

*В.А. Буряк*

**В.А. БУРЯК  
Н.М. ХМЕЛЕВСКАЯ**

**СУХОЙ ЛОГ-  
ОДНО ИЗ КРУПНЕЙШИХ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИРА**



**Владивосток  
Дальнаука**

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
FAR EASTERN BRANCH  
THE COMPLEX ANALYSIS  
OF REGIONAL PROBLEMS  
INSTITUTE

**V.A. BURYAK, N.M. KHMELEVSKAYA**

**SUKHOY LOG, ONE OF THE GREATEST  
GOLD ORE DEPOSITS IN THE WORLD:  
(genesis, distribution patterns,  
prospecting criteria)**



Vladivostok  
Dalnauka  
1997

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА  
РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

**В.А. БУРЯК, Н.М. ХМЕЛЕВСКАЯ**

**СУХОЙ ЛОГ - ОДНО ИЗ КРУПНЕЙШИХ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИРА  
(генезис, закономерности размещения  
оруденения, критерии прогнозирования)**



Владивосток  
Дальнаука  
1997

Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог - одно из крупнейших золоторудных месторождений мира (генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования). Владивосток: Дальнаука, 1997. 156 с.

Впервые приводится развернутая характеристика месторождения Сухой Лог - одного из крупнейших в мире, но очень слабо освещенного в печати, расположенного в России в черносланцевых толщах Ленского золотоносного района. Охарактеризованы история обнаружения месторождения, условия образования и закономерности размещения оруденения, приведены критерии его прогнозирования, методы поисков и оценки, позволяющие успешно проводить поиски и оценку подобного оруденения в других районах.

Для широкого круга геологов и бизнесменов, занимающихся поисками, оценкой и освоением новых месторождений.

Ил. 31, табл. 13, библи. 26 назв.

Buryak V.A., Khmelevskaya N.M. Sukhoi Log, one of the greatest gold ore deposits in the World. Vladivostok: Dalnauka, 1997. 156 p.

The book discloses for the first time detailed informations upon the one of the greatest in the World, but little known gold ore deposit located in Russia, in black shale formations of Lena gold province. Among other topics you find how this deposit has been discovered, geological setting of the whole province and of the gold deposit itself, genesis and gold ore distribution patterns, criteria and procedures of prospecting and assessing gold ores are given.

This book is intended for many geologists and businessmen, who are engaged in prospecting, assessing, and mining new deposits, the gold ores deposits in the first line.  
III,31, tabl. 13, bibl. 26.

Ответственный редактор акад. АМР проф. Ф.Н. Рянский  
Рецензент чл.-корр. РАЕН, акад. АМР  
д-р геол.-минер. наук Ю.И. Бакулин

Утверждено к печати Ученым  
советом ИКАРП ДВО РАН

**З**олото издавна играет очень важную роль в человеческом обществе. Потребление его быстро растет и, несомненно, будет все более увеличиваться, особенно в новейших высокоэффективных видах производства. В связи с этим поиски новых месторождений золота, прежде всего крупных и очень крупных, таких как Сухой Лог, - первоочередная задача.

Настоящая работа (основным из авторов которой является В.А. Буряк - широко известный специалист в области изучения золота, первооткрыватель месторождения Сухой Лог), специально посвященная этому месторождению, заинтересует, несомненно, многих. В ней впервые, в основном по результатам многолетних личных исследований авторов, детально освещены особенности геологического строения этого интересного месторождения и всего Ленского золотоносного района, в который оно входит. Приведены оригинальные данные по метаморфической зональности и характеру минерализации, освещена роль состава пород и структурно-тектонических факторов в локализации оруденения. Большое внимание уделено раскрытию генезиса месторождения и разработке на этой основе критериев его поисков и оценки, которые были успешно использованы при выявлении и оценке не только Сухого Лога, но и других аналогичных объектов.

Сухой Лог - очень крупное по своим запасам и весьма благоприятное для освоения месторождение. Так, по сообщению британской газеты "Файнэншл таймс" от 11 апреля 1995 г. (статья корреспондента газеты - эксперта по вопросам горной промышленности Кеннета Гудинга), воспроизведенному с комментариями в газете "Советская Россия" от 22 апреля 1995 г., разведанные запасы Сухого Лога оцениваются примерно в 50 млн тройских фунтов, что составляет более 18 тыс. т. Прогнозные ресурсы в этом же сообщении оцениваются в 100 млн тройских фунтов, т. е. в 2 раза большие, чем разведанные запасы. <sup>1500 т ?</sup> **3000 т.**

Можно дискутировать относительно точности этих цифр и степени вероятности прогнозов, но несомненно одно - запасы Сухого Лога весьма значительны, а сам факт его открытия побуждает к поиску подобных месторождений в других регионах - как в России, так и в других странах.

Геологические данные и рекомендуемые в настоящей работе методы поисков и оценки позволяют это успешно осуществлять, что и определяет практическую значимость монографии.

С общенаучной точки зрения она прежде всего ценна тем, что ее авторы, собрав и обобщив богатый фактический материал, обосновывают выделение перспективного нового - метаморфогенно-гидротермального промышленного - типа золоторудных месторождений, который ранее никем не выделялся.

Профессор Ф.Н. Рянский

In the human world gold since long has been playing a very important role. Gold consumption grows very fast. So it will do in future. Especially in higheffective production kinds. Therefore, to prospect big and biggest gold deposits, those similar to the Sukhoy Log, is an urgent task.

One of the authors is V.A. Buryak, a well-known gold expert, the Sukhoy Log discoverer. In particular, this work is devoted to the Sukhoy Log deposit. Basing on long-term investigations, authors interpret in detail characteristics of Lena gold area including the Sukhoy Log deposit, their structure and peculiarities. The monograph yields genuine data on metamorphic zonality and mineralization character as well as upon rock composition and structural-tectonic factors of deposit localization.

A special attention is given to the genesis of the deposit. Hence, effective criteria for deposit's prospecting and appreciation. These criteria were successfully used to discover and appreciate not only the Sukhoy Log itself, but to other similar objects, too.

The Sukhoy Log deposit, by its stock, is a very big one and favourable to develop. As reported in the British Financial Times, April 2nd 1995 by Kennet Goodding, a mining industry expert, the discovered stock in Sukhoy Log is appreciated as 50 million troy pounds or more than 18.000 tons. Undoubtedly, these are considerable values, so it is worth to search for similar deposits both in Russia and in other countries.

Geological data and methods of prospecting and appreciation recommended in the present book enable one to search and develop successfully. Herein lies the most important practical significance of this study. Basing on numerous facts, a new type of gold deposits is singled out. That's why the book is valuable from scientific viewpoint.

Prof. F.N. Ryansky

**З**олоторудное месторождение Сухой Лог находится в России на севере Иркутской области (Восточная Сибирь) в пределах известного Ленского золотоносного района, который славится уникальными по содержанию и запасам золотоносными россыпями (рис. 1).

Россыпи в Ленском золотоносном районе успешно разрабатываются с 1846 г. и до сих пор имеют важное промышленное значение. В общей совокупности из них уже добыто около 2 тыс. т золота.

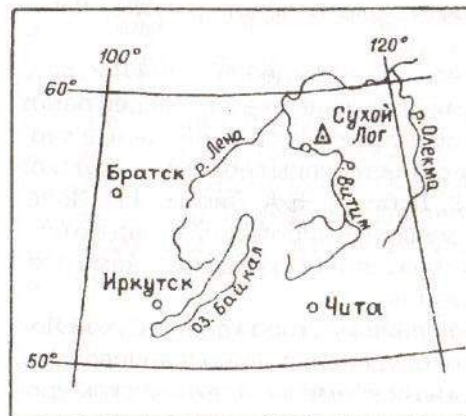


Рис. 1. Географическое положение месторождения Сухой Лог

Это один из богатейших в мире золотороссыпных районов - крупнейшая золотоносная аномалия. Однако до недавнего времени промышленных золоторудных месторождений, явившихся коренными источниками россыпей, здесь не было выявлено. Вся золотодобыча производилась из россыпей. Были обнаружены лишь мелкие золоторудные объекты - отдельные кварцевые жилы, не представляющие значительного интереса. В связи с этим среди геологов были широко распространены взгляды, согласно которым считалось, что все коренные источники золотоносных россыпей в районе глубоко эродированы и объектов промышленного значения среди них не осталось.

Геолого-разведочные работы последних двух десятилетий опровергли эти суждения. В результате настойчивых длительных уси-

лий среди углеродсодержащих осадочных толщ черносланцевой формации (black shales) удалось выявить, успешно разведать и подготовить к промышленной эксплуатации золоторудное месторождение Сухой Лог, явившееся одним из крупнейших в мире.

Рядом обнаружены другие, аналогичные по генезису золоторудные месторождения и рудопроявления, представляющие существенный интерес.

В настоящей работе в кратком обобщенном виде излагаются основные геологические данные, характеризующие месторождение Сухой Лог, особенности его генезиса, закономерности размещения оруденения, позволяющие открывать и успешно разведывать подобные месторождения как в Ленском золотоносном районе, так и в других регионах мира.

В. А. Буряк - первооткрыватель месторождения Сухой Лог, автор проекта и генетических концепций, изложенных в настоящей работе и приведших к выявлению и последующей успешной оценке этого месторождения. В 1980 г. ему в составе группы геологов Иркутского геологического управления (В.Ф. Дубинин, В.А. Лисий, Н.П. Попов, Н.С. Романченко, В.Е. Рябенко), внесших наибольший вклад в открытие, разведку и подготовку месторождения к промышленному освоению, присуждена Ленинская премия.

В классификационном отношении месторождение Сухой Лог - типичный представитель золотого оруденения черносланцевой формации (black shales), являющейся на современном техническом уровне наиболее перспективной для обнаружения крупных высококоррелябельных объектов и привлекающей к себе в связи с этим все возрастающее внимание в различных регионах мира. Вместе с тем изученность этого типа оруденения, несмотря на значительный объем проведенных исследований, остается все еще слабой, недостаточной для его успешного поиска и оценки. Многие вопросы, касающиеся прежде всего генезиса оруденения и закономерностей его размещения, неясны, остродискуссионны. В связи с этим недостаточно разработана методика поисков и оценки такого оруденения.

Понятно, что все это сдерживает выявление и успешную оценку такого типа месторождений.

Месторождение Сухой Лог к настоящему времени детально разведано и хорошо изучено. Однако сведения о нем в имеющейся печатной литературе в силу различных причин весьма скудные, разрозненные. В настоящей работе впервые приводятся свободные

обобщающие данные по этому интересному и во многом оригинальному объекту - **весьма простому**, как оказывается, по минеральному составу и форме рудных тел.

Монография составлена в основном по результатам личных исследований В. А. Буряка, которые он начал проводить на месторождении и в его районе начиная с 1957 г. Широко использовались, разумеется, помощь и данные других геологов - друзей, товарищей и коллег по совместной работе - Н.П. Попова, И.В. Коновалова, И.К. Василенко, В.А. Лисия, Л.П. Нечаева, В.К. Шипунова, С.С. Пальшина, Н.К. Кочеткова, В.В. Коткина, А.П. Беляева, Е.А. Эпова, В.Ф. Дубинина, Н.А. Львовой, В.В. Залуцкого, Е.Д. Иньшина, Г.Х. Бреевой, С.Д. Шера, П.М. Хренова, С.И. Другова, И.М. Коробушкина, В.В. Адельсона, В.Н. Шарова, А.П. Кухнюка, В.Н. Чалого, Н.А. Суслова и многих других. Всем им авторы выражают искреннюю признательность.

Большинства из названных геологов, к сожалению, уже нет в живых. Таков неумолимый ход времени. Но хотелось бы, чтобы память о них сохранилась. Решающий вклад в разведку и изучение месторождения Сухой Лог внесли геологи Бодайбинской экспедиции Иркутского геологического управления. Всем им и посвящается настоящая книга.

## ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУХОЙ ЛОГ

История открытия месторождения Сухой Лог весьма любопытна и поучительна. Она показывает, как непросто происходит открытие крупных золоторудных объектов в золотороссыпных районах, особенно в тех, где россыпи давно известны и где они богатые, крупные по запасам, но коренные источники их длительное время безуспешно разведываются и оцениваются. Открытие золоторудных месторождений в этих случаях происходит лишь, как правило, в результате отхода от традиционных теоретических представлений и методов поисков и благодаря выработке новых генетических концепций и подходов.

Сухой Лог в этом отношении весьма показателен. Дело в том, что он известен давно - с 1886 г., но как мелкое кварцево-жильное месторождение, не рентабельное для отработки. Как золотосульфидное месторождение прожилково-вкрапленного типа он был выявлен и успешно разведан значительно позднее в 1979 г., т. е. спустя почти 100 лет в результате длительных геолого-разведочных работ, начатых в 1961 г. и специально поставленных на площади этого месторождения с целью выявления и оценки ранее неизвестного здесь золотосульфидного оруденения.

До этого разведочные работы на площади месторождения в небольших объемах (канавы, шурфы) проводились дважды - в конце прошлого столетия - в 1886-1887, 1894-1895 гг. и в середине нынешнего столетия - в 1957-1960 гг. Выполнялись они с целью поисков и оценки золотоносных кварцевых жил и прожилков, выявленных к тому времени на площади месторождения и часто содержавших визуально наблюдаемые мелкие и крупные выделения самородного золота, весом до нескольких граммов - десятков граммов, аналогичные тем, что часто встречались в россыпях, со всех сторон примыкающих к площади месторождения (рис. 2). Проводилось также и опробование боковых вмещающих пород, в различной мере минерализованных сульфидами и кварцем.

Однако все эти работы не дали положительных результатов. Золото в жилах и прожилках оказалось распределенным крайне неравномерно, а среднее содержание его не превышало 3-4 г/т. Обогащенные участки со средним содержанием 5-10 г/т и выше встречались, но редко. Отработка кварцевых жил предпринималась в 1886-1887 гг. (было добыто около 1 кг золота), но оказалась нерентабельной.

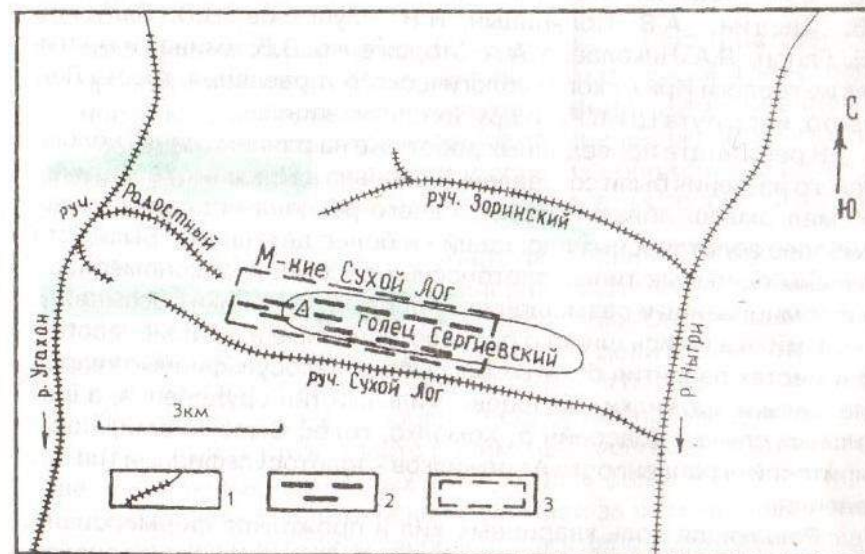


Рис. 2. Положение месторождения Сухой Лог в поле распространения золотоносных россыпей:

1 - золотоносные россыпи, 2 - золотоносные кварцевые жилы, 3 - границы месторождения

Настойчивые геологические работы в Ленском золотоносном районе с целью выявления и освоения помимо россыпей золоторудных месторождений начали проводиться давно, сразу же со времени открытия и начала разработки золотоносных россыпей - с 1846 г.

