1952, 1955; и др.) считается общей особенностью лишь золота из россыпей.

В результате наблюдений автор считает, что образование межзерновых прожилков и высокопробных оболочек у частиц золота начинается в зоне окисления и корях выветривания и продолжается в россыпях.

Гипотеза М. С. Фишера (Fisher, 1935) о возникновении высокопробных оболочек в результате электрохимической коррозии в настоящее время подверглась критике. Дж. Десборо (G. A. Desborough, 1970 г.) вернулся к предположению, выдвинутому Р. Макконнелом (Mc Connel, 1907 г.), В. И. Вернадским (1922 г.) и др., о выщелачивании серебра из приповерхностных частей золотин. Н. В. Петровская (1973) рассматривает формирование оболочек как результат перекристаллизации, развивавшейся в тончайших припо-

верхностных слоях золота, причем вынос серебра только ускорял изменение структуры этих слоев за счет возникновения дефектов кристаллической решетки золота и в связи с напряжениями, которые образовывались из-за появления вакантных позиций. Представление о процессе возникновения высокопробных оболочек как об одном из типов гипергенной перекристаллизации золота развивалось также

С. В. Яблоковой (Сапрыкин, Яблокова, 1970) и Л. А. Николаевой (1968).

Автором установлено, что перекристаллизация приповерхностного слоя остаточных золотин, сопровождающаяся выносом серебра, начинается в корках выветривания. Этот процесс, известный как коррозия золота, в зоне окисления малосульфидных месторождений с достаточно крупным золотом обычно бывает проявлен слабо и приводит к возникновению тончайшей, нередко прерывистой или зародышевой точечной оболочки, загрязненной гидроокислами железа и придающей матовый блеск поверхности золотин. В аншлифах при

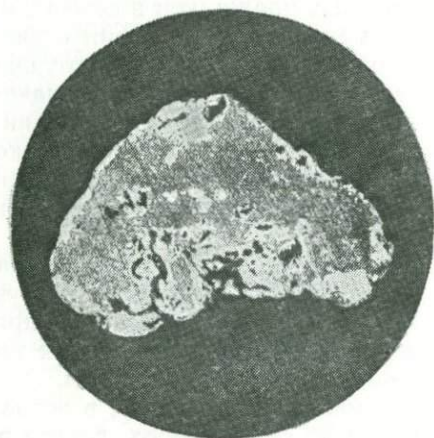


Рис. 25. Корродированная оболочка на золотине из зоны окисления. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 300.

полировке мелкие точечные высокопробные зерна часто утрачиваются. Однако в локальных участках даже в убогосульфидных рудах создаются условия, благоприятные для выщелачивания серебра — обычно по контактам весьма низкопробного золота и кюстелита с окисляющимися сульфидами и особенно с агрегатом рудных минералов различного состава (рис. 25). По-видимому, значение имеет не только повышенная химическая агрессивность среды, но и электрохимические факторы. В таких участках на отдельных близповерхностных месторождениях удавалось видеть весьма мощные (десятые доли миллиметра) высокопробные оболочки на поверхности золотин и даже полностью перекристаллизованное в гипергенных условиях золото. Интенсивная коррозия чаще наблюдается в зонах окисления близповерхностных месторождений с мелким низкопробным золотом. Важную роль играют климатические условия: в умеренных климатических зонах с влажным климатом и в жарких засушливых районах с периодическими осадками коррозия золота в зоне окисления значительно интенсивнее, чем в высоких широтах и районах с резко континентальным климатом. Однако под влиянием морозного выветривания гипергенная перекристаллизация бывает весьма глубокой. Отмечено также ускорение коррозии при соприкосновении с морской водой.

Большое значение имеет фактор времени. В древних корках вы-

ветривания в рифтовых долинах образование высокопробной оболочки наблюдалось как у низкопробных, так и у высокопробных золотин. У первых оно протекало намного быстрее, чем разрастание межзерновых прожилков, и мелкозернистая структура перекристаллизации, характерная для высокопробных оболочек (часто называемых корродированными), преобладала над структурой межзерновых прожилков, представленных здесь тонкопластинчатыми зернами, удлиненными или линзовидными в поперечном разрезе.

Характерно, что форма зерен в высокопробных оболочках золота из кор выветривания часто округленная; двойники в них обычно отсутствуют. Эта особенность, вероятно, связана с тем, что перекристаллизация золота при коррозии происходит здесь без предварительных механических деформаций, приводящих к рекристаллизации.

Недеформированное высокопробное золото корродирует сравнительно слабо, и мощность высокопробной оболочки в этих случаях в корях выветривания незначительна. Полная или почти полная гипергенная перекристаллизация высокопробного золота, наблюдавшаяся в корях, обычно являлась результатом разрастания межзерновых прожилков.

В отличие от процесса образования межзерновых прожилков, вынос серебра при коррозии поверхности золотин происходит не только за счет диффузии (на что указывает возникновение промежуточной зоны между корродированной оболочкой и ядром золотин). Практически к поверхности золота в корях и россыпях имеют доступ рабочие флюиды, и в граничной фазе золотин происходит выщелачивание серебра. В контакте с рудными минералами коррозия ускоряется в результате электрохимических процессов.

В ряде случаев перекристаллизация почти всех частиц золота в корях выветривания может быть полной, реликты «остаточного» золота в центральных частях золотин почти не сохраняются, и единственный признак, оставшийся от первичного золота, — форма его частиц. Золотины не несут следов механической обработки, выступы их поверхности и ее скульптурные формы иногда слегка сглажены растворением.

Более существенные гипергенные изменения морфологии частиц первичного и перекристаллизованного *in situ* золота происходят за счет нарастания на его поверхность вторичного золота (рис. 26).

Кроме сплошных и локальных наростов на «остаточном», вторич-

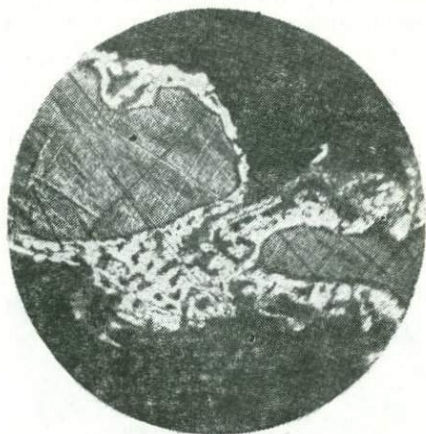


Рис. 26. Наросты гипергенного золота (светлое) и гидроокислов железа на поверхности золотин из зоны окисления. Монтированный аншлиф. Увел. 230.

ное золото образует обособленные выделения в виде кристаллов, дендритов их сростков, агрегатов, пленок, моховидных и натечных образований.

Р. А. Амосов (Амосов, Чувикина, 1974), пришел к заключению, что характерные нитевидные кристаллы и их сростки в естественных условиях обычно присущи золоту, выделявшемуся в зоне гипергенеза, в отличие от гипогенных проволочковидных кристаллов. Типоморфные признаки их детально изучены С. В. Яблоковой (1974; и др.), Н. В. Петровской (1973).

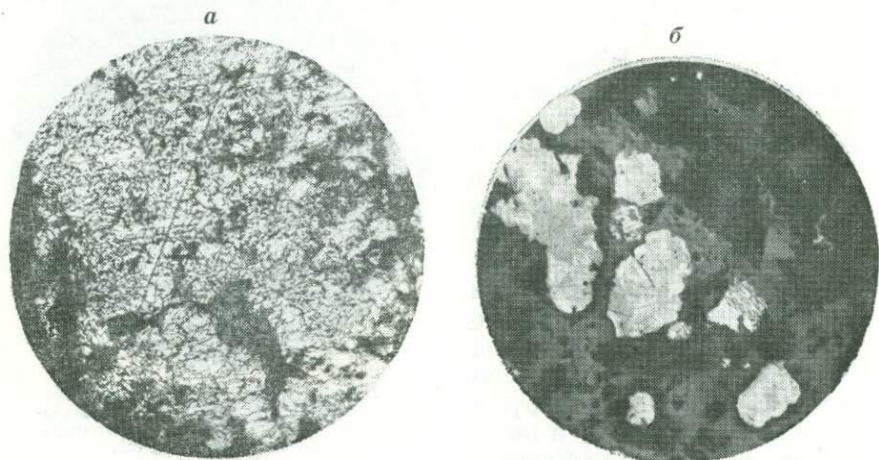


Рис. 27. *а* — вторичное золото, сросшееся с гидроокислами железа. Монтированный аншлиф. Увел. 230.
б — гетерогенная структура вторичного золота, сросшегося с куранахитом. Аншлиф, снятый с синим фильтром. Увел. 530. Снимки С. В. Яблоковой.

С. В. Яблоковой установлено, что вторичное золото, образовавшееся за счет растворения и переотложения тонкодисперсного золота, заключенного в окисляющихся сульфидах, отличается по сумме признаков от вторичного золота, возникшего в результате разложения теллуридов. Последнее имеет, в частности, специфическую гетерогенную многофазную структуру (рис. 27, *а, б*).

С. В. Яблокова на одном из умеренно сульфидных месторождений наблюдала самородки вторичного золота размером до 20 мм. Условия нахождения и характер золота в зоне окисления ряда месторождений (сообщения П. Ф. Иванкина, Н. И. Бородаевского) позволяют считать, что самородки могли быть гипергенного происхождения. Эти данные достаточно убедительны, если принять во внимание масштабы и особенно длительность формирования мезозойской коры выветривания в местах нахождения самородков.

Однако в других районах самородки из зоны окисления и россыпей представлены гипогенным золотом, иногда претерпевшим незначительные вторичные преобразования, ни в коей степени не маскирующие его первичные морфологию, структуру и состав. Данные Н. В. Петровской (1973), проведенное С. В. Яблоковой сравнитель-

ное изучение золота из руд и россыпей, сделанные Е. Я. Синюгиной зарисовки и описания более 1000 самородков из россыпей, наблюдения автора над эндогенным и россыпным золотом ряда провинций однозначно свидетельствуют о гипогенном генезисе самородков.

1. Размеры золота из россыпей сопоставимы с величиной его выделений в рудах (хотя концентрация крупного золота в россыпях в результате сортировки и выноса более легких минералов возрастает).

2. Структура и проба рудного и россыпного золота там, где прослеживается связь россыпей с коренными источниками, аналогичны. Некоторые изменения структуры и состава, связанные с пребыванием в зоне окисления и россыпях, — межзерновые высокопробные прожилки, рекристаллизация в краевых частях самородков, описанная Н. В. Петровской (1973), возникновение линий скольжения, корродированных оболочек, — развиты (за исключением межзерновых прожилков) только по периферии самородков и крупных золотин. Интересно, что даже Н. В. Нестеров, развивающий представление о гипергенном характере самородков, приводит в качестве одного из доказательств именно развитие в золоте высокопробных оболочек и прожилков, т. е. невольно констатирует наличие первичных золотин, имеющих оболочки, и первичных зерен, разделенных прожилками.

3. Взаимоотношения золота с вмещающими минералами (в первую очередь, с кварцем и сульфидами) совершенно идентичны в рудах и в самородках из россыпей. Установлено, что пленки гидроокислов железа легко отслаиваются с поверхности окатанных самородков, обнажая неизмененный жильный кварц с прожилками золота. Свежий кварц и неокисленные сульфиды, равно как и другие первичные минералы руд, нередко бывают заключены в самородках.

4. Самородки и крупное золото в россыпях имеют газовые включения (Л. А. Николаева, 1954 г.), отсутствующие в гипергенном золоте. Состав включений — отсутствие кислорода, соотношение инертных газов и др. (Николаева, 1967; Петровская, Элинсон, Николаева, 1971; Моисеенко и др., 1974) — указывает на гипогенную их природу.

Таким образом, не отрицая возможности возникновения в определенных условиях самородков за счет отложения вторичного золота, приходится утверждать, что в районах с резко континентальным климатом подавляющая часть крупного золота образовалась в первичных рудах. Не исключено, что в формировании крупного золота большую роль играют процессы эндогенной перекристаллизации.

Упомянем еще об одном пути формирования небольших самородков и крупных золотин — это цементация «остаточных» первичных золотин вторичным золотом, а также цементация в россыпях кластогенных частиц золота переотложенным золотом (Петровская, Фасталович, 1952) или природной амальгамой (Попенко и др., 1973). Укрупнение золота в результате этих процессов обычно про-

исходит в локальных участках и имеет небольшие масштабы. Следует еще раз подчеркнуть, что срастания золота с гипергенными минералами могут свидетельствовать о его вторичном генезисе только тогда, когда установлено их близко-одновременное отложение или более позднее выделение золота. Крупное золото в зоне окисления в большинстве случаев «остаточное», а его размеры отражают весьма часто наблюдающееся укрупнение выделений золота в верхних горизонтах рудных месторождений. Только сопоставление совокупности всех признаков золота (морфологии, состава, внутреннего строения) и условий его локализации, а также сравнение их с особенностями золота из первичных руд или «остаточного» позволяет однозначно решить вопрос о гипогенном или гипергенном генезисе золота.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЗОЛОТА В РОССЫПЯХ

В делювиальных, пролювиальных, флювиогляциальных и аллювиальных отложениях происходят изменения морфологии и преобразование структуры и состава золотин, поступивших в водотоки из зон окисления рудных месторождений, зон рассеянной золотой минерализации и кор выветривания.