В выполнении этих работ участвовали многие геологи того времени: в 70-90-е годы прошлого столетия - П.А. Кропоткин, В.А. Обручев, П.А. Герасимов, А.К. Мейстер, В.К. Котульский, П.И. Преображенский, Л.Я. Лурье, А.А. Демин, Н.М. Кузьмин, в 20-30-е годы

нынешнего столетия - Г.Л. Юдин, В.А. Федорцев, М.К. Коровин, С.В. Шевченко, М.Н. Цимберг, в 40-50-е годы и позднее - О.А. Глико, Л.И. Салоп, С.Д. Шер, Т.П. Жаднова, Т.М. Дембо, Ю.П. Казакевич, С.И. Другов, А.П. Беляев, Г.Г. Рейхейзер, В.А. Лисий, М.М. Гапеева, Л.П. Нечаев, Н.П. Тереза, Л.Д. Корольков, В.Д. Шагаев, В.А. Буряк, П.П. Попов, В.Ф. Дубинин, В.А. Адельсон, И.В. Коновалов, Е.И. Тищенко, В.В. Коткин, И.М. Коробушкин, Н.А. Львова, Б.В. Шергин, А.В. Поляницын, Н.Н. Мунгалов, В.В. Залуцкий, А.Е. Гапон, Л.А. Николаева, А.А. Стороженко, В.Б. Аминев и многие другие геологи Иркутского геологического управления, треста Лензолото, института ЦНИГРИ и других организаций.

В результате проведенных работ уже на раннем этапе геологического изучения были составлены довольно добротные геологические мелкомасштабные карты для всего региона, а для отдельных наиболее золотоносных площадей - и более детальные. Были установлены основные типы золотоносных россыпей, закономерности их формирования и размещения, коренные источники россыпей.

Ими оказались широко распространенные в регионе, особенно в местах развития богатых россыпей, малосульфидные кварцевые жилы и прожилки - кварцево-жильный тип оруденения, а в отдельных случаях (бассейн р. Хомолхо, голец Высочайший) - зоны пиритовой вкрапленности и прожилков - золотосульфидный тип оруденения.

Решающая роль кварцевых жил и прожилков формировании россыпей района доказывается совокупностью следующих основных данных:

- ♦ золото промышленных россыпей и обнаруженное в жилах однотипно (с поправкой на экзогенные преобразования) по составу, гранулометрии и морфологии: преимущественно высокопробное (проба 850-950 и выше), крупное (размер основной массы золотин более 0,8-1 мм), с очень низким (сотые-тысячные доли процента) содержанием меди, железа и других типоморфных элементов-примесей;
- ♦ кварц часто встречающихся в россыпях самородков и более мелких золотин, находящихся в сростании с кварцем, и кварц жил, в которых встречено золото, одинаковы по цвету, зернистости, структурно-текстурным особенностям, составу газово-жидких включений и элементов-примесей;

- ♦ запасы и содержание золота в россыпях находятся в прямой корреляционной зависимости от количества обломков и галек жильного кварца, входящих в состав рыхлого материала россыпей;
- ♦ пространственное расположение россыпей контролируется зонами сближенных кварцевых жил и прожилков; в местах пересечения зон долинами золотоносность россыпей резко возрастает;
- ♦ золотоносность россыпей (содержания, запасы) находится в прямой зависимости от интенсивности развития и золотоносности кварцево-жильной минерализации, установленной на площади их распространения; наиболее высозолотоносные кварцевые жилы и прожилки и зоны их сближенного развития выявлены в местах сосредоточения богатых россыпей золота.

Золото, содержащееся в зонах вкрапленной и прожилково-вкрапленной золотосульфидной минерализации, существенно отличается от того, которое присутствует в россыпях. Оно в подавляющем большинстве более мелкое (десятые-сотые доли миллиметра и менее), более низкопробное (проба 720-780), в больших количествах (до десятых-сотых долей процента) содержит примеси меди и железа. В россыпях такое золото преимущественно отсутствует либо содержится в незначительных (3-6%) количествах.

Образование золотоносных россыпей за счет кварцево-жильной минерализации было установлено как в целом для подавляющего большинства россыпей Ленского района, так и для Кропоткинского золотоносного узла и Сухоложского рудного поля, в пределах которых находится золоторудное месторождение Сухой Лог. Золотоносные россыпи по ключам Радостному, Широкому, Зоринскому и Сухой Лог, дренирующим соответственно с северо-запада, севера, северо-востока и юга голец Сергиевский, на котором находится золоторудное месторождение Сухой Лог, типичны для россыпей, образованных за счет разрушения золотоносных кварцевых жил и прожилков. В них часто встречались отдельные золотины различных размеров, а также самородки и крупные выделения золота в сростании с жильным кварцем, весом 20-200 г и более. Существенная часть золотин, находящихся в сростании с кварцем, была слабоокатанной либо практически не окатанной, а концентрация золота в россыпях достигала 1-3 т и более на 1 км долины ручьев.

Видимые выделения золота были обнаружены в аллювиальных, аллювиально-делювиальных и элювиальных глыбах жильного кварца гольца Сергиевского. Более того, самый большой самородок в Ленском районе был найден в 1881 г. на северном склоне именно этого гольца. Он представлял собой глыбу жильного кварца весом 25,9 кг, из которой при дроблении было получено 16,2 кг самородного золота.

Этот факт, а также обнаружение к тому времени богатых золотосысыпных россыпей по ключам Широкому, Радостному, Зоринскому и Сухой Лог послужили основанием для постановки на гольце Сергиевском геолого-разведочных работ, приведших к открытию золотосысыпных кварцевых жил в коренном залегании. В 1886 г. здесь был заявлен рудник Сергиевский, а в 1884 г. - рудник Утесистый.

Объектами поисков с начала и в последующие годы явились кварцевые жилы. Было пройдено несколько глубоких шурфов (полушахт) и попутно добыто около 1 кг золота. Жильный кварц свозился на лошадях с гольца в долину р. Угахан, где дробился вручную, предварительно многократно прокаливаясь на кострах и подвергаясь обливанию водой до растрескивания. Ввиду явной невыгодности отработки жил дальнейшие разведочные и эксплуатационные работы были прекращены.

С этого времени и известен Сухой Лог как мелкое кварцевожильное месторождение.

Поисково-разведочные работы, проведенные на Сухом Логе позднее, - в 1957 г. ЦНИГРИ по заказу треста "Лензолото" (А.А. Горельшев, С.Д. Шер и др.) и в 1959 г. Бодайбинской экспедицией Иркутского геологического управления (В.А. Буряк, Н.П. Кочетков, И.В. Василенко, С.С. Пальшин и др.), не привели к получению новых принципиально важных данных. Но помимо ранее известных жил было выявлено более 30 новых крупных, главные из которых - жилы № 13 и № 1. По первой из них видимые золотины встречались довольно часто, а среднее содержание золота составило 8,2 г/т, по отдельным пробам - 48-200 г/т. Однако средняя мощность этой жилы оказалась небольшой - 0,35 м, а протяженность по простиранию - 220 м. Протяженность жилы № 1 составила 140 м, а средняя мощность - 0,77 м. Содержание золота оказалось более низким - 2,6 г/т.

Была выявлена также жила "Надежда" с повышенным средним содержанием золота - 12 г/т (в отдельных пробах - до 50 г/т), но она оказалась еще менее мощной (0,2 м) и короткой по простиранию (100 м).

Других, представляющих практический интерес, кварцевых жил с поверхности не обнаружено, хотя вся площадь месторождения и была рассечена рядом глубоких протяженных магистральных траншей, пройденных через 200-100 м друг от друга вкрест простирания жильной зоны и контролирующей ее Сухоложской антиклинали. По отдельным пробам в жилах отмечались содержания золота до 25-30 г/т, но при более детальном изучении все они оказывались локальными, гнездового типа, разделенными значительными промежутками безрудных или слабозолотосысыпных участков. Основная часть выделений золота тяготела к приконтактовым частям жил и выделениям магнезиально-железистых карбонатов внутри жил.

Вмещающие жилы породы опробовались неоднократно, но повышенных содержаний золота в них не установлено. Сульфидная минерализация в них была обнаружена, но в виде очень редких маломощных послойных прожилков пирита и рассеянной вкрапленности одиночных кристаллов.

Все это и привело к прекращению дальнейших работ на месторождении.

Помимо Сухого Лога детальные поисковые работы в Ленском районе с целью обнаружения золоторудных месторождений в 40-60-е и прежние годы проводились неоднократно на многих участках - в пределах Артемовского, Васильевского, Кропоткинского и Хомолхинского рудных полей.

Для территории Ленского золотосысыпного района были составлены геологические карты масштаба 1:200 000, а для центральной части - масштаба 1:100 000. Дополнительно для центральной части района были составлены геологические карты масштаба 1:50 000, а для основных золотороссыпных узлов - масштаба 1:25 000. По отдельным участкам, где проводились поисковые работы, составлялись более детальные карты масштаба 1:10 000-1:2 000.

В целом геологическая изученность Ленского золотосысыпного района была к тому времени высокой, а подготовленные карты являлись одними из лучших в СССР.

Это позволяло успешно проводить поиски новых и переоценку известных золотосысыпных россыпей и сохранять благодаря этому высокий уровень золотодобычи из них - порядка 10-12 т и более ежегодно. Однако рентабельных для отработки коренных золоторудных месторождений так и не удалось выявить, несмотря на все предпринимаемые усилия. В генетическом отношении золотое оруденение



(как кварцево-жильное, так и золотосульфидное), послужившее источником формирования золотоносных россыпей, связывалось с интрузиями гранитоидов, развитыми в центральной части района и по его периферии, т. е. рассматривалось и оценивалось как типичное постмагматически-гидротермальное. Эти представления, впервые выдвинутые В.А. Обручевым и А.К. Герасимовым еще в самом начале изучения района, были в последствии приняты О.А. Глико, С.Д. Шером, Т.М. Дембо, Ю.П. Казакевич, А.К. Кондратенко и другими геологами.

Именно исходя из этой генетической концепции разрабатывались критерии прогнозирования и оценки оруденения, методы его поисков, проводились металлогенические обобщения и построения. В связи с этим постоянное внимание уделялось картированию и детальному изучению магматических горных пород, включая дайковые комплексы, картированию и изучению разрывных нарушений и разломов, прежде всего постскладчатых. Золотосульфидная минерализация, развитая в осадочно-метаморфических толщах, рассматривалась как околожильная, связанная с образованием магмато-генно-гидротермальных кварцевых жил.

Всего к 1961 г. - к моменту постановки специализированных работ на Сухом Логе с целью выявления золотосульфидного оруденения в центральной части Ленского золотоносного района было обнаружено и предварительно оценено более 1200 кварцевых жил. Однако повышенные содержания золота были обнаружены только в 7 из них.

Помимо жил № 1, 13 и Надежда на Сухом Логе, это жила Догалдынская в пределах Артемовского рудного поля, жила Первая на Васильевском рудном поле, жила Первенец на Вернинском месторождении и жила гольца Электрического, выявленная в пределах геофизической аномалии № 12.

Догалдынская жила по простиранию была прослежена канавами и траншеями на 1,5 км, по вертикали - штольнями и скважинами колонкового бурения - на 350 м. Мощность ее 0,1-5 м, средняя - 0,7 м. Общая длина пройденных по жиле подземных выработок составила 2520 м. Содержание золота в среднем по жиле 1,8 г/т, по наиболее богатым "балансовым" блокам - 8,5 г/т. В отдельных, очень редких штуфах и гнездах содержание золота достигало 1 кг/т и более высоких концентраций. Суммарные запасы золота в жиле составили 1166 кг, в балансовых блоках - 559 кг. Проводилась опытная отработка жилы на специально построенной небольшой обогатительной

фабрике, но работы оказались нерентабельными и в связи с этим были прекращены.

Жила Первая Васильевского рудного поля с поверхности прослежена канавами на 500 м и штольной на 139,5 м. Мощность ее изменяется от нескольких сантиметров до 0,6 м, средняя - 0,4 м. Среднее содержание золота по жиле 5 г/т, в наиболее богатом блоке 17,6 г/т, в отдельных пробах и штуфах - 1 кг/т. Общие запасы золота по жиле около 50 кг. Остальные выявленные в пределах рудного поля жилы оказались менее золотоносными. Из 811 отобранных по жильному кварцу проб в 784 (96,6%) пробирным анализом золото не обнаружено. В 9 пробах оно не превысило 1 г/т, в 8 пробах - до 5 г/т, в 3 пробах - до 10 г/т и только в 5 пробах - более 10 г/т.

Жила Первенец на Вернинском месторождении была прослежена до глубины 25,3 м глубокими шурфами. Мощность ее 0,3-1,2 м, длина по простиранию не менее 950 м. Содержание золота, как и в других жилах, крайне неравномерное - от 0,5 г/т до нескольких десятков граммов на тонну.

Жила гольца Электрического прослежена частично по простиранию траншей на 30 м, в отдельных пробах содержание достигало десятков граммов на тонну, среднее по изученной части составило 3,01 г/т.

Помимо названных, в районе обнаружено еще около десятка жил, в которых встречены отдельные крупные самородки золота или небольшие гнезда с его повышенным содержанием. К таковым прежде всего следует отнести почти горизонтально залегающую кварцевую жилу, мощностью от нескольких сантиметров до 3-10 см и протяженностью до нескольких десятков метров, встреченную на гольце Кварцевом при разведке Догалдынской жилы. Из этой небольшой жилы взято несколько гнездовых скоплений и самородков золота общим весом около 3 кг. Однако она оказалась короткой как по простиранию, так и по падению и была отработана в процессе разведки карьерным способом.

Крупные гнездовые выделения золота весом до нескольких десятков граммов наблюдались авторами в небольшой седловидной Серговской жиле на участке "Догалдынская Стрелка" Артемовского рудного поля. Размер отдельных золотинок достигал в этой жиле 1,5-2,5 см при весе от 0,5 до 28 г. Среднее содержание золота в небольшом гнезде, измеряемом несколькими кубическими метрами, составило около 80 г/т. По отдельным штуфным пробам весом 7-10 кг оно достигало 250-260 г/т. Однако обогащенное гнездо было

встречено только в одном месте (в одной канаве), а за его пределами золото в жиле практически отсутствовало. В результате среднее содержание золота по жиле при ее мощности от 5-10 см в крыльях до 60-70 см в ядре складки не превысило десятых долей грамма на тонну.

Богатая, очень впечатляющая коллекция образцов жильного кварца из различных участков Догалдынской жилы с крупными выделениями золота весом до нескольких десятков-сотен граммов в 50-60-е годы находилась в ГРО треста Лензолото, особенно Артемовского прииска.

По единичным пробам содержания золота до нескольких десятков, очень редко до сотен граммов отмечались в жилах Вернинского (жила № 2,3,4), Александровского, Козьминского, Кварцевого, Миллионного (жила № 3), Копыловского и Черкесского участков. Более низкие содержания - до нескольких граммов на тонну - отмечены в жилах Светловского рудного поля (участки Спектральный, Тунгусский), в верховьях ключа Атыркан-Берикана, в Хомолхинском рудном поле (голец Высочайший), в верховьях р. Маракан (Ровнинская зона) и во многих жилах, развитых в бассейне р. Бодайбо, особенно в ее верховьях.

Отдельные редкие самородки золота весом до 20-100 г и более отмечались в аллювиальных и аллювиально-делювиальных глыбах жильного кварца в бассейне р. Ныгри, преимущественно по ключам Верному и Радостному, в долине р. Бодайбо, особенно в районе приисков Артемовского и Серго. Самый большой самородок весом 16,2 кг был найден, как отмечалось, среди элювиально-делювиальных свалов жильного кварца Сухоложского месторождения.

При отработке золотоносных россыпей самородки весом от сотен граммов до нескольких килограммов, представленные свободным золотом или прожилковидными и неправильными выделениями его в жильном кварце, продолжают встречаться довольно часто.

Повышенная сульфидная минерализация в виде частой вкрапленности и сблизженных прожилков кварц-пиритового или пиритового и пирит-пирротинового состава была встречена и опробовалась на многих участках - в местах развития золотоносных кварцевых жил и независимо от них. Однако существенные содержания золота в ассоциации с сульфидами до 1961 г. были обнаружены только в верховьях р. Хомолхо на гольце Высочайшем. На вершине этого гольца и его южных склонах в 1846 г. впервые в Ленском районе и были обнаружены золотоносные россыпи. Буквально через несколько лет

золотодобыча из россыпей перекинулась на Кропоткинское рудное поле, где находится месторождение Сухой Лог и другие площади.

Присутствие рудного золота в сульфидизированных породах, слагающих плотик элювиальной россыпи гольца Высочайшего, было установлено, видимо, сразу же в процессе отработки россыпей, хотя об этом нет официальных сообщений. Но первые разведочные работы были поставлены только в 1932-1933 гг. трестом "Золото-разведка" под руководством С.В. Шевченко. Было пройдено 11 шурфов глубиной 10-16 м и 2 небольшие канавы. Выявленные содержания золота оказались низкими и не превышали 1-3 г/т. В связи с этим дальнейшие работы были прекращены. Вместе с тем С.В. Шевченко, М.Н. Цинберг и другие геологи, знакомые с золото-сульфидным оруденением гольца Высочайшего, рекомендовали продолжить в районе работы по изучению и оценке этого типа оруденения. Активно поддержал эти предложения академик В.А. Обручев (1935 г.) Более того, он придавал настолько большое значение пиритизированным породам, что считал их основными коренными источниками золота при образовании россыпей.

Эти предложения В.А. Обручева об образовании россыпей Ленского района за счет притизированных осадочных толщ не получили признания среди геологов и не нашли подтверждения. Еще во времена работ самого В.А. Обручева и позднее однозначно было установлено, что россыпи в подавляющей массе образованы за счет золота, содержащегося в кварцевых жилах и прожилках. Однако сами по себе догадки и соображения о возможности важной роли сульфидизированных пород привлекли к ним внимание и способствовали постановке работ по их изучению.

В 1952 г. разведочные работы на гольце Высочайшем были возобновлены. Проводились они институтом ЦНИГРИ (Т.М. Дембо и др.) по договору с трестом "Лензолото". Была пройдена серия магистральных канав в месте развития ранее отработанной элювиальной золотоносной россыпи и проведено их опробование. В 1957-1961 гг. разведочные работы на гольце Высочайшем были продолжены. Их выполняли В.А. Буряк, А.П. Кухнюк, В.Н. Чалый, И.К. Василенко, С.С. Пальшин, Н.П. Попов и другие геологи Хомолхинской партии Бодайбинской экспедиции, входящей в начале своей организации в трест "Востсибцветметразведка", а затем перешедшей в состав Иркутского геологического управления.

Проходились магистральные канавы, шурфы, штольня и скважины колонкового бурения по профилям в комплексе с геофизиче-

скими работами, геологическим картированием и опробованием площади рудного поля в масштабе 1:10 000, а месторождения - в масштабе 1:2 000.

В целом по итогам этих работ золотосульфидное месторождение гольца Высочайшего было оценено как непромышленное для самостоятельной отработки ввиду небольших выявленных запасов золота (порядка 20 т) и его низких содержаний (2,7-4,6 г/т). Однако исходя из полученных данных настойчиво рекомендовалось (Буряк, 1959) продолжать в больших объемах поисковые и разведочные работы по выявлению и изучению других участков, с подобным гольцу Высочайшему прожилково-вкрапленным золотосульфидным оруденением, но с более крупными - промышленными - запасами.

В качестве первоочередного наиболее перспективного объекта автором был выделен и обоснован Сухой Лог, до этого известный как небольшое кварцево-жильное месторождение. Работы там, как указывалось, были начаты в 1961 г. и привели в итоге к положительным результатам.

Естественно, Сухой Лог, как первоочередной объект для постановки работ по поискам и оценке золотосульфидного оруденения, был выбран не случайно. К этому времени на основе изучения месторождения гольца Высочайшего и других участков были получены новые принципиально важные данные, касающиеся генезиса и закономерностей размещения этого оруденения, позволяющие локализовать площади работ и проводить их на новой методологической основе.

Первое, пожалуй, самое главное: было установлено отсутствие пространственно-временной связи золотосульфидного оруденения с конкретными гранитоидными интрузиями и магматическими комплексами. Одновременно была выявлена избирательная приуроченность оруденения к тонкозернистым пелитовым разностям осадочных пород хомолхинской свиты, содержащим магнезиально-железистые карбонаты и рассеянную вкрапленность пирита, т. е. обнаружено наличие литолого-стратиграфического контроля в его размещении.

На Сухом Логе хомолхинская свита широко распространена и представлена полным разрезом. В связи с этим вполне можно было ожидать наличия в ней пачек тонкозернистых пелитовых пород, содержащих повышенную золотосульфидную минерализацию.

Установлено также, что кварцевые жилы, находящиеся в породах, содержащих золотосульфидную минерализацию, образу-

ются не одновременно с последней, как это считалось ранее, а значительно позднее - в заключительные этапы складчатости. Жилы пересекают пласты и пачки сульфидизированных пород, а в местах пересечения обогащаются сульфидами и, можно полагать, золотом. Так, на гольце Высочайшем сульфиды и золото в кварцевых жилах были обнаружены только в тех местах, где они пересекали пачку золотоносных сульфидизированных филлитов и алевролитов. За пределами этой пачки сульфиды и золото в этих же жилах отсутствуют либо встречаются, но в значительно более низких содержаниях. Особенно выражено обогащение жил сульфидами при пересечении сульфидизированных пород.

Были зафиксированы также элементы вертикальной зональности в развитии золотосульфидной и кварцево-жильной минерализации: вверх по восстанию минерализованных зон расланцевания, развитых среди филлитов и других пород, количество жил, их мощности, содержание в них сульфидов и особенно золота, возрастают. В то же время интенсивность золотосульфидной минерализации во вмещающих породах, наоборот, обычно ослабевает.

На Сухом Логе повышенная золотосульфидная минерализация в поверхностных выработках не была обнаружена, как отмечалось. Однако, учитывая сказанное, можно было предполагать ее наличие на глубине исходя из довольно высокого содержания золота в кварцевых жилах и высокой золотоносности россыпей, развитых на площади рудного поля месторождения.

Показательно также, что в этих россыпях наряду с резко преобладающим высокопробным золотом кварцево-жильного типа продолжают встречаться низкопробные золотины зеленовато-желтого цвета, характерные для оруденения золотосульфидного типа. А площадь рудного поля, и особенно его центральная часть, в геохимическом отношении выделяются несколькими повышенными содержаниями мышьяка, индикатора золотосульфидного оруденения, более высокими на полпорядка - порядок по сравнению с обычными кларковыми.

И последний, существенный момент.

На примере гольца Высочайшего было замечено, что среди благоприятных по составу пород - углеродистых филлитов и алевросланцев - золотосульфидное оруденение не распределяется равномерно. Повышенные концентрации его приурочены к зонам расланцевания и пликативных дислокаций, охватывающих такие

породы. Развиваются эти рудоконцентрирующие зоны расланцевания в характерных складчатых структурах - в пологих крыльях сильно сжатых резко асимметричных (вплоть до изоклинальных) антиклиналей, осложняющих более крупные складки (Буряк, 1959). Сухоложская антиклиналь, контролирующая Сухоложское жильное поле, и является именно такой структурой, где можно было ожидать наличия рудовмещающей зоны расланцевания. Более того, наличие зоны интенсивного расланцевания в ее ядерной части и в пологом крыле было установлено в процессе проходки магистральных канав с целью оценки кварцевых жил.

Таким образом, основанием для постановки геологических работ на Сухом Логе с целью выявления и оценки золотосульфидного оруденения послужило наличие следующих основных факторов:

- 1 ♦ сильно сжатая антиклинальная складка высокого порядка изоклинального типа, в ядерной части и крыльях которой имеются благоприятные для развития золотосульфидного оруденения углеродистые тонкозернистые породы хомолхинской свиты, рассеченные зоной интенсивного расланцевания - тектонической структурой, благоприятной для локализации оруденения;
- 2 ♦ высокзолотоносные (в сравнении с окружающими площадями) кварцевые жилы в зоне расланцевания - показатель возможного повышенного содержания золота во вмещающих породах, прежде всего на нижних горизонтах зоны расланцевания;
- ♦ богатые золотоносные россыпи, с различных сторон примыкающие к месторождению - зоне расланцевания;
- ♦ более низкопробное золото в россыпях, помимо резкопреобладающего высокопробного кварцево-жильного, характерное для зон золотосульфидной вкрапленности;
- ♦ геохимические ореолы мышьяка (помимо золота) на площади месторождения.

Первые же скважины, пробуренные в 1961 г. на Сухом Логе, вскрыли на глубине 20-40 м от поверхности золотосульфидное прожилково-вкрапленное оруденение. Однако понадобилось почти 18 лет для того, чтобы успешно завершить на месторождении разведочные работы и подготовить его к промышленной разработке. Выполнялись разведочные работы с большими перерывами и сталкивались со значительными трудностями.

Очень многие геологи, работники горно-рудных предприятий и различных ведомств, в т. ч. финансирующих работы, ссылаясь на личный, отечественный и зарубежный опыт, отрицательно оценивали возможность выявления на месторождении запасов, рентабельных для отработки. В связи с этим предпринимались различные меры для прекращения геологических работ. Требовались большие усилия для их возобновления.

Главный довод, который приводился при этом, - низкие содержания золота в выявленных рудах: в среднем 2,7-3 г/т. Более высокие концентрации золота отмечались, но в виде отдельных разбросанных и небольших по запасам линзовидных тел.

Проведенные технологические исследования позволили "нейтрализовать" этот существенный отрицательный фактор: было установлено, что золото в рудах хотя и мелкое, но свободное и, главное, - тесно ассоциирует с сульфидами. Последние на месторождении представлены в основной массе крупно- и среднекристаллическими выделениями пирита. Это дает возможность уже на самом раннем этапе руд по простейшим гравитационно-флотационным схемам получать сульфидный концентрат, в котором сосредоточено практически все золото. Тем самым отпадает необходимость в дальнейшем дроблении и истирании основной массы оставшихся рудовмещающих пород.

Второй важный положительный момент - большие размеры месторождения, малая глубина залегания рудных тел и пологие (около 15°) углы их наклона, что позволяет вести отработку месторождения дешевым открытым способом - крупным карьером. При проектной глубине отработки до 540 м размеры карьера составят по верху 3,0x1,5 км, а годовая производительность - в пределах 12 млн т руды.

Благоприятны также горно-технические и гидрогеологические характеристики месторождения. В итоге выполненные и неоднократно проверенные расчеты, а также крупнообъемные технологические испытания доказали рентабельность разработки месторождения.

Разведка месторождения производилась в основном скважинами колонкового бурения, расположенными по профилям вкрест простирания пород. С целью контроля данные скважины заверялись подземными горными выработками (штреками, восстающими). Данные опробования по скважинам и подземным горным выработкам практически совпали.

Плотность разведочной сети скважин при подготовке запасов категории В составила 50 x 50 м, для категории С<sub>1</sub> - 50 x 100 м (Шевелев и др., 1980).

Экспериментальные детализационные работы, выполненные путем сгущения сети скважин и подземных горных выработок до 25 x 25 м, показали, что дальнейшее повышение плотности разведочных выработок не приводит к изменению контуров рудных тел и средних содержаний золота в подсчетных блоках. Изменяют свою конфигурацию лишь контуры бедных и богатых руд внутри подсчетных блоков.

Соотношение горных и буровых работ на месторождении составило 1:0,15 на первом этапе разведочных работ и 1:6,5 по завершению разведки. Примерно такое же соотношение получено и для запасов категории В и С<sub>1</sub>. Основное количество запасов разведано скважинами до глубины 300-400 м.

## Глава 2

### КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

#### ГЕОТЕКТОНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ

**Л**енский золотonosный район, в центральной части которого расположено месторождение Сухой Лог, находится на территории Байкало-Патомского нагорья. Его геотектоническое строение (по Салопу, 1967), дополненное нашими данными по золотоносности, показано на рис. 3. Л.И. Салоп рассматривает этот район как крупную геосинклинальную область байкальского возраста формирования - Байкалиды.

Как видно, в составе этого крупного региона выделяются составляющие его геотектонические структуры, в различной мере золотonosные. Наиболее золотonosна северная часть нагорья, охватывающая изгиб складчатых структур с северо-восточного простираения через субширотное на северо-западное. Здесь и располагается Ленский золотonosный район, территориально охватывающий данный изгиб. В геотектоническом отношении эта часть нагорья рассматривается геологами как Патомский эпикратонный прогиб, примыкающий с юга к Сибирской платформе.

В состав Патомского прогиба входят Бодайбинский внутренний прогиб (по Салопу, 1967) и Приленская зона, частично разделенные Тонодским антиклинальным поднятием.

Бодайбинский внутренний прогиб, представленный Бодайбинским внутренним синклинием, - наиболее золотonosная геотектоническая структура во всем Байкало-Патомском нагорье и, более того, во всей Восточной Сибири. Именно в его пределах сосредоточены основные россыпи и коренные рудопроявления и месторождения золота, продолжающие обеспечивать славу Ленскому золотonosному району, - Артемовско-Васильевский, Мараканский, Светлинский, Хомолхинский и Кропоткинский (с месторождением Сухой Лог) золотonosные узлы.