Изменение морфологии частиц (обмятие, окатанность, истирание) в общем случае зависят от характера вмещающих рудное золото минералов, дальности переноса от коренных источников, первичной морфологии золотин, гидрологического режима водного потока, характера переносимого им кластического материала и ряда других факторов. Некоторые из них рассмотрены в работах Н. В. Петровской (1973), С. В. Яблоковой (Синюгина и др., 1967) и других авторов. С. В. Яблоковой установлены четыре степени изменения морфологии, структуры и состава золота в зависимости от дальности его переноса от коренных источников. Она подчеркивает роль механических деформаций в усилении коррозии поверхности золотин.

Изменение морфологии золота в россыпях связано также с образованием в условиях россыпей так называемого «нового» золота (М. Г. Кожевников, 1935 г.; Петровская, Фасталович, 1952). Последнее обычно имеет низкую пробу (620—750) и отлагается на россыпных золотниках в виде волосовидно-губчатой или мелкобугорчатой пленки, которая в дальнейшем превращается в корочку хорошо ограненных кристаллов.

Появление в циркулирующих в россыпи растворах золота и серебра может быть вызвано рядом причин: расположением россыпи вблизи зоны окисления рудного месторождения (преимущественно с умеренно или существенно сульфидным составом руд и дисперсным золотом), поступлением из окисляющихся сульфидов, вкрапленных в породы, растворением поверхности золота в процессе коррозии. При общих незначительных масштабах переотложения золота проявления этого процесса резко различны по интенсивности на площадях распространения разнотипного золота. Благоприятное

условие для образования «нового» золота — присутствие легко растворимого мелкого и дисперсного золота, заключенного в сульфидах. Процессы переотложения развиты в пределах зон золотоносных минерализованных сульфидами пород и почти отсутствуют в областях развития кварцевых жил и россыпей с крупным высокопробным золотом.

Благоприятным фактором, способствующим восстановлению золота из растворов, является плотик, сложенный углистыми или карбонатными породами.

Золото, химически переотложенное в условиях россыпи, во всех наблюдавшихся случаях имело более высокое содержание серебра, чем первичное золото на том же участке россыпи. Это, вероятно, объясняется присутствием сильных восстановителей (углистых пород плотика, сульфидов) в участках россыпи, где происходило отложение «нового» золота. Осаждаясь из растворов, золото захватывало серебро, с которым у него сходные пути миграции.

Изменение внутренней структуры золота в россыпях прежде всего сказывается в коррозии поверхности золотинок. В результате наблюдений автор приходит к выводу, что коррозия усиливается в участках, где можно предполагать циркуляцию химически более активных растворов: в присутствии окисляющихся сульфидов, глинистых минералов коры выветривания и т. д. (Николаева, 1967). Как и в зоне окисления, в россыпях коррозия протекает интенсивнее в участках золотинок с включениями окисляющихся сульфидов. С. В. Яблоковой (Синюгина и др., 1967) установлено, что в одной и той же россыпи глубина коррозии (мощность высокопробной оболочки) увеличивается по мере возрастания степени окатанности золотинок. Сильные пластические деформации поверхностного слоя приводят к интенсивной его рекристаллизации, которая способствует выносу серебра и разрастанию высокопробной оболочки.

Интенсивная коррозия характерна и для россыпей, в которых золото обмято в результате сильных механических ударов крупного кластического материала: аллювиальные россыпи с крупными валунами, россыпи, содержащие ледниковые отложения.

Глубина коррозии зависит от времени поступления золота в россыпь из коренного источника. Это было отмечено А. П. Переляевым (1953) и подтвердилось практически во всех изученных золотоносных провинциях. Однако абсолютные и относительные (в процентах к площади поверхностного среза золотинок) величины высокопробных оболочек разновозрастного золота значительно варьируют в различных районах, отдельных россыпях и даже в одной россыпи у золота, поступавшего из разнотипных источников.

Более глубокая коррозия наблюдается у золота низкопробного, интенсивно деформированного, в районах с влажным и относительно теплым климатом. Только при прочих равных условиях толщина корродированной оболочки указывает на время пребывания золота в россыпи (рис. 28, а, б):

Строение высокопробной оболочки золотинок из россыпей, в отличие от золотинок из кор выветривания, очень часто имеет признаки ре-

кристаллизации (наличие неправильных угловатых зерен, обилие обрывающихся двойников). Границы высокопробной оболочки и первичного неизмененного зерна коррозионные — отдельные мелкие зерна оболочки вторгаются в первичное зерно, образуя выступы, часто с кристаллическими очертаниями. Границы высокопробной оболочки и рекристаллизованных зерен, расположенных внутри первичных, в ряде случаев прямолинейные, без признаков коррозии

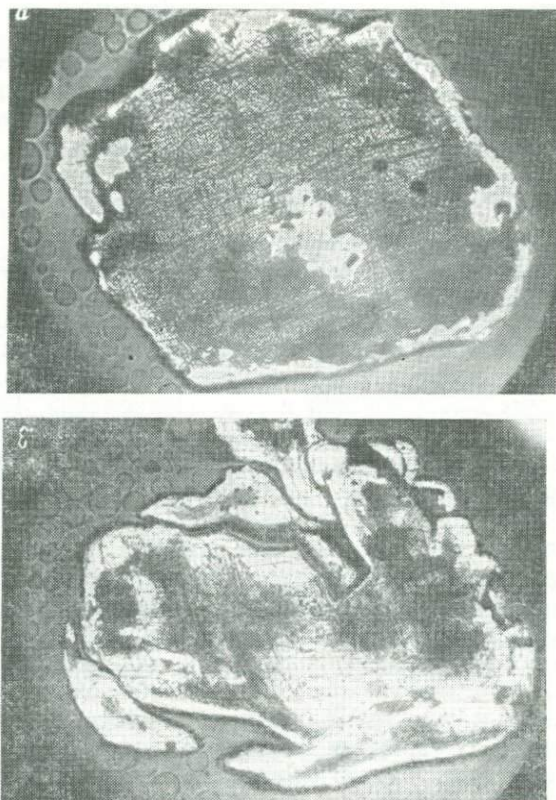


Рис. 28. а — тонкая корродированная оболочка с локальными раздувами. Низкопробное золото из среднечетвертичной аллювиальной россыпи. Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 50;
б — мощная корродированная оболочка. Золото средней пробы из той же россыпи (поступление за счет перемыва более древней россыпи). Монтированный аншлиф, протравленный раствором Cr_2O_3 в HCl . Увел. 50.

(рис. 29). Такие соотношения, по-видимому, указывают на одновременность процесса рекристаллизации золота и перекристаллизации с выносом серебра (коррозии).

По границе высокопробной оболочки с первичными зернами нередко располагается зона промежуточного состава с пониженным, по сравнению с первичными зернами, содержанием серебра. Строение промежуточной зоны незернистое. Образование ее, вероятно,

связано с диффузией серебра в приповерхностный слой, из которого оно выщелачивается.

При механическом переотложении частиц золота на более низкие террасовые уровни происходит уплотнение высокопробной оболочки, и в ряде случаев она приобретает слоистое строение. Это один из признаков повторной гипергенной перекристаллизации золота.

Взаимоотношения высокопробной оболочки и межзерновых и краевых прожилков неоднозначны: часто корродированная оболочка имеет с прожилками резкие коррозионные границы, внедряясь

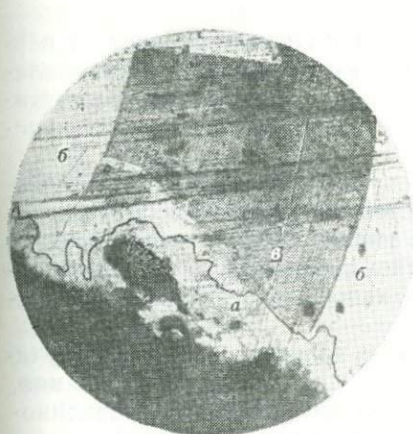


Рис. 29. Контакт высокопробной оболочки (а) с первичными (б) и рекристаллизованными (в) зернами золота. Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 230.

Рис. 30. Повторные деформации (линии скольжения) рекристаллизованного золота. Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 170.

в них отдельными кристаллическими выступами, что указывает на более позднее время ее формирования, но в ряде случаев межзерновые прожилки сливаются с высокопробной оболочкой (см. рис. 23). При механическом перемещении золотинок высокопробная их оболочка и первичные зерна претерпевают пластические деформации и могут испытывать перекристаллизацию. Появление линий скольжения, вытягивание и распад зерен сильнее всего проявляются при значительном переносе или неоднократном переотложении золота.

Во многих долинах золотинок из отложений более древних террасовых уровней обычно лишены пластических деформаций, но почти всегда имеют структуры рекристаллизации. Золото в этих россыпях находилось в покое достаточно длительное время и в деформированных участках золотинок произошла рекристаллизация, в процессе которой были полностью сняты все напряжения, вызванные пластическими деформациями. У россыпного золота могут возникать повторные структуры деформаций, искажающие не первичное строение золота, а структуру рекристаллизации (рис. 30). Это бывает следствием изменения строения зерен при механическом переотло-

жении частиц золота, прежние деформации которых были уже сняты в процессе рекристаллизации.

Золото, испытавшее глубокую перекристаллизацию в коре выветривания, в россыпи нередко претерпевает новые значительные преобразования (появление линий трансляций, структур рекристаллизации, некоторое разрастание межзерновых прожилков), которые сопровождаются небольшим повышением пробы за счет выноса из повторно перекристаллизованного приповерхностного слоя почти всего серебра.

Итак, характер изменения структуры и состава зависит от первичных особенностей золота, степени его преобразований до вовлечения в процесс механического перемещения, интенсивности пластических деформаций, полученных при транспортировке, и длительности пребывания золота в россыпи.

Для выяснения типов источников питания россыпей, их возможного местоположения и закономерностей размещения основное значение имеет изучение «остаточного» золота, сохранившего признаки первичного (рудного) золота, степени его окатанности и последующих деформаций, связанных с дальностью переноса от коренных источников.

Для восстановления истории формирования россыпей, доли участия в их питании золота из древних россыпей и кор выветривания, для суждения о наличии золота на уровне современного эрозийного среза первостепенное значение приобретают такие признаки, как степень вторичных преобразований золота (высокопробных оболочек, межзерновых прожилков, гипергенной рекристаллизации, линий трансляций) и выяснение многократности и последовательности их проявления.

Глава IV

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТА КАК ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫЕ ПРИЗНАКИ

Рассмотрим ряд возможностей применения результатов изучения самородного золота при прогнозировании, поисках и оценке руд и россыпей.

УСЛОВИЯ И ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ

По генетическим особенностям самородного золота нередко можно судить о глубине образования, многократном отложении золота, его перекристаллизации и о геохимической специфике руд. Такие генетические построения, опирающиеся на анализ всего известного геологического и минералогического материала, могут быть выпол-

нены для золотоносных провинций, отдельных месторождений и рудных тел.

Изучение особенностей золота помогло восстановить историю и условия формирования золотого оруденения в одном из золотоносных районов.

Вопрос о генезисе золотого оруденения и связи его с магматизмом является для этого района дискуссионным. Различные исследователи считают, что формирование золоторудных проявлений связано с постмагматической деятельностью гранитоидов, с переотложением золота из вмещающих пород по типу альпийского рудообразования и, наконец, с процессами регионального метаморфизма. Последняя гипотеза разрабатывается В. А. Буряком (1968 г.), который относит коренное золотое оруденение к метаморфогенно-гидротермальному типу и считает, что его формирование происходило до внедрения аллохтонных гранитоидных интрузий. Однако С. Д. Шер, Ю. П. Казакевич и другие исследователи находят, что при таком представлении недостаточно учитывается сложное многоэтапное развитие территории и поэтому нельзя полностью объяснить формирование золоторудных месторождений.

Автором были отобраны и изучены пробы золота из ряда мало-сульфидных рудопоявлений кварцевожильного и прожилково-вкрапленного типов, расположенных в пределах различных крупных структурных единиц и различающихся по условиям локализации.

Рассматриваемый район приурочен к внешнему многоэосинклинальному поясу геосинклинали байкальского возраста. В современной тектонической структуре выделяют ряд крупных складчатых форм. Наиболее золотоносную центральную часть района занимает синклиорий, который в дальнейшем будем называть Центральным. Он разделен рядом прогибов и поднятий сложного складчатого строения. Наиболее обширную площадь занимает прогиб, который по географическому его положению обозначим как Южный; севернее размещается Северный прогиб (название также условное); глубина погружения его меньше, а складчатость более напряженная, чем в Южном прогибе. Прожилково-вкрапленная минерализация приурочена к черносланцевым толщам.

Степень метаморфизма пород отвечает фациям зеленых сланцев. К периферии метаморфизм возрастает с переходом пород в кристаллические сланцы и образованием гранит-пегматитов и пегматитов. Эти площади почти лишены золоторудных проявлений.

Интрузивные породы развиты преимущественно по периферии центральной части района. Все крупные массивы представлены гранитоидами, и только в дайковых сериях развиты породы кислого и основного состава.

В кварцевых жилах установлен ряд разновидностей выделений золота, обозначенных Au-I кв, Au-II кв, Au-III кв и Au-IV кв, а в зонах сульфидной минерализации — Au-II с, Au-III с и Au-IV с.

Указанные разновидности по сходству их минералогических особенностей могут быть разделены на четыре группы: I — Au-I кв,

II — Au-II кв и Au-II с, III — Au-III кв и Au-III с, IV — Au-IV кв и Au-IV с.