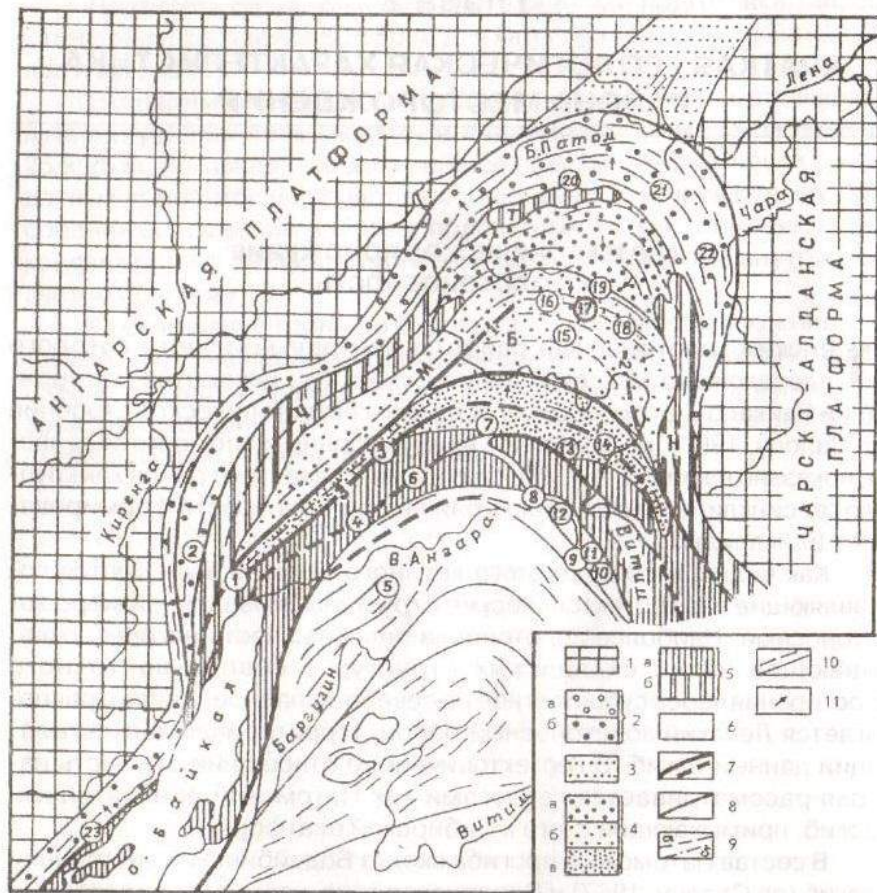


Рис. 3. Тектоническое строение Байкало-Патомского нагорья в позднем докембрии (по Салопу, 1967), дополненное данными по золотоносности:

1 - платформенные структуры; 2 - Байкало-Патомский краевой прогиб (а - Приленская зона, б - Прибайкальская зона); 3 - Уринская побочная геосинклинальная ветвь; 4 - Бодайбинский внутренний прогиб (а - Жуинская зона, б - Мамско-Витимская зона, в - Делюн-Уранская зона); 5 - внутригеосинклинальные поднятия: а - Байкало-Витимское, б - Чуйское (Ч), Тонодонское (Т) и Нечерское (Н); 6 - поздний (Верхневитимский) эвгеосинклинальный пояс; 7 - внутригеосинклинальные глубинные разломы, активные в позднем протерозое: Абчадский, Сюльбанский, Мамский, Каролонский; 8 - краевые глубинные разломы, активные в позднем протерозое; 9 - простирание осей антиклинорий (а) и синклинорий (б), а также некоторых крупных антиклиналей и синклиналей (М - ось Мамского синклинория. Б - ось Бодайбинского

Установлено, что золотоносные россыпи, расположенные в северной части Ленского района в пределах Приленской зоны (Кевахтинский, Дальнетайгинский и Бульбухтинский золотоносные узлы), богатые по содержанию золота и крупные по запасам, все же значительно уступают россыпям центральной части Ленского района.

Коренные источники россыпей золота и сами россыпи Бодайбинского прогиба и Приленской зоны близки или однотипны в генетическом отношении, по особенностям размещения, здесь и там рудовмещающие осадочные породы одинаковы по степени метаморфизма и минеральному составу. Именно это сходство, а также территориальная близость россыпей и послужили основанием для включения их в единый золотоносный район, названный Ленским, хотя правильнее было бы, исходя из современных знаний, относить их к отдельным золотоносным районам.

Патомский прогиб, являясь перикратонным по отношению к Сибирской платформе, входит в состав Саяно-Байкальской складчатой области, охватывающей Сибирскую платформу с юга. Он сложен преимущественно осадочными верхнепротерозойскими породами, в различной мере метаморфизованными - от фации зеленых сланцев до силлиманитовой субфации амфиболитовой фации.

Глубинные разломы, определяющие заложение Патомского прогиба, и сопряженные, более мелкие, глубоко вдаются в кристаллическое основание платформы, образуя так называемый "входящий угол". Кристаллическое основание прогиба, сложенное нижнепротерозойскими и архейскими породами, представляет собой крупный гетерогенный клиновидной формы блок, отколотый от Сибирской платформы по этим разломам и значительно опущенный в позднем докембрии.

Аналогичное геотектоническое положение, как видно из рис. 4, занимают другие золотоносные районы Сибири, находящи-

синклинория); 10 - простирание осей складок второго порядка; 11 - направление перемещения масс (вергенция); цифры в кружках - золотоносные узлы: 1 - Тья-Нерюндуканский, 2 - Миньский, 3 - Катеро-Няндонинский, 4 - Тукаломейский, 5 - Мамский, 6 - Икачаро-Давакитский, 7 - Икибзяхо-Додыхтинский, 8 - Северо-Муйский, 9 - Иркиндинский, 10 - Витимконский, 11 - Кедровский, 12 - Самокутский, 13 - Чаянгринский, 14 - Орловско-Каралонский, 15 - Артемовский, 16 - Мараканский, 17 - Кропоткинский, включающий месторождение Сухой Лог, 18 - Светлинский, 19 - Хомолхинский, 20 - Кевахтинский, 21 - Дальнетайгинский, 22 - Бульбухтинский, 23 - Верхнеленский

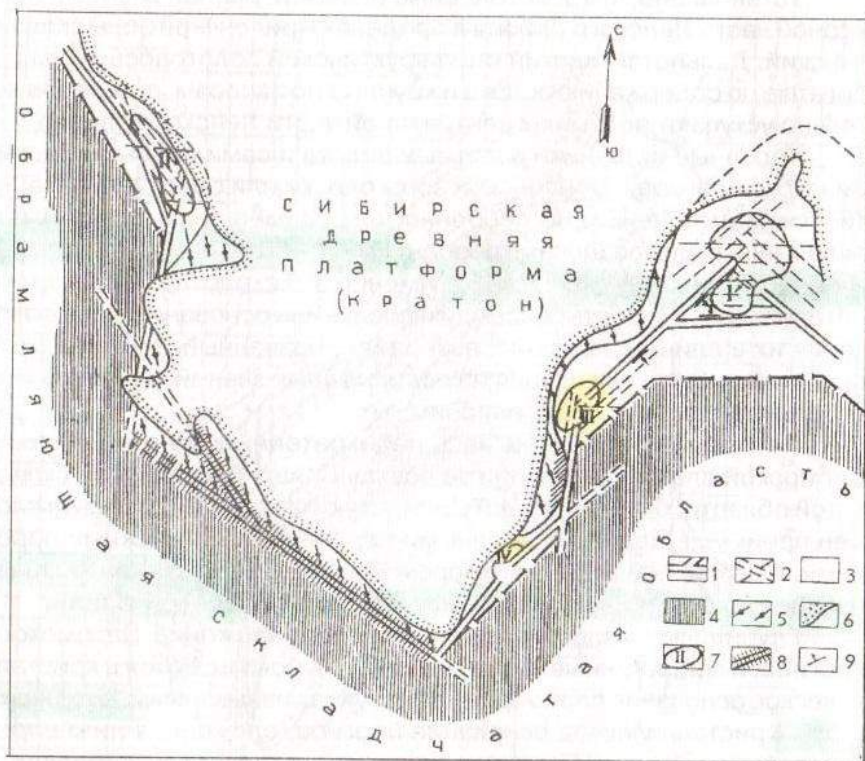


Рис. 4. Геотектоническое положение золотоносных провинций в южном обрамлении Сибирской платформы (по Буряку, 1982, с доп.):

1 - глубинные разломы миогеосинклиальной зоны Саяно-Байкальской складчатой области, контролирующие процессы метаморфизма и гранитизации позднебайкальской эпохи; 2 - сопряженные более мелкие нарушения; 3 - миогеосинклиальная зона Саяно-Байкальской позднедокембрийской (байкальской) складчатой области; 4 - эвгеосинклиальная зона этой складчатой области; 5 - нижний (архей - нижний протерозой) структурный ярус Сибирской платформы; 6 - граница распространения осадочного чехла Сибирской платформы (палеозойские и более молодые осадочные отложения); 7 - золотоносные провинции в обрамлении платформы (промышленная значимость их убывает от I к IV): I - Ленская, включающая Сухой Лог, II - Северо-Енисейская, III - Северо-Байкальская, IV - Верхнеленская; 8 - редкометалльные метасоматиты зон глубинных разломов; 9 - простираение и направление падения зон глубинных разломов

еся в окружении Сибирской платформы, - Северо-Енисейский, Северо-Байкальский и Верхнеленский.

При этом чем крупнее перикратонный прогиб и чем больше в нем общий объем и мощности осадочных толщ, прежде всего черносланцевых, и чем дальше прогиб вдается в основание платформы, тем более крупные в нем запасы золота (Буряк, 1975, 1982).

Патомский прогиб наиболее глубоко вдается в основание платформы, мощности слагающих его осадочных толщ наиболее значительные (достигают 15-18 км) и, соответственно, золотоносность в нем наиболее интенсивная (рис. 5).

Северо-Енисейский перикратонный прогиб занимает второе место в сравнении с Патомским по общей мощности и объему осадочных толщ. Соответственно, интенсивность золотоносности в нем уступает Патомскому, занимая второе место.

Северо-Байкальский прогиб занимает третье место по своим размерам и золотоносности.

Верхне-Ленский прогиб - наименьший по общей мощности и объему слагающих его осадочных толщ и интенсивности развития золотоносной минерализации. Россыпи золота в нем наименее продуктивны.

Биссекторные зоны золотоносных перикратонных прогибов, развитых в обрамлении Сибирской платформы, взаимно перпендикулярны или параллельны между собой. Как отмечалось ранее (Буряк, 1982), эта закономерность имеет общепланетарный характер и обусловлена решающим влиянием ортогональной и диагональной систем разломов в заложении и развитии прогибов.

Главную роль в заложении Патомского прогиба сыграли разломы диагональной системы байкальского - северо-западного простираения. Субширотные разломы в заложении прогиба играют подчиненную роль, но явились определяющими в ориентировке складчатых структур и рудо локализирующих зон рассланцевания. Последние, как правило, имеют субширотную ориентировку, в т. ч. в пределах Бодайбинского внутреннего прогиба.

Субмеридиональные разломы в Патомском нагорье выступают главным образом в роли "скрытых" глубинных зон повышенной трещиноватости, хотя широко развиты и играют определяющую роль в ориентировке и размещении современной гидросети.

В пределах рассматриваемых золотоносных прогибов выделяются две области - миогеосинклиальная и эвгеосинклиальная (рис. 4).

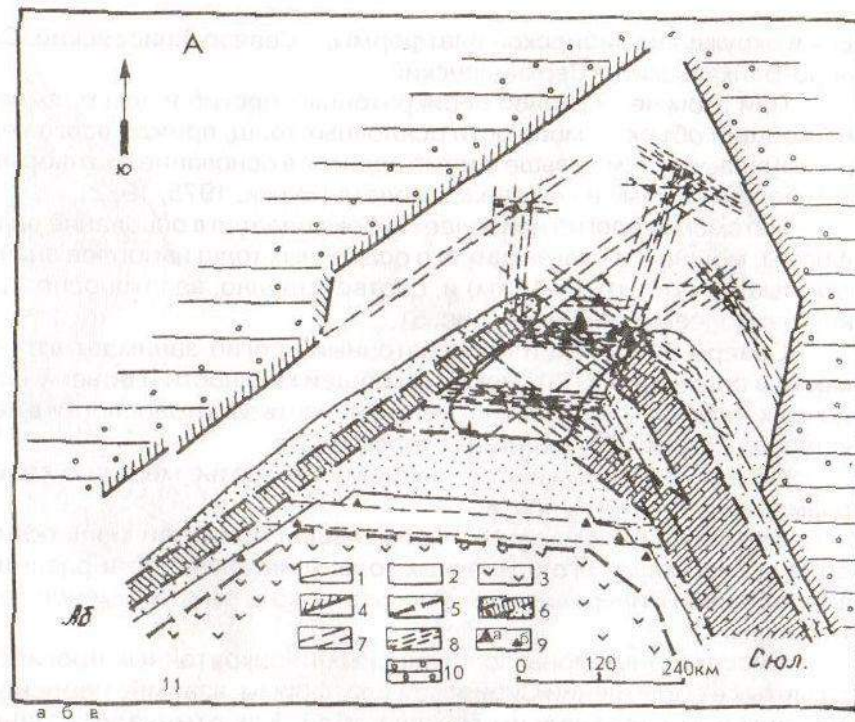
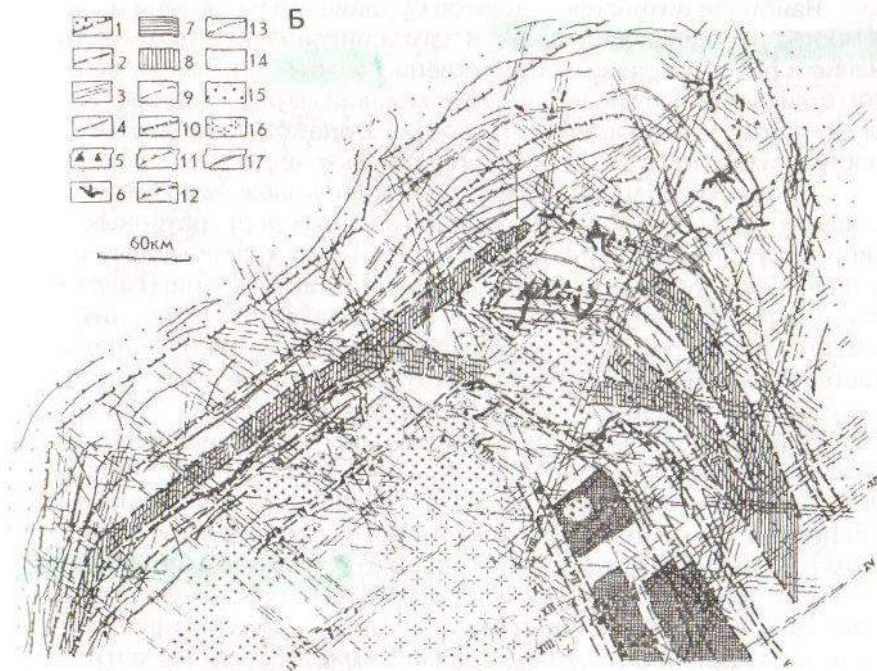


Рис. 5. Глубинные разломы и метаморфическая зональность Байкало-Патомского нагорья с данными по магматизму и золотоносности.

А - обобщенная схема:

1 - внешняя граница распространения кристаллических сланцев (изограда граната); 2 - область распространения зеленосланцевой фации метаморфизма в пределах мезогеосинклинальной части Байкальской складчатой области; 3 - эвгеосинклинальная часть этой складчатой области; 4 - зона краевого шва Сибирской платформы (внешняя граница); 5 - внешняя граница эвгеосинклинальной части Байкальской складчатой области; 6 - центральная часть глубинных разломов: а - зона пегматитообразования и гранитизации, б - зона развития кристаллических сланцев амфиболитовой фации метаморфизма; 7 - глубинные зоны повышенной проницаемости; 8 - более слабо выраженные зоны повышенной проницаемости; 9 - золоторудные проявления и месторождения: а - основные (Сухой Лог - наиболее крупный знак), б - второстепенные; 10 - осадочный чехол Сибирской платформы.



Б - метаморфическая зональность и оруденение:

1 - краевой шов Сибирской платформы; 2 - хорошо выраженные глубинные разломы; 3 - "скрытые" зоны глубинных разломов; 4 - отдельные крупные разрывные нарушения; 5 - золоторудные месторождения и рудопроявления (Сухой Лог - наиболее крупный знак); 6 - золотоносные россыпи; 7 - выходы архейских пород (Северомуйская и Южномуйская глыбы); 8 - зоны гранитизации и пегматитообразования; 9-13 - изограды регионального метаморфизма позднебайкальской эпохи: 9 - биотита, 10 - граната, 11 - ставролита, 12 - дистена, 13 - силлиманита; 14 - область распространения хлорит-серицитовой зоны метаморфизма; 15 - палеозойские постметаморфические интрузии гранитоидов конкудеро-маманского комплекса; 16 - раннепалеозойские интрузии гранитоидов тельмамского комплекса; 17 - простираение основных складчатых структур.

Глубинные разломы: I, II - основная Абчадско-Сюльбанская система разломов: I - Абчадский разлом (Ia - его Нерпо-Чуйская ветвь), II - Сюльбанский (IIa - Кропоткинская и IIб - Артемовская ветви); III - Тья-Мамский; IV - Мамско-Конкудерский; V - Та-лаи-Каралонский; VI - Парамский; VII - Киянский (VIIa - его Конкудерская северо-восточная ветвь); VIII - Кадали-Бутуинский; IX - Намаминско-Делюн-Уранский; X - Северо-Муйский; XI - Муякон-Самокутский; XII - Южно-Муйский; III - Тулуя-Киндиканский; XIV - Ципа-Тилишминский; XV - Прибамбуйский



Наиболее интенсивно золотое оруденение и россыпи развиты в миогеосинклинальных зонах. В эвгеосинклиналиях золотое оруденение и россыпи развиты существенно слабее и, главное, во многом отличаются по генезису и закономерностям размещения. Патомский прогиб и входящий в его состав Бодайбинский внутренний прогиб находятся в миогеосинклинальной зоне.

Глубинные разломы, контролирующие положение Патомского и других миогеосинклинальных золотоносных перикратонных прогибов юга Сибирской платформы, подчинены краевому шву платформы, конформны ему. Они, несомненно, связаны с ним генетически, но непосредственно в его состав не входят. Последний, как видно из рис. 4, проходит южнее - по границе с эвгеосинклинальной частью Саяно-Байкальской складчатой области, контролируя развитие основного и ультраосновного магматизма.

Разломы, определяющие развитие миогеосинклинальных высокозолотоносных прогибов (показаны на рис. 4 двойными сближенными линиями), контролируют метаморфические пояса и развитие процессов магматизма и гранитоидного сопутствующего магматизма. В Байкало-Патомском нагорье это Абчадский и Сюльбанский разломы (рис. 3-5). Осевые части этих разломов лишены рудопроявлений и месторождений золота и содержат метаморфиты амфиболитовой фации с сопутствующими мигматитами и пегматитами, слагающими гранитогнейсовые и мигматитовые купола. В краевых частях разломов размещаются метаморфические породы эпидотамфиболитовой и зеленосланцевой фаций.

Рудовмещающие структуры находятся в пределах зеленосланцевой фации - на удалении от этих основных разломов. Они представлены более мелкими разломами и зонами рассланцевания, генетически сопряженными с основными - Абчадским и Сюльбанским.

В Бодайбинском золотоносном прогибе выделяются три основные рудовмещающие зоны субширотной ориентировки (рис. 5, 6), генетически сопряженные с Абчадским и Сюльбанским разломами, контролирующими развитие процессов метаморфизма и гранитизации (с севера на юг): 1) Хомолхинская, самая северная, вмещающая месторождение голец Высочайший, 2) Маракано-Светлинская, вмещающая месторождения Сухой Лог, Вернинское, Александровское, 3) Артемовско-Васильевская, содержащая месторождения Догалдынская жила, гольцы Кварцевый и Кавказ.

В свою очередь, в пределах субширотно ориентированных зон золотое оруденение не размещается равномерно. Оно концентри-

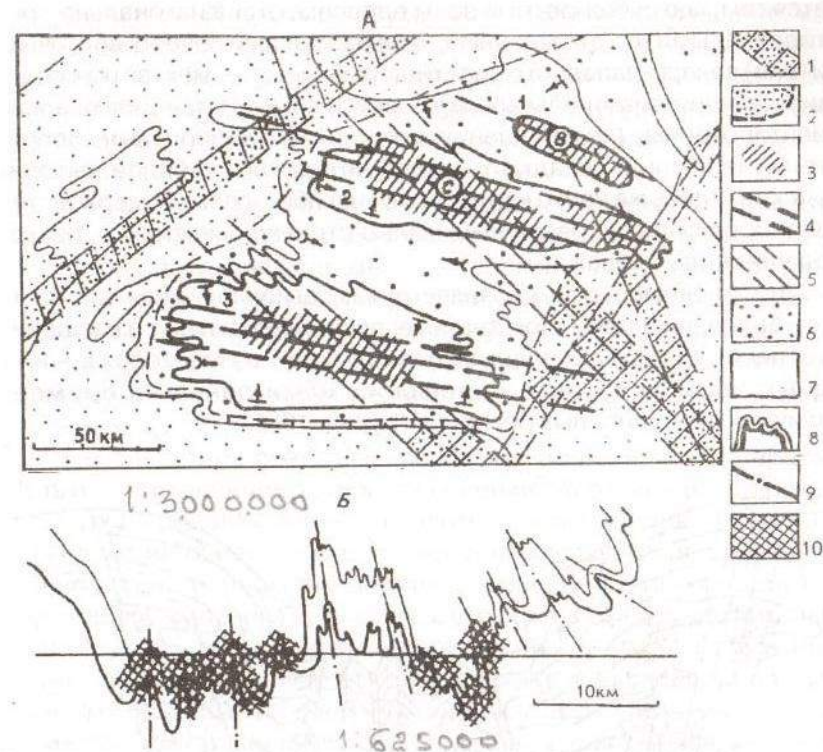


Рис. 6. Характер размещения золотого оруденения в Ленском золотоносном районе - избирательная приуроченность к внутрисинклинорным прогибам (по Буряку, 1976, с доп.).

А - в плане, Б - поперечное сечение; фрагмент разреза через Бодайбинское синклинорное погружение (3):

1-2 - область повышенного метаморфизма - воздымания: 1 - зоны пегматитизации и гранитизации, 2 - кристаллические сланцы (по изограде граната); 3 - основное золотое оруденение; 4 - продольные глубинные разломы; 5 - диагональные глубинные зоны повышенной проницаемости ("скрытые" разломы); 6, 7 - область зеленосланцевого метаморфизма - относительного опускания (синклинорный прогиб): 6 - внутрисинклинорные поднятия, 7 - внутрисинклинорные дополнительные прогибы - наиболее прогнутые участки; 8 - интенсивно дислоцированные осадочные породы зеленосланцевой фации метаморфизма; 9 - синскладчатые разрывы; 10 - золотоносная минерализация - кварцево-жильная в ассоциации с прожилково-вкрапленной золотосульфидной.

Кружками отмечены основные месторождения сухоложского типа: С - Сухой Лог, В - голец Высочайший

руется там, где субширотные зоны пересекаются диагонально ориентированными (по отношению к ним) разрывами северо-восточного и (или) северо-западного простирания. В этих же местах (как следствие наличия диагональных нарушений) отмечаются диагонально ориентированные (по отношению к основным субширотным) дополнительные мелкие складки третьего-четвертого и более высоких порядков. Здесь же часто картируются изгибы осевых поверхностей и шарниров складок, различные малые структурные формы, разнообразные виды кливажа.

Эта закономерность проявляется как регионально (см. рис. 4, 5), так и более локально - при анализе закономерностей размещения оруденения в пределах рудных полей конкретных месторождений и рудных тел (рис. 7), что отмечалось нами ранее на примере различных золотоносных регионов (Буряк, 1982).

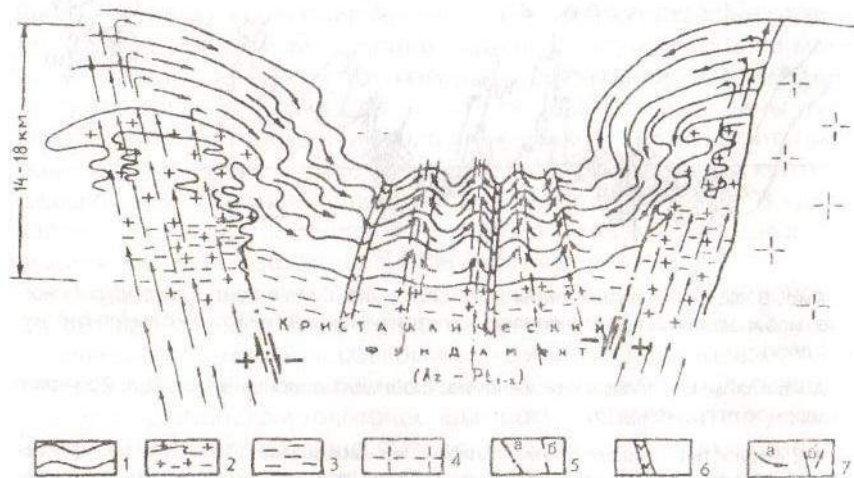


Рис. 7. Принципиальная схема строения Бодайбинского синклиниального прогиба (по Буряку, 1986, с уточн.):

1 - метаморфические толщи; 2 - области гранитизации; 3 - кристаллический фундамент прогиба; 4 - интрузивные постметаморфические граниты тельмамского и конкудеро-мамаканского комплексов; 5 - разрывные нарушения: а - основные межблоковые, б - внутриблоковые; 6 - постметаморфические дайки основных пород; 7 - направления миграции метаморфогенных растворов (а) и флюидов (б)

Характерный пример - Сухой Лог. Это месторождение, как и другие, расположенные рядом (Вернинское, Александровское), находится в том месте, где субширотная Маракано-Тунгусская зона расланцевания, развившаяся в ядерной части одноименной сложно построенной антиклинали, пересекается зоной повышенного дробления северо-западного простирания.

В Бодайбинском синклинории оруденение локализуется в наиболее прогнутых участках, где субширотные зоны глубинных разрывов, контролируемые осложняющие прогибы, пересекаются диагонально ориентированными разрывами, имеющими также глубинную природу заложения (рис. 6,а). На примере частного разреза, построенного вкрест простирания Бодайбинского синклинория через Артемовско-Васильевские рудные поля (более детально см. рис. 6.б).

Как следствие всего вышесказанного проявляется иерархичность и соподчиненность в распределении золотоконцентрирующих структур: в пределах Ленского золотоносного района - Патомского сложно построенного прогиба - основное оруденение сконцентрировано во внутреннем Бодайбинском прогибе (синклинории), осложняющем основной Патомский, в его пределах - в дополнительных более глубоких синклиналиных погружениях, а в этих погружениях - в пределах антиклиналей, осложненных, в свою очередь, дополнительными изгибами и более мелкими складками, в антиклиналях - в тех местах, где продольные зоны расланцевания пересекаются диагональными.

В участках со спокойным моноклинальным залеганием пород значительных концентраций золота не встречено.

По совокупности имеющихся данных можно заключить, как это следует из рис. 6, что Бодайбинский синклинорий по природе образования представляет собой крупный межкупольный прогиб, окруженный с трех сторон - юга, запада и востока гранитогнейсовыми и мигматитовыми куполами. Образование его, можно полагать, происходило в тесной связи с формированием куполов, окружающих прогиб, подобно тому, как это свойственно позднеархейским гранитогнейсовым куполам и расположенным между ними межкупольным синклинориям.

Гранитогнейсовые купола и Бодайбинский прогиб - это, по нашему мнению, парагенные, тесно взаимосвязанные образования, длительно развивающиеся и формирующиеся (Буряк, 1986б). Зало-

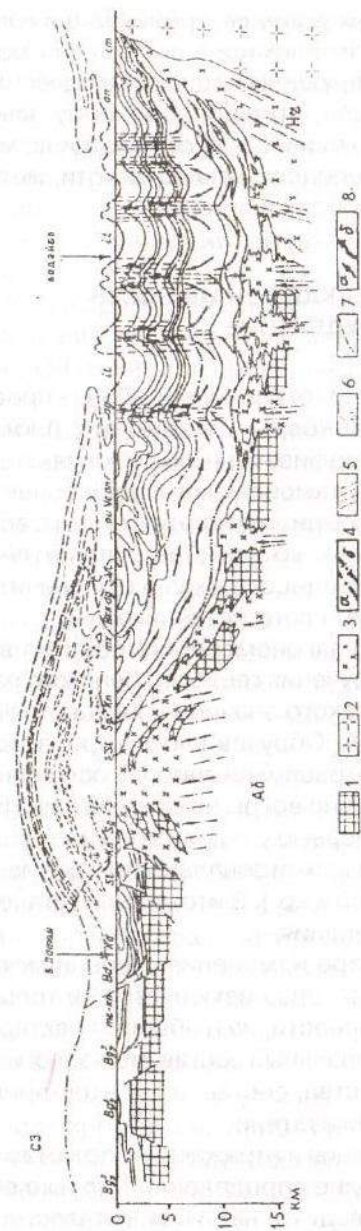
жение прогиба произошло, вероятно, еще в нижнем протерозое, активно продолжалось в верхнем протерозое и частично захватило поздний докембрий. В палеозое под влиянием интрузий гранитов, внедрившихся преимущественно по периферии синклиория в области предшествующей гранитизации, произошло дополнительное воздымание куполов.

В общем схематизированном виде это показано на рис. 7, на примере частного разреза - на рис. 8, построенном совместно с В.Н. Шаровым.

Как показали выполненные нами исследования, генетическая роль гранитогнейсовых куполов и зон гранитизации, окружающих Бодайбинский прогиб, в формировании золотого оруденения проявлялась многопланово, она заключается в следующем:

- ◆ рост куполов приводил к сопряженному формированию Бодайбинского компенсационного прогиба, накоплению в нем мощных толщ осадков и развитию в его пределах конседиментационных осадочно-гидротермальных и вулканогенно-осадочных процессов, приводящих к созданию в осадках первичных повышенных концентраций золота, серы, мышьяка, других сопутствующих элементов;
- ◆ развивающиеся в куполах процессы гранитизации, высокотемпературного метаморфизма и метасоматоза приводили к выносу золота из куполов в периферические низкотемпературные зоны метаморфизма, способствуя дополнительному обогащению осадков и метаморфогенных растворов золотом и сопутствующими компонентами;
- ◆ термальные поля куполов активизировали погребенные и метаморфогенные растворы, способствовали насыщению их рудогенными элементами и обусловили миграцию за счет длительно проявляющихся градиентов Р и Т;
- ◆ вследствие "всплывания" куполов в сопряженных прогибах развивались складчатость сжатия и стрессовые деформации, обуславливающие дополнительную активную миграцию и метаморфическую дифференциацию рудогенных компонентов.

В истории развития прогиба обычно выделяются два этапа: ранний, протекающий в условиях опускания и растяжения, и поздний - в условиях последующей инверсии и субгоризонтально ориентированного сжатия.