В каждой из выделенных групп золото из кварцевых жил отличается от золота из зон сульфидной минерализации более крупными размерами выделений, более крупной их зернистостью, а также меньшим развитием интерстициальных форм (при общем преобладании трещинных).

Золото разновидности Au-I кв преимущественно крупное, относительно высокой пробы (840—920), с признаками частичной перекристаллизации — одинаковой ориентировкой зерен в более высокопробных золотилах, полиэдрической зернистостью, реликтами зерен с иной ориентировкой и более низкой пробой.

Золото II и III групп в среднем более мелкое. Внутреннее строение его преимущественно среднее, реже мелкозернистое; количество двойников возрастает, наряду с простыми появляются тонкопластинчатые и даже иногда полисинтетические двойники. Признаки перекристаллизации проявлены слабее и наблюдаются реже. Однако в золоте разновидности Au-II кв встречены реликты более высокопробного (предположительно Au-I кв) золота. По контакту выделений золота Au-I кв и Au-II кв образуются зоны или ксеноморфные зерна золота промежуточной пробы, а более раннее золото Au-I кв испытывает интенсивную перекристаллизацию (см. рисунки 4, 20). С помощью электронного зонда в золоте Au-II кв выявлены признаки неясной зональности.

Проба золота изменяется в пределах: Au-II кв 760—865, Au-II с 750—880, Au-III кв 740—840, Au-III с 740—830.

Для разновидностей Au-I кв, Au-II кв и Au-III кв характерно равенство дисперсий содержаний серебра при различных его средних содержаниях в золоте. При этом распределение содержаний серебра в выборках, содержащих результаты анализов золота этих разновидностей, не соответствует нормальному (при проверке с помощью критерия d). Средние содержания серебра в золоте разновидностей Au-III кв и Au-III с значимых различий не имеют (24,05 и 22,1% при S^2 , равном 3,4 и 17,4 соответственно). Они существенно выше, чем у золота разновидностей Au-II кв и Au-II с (17,9 и 15,0%).

Таким образом, от первой к третьей группе наблюдается закономерное уменьшение средней пробы золота, величины слагающих его выделения зерен, изменение интенсивности двойникования, появление признаков зонального распределения серебра. По-видимому, золото каждой из групп отлагалось при менее стабильных термодинамических условиях, что, судя по геологическим данным, обусловлено уменьшением глубины формирования оруденения.

Золото IV группы перекристаллизовано, о чем свидетельствуют следующие его особенности:

1) ассоциация золота с гребенчатым кварцем и переотложенным серицитом. Н. В. Петровская (1970) указывает на то, что эта ассоциация характерна для золота второй рудной стадии, и переотложенным в ней может быть не только кварц, но и золото. Ранее ею отмечалось (1956), что для многих золоторудных районов нали-

чие прожилков гребенчатого кварца, секущих ранний кварц, служит показателем повышенной золотоносности;

2) приуроченность повышенных содержаний золота и наиболее крупных его выделений к участкам интенсивной перекристаллизации кварца, местам развития ранней слабо золотоносной сульфидной минерализации и включений сульфидизированных углистых вмещающих пород;

3) развитие преимущественно кристаллических и гемиморфных изометричных форм выделений золота с присутствием граней с низкой ретикулярной плотностью, с образованием граней (110), притупляющих ребра граней октаэдра и кубооктаэдра. Развитие округлых дробевидных и каплевидных частиц;

4) характерная для перекристаллизованных золотин микроскульптура поверхности, развитие рельефа растворения;

5) преимущественно монокристаллические структуры выделений золота, даже относительно крупных (до 5 мм) размеров, что четко отличает золото этой группы от золота разновидностей, отнесенных к I, II и III группам. Наличие реликтов более низкопробного золота. Структуры дезинтеграции высокопробных монокристаллов;

6) преимущественно высокая проба золота, на 48—80 единиц превышающая пробу золота других разновидностей, с минимальной ее дисперсией;

7) сглаженный характер термобарометрических кривых (золото прочих разновидностей имеет кривые с резкими пиками);

8) развитие в тесной пространственной близости золота с признаками перекристаллизации и золота с неизменной внутренней структурой и более низкой пробой.

Золото трех первых групп различается по времени выделения и, возможно, генезису золотоносных растворов. Последовательность отложения от более ранней (Au-I кв) к наиболее поздним (Au-III кв и Au-III с) разновидностям подтверждается наличием реликтов более раннего золота в более позднем, развитием структур интраминерализационной перекристаллизации в раннем золоте при отсутствии их в позднем (при пространственном совмещении золота двух разновидностей), возникновением золота с промежуточными свойствами по контактам золота двух генераций.

На различный генезис золотоносных растворов косвенно указывают статистически значимые различия в содержаниях серебра в золоте генетических разновидностей, отнесенных к разным группам. Внутри последних проба золота одинаковая.

Золото разновидности Au-IV кв возникло за счет перекристаллизации золота Au-I кв, так как развитое на тех же рудопрооявлениях золото более поздней (Au-II с) разновидности признаков перекристаллизации лишено. Можно предположить, что перекристаллизация золота происходила не только под воздействием более поздних золотоносных гидротермальных растворов, но и под влиянием прогрева, вызванного внедрением гранитоидного массива, который, по геофизическим данным, на глубине занимает значительно большую площадь, чем на поверхности.

Глубокие преобразования золота могут быть обусловлены также тем, что золоторудные тела приурочены к интенсивно расщепленным углистым сланцам и алевролитам, в то время как площади рудопоявлений и жильных полей с золотом других разновидностей в большей степени сложены более массивными и грубозернистыми породами, а также тем, что именно на этой территории наблюдались повышенные содержания в породах тонкодисперсного сингенетического золота.

Большую роль в преобразовании и переотложении золота играли, вероятно, дизъюнктивная тектоника, особенно в зоне надвигов и зонах повышенной трещиноватости пород в северной части Центрального синклиналия. Именно на этих площадях наиболее широко развито рудное и россыпное золото разновидностей Au-IV кв и Au-IV с. Кроме того, на одном из участков к этому времени относятся локально проявленные диафторические преобразования пород, что могло привести к образованию столь характерного золота, как прожилковое золото разновидности Au-IV с, типичного для этого участка.

Таким образом, возможно, как это считает В. А. Буряк, часть золота в золоторудных проявлениях отложена в синскладчатое время за счет метаморфогенного переноса хемогенного сингенетического золота вмещающих пород из областей высоких степеней метаморфизма в области более низких степеней регионального метаморфизма пород. Однако, судя по результатам изучения золота, трудно предположить, что все золото в рассматриваемом районе имеет только метаморфогенно-гидротермальный генезис. Этому противоречит присутствие в пределах одного жильного поля и даже в локальных участках одной жилы золота различных разновидностей, отличающихся по времени выделения в рудах и по комплексу признаков.

Указанные особенности самородного золота, возможно, отражают главные этапы истории развития магматизма района, которые привели к появлению следующих магматических комплексов: а) гнейсогранитов, палингенных гранитов, гранит-пегматитов и слюдоносных пегматитов, б) амфиболовых гранитов, в) биотитовых гранитов.

Перечисленные комплексы, по данным С. Д. Шера, относятся в совокупности к единому ряду магматических формаций, отдельные члены которого закономерно сменяют друг друга во времени и мигрируют в пространстве от внешних ограничений района с выступами доверхнепротерозойского фундамента к единой осевой зоне северо-северо-восточного простираения. Породы каждой последующей формации отличаются меньшей глубиной по сравнению с породами предыдущей, что обусловлено развитием всего ряда в обстановке поднятия территории.

Рассредоточенность, а также наиболее крупные размеры золота разновидности Au-I кв обусловили ее наибольшее значение для образования четвертичных россыпей. Промышленные коренные месторождения преимущественно представлены золотом более поздних

возрастных групп, а раннее золото в них испытывает перекристаллизацию.

Наиболее благоприятны для локализации крупных коренных месторождений площади, где сочетается разновозрастное золото. Один из минералогических критериев для выделения таких участков — присутствие в коренном залегании или в рыхлых отложениях золота, относящегося к нескольким генерациям.

Следует учитывать все благоприятные для локализации золотого оруденения геологические условия: наличие определенных пликтивных и дизъюнктивных структур, литологического контроля, гидротермальных изменений пород и др.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАЗНОТИПНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

В начальный период изучения коренной золотоносности рассмотренного в предыдущем разделе района минералогические особенности золота были использованы для уточнения генетических типов рудопроявлений и их размещения на исследуемой площади.

Первые детальные исследования золота проведены Н. В. Петровской и А. И. Фасталовичем, выявившими в россыпях два типа золота — связанного с кварцевыми жилами и зонами сульфидной минерализации пород.

Автором установлен еще ряд разновидностей золота обоих типов. Размещение этих разновидностей прослеживалось путем изучения золота из рудопроявлений и континентальных рыхлых отложений различного генезиса. Основные закономерности распространения оруденения с разнотипным золотом в пределах крупных структурных единиц сводятся (с учетом более поздних данных) к следующему.

Области распространения отдельных разновидностей золота отчетливо приурочены к зонам развития разных типов минерализации.

Рудопроявления, в которых встречаются разновидности золота Au-I-II-III-IV кв, и россыпи с золотом перечисленных разновидностей находятся на участках распространения многочисленных малосульфидных кварц-карбонатных жил в зонах метасоматически измененных пород или развития дизъюнктивных нарушений.

Золото разновидностей Au-II-III-IV с приурочено к зонам интенсивной прожилковой кварц-сульфидной минерализации углистых пород.

Повсеместно распространено золото разновидности Au-I кв, степень перекристаллизации которого отчетливо возрастает в северной части синклиория. Золото других разновидностей развито в ограниченных участках.

В центральной части Южного синклинального погружения к западу от оси его поперечного прогиба четко локализовано золото разновидности Au-II кв, а к востоку Au-III кв. Судя по характеру минерализации и особенностям россыпного золота, в северной и

южной частях погружения возможно присутствие оруденения с золотом разновидностей Au-III с и Au-IV с.

В пределах Северного синклинального погружения широким развитием пользуется золото Au-IV с, в различной степени перекристаллизованное золото Au-I кв и золото Au-II с и Au-IV с разновидностей.

В краевой части синклинали, расположенной на севере указанного погружения, наиболее широко развито золото разновидности Au-III с; в меньших масштабах распространено золото разновидностей Au-I-II-III кв.

В целом для центральной части района вырисовывается следующая картина: развитое повсеместно золото разновидности Au-I кв концентрируется в ряд субширотных зон, в пределах которых ему присущи признаки, указывающие на близость коренных рудопроявлений (слабая окатанность, незначительные изменения структуры и др.). Узлы с развитием золота более поздних возрастных групп вытягиваются в поперечные зоны. В участках, где сочетается разновозрастное золото, выделения разновидности Au-I кв испытывают перекристаллизацию.

Выделенные на основании сравнительного изучения генетических особенностей рудного и россыпного (на ряде участков только россыпного) золота разновидности и закономерности их распределения в рассмотренном золотоносном районе являются дополнительными поисковыми признаками, которые могут помочь в целенаправленном планировании поисков рудного золота.

ЭНДОГЕННАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Н. В. Петровская (1973) указывает на два признака вертикальной зональности оруденения: 1) обилие крупных золотин и самородков в верхних частях рудных столбов и преобладание в рудах тонкодисперсного золота на относительно глубоких горизонтах; 2) закономерное повышение с глубиной пробы эндогенного золота. В той же работе в разделе о генезисе самородков отмечается еще один признак зональности — возрастание пробы золота в участках его повышенных концентраций. Изучение зональности особенно важно для близповерхностных месторождений, обычно имеющих небольшой вертикальный размах оруденения. Определение глубины эрозионного среза рудных тел — один из решающих факторов при оценке оруденения.

В ряде случаев после выявления общих вулканических закономерностей стадийной зональности или зональности отложения в пределах рудного поля и отдельных рудных тел наиболее экспрессный и наименее трудоемкий метод при прослеживании этой зональности — изучение особенностей самородного золота из руд.

Так, на одном из золото-серебряных месторождений пояса А. Н. Некрасовой (Некрасова, Шохор, 1974) установлена минералогическая зональность отложения в рудном теле наиболее продуктивной

зоны. Месторождение приурочено к вулканической структуре типа кальдеры проседания, сложенной покровами и субвулканическими образованиями мелового возраста. Рудные тела представлены крутопадающими убогосульфидными жилами адуляр-кварцевого и адуляр-карбонат-кварцевого состава. Количество рудных минералов не превышает 1,5%. Образование золото-серебряной минерализации было одностадийным. Различаются три продуктивные минеральные ассоциации: ранняя золото-сульфидная, золото-канфилдит-фрейбергит-теннантит-халькопиритовая (основная продуктивная) и поздняя, науманнит-полибазит-серебряная с золотом. Более 90 вес. % золота в рудах имеет размеры выделений менее 0,05 мм; самое крупное золото относится преимущественно к классу 0,1—0,5 мм, максимальные размеры изученных золотин (единичные зерна) достигали 1,5 мм.

Анализами, выполненными на образцах А. Н. Некрасовой в МГУ на микрозонде IXA-5 Ю. С. Бородаевым, установлено присутствие в рудах золота пробы 590—630, 390, кюстелита (проба 158) и серебра. В наиболее высокопробной фазе отмечено спорадическое присутствие высоких концентраций меди (1—1,3%) и ртути (1,2%). В более низкопробном золоте и кюстелите присутствует ртуть (соответственно, 1,0 и 0,6%). Медь содержится в золоте, заключенном в халькопирите и блеклых рудах; ртути эти выделения золота не содержат. Предполагается, что обогащение золота медью произошло в результате диффузионного обмена между золотом и вмещающими минералами. По данным локального микроспектрального (лазерного) анализа, в золоте, кюстелите и серебре присутствуют железо, сурьма, висмут, мышьяк.