**Рис. 8.** Характер строения Бодайбинского золотоносного синклиория. Вертикальный поперечный разрез с данными по региональной метаморфической зональности (по Буряку, 1986, с доп.):  
 1 - породы нижнепротерозойского кристаллического фундамента; 2 - постметаморфические палеозойские гранитоиды; 3 - синметаморфические и позднеметаморфические палингены и палингено-метаморфические мигматиты, пегматиты, гнейсограниты мамско-оронского комплекса; 4 - изограды метаморфизма: а - граната, б - дистена. Зоны повышенной проницаемости: 5 - глубинные, контролирующие процессы метаморфизма и гранитизации; 6 - рудоконцентрирующие; 7 - отдельные разрывные нарушения; 8 - пути миграции флюидов: а - метаморфизирующих, б - рудообразующих. Аб - Абчадская зона разломов, Нч - Нечерская

На первом этапе в подводных условиях происходили накопление осадочных толщ, их слабая литификация, поступление по конседиментационным разломам синхронных осадконакоплению вулканогенных гидротерм и флюидов, привносящих серу, мышьяк, золото и в очень незначительных количествах свинец, цинк, медь.

На втором этапе развились процессы складчатости, метаморфизма и метаморфогенного рудообразования.

### МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ОРУДЕНЕНИЕ

Характерная черта Ленского золотоносного района - пространственная приуроченность золотоносных россыпей к площадям развития осадочных пород, метаморфизованных в условиях зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Среди более высокометаморфизованных пород россыпи золота отсутствуют, если исключить те из них (по р. Маракан), которые за счет интенсивно проявленных неотектонических процессов оказались значительно перемещенными и оторванными от своих источников.

Впервые на эту любопытную закономерность обратил внимание В.А. Обручев в первые годы изучения геологии Ленского района. Однако он не придал ей генетического значения. Кристаллические сланцы и золотое оруденение В.А. Обручев считал производными гранитного магматического очага, расположенного в основании Бодайбинского синклинория и частично вскрытого по его периферии.

Авторы настоящей работы впервые уделили большое внимание детальному изучению метаморфической зональности в размещении россыпей (Буряк, 1963а, 1964, 1965 и др.). В итоге была установлена метаморфогенная природа оруденения.

Было обнаружено, что по мере изменения степени метаморфизма пород рудовмещающего разреза изменяется не только интенсивность россыпной золотоносности, но и общий характер золоторудной минерализации, ее минеральный состав, морфологические особенности, типоморфные свойства, состав элементов-примесей отдельных минералов и прочие показатели.

Каждая метаморфическая фация и отражающая ее метаморфическая зона характеризуются вполне определенной, только ей присущей минерализацией, что приводит к наличию металлогеничес-

кой специализации разнофациальных метаморфических комплексов.

В Ленском золотоносном районе выделяются 4 основные метаморфические зоны (рис. 9):

I - зона развития хлорит-серицитовой фации;

II - зона развития биотит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации;

III - зона развития эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма;

IV - зона развития амфиболитовой фации метаморфизма.

Основные особенности минерализации разнофациальных метаморфических зон приведены в табл. 1.

В хлорит-серицитовой зоне размещены основные россыпи. Здесь развиты наиболее золотоносные сульфиды и кварцевые жилы. Сульфиды, слагающие минерализованные зоны, рассеянную вкрапленность и входящие в состав жил и прожилков, представлены в основном пиритом. Преимущественно в резко подчиненных количествах содержатся другие сульфиды - арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды. Характерно развитие магнезиально-железистых карбонатов переменного состава анкерит-сидеритового ряда и кальцита. Пирротин отмечается, но в очень незначительных количествах. Он практически весь ферромагнитный моноклинной сингонии с незначительной примесью гексагонального. Температура кристаллизации кварца, слагающего жилы и прожилки, от 420-360 до 200-120°С, в основной массе 270-230°С. Сфалерит представлен преимущественно слабожелезистой разновидью - клейофаном. Апатит, содержащийся в жилах и боковых породах, светлый с слабо заметным голубоватым оттенком, фторсодержащей разновидности. Хлор в нем не обнаружен. Золото, содержащееся в кварцевых жилах, распределено неравномерно и крайне неравномерно, в зонах золотосульфидной вкрапленности оно тесно связано с сульфидами (пиритом, арсенопиритом), тонкое, мелкое. Коэффициент корреляции между содержанием золота и сульфидов на уровне 0,2-0,6 и выше.

В биотит-хлоритовой зоне метаморфизма содержание пирротина нарастает (по мере усиления метаморфизма), достигая 50-70% от общего содержания сульфидов, а количество пирита уменьшается - до 70-30%. Сингония пирротина преимущественно гексагональная. Незначительно количество пирротина моно-

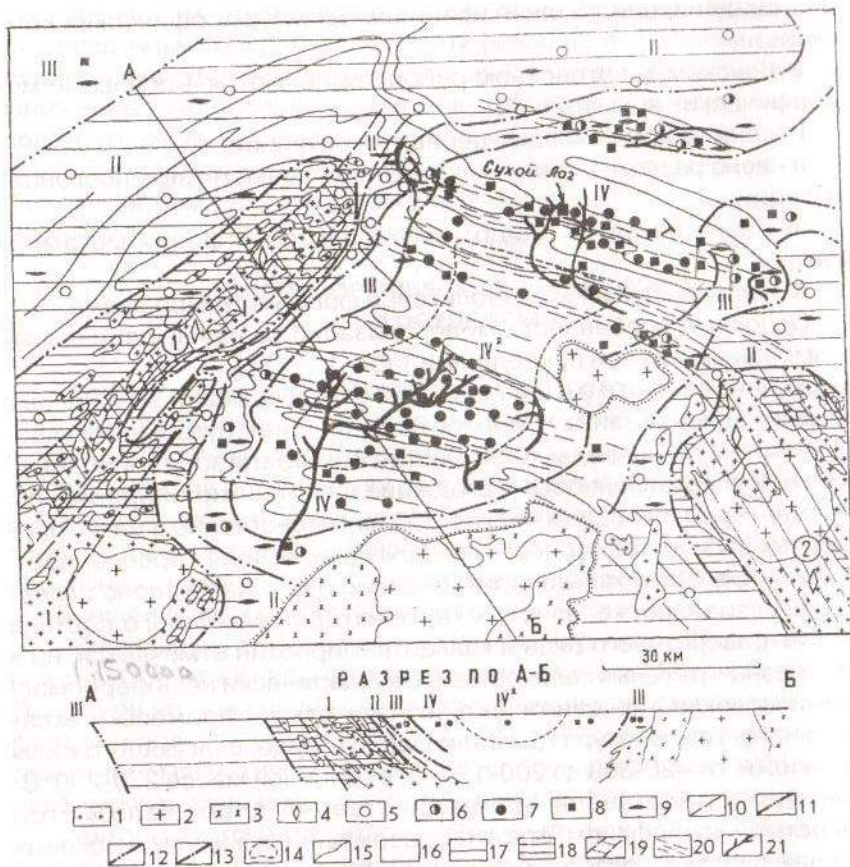


Рис. 9. Метаморфическая зональность в распределении оруденения в центральной части Ленского золотоносного района (по Буряку, 1965, с доп.):

1 - метаморфогенные мигматиты, гранит-пегматиты мамско-оронского комплекса; 2, 3 - постметаморфические интрузивные гранитоиды с контактовыми роговиками: 2 - конкудеро-мамаканского комплекса, 3 - тельмамского; 4 - мусковитоносные пегматиты; 5-7 - кварцевые жилы: 5 - безрудные, 6 - слабозолотоносные, 7 - золотоносные; 8 - золотоносная сульфидная минерализация (Сухой Лог показан крупным знаком); 9 - в различной мере золотоносная пирротиновая минерализация; 10 - тектонические нарушения; 11 - изограда дистена; 12 - изограда граната; 13 - изограда биотита; 14 - верхняя граница повышенного развития золотосульфидной минерализации; 15 - геологические контакты; 16-18 - поля распространения пород различных фаций метаморфизма: 16 - зеленосланцевой, 17 - эпидот-амфиболитовой, 18 - амфиболитовой; 19 - осевые центральные части зон метаморфизма, цифры в кружках: 1 - Абчадская (Мамская), 2 - Сьюльбанская; 20 - суб-

клинной сингонии. В основной массе (65-87%) пирротин ферромагнитен, сильно электромагнитные различия составляют 10-23%, слабо электромагнитные - 5-15%, очень слабо электромагнитные - до 6%. Характерно наличие пентландита в пирротине в виде пламенивидных пластинчатых выделений, образованных в результате распада твердого раствора. В халькопирите типоморфны редкие зерна кубанита.

Золото, содержащееся в сульфидизированных породах, в сравнении с хлорит-серицитовой зоной более крупное (0,01-1,0 мм), менее тесно связано с сульфидами. Отдельные золотины могут достигать 0,5-2 см. Сфалерит представлен преимущественно темноокрашенной разновидностью - марматитом. Блеклые руды отсутствуют, уменьшается общее содержание галенита и серебра, содержание магнезиально-железистых карбонатов.

В эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма пирит, сингенетичный пирротину, практически отсутствует. Вместо него широко представлен пирротин. Исключения составляют отдельные пласты известковистых алевролитов с аномально высоким содержанием органического ("углистого") вещества. В них даже в высокотемпературных фациях метаморфизма отмечается пирит, что обусловлено повышенным потенциалом серы в таких породах за счет высокого содержания  $H_2S$  в органическом веществе.

Кроме редко отмечаемого пирита, сингенетичного пирротину, в высокотемпературных зонах присутствует и вторичный новообразованный пирит, возникший в результате гипогенной и экзогенной дисульфидизации пирротина. Он представляет собой типичные но-

широтные рудолокализирующие зоны повышенного расщепления, согласные с простиранием складчатых структур; 21 - золотоносные россыпи.

Зоны и подзоны метаморфизма и соответствующего оруденения: I - зона развития незолотоносного пирротина, мусковитоносных пегматитов и безрудных кварцевых жил: амфиболитовая фация метаморфизма, II - эпидот-амфиболитовая фация метаморфизма: зона развития незолотоносного пирротина, безрудных кварцевых жил, III - биотит-хлоритовая субфация зеленосланцевой фации: зона развития золотоносной пирит-пирротиновой минерализации и слабозолотоносных кварцевых жил, IV - нижняя часть хлорит-серицитовой субфации зеленосланцевой фации: зона повышенного развития золотосульфидной минерализации и золотоносных кварцевых жил, IV<sup>а</sup> - верхняя часть хлорит-серицитовой субфации зеленосланцевой фации: зона слабого развития золотосульфидной минерализации и повышенного - золотоносных кварцевых жил

Таблица 1

**Изменение характера минерализации в Ленском золотоносном районе в зависимости от степени регионального метаморфизма вмещающих пород**

Сравнительные признаки	Зоны метаморфизма			
	хлорит-серпичитовая	биотит-хлоритовая	эпидат-амфиболитовая	амфиболитовая
Типоморфные минеральные образования	Золотоносные жилы, зоны пиритовой и пирит-арсенопиритовой вкрапленности	Золотоносные жилы, зоны пирит-пирротиновой вкрапленности	Безрудные, хрусталеносные кварцевые жилы	Безрудные кварцевые жилы, мусковитовые пегматиты
Формы выделения сульфидов	Рассеянная вкрапленность кристаллов, конкреции, желваки, прожилки, линзы	Угнетенной формы роста кристаллы, линзовидные конкреции, прожилки	Линзовидная вкрапленность, линзовидные прожилки	Линзовидная вкрапленность, удлиненные линзы
Минеральный состав сульфидов в кварцевых жилах и минерализованных зонах	<b>Пирит</b> +арсенопирит, в незначительных количествах галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды	<b>Пирит, пирротин</b> в незначительных количествах галенит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит	<b>Пирротин</b> , халькопирит+вторичный пирит	<b>Пирротин</b> , халькопирит+вторичный пирит
Содержание золота в жилах и минерализованных зонах	Повышенное, до 3-10 г/т и выше	Повышенное, до 5 г/т и выше	Низкое, до 0,01-0,1 г/т	Низкое, на уровне кларковых
Сингония пирротина	Моноклинный	Гексагональный с примесью моноклинного	Гексагональный с незначительной примесью моноклинного	Гексагональный
Состав нерудных жильных минералов (в порядке распространённости)	Главные: кварц, магнезиально-железистые карбонаты, альбит. Второстепенные: кальцит, апатит, серицит. Акцессорные: рутил, хлорит	Главные: кварц. Второстепенные: магнезиально-железистые карбонаты, кальцит, серицит-мусковит. Акцессорные: хлоритид, апатит, альбит, светло-зеленый турмалин, рутил, хлорит	Главные: кварц. Второстепенные: кислые плагиоклазы, мусковит, коричневый турмалин, дистен. Акцессорные: алмадин, графит, биотит, амфиболы, апатит	Главные: кварц, кислые плагиоклазы, микроклин. Второстепенные и акцессорные: кальцит, дистен, доломит (иногда слабожелезистый) апатит, черный турмалин (шерл), алмадин, амфиболы, биотит, графит и др.
Цвет жильного кварца	Серый, светло-серый до серовато-белого	Серый, светло- и темно-серый	Серый, темно-серый, дымчатый	
Величина отношения Ni/Co в жильном пирите и пирротине	2,73 - 1,73	1,2 - 0,8 8,1 - 9,5	7,8 - 6,5	4,3 - 0,7
pH суспензий жильного кварца	5,8 - 7,1	5,8 - 7,0	5,0 - 6,2	6,5 - 4,5
Температура кристаллизации жильного кварца (преимущественно)	180 - 380° C	280 - 450° C	400 - 500° C	450 - 550° C

вообразованные мелкие метакристаллы, не выходящие за пределы пирротиновых выделений, или неправильные концентрически-зональные выделения и мелкие прожилки с реликтами мельниквит-пирита и марказита. Крайне редко такой новообразованный пирит слагает цепочковидные выделения мелких кристаллов. В пегматитах и во вмещающих породах (в тесной пространственной связи с пегматитами) иногда встречаются выделения пирита, генетически обусловленные поздними аутометасоматическими процессами пегматитообразования. Золото в ассоциации с такими пиритами не содержится.

В высокотемпературных метаморфических зонах могут, кроме того, встречаться вторичный пирит и другие сульфиды (галенит, сфалерит и пр.), связанные с наложенными (постметаморфическими) процессами тектономагматической активизации, в т. ч. в связи с постметаморфическими интрузиями гранитоидов тельмамского и конкудеро-мамаканского комплексов и различными дайковыми образованиями. Но они также, как правило, незолотоносны.

Сингония пирротина в высокотемпературных метаморфических зонах гексагональная. В крайне незначительных количествах присутствует моноклинный пирротин. Ферромагнитных разностей не более 30-66%, слабо- и очень слабо электромагнитных 9-14%. Блеклые руды, сфалерит, галенит отсутствуют.

Температура кристаллизации жильного кварца обычно составляет 350-460°, золото в жилах не содержится. Магнезиально-железистые карбонаты анкерит-сидеритового ряда не развиты. Характерны кальцит, доломит.

В амфиболитовой фации метаморфизма сульфиды представлены пирротинном, в ассоциации с которым отмечаются халькопирит (в незначительных количествах) и вторичный пирит. Пирротин почти весь гексагональный, моноклинный, содержится в ничтожных количествах. Ферромагнитных фракций 3-5%, слабо- и очень слабо электромагнитных - 85%. Температура кристаллизации жильного кварца еще более возрастает, составляя 450-500° C.