Автором определялась проба золота в различных минеральных ассоциациях с помощью пробирных игл, а также было изучено внутреннее строение золотин.

На основании приуроченности золота к определенным ассоциациям и взаимоотношений различных золото-серебряных фаз золото пробы 590—630 выделено как наиболее раннее (I), золото пробы около 400 рассматривается как более позднее (II). Установлено, что строение золота I и II преимущественно монокристаллическое. В отдельных случаях золото II обнаруживает неяснозональную структуру. Структура кюстелита обычно монокристаллическая и зернистая с зональным строением монокристаллов и зерен в агрегатах (см. рис. 16).

Изменение пробы и структуры золота было прослежено в вертикальном разрезе жилы Главной — одной из наиболее разведанных в настоящее время жил месторождения. Выявленная в вертикальном разрезе жилы минералогическая зональность заключается в последовательной смене снизу вверх в плоскости жилы состава рудной минерализации. На нижних горизонтах развита преимущественно золото-сульфидная ассоциация. Выше состав руд усложняется. На средних горизонтах наблюдается совмещение золото-сульфидной и золото-канфилдит-фрейбергит-халькопиритовой ассоциаций. В верхних горизонтах рудного тела развита, кроме упомянутых, на-

уманнит-полибазит-серебряная продуктивная ассоциация (Некрасова, 1974).

В соответствии с минералогической зональностью изменяется и характер самородного золота. В нижней зоне золото пылевидное и тонкодисперсное, нередко образующее эмульсионную вкрапленность; проба его порядка 600. На средних горизонтах встречается золото I в сростании с неяснозональными выделениями кюстелита. Реже встречается золото II.

На верхних горизонтах рудного тела золото имеет относительно более крупные размеры и сложный состав. В тесном сростании обычно находятся обе фазы золота и кюстелит. Строение последнего отчетливо зональное. Зональное строение в ряде случаев наблюдается и у золота II (на нижних горизонтах структура этой фазы незональная).

Самородное серебро встречено, наряду с золотом и кюстелитом, в ассоциации с селенидами и сульфосолями серебра на юго-западном фланге рудного тела.

Зональное распределение различных фаз золота и кюстелита, изменение крупности золотинок и их внутреннего строения в вертикальном разрезе рудного тела могут быть использованы в качестве дополнительных признаков для определения глубины эрозионного среза рудных тел. Относительно более крупные размеры золотинок, распространение сростков золота I, II и кюстелита и развитие зональных структур у кюстелита и частично у золота II свидетельствуют о незначительном эрозионном срезе. Развитие тонкодисперсного и пылевидного золота II, напротив, указывает на значительную эродированность рудного тела.

В результате сравнительного изучения золота из верхних горизонтов ряда рудных тел данного месторождения (сборы А. Н. Некрасовой) и золота из элювиальных и делювиальных отложений на участках выходов этих тел (сборы Ф. А. Шохор) установлено, что золото из рыхлых отложений сохраняет полностью все признаки, типичные для золота из рудных тел. Поэтому для суждения об уровне эрозионного среза рудных тел этого месторождения могут быть использованы результаты изучения генетических особенностей золота, извлеченного из шлихов, взятых на площадях развития золотой минерализации.

Подобного рода исследования были произведены также для золота двух близповерхностных месторождений, где изучение золотой минерализации проводилось А. М. Гребенчиковым (Гребенчиков, Николаева, 1974; и др.). Для указанных месторождений установлено, что золото участвует в составе нескольких последовательно сформировавшихся минеральных комплексов, образуя от трех до четырех генераций. В пределах одного комплекса выделяется до трех фаз золота, возникших на разных ступенях минерального равновесия, отличающихся по пробе и структуре и имеющих в ряде случаев друг с другом коррозионные взаимоотношения. Средняя проба золота на золото-серебряном месторождении во всех продуктивных ассоциациях ниже, чем на золоторудном.

Проба золота в рудах варьирует в широких пределах (250—998): от кюстелита до высокопробного золота. Для отдельных генераций золота колебания пробы достигают 85—700‰, для отдельных образцов, взятых в локальных участках, 40—410‰, в отдельных золотилах 25—200‰. С увеличением сульфидности руд средняя проба снижается.

Преобладающие структуры низкопробного и высокосеребристого золота неяснозональные и незональные. Зональные структуры типичны только для меньшей части высокосеребристого золота. Наличие глубоко перекристаллизованного гипогенного золота и признаки частичной перекристаллизации позволяют считать, что зональное строение было утрачено в процессе интраминерализационного преобразования золота.

Изменение средней пробы золота и ее дисперсии — дополнительный признак, позволяющий проследить стадийную зональность и зональность отложения.

А. М. Гребенчиковым выявлена стадийная зональность главной жильной зоны золоторудного месторождения. Рудная зона насчитывает более десяти убогосульфидных кварцевых жил, расположенных висячем боку сбросо-сдвига.

Одностадийные минеральные комплексы на месторождении следующие (от ранних к поздним): халькопирит-пирит-кварцевый, золото-адуляр-кварцевый, золото-барит-сфалерит-кварцевый, золото-молибденит-кварцевый. Каждый из них слагает как обособленные жилы, так и участки кварцево-жильных тел. Последовательность формирования минеральных комплексов установлена по текстурам внутрирудного брекчирования и пересечениям и по температурам декрепитации и гомогенизации минералов. Наиболее золотоносен золото-барит-сфалеритовый комплекс; минимальные содержания отмечены в самом раннем халькопирит-пирит-кварцевом минеральном комплексе. По мере удаления от разлома, висячем боку которого находится рудная зона, происходит смена ранних минеральных комплексов более поздними.

В восточной части зоны на поверхности развиты жилы халькопирит-пирит-кварцевого состава, сменяющиеся адуляр-кварцевыми по мере удаления от поперечного разлома, который ограничивает рудную зону по простиранию. Изменение состава жил наблюдается и по падению рудной зоны. На ее восточном фланге жилы выклиниваются на глубину, не изменяя состава. На западном фланге, где на поверхности развиты только молибденит-кварцевые жилы, на глубине появляются жилы, сложенные золото-адуляр-кварцевым и золото-барит-кварцевым минеральными комплексами.

Таким образом, эндогенная зональность оруденения заключается в смене ранних минеральных комплексов более поздними по мере удаления к западу от разлома, ограничивающего рудную зону, и в смене на глубину поздней минерализации более ранней и золотоносной (табл. 5). Статистической обработкой результатов определения пробы золота доказано, что при смене адуляр-кварцевого комплекса барит-сфалерит-кварцевым размах колебания пробы резко сокра-

Характер золота в золоторудном месторождении
сфалерит-халькопирит-молибденитового типа

Минеральный комплекс и генерация золота (по А. М. Гребенчикову)	Проба	Средняя проба ($\bar{X}$)	Выбороч- ная диспер- сия пробы (S^2)	Число протокол- чек	Количе- ство анализов пробы	Внутренняя структура золотин
Золото-адуляр- кварцевый (Au-I) . . .	300—998	783	13520	17	182	Незональная; мелкозернистая, монокристаллическая, иногда с простыми двойниками
Золото-барит-сфалерит-кварцевый (Au-II) . . .	600—998	804	3770	19	276	Незональная, реже неяснозональная; монокристаллическая и мелкозернистая
Золото-молибденит-кварцевый (Au-III) . . .	350—998	752	20120	6	97	Неяснозональная и незональная; монокристаллическая с пятнистым строением

щается при неизменном среднем ее значении, а при смене этих руд молибденит-кварцевыми средняя проба снижается. В соответствии с этим проба золота с глубиной несколько увеличивается.

На горизонте 80 м, где преобладают руды, сложенные молибденит-кварцевым минеральным комплексом (с подчиненным количеством руд адуляр-кварцевого состава), изменения пробы золота составляют 670—865 ($\bar{X}=727$). На горизонте 125 м, где преимущественно развиты руды барит-сфалеритовые и кварц-адуляровые, проба колеблется от 350 до 998 ($\bar{X}=804$). Наряду с наиболее распространенным здесь золотом 725 пробы, развиты золото пробы 975 (до 70%) и кюстелит 375 пробы (до 20%).

Изучением изменения пробы золота по вертикали в одностадийных адуляр- и молибденит-кварцевых жилах установлено закономерное возрастание с глубиной количества перекристаллизованного золота, а следовательно, увеличение средней пробы золота. Эта зональность может нарушаться в результате контактового метаморфизма золота.

На расстоянии от 2 до 8 м от пострудной дайки средняя проба золота изменилась на 138‰ (с 760 до 898). Перекристаллизация была неравномерная, т. е. затронуты были не все выделения золота, поэтому выборочная дисперсия пробы возросла в 1,5 раза. Вблизи дайки наряду с низкопробным и высокосеребристым золотом появляется золото пробы 910—995; средняя проба глубоко перекристаллизованного золота 975.

Еще более сложная картина изменения пробы золота, обусловленного минералогической зональностью различного порядка, наблюдается на золото-серебряном месторождении. Месторождение представлено сериями кварцевых жил в гидротермально-измененных туфах и туфогенно-осадочных породах. Содержание сульфидов в жилах 0,5—5%. Золото заключено в кварце и сульфидах. Размеры

его выделений пылевидные и весьма мелкие (0,001—0,3 мм), редко достигают первых миллиметров.

Наиболее ранний и богатый продуктивный адуляр-кварцевый комплекс слагает жилы на северо-западном и отчасти юго-восточном окончании рудной зоны, а галенит-сфалерит-кварцевый — участки на юго-восточных флангах этих жил. А. М. Гребенчиковым прослежено, что в жилах, сложенных адуляр-кварцевым комплексом, по мере продвижения с северо-запада на юго-восток изменяются состав минеральных ассоциаций, количество сульфидов, адуляра, меняется текстура и структура кварца, серебро-золотое отношение. Данные о составе и структуре золота приведены в табл. 6. Золото I (адуляр-кварцевый комплекс) выделяется преимущественно в кварце, сростается с сульфидами серебра (чаще с акантитом, который замещает полибазит и пираргирит).

В жилах, сложенных галенит-сфалерит-кварцевым минеральным комплексом, количество сульфидов изменяется от 0,5 до 30% при общем преобладании убогосульфидных руд. Связанное с этим комплексом золото II образует сростки с сульфидами и выделяется в кварце. Оно нарастает на пирит и сфалерит, входит в них по трещинкам (вместе с галенитом, реже с халькопиритом). Золото из убогосульфидных жил обычно более низкопробное и имеет меньшую дисперсию, чем из умеренно сульфидных. Проба золота, заключенного в кварце, обычно выше (нередко 700—770), чем золота, сростшегося с сульфидами.

Халькопирит-кварцевый минеральный комплекс слагает отдельные зоны прожилков и редкие маломощные жилы, содержащие 0,5—10% рудных минералов. Золото III выделяется в кварце, нарастает на поверхность зерен пирита, халькопирита, гематита и выполняет трещинки в пирите. Верхний предел пробы, возможно, завышен, так как пленки высокопробного золота трудно отделить с поверхности первичных золотин.

В наиболее позднем золотоносном халцедон-кварцевом минеральном комплексе рудные минералы составляют 0,5—1%. Связанное с ним золото IV наблюдалось только в протолочках.

В пределах зоны адуляр-кварцевых жил проявлена зональность отложения, состоящая в смене с северо-запада на юго-восток золото-пирит-халькопиритовой, золото-сфалеритовой, золото-акантитовой и золото-пиритовой минерализации. В этом направлении в золото-акантитовой зоне повышается содержание золота, увеличиваются размеры его выделений, возрастает размах колебания пробы. В золото-пиритовой зоне содержание золота падает.

По горным выработкам в шахте, где прослежена смена по падению золото-акантитовой минерализации золото-сфалеритовой, а затем, на глубине 150—200 м, золото-пирит-халькопиритовой, наблюдалось соответствующее описанному изменение особенностей золота.

В участках развития нескольких золотоносных минеральных комплексов встречается золото разных генераций, что сказывается на величине пробы и ее дисперсии.

**Характеристика золота в золото-серебряном месторождении
галенит-сфалеритового типа**

Минеральный комплекс и генерация золота (по А. М. Гребенчикову)	Колебания пробы			Средняя проба ($\bar{x}$)	Выборочная дисперсия пробы (S^2)	Число протоко- чек	Количество анализов пробы	Внутренняя структура зерен золота
	в целом по генерации	в пределах образца	в пределах золотины					
Золото-адуляр-кварце- вый в целом (Au-I)	300—998	40—410	25—200	612	22	22	170	Незональная, неяс- нозональная, зо- нальная
руды с золото-сфалери- товой минерализацией	300—998	175—410	25—80	623	5275—5870	13	134	Та же
руды с золото-полиба- зит-акантитовой мине- рализацией	300—750	40—300	125—200	575	6875	9	38	»
Золото-галенит-сфале- ритовый (Au-II)	250—900	60—300	50—120	562	1080—9100	6	66	»
Халькопирит-кварцевый (Au-III)	640—810	170	725			12	2	Неяснозональная, незональная
Халцедон-кварцевый (Au-IV)	670—860	65—190	471			2	6	Незональная

В целом для руд, сложенных адуляр-кварцевым минеральным комплексом, в зоне окисления средняя проба равна 678, оценка дисперсии пробы $S^2=149,70$; преобладает золото с первичной пробой 575. Резкое различие средней и преобладающей пробы большинства золотин и высокая дисперсия пробы связаны с присутствием гипергенного высокопробного золота.

В зоне карьеров, где развита золото-пирит-халькопиритовая, золото-сфалеритовая и золото-акантитовая минерализация, проба изменяется от 370 до 995, $\bar{X}=592$, $S^2=6810$. Преобладают выделения золота 625 пробы. На горизонте 65 м, где господствует золото-сфалеритовая минерализация, проба изменяется от 350 до 995, $\bar{X}=638$, $S^2=9160$, т. е. средняя проба и ее дисперсия выше, чем в зоне смешанных руд. Преобладают выделения золота с пробой 575. На горизонте 105 м (зона золото-сфалеритовой минерализации) появляется глубоко перекристаллизованное высокопробное золото. Это приводит к резкому повышению дисперсии пробы ($S^2=41\,700$) и возрастанию средней пробы ($\bar{X}=670$). Преимущественно развито золото проб 550 и 950—995. Таким образом, в интервале глубин 0—105 м в адуляр-кварцевых жилах значения пробы у преобладающего числа золотин зонального высокосеребристого золота уменьшаются (соответственно 625, 575 и 550). Наряду с этим увеличивается количество высокопробного перекристаллизованного золота, что приводит к возрастанию с глубиной средней пробы золота и ее дисперсии.

Изменение пробы золота II изучалось в вертикальном интервале 120 м на двух уровнях: на поверхности и горизонте 105 м. На поверхности в убогосульфидных рудах проба золота изменяется от 250 до 900, $\bar{X}=606$, $S^2=8830$; преобладают золотины пробы 625. На горизонте 105 м в умеренно сульфидных рудах параметры, характеризующие пробу, уменьшаются: проба 400—600, $\bar{X}=506$, $S^2=1080$, преобладают золотины пробы 475. Это, вероятно, связано с отсутствием на глубине вторичного золота, но, возможно, также отчасти и с изменением сульфидности руд. Таким образом, намечаются определенные тенденции в изменении параметров, характеризующих пробу золота, по мере изменения минерального состава руд в связи с проявлением стадийной зональности и зональности отложения.

От золото-пирит-халькопиритовой с убогими содержаниями ассоциации к наиболее богатой золото-акантитовой разброс пробы увеличивается, средняя проба и модальное значение пробы уменьшаются.

По вертикали в плоскости жилы по мере смены золото-акантитовой ассоциации золото-сфалеритовой модальное значение распределения пробы уменьшается, средняя проба и ее дисперсия возрастают. Это связано с появлением на глубине перекристаллизованного золота.

В золото-сфалеритовых рудах адуляр-кварцевого комплекса изменения с глубиной сходны: средняя проба и дисперсия пробы увеличиваются, модальное распределение пробы остается неизменным.

В галенит-сфалерит-кварцевых жилах с глубиной возрастает количество сульфидов, причем кроме пирита появляются сульфиды цветных металлов и минералы серебра. Средняя проба, дисперсия пробы золота и модальное значение пробы понижаются.

Намеченные закономерности могут быть использованы не только для выявления эндогенной зональности, но и при оценке участков сложных рудных тел по соотношению в них золота различных генераций, золота неизмененного и перекристаллизованного, а также для изучения последовательности формирования руд.

ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РОССЫПЕЙ

Одна из задач комплексных геолого-геоморфологических и минералогических исследований, проводившихся экспедициями ЦНИГРИ, — восстановление истории формирования россыпей.

Такая работа была, в частности, выполнена для весьма сложной золотоносной площади (Применение..., 1973). Изученный участок расположен в рифтовой зоне. Тектонические движения, интенсивно проявившиеся на протяжении новейшего этапа, вызвали активизацию эрозионной деятельности рек, которая наряду с плейстоценовым оледенением привела к формированию резко расчлененного рельефа. Несмотря на общие неблагоприятные условия, в ряде долин района сформировались и сохранились золотоносные россыпи.

В относительно слабо поднятых (с абсолютной высотой порядка 1000 м) и значительно удаленных от центров оледенения блоках на поверхностях выравнивания сохранилась мел-палеогеновая площадная кора выветривания, а в зонах тектонических нарушений — линейная кора.

Кора выветривания наложена на аллювий древней долины. Аллювий долины слабо золотоносен, что, возможно, связано с незначительным переывом продуктов коры выветривания. Золото встречается в виде единичных зерен. Оно относительно крупное (2—3 мм), практически неокатанное, с реликтами жильного кварца и примазками гидроокислов железа. Поверхность золотинок шагреновая, рыхлая в результате гипергенной коррозии.

Проба золота высокая (947). Внутреннее строение крупно-зернистое с отдельными реликтами более мелких зерен с иной ориентировкой и более низкой пробой. Наблюдается слабо выраженная периферическая корродированная оболочка пробы около 1000. По-видимому, золото в коре выветривания испытало почти полную перекристаллизацию, обусловленную одновременно протекающими процессами собирательной рекристаллизации и коррозии. Отсутствие механического переноса и связанных с ним деформаций, облегчающих перекристаллизацию, привело к неполному удалению серебра в процессе коррозии. Это вызвало развитие повторной коррозии, практически полное удаление серебра и образование пористой наружной каемки химически чистого золота.

Все указанные особенности свидетельствуют о весьма длительном пребывании золота в коре выветривания, что вызвало глубокие химические и структурные преобразования его выделений.

В миоцене начался этап активизации, приведший к усилению эрозионной деятельности и частичному размыву мел-палеогеновой коры выветривания и мезозойского аллювия. Неогеновая река местами унаследовала древнюю мезозойскую долину, но в отдельных участках прорезала и ее коренные борта. При этом сформировалась золотоносная россыпь. Золото в ней крупное, слабо окатанное, с включениями кварца и гидроокислов железа, с корродированной шагреновой поверхностью. Форма частиц дендритовидная и кристаллическая.

Проба золота весьма высокая (в среднем 970). Золото полностью перекристаллизовано в гипергенных условиях. В тонких отроствах золотин хорошо видно, что перекристаллизация вызвана сочетанием трех процессов: коррозии, собирательной рекристаллизации и разрастания межзерновых высокопробных прожилков. В отличие от золота мезозойской долины, на структуры первого этапа гипергенных преобразований, обусловленных пребыванием в коре выветривания, наложены деформации, полученные в процессе механического переотложения золотин. Это мелкозернистые структуры рекристаллизации, возникшие в участках пластических деформаций кристаллической решетки.

Таким образом, судя по особенностям золота, оно длительное время преобразовывалось в коре выветривания, после чего было механически переотложено на иной геоморфологический уровень. Полученные при этом деформации стимулировали вынос серебра, что привело к резкому возрастанию средней пробы и образованию участков почти химически чистого золота (межзерновые прожилки и корродированные зерна).

На протяжении неогена этапы эрозионной активности сменялись этапами относительного тектонического покоя, за время которого неогеновая долина была погребена продуктами перемыва коры выветривания мел-палеогенового возраста. В это же время формировалась кора выветривания, местами наложенная на более древнюю.

В плиоцене происходило нарастание активности неотектонических движений. Докембрийский фундамент был разбит в различной степени поднятыми блоками. Участок древней долины оказался в пределах относительно слабо поднятого блока. По-видимому, на границе плиоцена и эоплейстоцена происходила резкая перестройка рельефа, повсеместный перемыв коры выветривания с поступлением из них золота и концентрацией его в долинах рек. Минералогические исследования подтвердили, что главная масса кластогенного золота в россыпи нижнего эоплейстоцена поступала из кор выветривания и древнего аллювия.

Размеры золотин в верхнем по течению отрезке долины изменяются от мелких до крупных (0,5—4,0 мм); окатанность их преимущественно средняя, переходная от слабой к средней, часть мелких зерен окатана слабо и почти не окатана. Есть отдельные мелкие включения в золоте кварца. Проба золота 906—920.

Структура выделений указывает на глубокие изменения основного количества золота в условиях коры выветривания и на после-

дующее неоднократное механическое переотложение частиц. Последнее подтверждается возникновением участков с полиэдрически-зернистым строением, развитием многослойной коррозии и удлинением и распадом зерен в возникшей корродированной оболочке. В краевых частях золотин наблюдается сочетание коррозии и рекристаллизации корродированных, а также ранее перекристаллизованных зерен.

Небольшая часть менее измененного и относительно менее высокопробного золота могла поступать из бортов долины. В эоплейстоценовых отложениях на одном из участков встречено золото двух разновидностей. Значительная часть золота глубоко преобразована в коре выветривания и несет признаки неоднократных переотложений: можно видеть, как гипергенная коррозия разъедает структуру повторной рекристаллизации преобразованного золота, и в то же время сама корродированная оболочка механически деформирована. Наряду с этим присутствует золото с более низкой пробой (910) без признаков глубоких преобразований — структура его крупнозернистая, с отдельными рекристаллизованными зернами, с мелкими изгибающимися и обрывающимися двойниками. Поверхность почти не корродирована, окатанность золота слабая. Золото, по-видимому, поступило в россыпь из коренных источников, расположенных в плотике.

Плейстоценовое оледенение не затронуло долину и не оказало влияния на ее морфологию и распределение россыпей.

В результате многократного перемива сформировалась долинная россыпь, прослеживающаяся почти по всему течению реки.

В современных отложениях золото в россыпи крупное, массивное, с окатанностью средней и переходной к хорошей. Проба высокая. Золото глубоко преобразовано в условиях коры выветривания. Имеются признаки неоднократного переотложения, вызвавшего повторную коррозию перекристаллизованного золота и появление многочисленных зон и линий трансляций. Последние указывают на еще одно более позднее переотложение части золота по сравнению с золотом эоплейстоценовых россыпей (в противном случае линии скольжения были бы сняты в процессе рекристаллизации). Таким образом, золотоносные россыпи более молодого возраста возникали главным образом в результате перемива нижнеэоплейстоценовых россыпей и гораздо меньше за счет поступления золота со склонов.

В одном из районов золото из россыпей изучалось для решения вопроса об источниках их питания.

В бассейне одной из рек в цементе мезозойских конгломератов, залегающих в верховьях ряда впадающих в нее ключей, золото окатано и имеет признаки последующих деформаций. Мелкие выделения золота и относительно тонкие отростки и выступы более крупных золотин полностью корродированы; в центральных частях более массивных золотин сохранены реликты крупных первичных зерен. В глубоко измененном золоте иногда вокруг реликтов относительно низкопробных первичных зерен наблюдается зона более вы-

сокопробного незернистого золота, которая далее, в направлении к периферии золотины, сменяется еще более высокопробным мелкозернистым корродированным слоем. Нередко зерна корродированного слоя разделяются узкими «проливами» незернистого высокопробного золота; иногда вокруг мелких зерен этого слоя образуются оболочки незернистого золота.

Можно предположить, что наряду с коррозией, которая развивается от периферии к центру золотин, в результате длительного пребывания в россыпи успевают очень широко разрастись и возникшие в зоне окисления межзерновые высокопробные прожилки, создавая вокруг первичных зерен высокопробные незернистые зоны. При достаточно глубоких изменениях коррозия захватывает не только первичные зерна, но и образованные вокруг них высокопробные зоны.

Зернистая структура золота из конгломератов имеет ряд характерных черт. Преобладают зерна овальные в плане, с плавными закругленными границами. В небольшом количестве наблюдаются зерна неправильной четырехугольной или треугольной формы, в них очень редко видны двойники (обычно в виде единичных нешироких полосок). Возможно, эти зерна возникли в результате рекристаллизации деформированных зерен высокопробной оболочки. В периферических частях золотин есть участки, где высокопробные зерна оболочки вытянуты параллельно краям выделений; иногда внутри вытянутых зерен появляются тонкие полисинтетические двойники. Все это указывает на то, что золото было переотложено в цемент мезозойских конгломератов после того, как оно пребывало в более древней россыпи достаточно длительное время, в течение которого сформировался внешний слой высокопробной оболочки.

В россыпях ключей, расположенных в областях возможного сноса золота из конгломератов, у основной массы самородного золота морфология, проба и внутреннее строение аналогичны особенностям золота из цемента мезозойских конгломератов. Некоторые различия заключаются в том, что внешний слой высокопробной оболочки бывает уплотненным, границы зерен частично или полностью исчезают. В центральных частях золотин, вблизи реликтов первичных зерен, граница высокопробного слоя выражена четко.

В россыпи небольшого ключа встречены частицы золота, у которых корродированный слой приобрел слоистое волокнистое строение. В отдельных золотилах мелкие зерна наружных слоев высокопробной оболочки имеют двойники прорастания. Характерные угловатые зерна, возникшие при рекристаллизации, наблюдаются как в высокопробном слое, так и внутри реликтов первичных зерен. Изменение структуры золота, по-видимому, обусловлено пластическими деформациями при механическом переотложении его из конгломератов в четвертичную россыпь.

В россыпи главной реки в небольшом количестве встречается золото с первично среднезернистой структурой; оно имеет тонкую преимущественно однородную высокопробную оболочку и маломощные быстро выклинивающиеся межзерновые прожилки. Можно пред-

положить, что наряду с питанием россыпи золотом за счет размыва мезозойских конгломератов в нее поступало золото из коренных источников. Высвобождение его из последних происходило относительно недавно — в четвертичное время. В. И. Шевцова встретила в указанной россыпи относительно низкопробное слабо окатанное золото; она считает, что золото связано с зонами сульфидной минерализации пород.