Золоторудная минерализация в породах амфиболитовой фации метаморфизма отсутствует. Наложенная на кристаллические сланцы пиритовая минерализация золотоносна слабо или очень слабо, в т. ч. минерализация, обусловленная постскладчатыми интрузиями тельмамского и конкудеро-мамаканских комплексов. В связи с этим отсутствуют и промышленные золотоносные россыпи. В от-

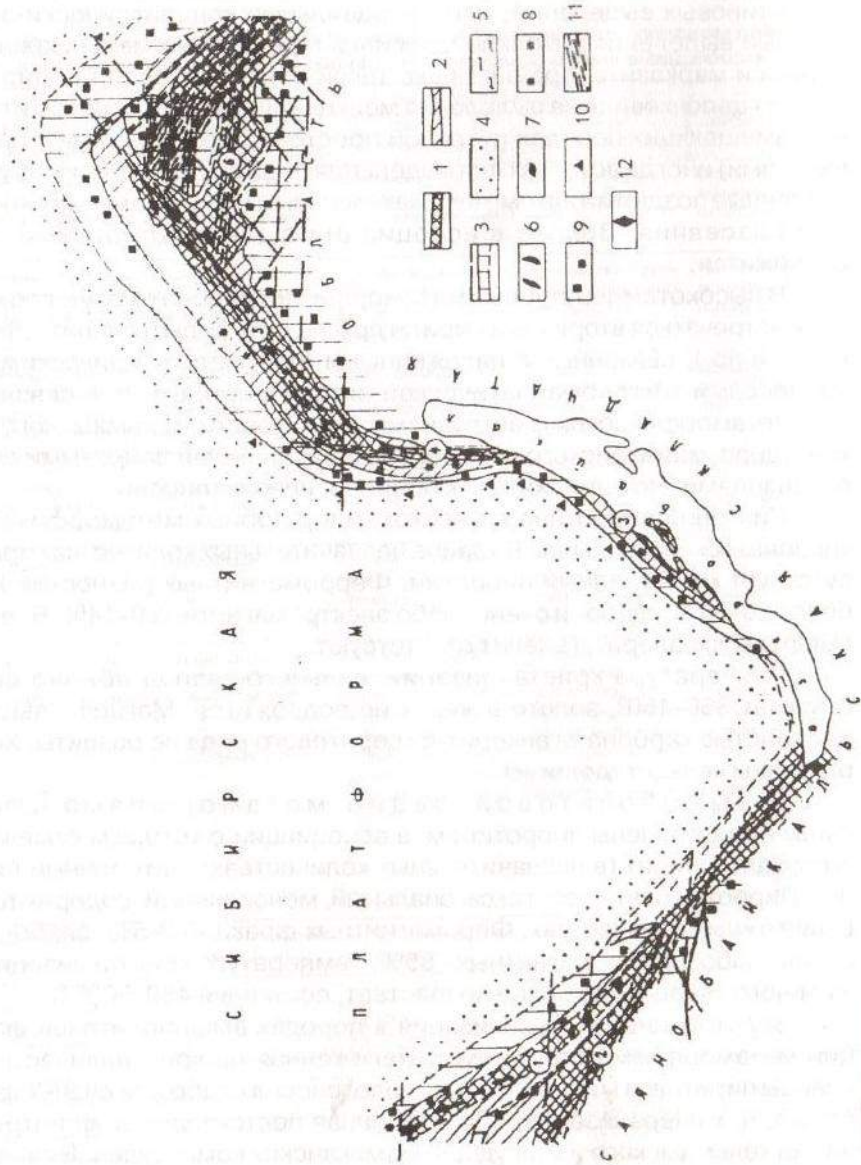


Рис. 10. Схема размещения фаций регионального метаморфизма и эндогенного оруденения на юге Сибирской платформы (по Буряку, 1982, с доп.):

1 - "центральная", наиболее подвижная часть зоны глубинных разломов краевого шва платформы, характеризующая интенсивно выраженными процессами метаморфизма (амфиболитовая и гранулитовая фации) и палингеного магматизма с редкометалльными и слюдонасными пегматитами; 2 - зона развития эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма с высокотемпературным метаморфогенно-гидротермальным редкометалльным оруденением; 3 - зона развития зеленосланцевой фации метаморфизма с золотым и с золотоколчеданным оруденением (крупным кубиком показано месторождение Сухой Лог); 4 - неметаморфизованные породы; 5 - сложнометаморфизованные не расчлененные по фациям метаморфические образования; 6 - слюдонасные пегматиты; 7 - редкометалльные пегматиты; 8 - редкометалльное высокотемпературное гидротермально-метасоматическое оруденение; 9 - золотое и золотоколчеданное оруденение; 10 - свинцово-цинковое серебросодержащее оруденение с флюоритом. Цифры в кружках - глубинные разломы, активные в позднебайкальскую эпоху метаморфизма и рудообразования; 1 - Бирюсинский, 2 - Главный Саянский, 3 - Приморский, 4 - Даванская зона, 5 - Абчадский, 6 - Нерпо-Чуйский, 7 - Сольбянский, 12 - флогопитоносные пегматиты месторождения Слюдянка

дельных случаях, как отмечалось, они могут заходить в поле развития кристаллических сланцев (на 5-10, максимально на 15 км), но это обусловлено уже иными - нетектоническими - эрозийными процессами.

Характерным примером в этом отношении является Мараканский золотоносный узел. В его пределах промышленные золотоносные россыпи заходят в поле развития амфиболитовой фации метаморфизма. Однако детальные наблюдения показали, что и в пределах этого участка коренные источники россыпей находились в поле развития зеленосланцевой фации.

Подавляющее число россыпей Ленского золотоносного района расположено в пирит-серицитовой зоне зеленосланцевой фации, занимающей около 95% всей золотоносной территории района. Месторождения Сухой Лог, Вернинское, Александровское, Догадынская жила, голец Кавказ приурочены именно к этой зоне. В пределах биотит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации выявлено только одно месторождение - голец Высокочайский (рудопроявления Бужуихтинское, Догалдынская стрелка).

Смена минерализации по мере перехода от одной метаморфической зоны к другой происходит постепенно в соответствии с изменением интенсивности метаморфизма вмещающих пород.

Как установлено (Буряк и др., 1966; 1967; Буряк, Попов, 1968; и др.), названная метаморфическая зональность, свойственная Ленскому золотоносному району, далеко не случайна, она характерна для всего складчатого обрамления юга Сибирской платформы (рис. 10). Контролируется она, как и в Ленском золотоносном районе, перикратонными глубинными разломами миогеосинклинальной зоны Байкалид.

Выделяются четыре регионально протяженные зоны, характеризующиеся различной степенью метаморфизма и типоморфной для них минерализацией:

- ♦ зона амфиболитовой фации метаморфизма - незолотоносная, со слюдоносными и керамическими пегматитами;
- ♦ зона эпидот-амфиболитовой фации - незолотоносная, с безрудными кварцевыми жилами и редкометалльными метасоматитами;
- ♦ зона зеленосланцевой фации (включающая Ленский золотоносный район) - основная золотоносная с кварцевым и золотосульфидным оруденением рассеянного типа;
- ♦ зона распространения неметаморфизованных (эпигенезированных и катагенезированных) пород - слабозолотоносная; характерно развитие стратиформного и стратифицирующегося фтор- и серебросодержащего с незначительной примесью золота свинцово-цинкового оруденения (месторождения Юбилейное, Таборное, имени Барвинского и др.).

По периферии метаморфических поясов, на границе с четвертой зоной и за ее пределами располагаются месторождения нефти и газа.

#### РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЛЕНСКОГО ЗОЛОТОНОСНОГО РАЙОНА

Как следует из вышесказанного, в Ленском золотоносном районе развиты два основных типа золотоносной минерализации: 1) кварцевые жилы и прожилки, в различной мере золотоносные, 2) золотосульфидная вкрапленность и прожилки во вмещающих породах.

Первый тип минерализации именуется кварцево-жильным, второй - золотосульфидным прожилково-вкрапленным.

В.А. Обручев и последующие исследователи (С.Д. Шер, Ю.П. Казакевич, В.Б. Аминев, А.К. Кондратенко и др.) рассматривали золотоносные кварцевые жилы и золотосульфидную минерализацию в боковых породах как парагенные образования. Нами впервые было установлено (Буряк, 1963а,б; 1982 и др.), что первичная золотосульфидная минерализация, развитая в осадочных толщах района, в подавляющем большинстве не связана пространственно и генетически с кварцевыми жилами, она образовалась значительно раньше. Был установлен ее первичноосадочный и осадочно-гидротермальный или новообразованный - метаморфогенный генезис. В последующем был отмечен метаморфогенно-гидротермальный генезис кварцево-сульфидных, сульфидно-кварцевых прожилков и самих кварцевых жил, в т. ч. золотоносных.

Однако при этом установлены и важные различия в особенностях развития и характере золотоносности рудных тел, представленных кварцевыми жилами и телами золотосульфидной вкрапленности.

Золотосульфидная минерализация с повышенными содержаниями золота избирательно приурочена к пачкам углеродистых тонкозернистых алевропелитовых пород, содержащих магнезиально-железистые осадочно-диагенетические карбонаты. Для таких пород характерно повышенное содержание  $K_2O$  (2,7-4,1%) и умеренное -  $Na_2O$  (1,5-1,9%). Отмечается преобладание магния над кальцием.

Кварцевые жилы, в т. ч. золотоносные, могут развиваться в алевросланцах и песчаниках различного состава.

Сульфиды, наблюдающиеся в осадочно-метаморфических толщах района, подразделяются на 3 основные разновидности:

- ♦ сформированные в процессе накопления и литификации осадков: а) осадочно-диагенетические - слабозолотоносные, б) осадочно-гидротермальные - в различной мере золотоносные, в т. ч. высозолотоносные;
- ♦ раннеметаморфические новообразованные - преимущественно слабозолотоносные;
- ♦ гидротермально-метасоматические (метаморфогенно-гидротермальные) - в различной мере золотоносные, в т. ч. высозолотоносные.



Общие особенности золотосульфидной и кварцево-жильной минерализации, характеризующейся повышенными концентрациями и запасами золота, следующие:

- ♦ вышеназванная тесная зависимость состава и золотоносности от степени регионального метаморфизма вмещающих пород;
- ♦ определяющая роль в размещении рудных тел складчатых структур, а в их пределах - **позднескладчатых зон рассланцевания**;
- ♦ **более раннее** образование основной минерализации по отношению к **постскладчатым** нарушениям, интрузиям гранитоидов и дайковым образованиям различного (кислого и основного) состава;
- ♦ тесная зависимость минерального состава кварцево-жильной и кварцево-прожилковой минерализации **от состава вмещающих пород**: в известковых породах жилы кварц-кальцитовые, в известняках - кальцитовые, в кварцевых песчаниках, алевролитах и алевросланцах - кварцевые и т. д.
- ♦ большая протяженность минерализованных зон по простиранию - до 3-5 км и более и по падению - сотни метров и более;
- ♦ **регионально-площадной** характер распространения, независимость от постскладчатых разрывных нарушений и магматических пород;
- ♦ выдержанность минерального состава (при одинаковом составе и степени метаморфизма вмещающих пород), прослеживающаяся на большие расстояния;
- ♦ слабая контрастность оруденения.

Вследствие этого, **месторождения** и рудопроявления района **однообразны** по минеральному составу и особенностям размещения оруденения. В соответствии с этим однообразны и методы их поисков и оценки. Месторождение Сухой Лог типично для района и выделяется, по существу, среди других золотосульфидных объектов **лишь большими размерами**. Содержание золота, минеральный состав и особенности его генезиса свойственны другим месторождениям и рудопроявлениям района.

## ПЕРВИЧНЫЕ КЛАРКОВЫЕ СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛОТА В ПОРОДАХ РУДОВМЕЩАЮЩЕГО РАЗРЕЗА

В общей сложности к настоящему времени в районе выполнено около 4 тыс. определений кларковых содержаний золота в различных породах, лишенных наложенных гидротермально-метасоматических преобразований, в т. ч. более 3 тыс. получены авторами. Детально опробовались прежде всего породы рудовмещающего разреза - различные сланцы, алевролиты, песчаники. Опробовались также мономинеральные образования - сульфиды, кварц, карбонаты, полевые шпаты, слюды и пр.

Данные анализов по породам и пиритам приведены в табл. 2. За основу приняты наши личные данные, полученные по результатам спектрохимического и нейтронно-активационного анализов, подвергавшиеся систематическому внутреннему и внешнему контролю. Дополнительно использовались анализы И.В. Коновалова, В.В. Коткина, А.Е. Гапона, Б.В. Шергина, И.Я. Коротаевой.

Как видно из табл. 2, углеродистые разности пород в современном виде **не характеризуются повышенными** содержаниями золота. Оно в них на **уровне обычных кларковых** и даже более низких концентраций - 3-5 мг/т.

Это обстоятельство первоначально было для нас неожиданным, непонятным и, казалось, противоречило геологическим данным, четко свидетельствующим о приуроченности основного золотого оруденения (прежде всего золотосульфидного) к определенным литостратиграфическим комплексам - **к пачкам углеродистых алевролитов**. Однако последующие детальные наблюдения и исследования позволили выяснить причину такого противоречия.

Было установлено, в частности, что приведенные в табл. 2 показатели содержания золота для пород, лишенных сульфидов, не представляют собой первичных истинных кларковых содержаний на момент образования осадков. Это остаточные "отработанные" концентрации, сохранившиеся в твердой фазе осадков после их литификации и метаморфизма (Буряк, 1982; 1986а). Высвободившееся золото накапливалось в осадочно-диагенетических и метаморфических пиритах, о чем свидетельствует постоянно более высокое содержание в них золота: в 10-100 раз и более превышающее соответственные показатели вмещающих пород и осадочно-диагенетических сульфидов. Частично золото выносилось метамор-

Таблица 2

Кларковые содержания золота (мг/т) в горных породах  
и минералах Ленского золотоносного района

Породы, минералы	Средние содержания	Разброс содержания по частным разрезам
Известковистые сланцы, известняки	0,8-1,5	0,2-3
Углеродистые сланцы, алевролиты без вкрапленности сульфидов	2-4	1-5
Пиритсодержащие разности этих же пород (пирит в виде рассеянной вкрапленности кристаллов)	3-8	2-120
Монофракции пиритов из этих пород	40-60	30-1500
Песчаники кварц-полевошпатовые, полимиктовые без сульфидов	2,5-4,5	2-6
Эти же песчаники с рассеянной вкрапленностью кристаллов пирита или с линзочками пирротина	3-6,5	2,5-10
Хлорит-серицитовые алевросланцы	2-3	1,5-4
Кварцитовидные пиритоносные углеродистые песчаники (вачская свита)	3-10	3-150
Основные эффузивы	2-5	2-20
Кристаллы и линзы осадочно-диагенетического и раннеметаморфического пирита из углеродистых пород	30-90	20-120
Линзы, конкрециевидные скопления осадочно-гидротермального пирита из углеродистых пород	80-5000	30-130000
Кристаллические сланцы и гнейсы основного и среднего состава	2,5-4,0	2,1-4,5

фогенными растворами за пределы метаморфизируемых углеродистых пачек осадков.

Средние "фоновые" содержания золота в углеродистых алевросланцах, содержащих "обычную" рассеянную вкрапленность кристаллов пирита к моменту их метаморфизма и рассланцевания, со-

ставляли (судя по выполненным расчетам количества и степени золотоносности пирита) 6-8 мг/т.