В россыпях, питание которых не зависит от размыва конгломератов, структура золота в основном крупнозернистая, типичная для



Рис. 31. Сложная структура полной перекристаллизации весьма высокопробного золота, переотложенного из мезозойской россыпи в четвертичную. Монтированный аншлиф, протравленный царской водкой. Увел. 90.

золота из кварцевых жил этого района, высокопробная оболочка различной мощности четко выражена, но никогда не достигает таких размеров, как корродированный слой у золота из конгломератов. Только в одной россыпи встречено незначительное количество золота, внутренняя структура которого указывает на длительное (дочетвертичное) пребывание его вне коренного источника (рис. 31). Золото со сложной преобразованной структурой могло попасть в россыпь при размыве россыпей древней гидросети или описанных выше мезозойских конгломератов.

Таким образом, внутреннее строение золота указывает на то, что мезозойские конгломераты — один из источников питания россыпей на рассмотренной площади. Небольшое количество золота поступало в россыпи из вкрапленных в породы сульфидов.

Важное, а иногда и решающее значение имеет изучение состава и структуры золота из конгломератов для решения вопроса об источнике из золотоносности.

Так при изучении золота была восстановлена сложная картина формирования нижнечетвертичных конгломератов. Изучались материалы, собранные и предоставленные автору В. И. Левиным и С. Н. Попенко.

Золото получено из аллювия водотоков, дренирующих палеозой-

ские интрузивные и осадочные породы, неогеновые конгломераты, нижнечетвертичные конгломераты, а также из делювия неогеновых конгломератов и из протолок последних. В аллювии водотоков, дренирующих палеозойские образования, встречено в различной степени окатанное золото с пробой порядка 920—940 и 800—820. Поверхность золота или незатронута вторичными процессами, или несколько корродирована.

В делювии неогеновых конгломератов и в их цементе встречено золото слабо, реже средне окатанное, тех же размеров и морфологии, что и в палеозойских породах. Внутри выделений сохранились реликты первичной крупнозернистой структуры золота пробы 920—940 и 800—850, что соответствует составу и структуре золота из палеозойских образований, которые, вероятно, и служили источниками питания неогеновых конгломератов. Золото из них испытало глубокие структурные и химические преобразования: большие участки (10—40, редко до 50% площади среза золотин) представляют собой перекристаллизованные до стадии почти полного удаления серебра первичные зерна; проба их приближается к 1000.

Внутреннее строение преобразованных участков необходимо изучать дальше. Судя по признакам интенсивных механических деформаций внутри первичных зерен (полисинтетическим двойникам, структурам рекристаллизации) и по взаимоотношениям высокопробного перекристаллизованного золота с первичным (разъединение первичных зерен, внедрение в них глубокими заливами, часто с кристалломорфными очертаниями границ), образование высокопробных участков произошло в основном в результате рекристаллизации и коррозии золота.

В аллювии водотоков, дренирующих нижнечетвертичные конгломераты, встречено истертое, уплощенное золото, хорошо и совершенно окатанное. Размеры золотин и следы первичной морфологии позволяют считать крупность и форму частиц такими же, как у золота из неогеновых конгломератов и палеозойских образований. Степень экзогенных преобразований в золоте отчетливо выше, чем в золоте из неогеновых конгломератов: преобразованные высокопробные участки слагают 50—98% площади среза золотин. Реликты первичного золота и перекристаллизованные участки несут следы пластических деформаций в виде линий скольжения, которые, по-видимому, образовались под влиянием механических воздействий уже в современных россыпях.

В аллювии водотоков, дренирующих нижнечетвертичные и неогеновые конгломераты, встречено золото, характерное для каждого из этих образований. При одинаковой дальности переноса от коренных источников золото, связанное с неогеновыми конгломератами, менее окатано. Следовательно, золото поступало в четвертичные конгломераты не непосредственно из палеозойских коренных источников, а через промежуточный коллектор — конгломераты неогенового возраста.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ И ОЦЕНКЕ ЗОЛОТОНОСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ И РУДНЫХ ТЕЛ

Приведенные примеры далеко не исчерпывают всех возможностей практического использования результатов изучения золота.

Перечислим вопросы, для решения которых изучение золота привлекается как органическая составная часть комплексных исследований.

1. Выявление обогащенных участков рудных зон, месторождений и отдельных рудных тел на основании развития в них золота:
 - а) типичного для наиболее продуктивной ассоциации;
 - б) типичного для рудных столбов данного месторождения;
 - в) относящегося к двум стадиям или более (и, возможно, этапам) оруденения;
 - г) в различной степени перекристаллизованного или регенерированного и неизмененного.

Задача сводится к выявлению генетических особенностей золота, характерного для определенных продуктивных ассоциаций, рудных столбов, неизмененных и метаморфизованных руд и изучению закономерностей локализации золота, имеющего благоприятные признаки.

2. Выяснение степени сульфидности первичных руд и степени развития в них дисперсного золота (на основании особенностей вторичного золота из окисленных руд).

Для каждой золотоносной провинции в зависимости от минеральных типов руд, их физических свойств, а также от климатических условий данной местности характерны разные формы переноса и дальность миграции растворенного золота, различная интенсивность развития вторичного золота в зоне окисления и специфические особенности его выделений.

В одной из золотоносных провинций автором совместно с Р. П. Бадаловой было изучено золото из зоны окисления месторождений и рудопроявлений различных минеральных типов, имеющих убого-, мало- и умеренно сульфидный состав руд. Широкое развитие в этой провинции гипергенного золота связано с присутствием в рудах тонкодисперсного золота и, по-видимому, с благоприятными климатическими условиями, так как в районах с резко континентальным климатом, даже при наличии дисперсного золота в сульфидах, химическое переотложение его происходит в неизмеримо меньших масштабах; исключением являются единичные месторождения (Яблокова, 1965; и др.).

В рассматриваемой провинции в зоне окисления убого- и мало-сульфидных руд вторичное золото обычно отлагается на поверхности первичного, редко образуя обособленные выделения. Лишь в отдельных случаях относительно крупные выделения низкопробного и высокосеребристого золота растворяются с поверхности, и серебро выносится из них и мигрирует на несколько миллиметров (редко

сантиметров). В одном из близповерхностных убогосульфидных золото-серебряных месторождений в локальных участках зоны окисления высокосеребристое золото подвергается коррозии с образованием мощной высокопробной оболочки. Миграции золота при этом не наблюдалось.

В зоне окисления умеренно сульфидных руд количество вторичного золота возрастает. В рудах с преобладанием тонкодисперсного золота первой генерации при окислении сульфидов (преимущественно пирита, по данным В. Ф. Гуреева) происходит укрупнение дисперсного золота и образование обособленных выделений вторичного золота.

В умеренно сульфидных рудах с преобладанием более крупного золота поздних генераций вторичное золото в зоне окисления образует на нем мощные пленки и наросты, а иногда цементирует частицы остаточного рудного золота различных генераций.

3. Выяснение типов коренных источников питания россыпей и их возможного местоположения.

При изучении россыпного золота, сохранившего в той или иной степени первичные особенности, можно выделить ряд признаков, по которым можно судить о формационной принадлежности оруденения, послужившего источником питания россыпи (Петровская, Фасталович, 1952; Петровская, 1973; Николаева, 1967; Николаева, Бадалова, 1970). Сравнительное изучение золота из россыпей и коренных рудопроявлений обычно позволяет решить этот вопрос однозначно или более уверенно.

Для определения возможного местоположения коренных источников на протяжении отдельных долин прослеживается изменение характеризующих золото признаков: морфологии, степени окатанности, уплощенности, средней массы золотинок в пределах определенных классов крупности, мощности корродированного слоя, внутреннего строения золотинок, их пробы и др.

Составление карт-накладок, отражающих изменение особенностей золота на протяжении долин, позволяет наметить участки, где признаки золота указывают на минимальный его перенос от источников питания. Анализ геологических карт уточняет расположение участков, благоприятных для концентрации коренной золотоносности.

Такие работы были проведены автором для ряда площадей в описанном в первом разделе настоящей главы золотоносном районе (Николаева, 1967). Наиболее систематические и детальные наблюдения проведены над золотом в бассейне реки, условно названной Главной. На этой площади широко развиты малосульфидные кварцевые жилы, в ряде которых встречено крупное золото.

Сложная картина изменения характера золота наглядно выступает в россыпи наиболее крупного левого притока р. Главной в ее верхнем течении. В этой россыпи в целом окатанность золота увеличивается, а количество золотинок, сросшихся с кварцем, и средняя масса золотинок в пределах каждого класса крупности уменьшается при прослеживании вниз по течению. Это, по-видимому, свидетель-

ствуется о более близком расположении коренных источников к верхнему по течению участку долины. Но в пределах этого участка особенности золота изменяются не постоянно, а скачкообразно. Детальный анализ показывает, что появление крупного, слабее окатанного, сросшегося с кварцем золота происходит в месте пересечения долиной зон концентрации кварцевых жил и прожилков, приуроченных к участкам повышенной трещиноватости метасоматически измененных пород. Можно предполагать, что в этих зонах располагались коренные источники, питавшие россыпь. Однако в среднем течении реки, где такие зоны отсутствуют, на одном участке резко увеличивается линейный запас золота одновременно с сужением контура россыпи и увеличением мощности пласта до 6—14 м. Здесь окатанность золота в целом хорошая и вниз по долине возрастает, а количество сростков золота с кварцем невелико. Средняя масса золотин в классах меньше, чем в верхнем течении, особенно у золота из верхних горизонтов пласта увеличенной мощности. Сопоставляя особенности золота с данными по геологическому и геоморфологическому строению площади, можно сделать вывод, что концентрация золота здесь вызвана не близостью коренных источников, а благоприятными для накопления золота условиями. Еще ниже по течению опять появляется крупное, слабо окатанное, сросшееся с кварцем золото. Такие наблюдения свидетельствуют о наличии разобщенных источников, питавших россыпи, и в других долинах. Так, в россыпи нижнего течения одного из крупных правых притоков р. Главной встречается совместно золото, разновидности выделений которого были обозначены как Au-I и Au-II кв.

Золото Au-I кв встречается в сростании с кварцем как в разной степени обработанным, так и совершенно неокатанным. Окатанность частиц изменяется от слабой до хорошей. В одних и тех же пробах выделяется более высокопробное золото, окатанность которого не ниже средней, а на сросшемся с ним кварце видны следы обработки, и несколько более низкопробное золото разновидности Au-I кв, окатанность которого меняется от крайне слабой до хорошей. В ряде случаев сросшийся с ним кварц не окатан. Такие ассоциации указывают на различную дальность транспортировки золота и свидетельствуют о наличии нескольких разобщенных источников, питавших россыпь золотом этой разновидности. Расстояние от ближайших источников вряд ли может быть сколько-нибудь значительным.

Совместно с золотом Au-I кв присутствует золото разновидности Au-II кв. Хорошо окатанные его частицы отличаются от золота Au-I кв только более высоким (порядка 20⁰/о) содержанием серебра. Окатанность этого золота изменяется в пределах одного участка от крайне слабой до хорошей. Это, по-видимому, указывает на то, что часть коренных источников, питавших россыпь золотом Au-II кв, находится выше по долине, а часть расположена в непосредственной близости к опробованному участку россыпи.

Кварцевые жилы с золотом Au-II кв скорее всего можно встретить на северном склоне водораздела р. Главной и правого ее при-

тока, в зонах метасоматически измененных пород. Это доказывает-
ся тем, что южнее водораздела в россыпи р. Главной выше устья
правого притока золото разновидности Au-II кв встречается в край-
не незначительном количестве, а к северу от водораздела, в россы-
пи ключа, впадающего в правый приток, оно составляет значитель-
ную долю всего золота.

В задачу автора не входит рассмотрение использования особен-
ностей золота при технологических исследованиях для обоснования
наиболее рациональных схем обогащения золотых руд. Однако зна-
чение таких работ трудно переоценить.

Таким образом, результаты изучения самородного золота могут
быть использованы для решения обширного круга практических за-
дач, встающих перед геологами в процессе поисков и оценки золо-
тоносных образований.

Обязательные условия применения полученных данных — мак-
симально полный анализ всех геолого-геоморфологических и мине-
ралогических сведений об изученных объектах и всесторонняя оцен-
ка отдельных особенностей золота с учетом их возможной неодно-
значности.

В результате изучения золота в рудопоявлениях и месторождениях ряда золотоносных провинций СССР и некоторых зарубежных стран установлено, что наиболее информативным признаком, характеризующим условия кристаллизации и последующие преобразования самородного золота, является структура его выделений при условии одновременного наблюдения элементов внутреннего строения и их состава.

Сравнительные исследования золота из метаморфизованных и неизмененных руд, а также золота из разновозрастных россыпей и экспериментальные работы по преобразованию золота под влиянием повышенных температур и давлений позволили уточнить признаки эндогенной перекристаллизации золота и установить возможность многократного возобновления этого процесса.

Конкретные проявления процессов перекристаллизации зависят не только от интенсивности и длительности воздействий на золото, но и от состава и структуры его выделений к началу очередного преобразования.

Повторные термические и динамические воздействия ускоряют процесс собирательной рекристаллизации, приводят к распаду твердых растворов или интерметаллидов, слиянию полиэдрических зерен, к разным стадиям дезинтеграции возникших зернистых агрегатов.

На основании сравнительного изучения золота из эндогенных и экзогенных месторождений, рудопоявлений и рыхлых отложений различного генезиса получены новые и уточнены известные данные о генетическом значении особенностей структуры и состава золота в месторождениях группы золото-сульфидно-кварцевых формаций в россыпях с коренными источниками этого типа.

Показано, что наиболее тесную зависимость от глубины формирования месторождения обнаруживают признаки зонального строения золотин и зерен золота в агрегатах, обусловленные изменением содержания серебра в самородном золоте в процессе его кристаллизации.

На большом числе объектов прослежена известная закономерность (Берман, Тренина, 1968; Петровская, 1969^{1,2}; и др.), заключающаяся в более широком развитии зональных структур низкопробного золота по мере уменьшения глубины его образования.

Зависимость размеров зерен, слагающих выделения золота, от глубины формирования руд менее прямолинейна, так как размер зерен пропорционален размеру выделений золота в рудах, значительно варьирующему в месторождениях одинаковой глубины.

По данным статистической обработки результатов определения пробы установлено, что средняя проба золота в близповерхностных месторождениях (исключая месторождения золото-теллуридного

типа), как правило, не превосходит 750, в месторождениях больших и средних глубин превышает 750. В глубинных месторождениях преобладает золото выше 800 пробы. Наблюдается закономерное увеличение дисперсии содержаний серебра в золотинах от руд глубинных к близповерхностным.

По представлениям автора, наиболее четкая направленность изменения состава элементов-примесей в золоте, кристаллизовавшемся на различных глубинах, заключается в возрастании набора примесей и их содержаний по мере уменьшения глубины кристаллизации.

Общая закономерность при многостадийном формировании оруденения — увеличение числа обособленных фаз твердых растворов или интерметаллических соединений ряда золото — серебро, различающихся по времени отложения из растворов, размерам, форме, структуре, составу и условиям локализации в рудах.

Установлено, что золото раннее, как правило, испытывает более интенсивную перекристаллизацию, чем золото позднее.

Распределение содержаний большинства примесей в золоте одной генерации аппроксимируется нормальному и логнормальному законам. При двухэтапном формировании оруденения кривая распределения ряда примесей двумодальная. Для отдельно взятого золота, отлагавшегося в рудах первого и второго этапов, кривые распределения приближаются к нормальной и логнормальной и различаются по знаку асимметрии и величине эксцесса.

В результате сравнительного изучения золота из близких по генезису и условиям локализации, но различающихся по возрасту месторождений установлено, что чем древнее золото, тем слабее выражены в нем структуры многократной перекристаллизации и более однородны его структура и состав.

В экзогенных месторождениях наибольший интерес представляют изменения состава и структуры золота в зависимости от времени пребывания его в зоне гипергенеза и в результате многократной механической миграции золотин.

Наблюдения над межзерновыми высокопробными прожилками, возникающими у золота в корках выветривания и зонах окисления, дают основания считать, что этот процесс продолжается в условиях россыпи.

Наиболее сильное разрастание прожилков наблюдалось у золота в древних корках выветривания. Интенсивность образования прожилков возрастает у золота, испытывавшего эндогенную перекристаллизацию с образованием полиэдрически-зернистых структур.

Перекристаллизация приповерхностного слоя золотин, сопровождающаяся выносом серебра (коррозия), также начинается в корках выветривания и зонах окисления месторождений. Более низкопробное золото корродируется быстрее. Коррозия ускоряется в химически агрессивных средах и в контакте золота с сульфидами (действие электрохимических факторов). В россыпях коррозия сопровождается пластическими деформациями, полученными золотом до начала интенсивной коррозии, одновременно с ней и после заверше-

ния этого процесса. Относительное время получения деформации обуславливает развитие специфических структур корродированной оболочки: пористой, плотной, слоистой, с признаками рекристаллизации и др.

Глубина коррозии при прочих равных условиях зависит от времени поступления золота из коренного источника в россыпь (Переляев, 1953) или, точнее, от времени поступления золота в зону окисления. Но абсолютная и относительная мощность корродированных оболочек разновозрастного золота значительно варьирует в разных районах и месторождениях в зависимости от пробы золота, вмещающей среды, интенсивности деформаций руд и золотин и от климатических условий.

Изменения структуры золота, не связанные с выносом серебра, в экзогенных условиях связаны с появлением линий скольжения, изгибами и распадом (расщеплением) двойников и возникновением структур рекристаллизации в участках деформаций. Повторные деформации, осложняющие структуры рекристаллизации, позволяют распознавать периоды возобновления механической миграции золотин.

Использование генетических особенностей золота в качестве дополнительных к геологическим признаков на разных этапах комплексного изучения ряда месторождений, рудопроявлений и золотоносных областей позволило получить новые данные для восстановления истории формирования золоторудных месторождений и россыпей, закономерностей их локализации, выявления обогащенных участков.

Для выяснения закономерностей локализации разнотипного оруденения рекомендуется сравнительное изучение золота из рудопроявлений и из рыхлых континентальных отложений различного возраста и картирование размещения в пределах крупных структурных единиц золота, имеющего определенные генетические особенности (размеры, форму, состав, структуру выделений). Для решения вопроса о местоположении коренных рудопроявлений прослеживается на протяжении отдельных долин изменение ряда особенностей золота: размеров его частиц, их массы по классам, степени окатанности, уплотненности, внутренней структуры, пробы, количества сростков с вмещающими минералами.

Изменчивость признаков, характеризующих золото, в ряде случаев может быть успешно использована для изучения эндогенной зональности месторождений. Это особенно важно для близповерхностных месторождений, где знание зональности помогает судить об уровне эрозионного среза, а последнее необходимо при оценке перспектив оруденения.

Подчеркивается возможность выявления обогащенных участков рудных зон, месторождений, рудных тел на основании развития в них золота, типичного для наиболее продуктивной ассоциации, для рудных столбов данного месторождения, для различных стадий (и, возможно, этапов) оруденения.

Приведенные в работе примеры показывают, что использовать

генетические особенности самородного золота в качестве поисково-оценочных признаков возможно на разных этапах исследований, направленных на изучение золотоносности. Уже на стадии мелкомасштабного прогнозирования в районах, лишенных горных выработок, изучение золота из штучных образцов, взятых из свалов кварца и копушей, и золота в шлихах, полученных из элювия, делювия и аллювия, дает определенный материал для суждения о возможной формационной принадлежности руд и закономерностях их локализации. Необходимо учитывать, что золото при этом извлекается из руд и пород, подвергшихся выветриванию, и из гипергенных образований. Поэтому при изучении золота нужно различать признаки эндогенные и появившиеся в гипергенных условиях.

Сопоставление особенностей россыпного и рудного золота используется для прослеживания распространения его разновидностей. При более детальных работах уточняются предварительные выводы. Определяются разновидности выделений золота и, по мере углубления общих геологических и минералогических исследований и накопления данных по характеристике особенностей золота, становится возможным использовать последние для восстановления истории формирования золотого оруденения и россыпей, выявления перспективных площадей, участков и зон и возможного местоположения коренных источников россыпей.

Наконец, при разведке и эксплуатации месторождений генетические признаки золота могут служить для изучения эндогенной зональности, выявления обогащенных участков рудных тел, суждения об уровне эрозионного среза, о роли кор выветривания и зоны окисления в питании россыпей золотом и др.

Следует постоянно помнить о конвергентности особенностей золота и подходить к их интерпретации с учетом геологических, геоморфологических и минералогических данных, используя генетические признаки золота не как единственные, но как одни из общего комплекса поисково-оценочных признаков.

Для дальнейшего расширения и более уверенного использования генетических особенностей золота при решении практических задач следует:

- 1) углублять наши представления о типоморфном значении признаков, характеризующих золото на всех этапах его жизни — от зарождения и кристаллизации до полной перекристаллизации, регенерации или старения твердого раствора.

Большую роль в изучении золота — от вопросов онтогении до получения критериев для распознавания регенерированного золота — должны сыграть экспериментальные работы, имитирующие условия переноса золота, его кристаллизации и последующих преобразований как в эндогенных, так и в экзогенных условиях;

- 2) накапливать материал об особенностях самородного золота в месторождениях, рудопроявлениях, консолидированных и рыхлых континентальных и морских отложениях разного типа и возраста в различных золотоносных областях СССР. Заслуживает внедрения в практику предложение Н. В. Петровской о включении некоторых

легко распознаваемых признаков золота в программы документации при описании рудных тел и россыпей.

В лабораториях геологоразведочных экспедиций должна храниться занесенная на перфокарты более детальная информация об особенностях самородного золота и условиях его локализации.

Изучение генетических особенностей самородного золота в тесной увязке с исследованиями условий его нахождения расширит и углубит представления о типоморфном значении признаков золота и позволит применять их для решения еще более обширного круга практических вопросов.

Амосов Р. А., Гуреев В. Ф. К онтогении самородного золота. — «Труды ЦНИГРИ», 1971, вып. 96, с. 138—148.

Амосов Р. А., Чувикина Н. Г. Нитевидные и проволочковидные кристаллы самородного золота. (Тезисы докладов симпозиума «Минералогия и геохимия золота», ч. Т.). Владивосток, 1974, с. 31—33.

Бадалова Р. П., Бадалов С. Т. О пробности золота из эндогенных месторождений и рудопроявлений Узбекистана. — «Докл. АН СССР. Серия геол.», т. 173, № 4, 1967, с. 914—916.

Бадалова Р. П., Николаева Э. П. Субмикроскопические структуры самородного золота и их особенности в золоторудных месторождениях Узбекистана. — «Зап. Узб. отд. Всесоюз. минер. о-ва», 1970, вып. 21, с. 85—89.

Бадалова Р. П., Николаева Э. П., Толкачева Л. Ф. Изучение микротвердости минералов ряда золото — серебро из золоторудных месторождений Узбекистана. — В кн.: Физические свойства редкометаллических минералов и методы их исследования. М., «Наука», 1968, с. 72—75.

Берман Ю. С., Тренина Т. И. Об образовании зональных внутренних структур в золоте. — «Колыма», 1968, № 9, с. 38—40.

Берман Ю. С., Новиков В. М. К вопросу о пробности золота. — «Колыма», 1969, № 2, с. 41—43.

Берман Ю. С., Волярович Г. П., Казаринов А. И. Минералогическо-химические особенности золота месторождений, сформировавшихся в близповерхностных условиях. — «Сов. геология», 1972, № 7, с. 47—55.

Бернштейн П. С., Козак С. С. Определение пробы золота оптическим методом. — «Труды ЦНИГРИ», вып. 87, 1970, с. 247—254.

Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М., «Наука», 1965. 205 с.

Бондаренко В. Н. Статистические решения некоторых задач геологии. М., «Недра», 1970. 246 с.

Гребенчиков А. М., Николаева Л. А. Типоморфизм золота и особенности изменения золото-серебряного отношения на близповерхностных золотопроявлениях Казахстана. (Тезисы докладов симпозиума «Минералогия и геохимия золота», ч. Т.). Владивосток, 1974, с. 54—55.

Грум-Гржимайло Н. В. Электросопротивление и холл-эффект сплавов золота и серебра. — «Неорганическая химия», 1956, вып. 9, № 1, с. 91—108.

Заварицкий А. Н. Метаморфизм и метасоматизм в Уральских колчеданных месторождениях. — В кн.: Колчеданные месторождения Урала. М., Изд-во АН СССР, 1950, с. 7—18.

К вопросу о распределении элементов-примесей в самородном золоте из различных месторождений. — «Труды ЦНИГРИ», 1971, вып. 96, ч. 1, с. 130—137. Авт.: И. П. Ланцев, Л. А. Николаева, Р. П. Бадалова, Л. К. Денисова.

Кореннова Н. Г. Микроструктурный метод определения пробности мелких золотин. — «Труды ЦНИГРИ», 1969, вып. 86, ч. 2, с. 58—61.

Крейтер В. М. Размеры частиц золота в сульфидных месторождениях как признак пострудного метаморфизма. — «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1948, № 1, с. 159—162.

Лившиц Д. М., Фишкова Н. Л. Определение пробы природных золотин методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. — «Труды ЦНИГРИ», вып. 86, ч. 2, 1969, с. 56—58.

Лебедева С. Н. Определения микротвердости минералов. М., Изд-во АН СССР, 1963. 111 с.

Моисеенко В. Г. Метаморфизм золота месторождений Приамурья. Хабаровск, 1965. 125 с.

Моисеенко В. Г. Поведение золота при термическом метаморфизме. — В кн.: Генетические особенности и общие закономерности размещения и развития золотой минерализации Дальнего Востока. М., «Наука», 1966, с. 100—110.

Моисеенко В. Г., Михайлов М. А., Сахаров В. Г. Поведение золота и серебра при осадконакоплении, вулканизме и метаморфизме. Новосибирск, «Наука», 1974, 192 с.

Некрасова А. Н., Шохор Ф. А. Особенности состава и внутреннего строения и характер распределения золота в рудах одного из близповерхностных золото-серебряных месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. (Тезисы докладов симпозиума «Минералогия и геохимия золота», ч. Т.). Владивосток, 1974, с. 34—35.

Неоднородность самородного золота. — В кн.: Вопросы однородности и неоднородности минералов. М., «Наука», 1971, с. 44—62. Авт: Н. В. Петровская, В. Г. Лютцау, К. Е. Фролова и др.

Николаева Л. А. Особенности самородного золота. — «Труды ЦНИГРИ», 1967, вып. 76, с. 203—225.

Николаева Л. А. О преобразованиях внутренней структуры золота в россыпях. — «Труды ЦНИГРИ», 1968, вып. 79, с. 250—257.

Николаева Л. А. Изменения структуры золота при метаморфизме руд некоторых месторождений Средней Азии. — «Зап. Узб. отд. Всесоюз. минер. об-ва, 1973, вып. 26, с. 105—109.

Николаева Л. А., Бадалова Р. П. Внутренняя структура самородного золота как критерий условий формирования руд. — «Труды ЦНИГРИ», 1970, вып. 87, с. 143—153.

Николаева Л. А., Бадалова Р. П. К вопросу о типоморфном значении состава самородного золота. — В кн.: Полезные ископаемые Средней Сибири. 1974, с. 106—108. (СНИИГГИМС. Труды. Вып. 144.)

Николаева Л. А., Яблокова С. В. К вопросу о методах изучения золота при металлогенических и поисковых работах. — «Труды ЦНИГРИ», вып. 112, 1974, с. 52—63.

О раннем золоте и возможностях его перераспределения в сульфидных рудах. — В кн.: Актуальные проблемы геологии золота на Северо-Востоке СССР. Магадан, 1972, с. 64—69. (СВКНИИ. Труды. Вып. 44.) Авт.: М. С. Сахарова, В. Н. Аполлонов, Н. А. Калиткина, Н. Н. Кривицкая.

Особенности самородного золота как показатели генезиса близповерхностных третичных месторождений Нижнего Приамурья. — «Геология рудных месторождений», 1971, № 1, с. 17—27. Авт.: Н. В. Петровская, В. М. Новиков, К. Е. Фролова и др.

Пересяев А. П. Критерий для определения возраста золотоносных россыпей. Свердловск, 1953, с. 127—129. (ГГИ УФ АН СССР. Труды. Вып. 20).

Петровская Н. В. Морфология и структура «нового» золота. — «Докл. АН СССР», 1941, с. 32, № 6, с. 424—426.

Петровская Н. В. Некоторые особенности внутрирудного метаморфизма золото-кварцевых образований на примере месторождений Енисейского края. «Труды ЦНИГРИ», 1956, вып. 21, с. 3—45.

Петровская Н. В. О типоморфизме самородного золота. — В кн.: Проблемы геологии минеральных месторождений, петрологии и минералогии. М., «Наука», 1969₁, с. 260—286.

Петровская Н. В. Типоморфизм и некоторые черты генезиса самородного золота в убогосульфидных рудах формации малых глубин (на примере месторождений Забайкалья). — В кн.: Типоморфизм минералов. М., «Наука», 1969₂, с. 69—103.

Петровская Н. В. Интраминерализационное развитие деформации, перекристаллизации и переотложения минерального вещества при формировании золоторудных месторождений. — «Труды ЦНИГРИ», 1970, вып. 87, с. 118—142.

Петровская Н. В. Самородное золото. М., «Наука», 1973, 347 с.

Петровская Н. В., Новгородова М. И., Фролова К. Е. Основы представлений о структурах и субструктурах эндогенных выделений золота. (Тезисы докладов симпозиума «Минералогия и геохимия золота», ч. Т.) Владивосток, 1974, с. 29—30.

Петровская Н. В., Фасталович А. И. Морфологические и структурные особенности самородного золота. Материалы по минералогии золота. Изд. отраслевого бюро техн. информ. Главцветмета, 1952, с. 3—148.

Петровская Н. В., Фасталович А. И. Изменение внутренней структуры самородного золота в условиях россыпей. — В кн.: Вопросы геологии Азии. (Юбилейный сб., посвященный 90-летию ак. Обручева, т. 2.) М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 245—256.

Петровская Н. В., Фролова К. Е. Опыт сравнительного исследования морфологии тонкодисперсного золота и микрорельефа поверхности золотых выделений (по данным электронной микроскопии). — В кн.: Типоморфизм минералов. М., «Наука», 1969, с. 104—127.

Петровская Н. В., Элинсон М. М., Николаева Л. А. Состав и условия образования газовых включений в самородном золоте. (Тезисы докладов Международного геохим. конгресса, т. 1.) М., 1971, с. 328—329.

Поведение золота в зоне окисления золото-сульфидных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1958. 266 с. Авт.: В. М. Крейтер, В. В. Аристов, И. С. Волынский и др.

Попенко Г. С., Ципкина П. Е., Николаева Л. А. Состав и внутреннее строение золота в четвертичных россыпях бассейна р. Чирчик. — «Зап. Узб. отд. Всесоюз. минер. о-ва», вып. 26, 1973, с. 117—119.

Применение результатов геоморфолого-минералогических исследований для оценки перспектив золотоносности (на примере одной из россыпей Северного Прибайкалья). — В кн.: Геология, методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. М., 1973, с. 20—29. (Всесоюз. ин-т минер. сырья. Экспресс-информация. Вып. 6. Инф. 9.) Авт.: Л. А. Николаева, Ю. П. Казакевич, Н. М. Риндзюнская, А. Д. Кетров.

Росляков Н. А., Рослякова Н. В. Геохимические исследования россыпного золота в Восточном Забайкалье. — «В кн.: Проблемы геологии россыпей. (Тезисы докладов III Всесоюз. совещания по геологии россыпей.) Магадан, 1969, с. 206—207.

Сапрыкин А. А., Яблокова С. В. Особенности внутренней структуры золота из древних россыпей Приамурья. — «Изв. Томск. политехн. ин-та», 1970, т. 239, с. 390—397.

Сахарова М. С., Колонин Г. Р., Калиткина Н. А. Исследования температурных условий рекристаллизации золота в сульфидных рудах. (Тезисы докладов III Всесоюз. совещания по минерал., термобарометрии и геохимии глубинных минералообразующих растворов.) М., 1968.

Синюгина Е. Я., Волярович Г. П., Яблокова С. В. О связи аллювиальных россыпей золота с коренными источниками. — «Труды ЦНИГРИ», 1967, вып. 76, с. 170—188.

Шарапов И. П. Применение математической статистики в геологии. М., «Недра», 1965. 259 с.

Шер Л. С. К вопросу о связи россыпей с коренными источниками. — «Труды ЦНИГРИ», 1968, вып. 79, с. 326—331.

Шер С. Д. Металлогения золота (Сев. Америка, Австралия, Океания). М., «Недра», 1972. 296 с.

Шер С. Д. Металлогения золота (Африка, Евразия, Южная Америка). М., «Недра», 1974. 256 с.

Яблокова С. В. Образование «нового» золота в некоторых россыпях Ю. Якутии. — «В кн.: Геология россыпей. М., «Наука», 1965, с. 152—155.

Яблокова С. В. Методика изучения золота при установлении связи россыпей с коренными источниками. — В кн.: Проблемы геологии россыпей. (Тезисы докладов III Всесоюз. совещания по геологии россыпей.) Магадан, 1969 с. 201—202.

Яблокова С. В. Типоморфизм золота зоны гипергенеза на примере одного из месторождений Южной Якутии. (Тезисы докладов симпозиума «Минералогия и геохимия золота», ч. Т.) Владивосток, 1974, с. 60—61.

Fisher M. S. The origin and composition of alluvial gold with special reference to the Morobe Goldfield, New Guinea. — «Bull. Inst. Mining a metallurg.», 1935, vol. 44, N 7, p. 449—497, N 8, p. 537—563.

От редактора	3
Предисловие	5
История изучения типоморфизма самородного золота	7
Глава I. Методы исследования самородного золота	12
Методика полевых и камеральных исследований самородного золота	12
Характеристика отдельных методов исследования	13
Глава II. Особенности структуры и состава эндогенного золота	28
Особенности золота в месторождениях различной глубины	29
Признаки стадийности оруденения	41
Эндогенная перекристаллизация золота	47
Зависимость состава золота от металлогенической специализации территории	53
Особенности золота в месторождениях различного возраста	55
Изменение особенностей золота в зависимости от различных геологических условий	56
Глава III. Изменения структуры и состава самородного золота в экзогенных условиях	57
Преобразования золота в корах выветривания и в зоне окисления рудных месторождений	57
Преобразование золота в россыпях	64
Глава IV. Генетические особенности золота как поисково-оценочные признаки	68
Условия и история формирования золотого оруденения...	68
Закономерности локализации разнотипного оруденения...	73
Эндогенная зональность месторождений	74
История формирования россыпей	82
Дополнительные возможности использования особенностей самородного золота при изучении и оценке золотоносных площадей и рудных тел	88
Заключение	92
Список литературы	97

ИБ № 1397

Лидия Александровна Николаева

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
САМОРОДНОГО ЗОЛОТА
КАК КРИТЕРИИ
ПРИ ПОИСКАХ И ОЦЕНКЕ
РУД И РОССЫПЕЙ

Редактор издательства *Л. Г. Рожкова*

Обложка художника *Б. К. Силаев*

Художественный редактор *В. В. Евдокимов.*

Технический редактор *О. А. Болтунова.*

Корректор *Л. И. Округло*

Сдано в набор 3/VIII 1977 г. Подписано в печать 1/XII 1977 г.
Т-21025. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага № 1. Печ. л. 6,5.
Уч.-изд. л. 7,15. Тираж 1500. Заказ 2261/12153—4. Цена 40 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19.

Производственное объединение «Полиграфист» Управления
издательств, полиграфии и книжной торговли Саратовского
облисполкома. Саратов, пр. Кирова, 27.

ГЕОЛОГИЯ месторождений угля и горючих сланцев СССР. Том 12. 30 л. 5 р. 03 к. В пер. Авт.: Аммосов И. И., Клер В. Р., Терентьев Е. В.

В книге приведены сведения о развитии добычи углей в СССР, их роли в топливно-энергетическом балансе страны, основные технико-экономические направления развития угольной промышленности СССР. Обобщены данные по запасам углей с учетом распределения их по бассейнам и угленосным площадям, типам и маркам, возрасту. Описываются петрографические особенности и качественная характеристика углей. Сопоставлены стратиграфические схемы палеозойских, мезозойских и кайнозойских угольных бассейнов СССР. Тектоника угольных месторождений описана с учетом их геолого-промышленной оценки. Ряд разделов посвящен характеристике горно-геологических условий эксплуатации месторождений газоносности угольных пластов, физико-механическим свойствам пород и углей, малоамплитудной нарушенности, трещиноватости, самовозгорания угля, сейсмическим явлениям, устойчивости вмещающих пород, гидрогеологическим, геотермическим и другим факторам, имеющим большое значение для экономики угледобычи.

Книга предназначена для геологов-угольщиков научных, геологоразведочных и эксплуатационных организаций. (Предыдущий 9-й том вышел в 1973, X в 1962 и XI в 1968 г.).

ГУТКИН Е. С. Геология и геохимия девонских бокситов Северного Урала 20 л. 3 р. 53 к.

В книге рассматриваются геолого-геохимические особенности палеозойских бокситовых месторождений Северного Урала. Исследования базировались на большом фактическом материале, собранном за последние 20 лет. Детально изучена тектоника месторождений, строение рудных тел, вещественный и минеральный состав бокситов. Описываются факторы, контролировавшие седиментацию, эпигенез и выветривание бокситов. Суммированы и обоснованы принципы, по которым следует давать оценку бокситоносности девонских отложений на Урале, критерии для отличия разных по масштабу оруденения месторождений на стадии поисково-разведочных работ.

Книга рассчитана на широкий круг геологов, занимающихся изучением бокситов, поисками и разведкой бокситовых месторождений.

НЕОГЕН и антропоген Азербайджана. 20 л. 3 р. 53 к. Авт.: Али-Заде А. А. Агаларова Д. А. Воршилова А. Г. и др.

Книга посвящена вопросам стратиграфии и фауны неогена и антропогена на территории Азербайджана и является первым монографическим обобщением большого фактического материала. В ней дано стратиграфическое расчленение неогена и антропогена на ярусы и подъярусы, показано распространение и приведена их литологическая характеристика, описана руководящая макро- и микро-фауна по отдельным стратиграфическим единицам.

Книга рассчитана на геологов, палеонтологов и стратиграфов, изучающих неогеновые и антропогеновые отложения Юга СССР и сопредельных стран.

ПРИНЦИПЫ прогнозирования свинцово-цинковых месторождений и методика составления прогнозных карт. 15 л. 1 р. 16 к. Авт.: Биндеман Н. Н., Иванкин П. Ф., Некрасов Е. М. и др.

В книге рассматриваются актуальные вопросы, связанные с принципами и методами прогноза эндогенных месторождений. Охарактеризована методика составления прогнозных карт для различных свинцово-цинковых структурно-металлогенических зон, разделенных согласно предлагаемой систематике на ряд типов. Приводится характеристика прогнозных карт Рудного Алтая, Енисейского кряжа, Сихотэ-Алиня, различных районов Кавказа и других структурно-металлогенических зон. Рекомендуются рациональные комплексы поисковых методов при поисках свинцово-цинковых месторождений в структурно-металлогенических зонах разного типа.

Книга рассчитана на геологов-производственников и научных работников, проводящих прогнозно-металлогенические исследования, а также на студентов геологических вузов.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «Книга — почтой» магазинов: № 17 — 199178, Ленинград, В. О. Средний проспект, 61; № 59 — 127412, Москва, Коровинское шоссе, 20

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»

40 коп.

2336

НЕДРА