Согласно данным, полученным по другим регионам, можно считать, что при литификации и на начальных стадиях метаморфизации из 1 км<sup>3</sup> углеродосодержащих осадков выносилось порядка 10-20 т золота.

В условиях нарастающего прогрессивного метаморфизма первичные содержания золота также не оставались неизменными. Активный вынос золота начинает происходить при достижении условий амфиболитовой фации. Из 1 км<sup>3</sup> метаморфизируемых пород при этом выносится порядка 2,5-5 т золота.

Таблица 3

Кларковые содержания золота (мг/т) в осадочных породах  
различной степени регионального метаморфизма  
Ленского золотоносного района. Патомская серия, верхний протерозой,  
хомолхинская свита

Разновидности пород	Зоны метаморфизма		
	I	II	III
Углеродистые филлитовидные алевролиты	3,2(50)	3,0(50)	1,75(27)
Углеродистые алеврофиллиты	1,4(13)	2,2(30)	1,10(13)
Песчаники кварц-полевошпатовые	3,2(53)	3,1(27)	2,50(20)
Углеродистые алевролиты	6,2(30)	6,4(87)	2,50(41)
Кварцитовидные песчаники	4,9(94)	5,8(82)	2,50(34)
Углеродистые алевросланцы	3,1(286)	3,6(321)	1,30(326)

Примечание. Зоны метаморфизма: I - зеленосланцевая, II - эпидот-амфиболитовая, III - амфиболитовая.

Опробование производилось в условиях непрерывного прослеживания одних и тех же пластов по простиранию вкрест положения изоград метаморфизма. В скобках указано количество проб.

В эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма четких однонаправленных изменений в содержании золота не установлено (см. табл. 3). Происходит в основном, можно полагать, перерас-

пределение золота между переслаивающимися литологически различными пластами пород, а также некоторое его накопление.

Активный вынос золота отмечен и при процессах метасоматической гранитизации, широко проявленных в ядерных частях метаморфических поясов, окружающих Патомский прогиб. Выносилось при этих процессах еще порядка 3-6 т золота из 1 км<sup>3</sup> гранитизируемых пород (Буряк, 1986а). При содержании золота в количестве 3,7 мг/т (по данным 571 пробы) в исходных кристаллических сланцах среднего состава в метасоматически гранитизированных разностях этих же пород содержание золота составило 2,45 мг/т (191 проба), а в автохтонных метасоматических гранитах и пегматитах - 1,85 мг/т (125 проб).

Все это указывает на то, что при литификации и последующих преобразованиях рудовмещающих осадочных толщ района выделялось большое количество золота - более чем достаточное для формирования известных золоторудных месторождений и золотоносных россыпей. Поэтому нет необходимости предполагать обязательное дополнительное поступление золота из других гипотетических источников - гранитоидных очагов, мантии и пр., как это делалось до недавнего времени. Это становится особенно очевидным, если учесть наличие осадочно-гидротермальных пиритов в углеродистых пачках района. Эти сульфиды, в отличие от осадочно-диагенетических, могут содержать высокие концентрации золота - до нескольких десятков граммов на тонну. На Сухом Логе обнаружены конкреции таких сульфидов с содержанием золота до 350 г/т, и здесь они имеют повышенное развитие.

#### ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Гидротермально-метасоматические изменения осадочных пород, связанные с формированием основной золотоносной минерализации, не контрастны, они генетически обусловлены процессами регионального метаморфизма, происходящими на его заключительном - регрессивном этапе.

Метасоматиты, обусловленные постметаморфическим гранитоидным магнетизмом, накладываются на них. В районе они проявлены слабо и фиксируются лишь в отдельных случаях.

Выделяются два типа метасоматитов, связанных с рудообразующими процессами:

- ♦ ранние, развитые практически на всей площади района, представленные апосланцевыми и апопесчаниковыми пропилитами и пропилитами и пропилитоподобными образованиями;
- ♦ более поздние - апосланцевые березиты и листвениитоподобные образования, накладывающиеся на первые по зонам позднескладчатого рассланцевания, имеющим в районе региональное распространение, субширотную ориентировку и приуроченным к осевым частям антиклиналей.

С первым типом метасоматитов связаны рассеянная слабозолотоносная вкрапленность и линзовидные прожилки, со вторым - в различной мере золотоносные кварцево-пиритовые, пирито-кварцевые линзовидные выделения, прожилки и жилы.

Типоморфные особенности обоих типов метасоматитов таковы:

- ♦ регионально-площадной характер распространения, не зависящий от интрузивных магматических пород;
- ♦ усиленное развитие вдоль региональных зон синскладчатого и позднескладчатого рассланцевания;
- ♦ большая выдержанность минерального состава и общность фациального типа, особенно по простиранию минерализованных зон;
- ♦ слабая и очень слабая контрастность проявления, постепенно нарастающая по мере перехода от нижних горизонтов минерализованных зон к верхним;
- ♦ тесная зависимость минерального состава, фациального типа и металлогенической специализации от состава и степени метаморфизма исходных пород;
- ♦ углекисло-кальциевый состав метасоматизирующих растворов, повышенное содержание в них серы, и, особенно, CO<sub>2</sub>;
- ♦ значительное (на 30-100 МПа и более) преобладание P<sub>общ.</sub> растворов (флюидов) над P литостатическим.

Химические изменения пород, связанные с образованием названных метасоматитов, обычны для такого типа образований: при-

вносятся  $\text{CO}_2$  и кальций, выносимые, судя по данным рассчитанного баланса, из высокотемпературных зон метаморфизма за счет процессов декарбонизации, и сера - за счет замещения пирита пиротином.

Поведение других элементов, в т. ч. калия, кремния и натрия, различно в разных зонах метаморфизма (Буряк, 1982). В хлорит-серицитовой зоне, в пределах которой располагается месторождение Сухой Лог, отмечается вынос кремния в количествах, более чем достаточных для образования кварцевых жил. В биотит-хлоритовой зоне метаморфизма слабо проявлено окварцевание, в эпидот-амфиболитовой - окварцевание часто интенсивно. Для амфиболитовой фации характерно развитие кварц-мусковитового замещающего комплекса, приводящего к образованию промышленных месторождений мусковита.

Золото при гидротермально-метасоматических процессах ведет себя вполне подвижно и закономерно: в самой внешней части метасоматической колонки, где новообразованные сульфиды отсутствуют, оно выносится, а во внутренних частях, наоборот, отлагается в ассоциации с сульфидами, жильным и прожилковым кварцем.

При этом по мере перехода от нижних частей минерализованных зон к верхним мощность зон выноса постепенно уменьшается, а зон отложения - возрастает. В нижних корневых частях она составляет десятки-сотни метров, в самых верхних - первые десятки сантиметров.

Благодаря этому нижние корневые части околожильных зон метасоматитов и их внешние ореолы - области преимущественного выноса золота и сопутствующих рудогенных элементов, внутренние - области отложения золота (совместно с сульфидами и кварцем).

При исходном содержании 3-6 мг/т в алевросланцах и 4-5,5 мг/т в песчаниках в зонах выноса содержания золота составили, по нашим данным, соответственно 2,2-3,0 мг/т в алевросланцах и 3,5-4,5 мг/т в песчаниках. В то же время во внутренних частях метасоматической колонки содержания золота значительно (в 1,5-10 раз и более) выше в сравнении с исходными и растут по мере увеличения количества новообразованных сульфидов. Привнос золота в 1 км<sup>3</sup> интенсивно пиритизированных околожильных метасоматитов достигал 20-50 т. Величина привноса находится в прямой зависимости от содержания сульфидов.

Согласно выполненным расчетам при гидротермально-метасоматических процессах преобразования осадочных толщ может выно-

ситься существенное количество золота: примерно 3-6 т из 1 км<sup>3</sup>. Однако общее количество золота, находящегося в рудных телах, намного больше, особенно в зонах золотосульфидной вкрапленности. Как показывает рассчитанный баланс, золото, вынесенное из боковых пород, может составить для них не более 5-15% от его общего количества, находящегося в рудных телах. В то же время для кварцевых жил золото, выносимое из боковых толщ, может составлять все 100%.

Характерно также, что непосредственно в приконтактных частях золотоносных образований (кварцевых жил, кварцевых сульфидно-кварцевых и кварцево-сульфидных прожилков) зона выноса, как правило, не фиксируется. Особенно свойственно это нижним и средним частям минерализованных зон. Зоны выноса фиксируются обычно не вокруг отдельных прожилков и жил, а в самых внешних (по латерали) и в корневых частях (по падению) минерализованных зон, их содержащих. Здесь происходит разложение железосодержащих минералов исходных пород, в т. ч. пирротина и магнетита, приводящее к образованию серицита и магнезиально-железистых карбонатов при отсутствии или очень слабом развитии пирита.

Вынос золота мог осуществляться также за счет общего значительного уменьшения ("выгорания")  $C_{\text{орг}}$  пород, выражающегося в их осветлении и уменьшении (на фоне этого) сорбционной емкости  $C_{\text{орг}}$  по отношению к золоту. Сорбционная емкость  $C_{\text{орг}}$  для слабо измененных углеродистых сланцев составляет (г/т на 1%  $C_{\text{орг}}$ ) - 63, для умеренно измененных - 39 и для интенсивно измененных - 18 (Буряк, 1986а).

#### ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОБУСЛОВИВШИЕ ВЫСОКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЕНСКОГО ЗОЛОТОНОСНОГО РАЙОНА

Как отмечалось, Патомский прогиб в целом и особенно входящий в его состав Бодайбинский прогиб характеризуются очень высокой удельной золотоносностью. На территории общей площадью 70 тыс. км<sup>2</sup> добыто уже порядка 2 тыс. т золота из россыпей. Можно полагать, что оставшихся неотработанных россыпей, в т. ч. в бедных и очень бедных, и в техногенных отвалах осталось еще столько же. Общее количество золота в россыпях, таким образом, составит не менее 4 тыс. т.

Если же учесть, что в россыпях накапливается не более 5-20% от того количества, которое было в коренных источниках, то можно считать, что в эродированных частях коренных источников было примерно 20-80 тыс. т золота. Общий эрозионный срез в районе можно оценивать как среднерудный, т. е. размыто около 50% рудных тел. Исходя из этого можно полагать, что общие суммарные количества золота в Ленском золотоносном районе как в геохимической аномалии составляли первоначально не менее 40-160 тыс. т - в среднем 100 тыс. т, т. е. были весьма значительными, особенно если иметь в виду общий низкий кларк золота в земной коре - 4,5 мг/т.

Основные причины такой высокой золотоносности Патомского прогиба исходя из анализа имеющихся данных по особенностям его строения и золотоносной минерализации могут быть следующими:

- ♦ большие размеры прогиба по латерали (200 тыс. км<sup>2</sup>), включая краевые части, охваченные процессами высокотемпературного метаморфизма и гранитизации, и по вертикали (15-18 км и, возможно, более), что обеспечило накопление большого объема (свыше 3 млн км<sup>3</sup>) золотосодержащих рудогенерирующих осадков;
- ♦ большая роль в составе пород, слагающих прогиб, углеродистых пиритовых отложений (примерно 30%, или 0,9 млн км<sup>3</sup>), характеризующихся повышенными первичными кларками золота (6-8 мг/т и более) и наличием в существенных количествах (0,5-3% и выше) золотосодержащих сульфидов (пирита, арсенопирита, пирротина) осадочно-диагенетического и осадочно-гидротермального генезиса;
- ♦ большие объемы пород, испытавших высокотемпературный метаморфизм и гранитизацию, - около 50% от их общего количества в прогибе, что в совокупности с процессами литификации должно было привести в соответствии с имеющимися данными по поведению золота при этих процессах (Буряк, 1982, 1986а) к высвобождению его больших количеств: не менее 10 т из 1 км<sup>3</sup>, 9 млн т из толщ, слагающих непосредственно его центральную золотоносную часть;
- ♦ высокая раздробленность кристаллического основания прогиба, способствующая поступлению конседиментационных флюидов и гидротерм, привносящих серу и золото;

- ♦ общее благоприятное геотектоническое положение прогиба - расположение его в узле сопряжения фланговых частей: глубоко вдающихся в основание платформы глубинных разломов;
- ♦ пространственно-временная и генетическая сопряженность Патомского прогиба с обрамляющими его гранитогнейсовыми куполами; это прежде всего касается его центральной части (Бодайбинского внутреннего прогиба, трансформированного в Бодайбинский синклиорий), представляющей собой межкупольный прогиб, аналогичный позднеархейским зеленокаменным золотоносным поясам.

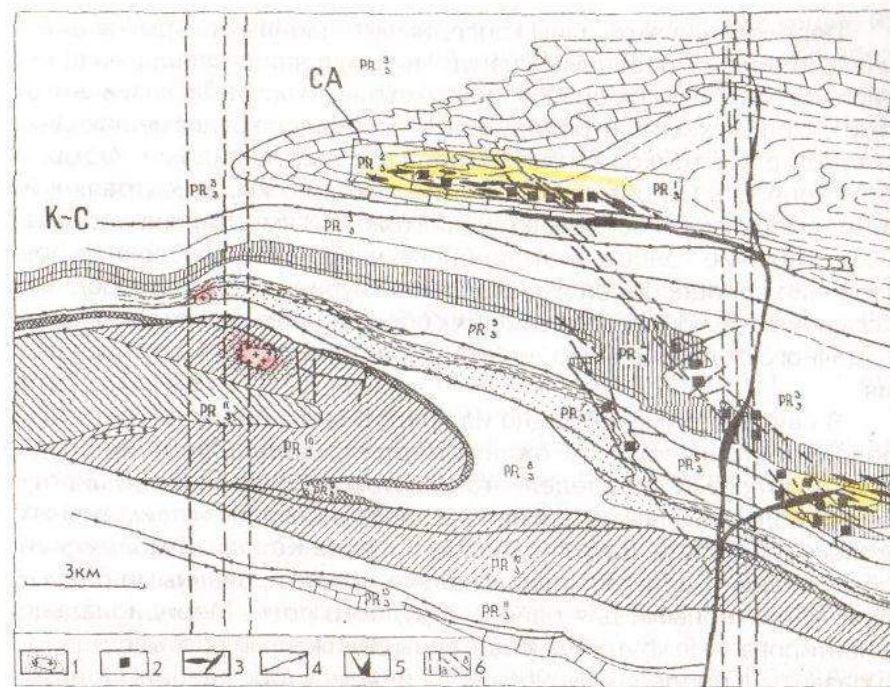
## ОБЩЕГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУХОЙ ЛОГ

### ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Кропоткинский рудный узел, в состав которого входит месторождение Сухой Лог, приурочено к западной периклинальной части субширотной Сухоложской (Сухоложско-Бужуихтинской) антиклинали третьего порядка (рис. 11). Эта антиклиналь осложняет северное крыло субширотной Маракано-Тунгусской синклинали второго порядка, входящей в состав Бодайбинского синклинория - складчатой структуры первого порядка.

Осадочные породы, слагающие рудное поле и его окрестности, интенсивно дислоцированы, как и во всем Бодайбинском синклинории. Представлены они отложениями верхнепротерозойской кадаликанской подсерии патомской серии, смятыми в линейные складки высоких порядков, осложненными многочисленными малоамплитудными синскладчатыми и позднескладчатыми нарушениями типа взбросов и взбросо-надвигов. Широко развиты также продольные субширотные и диагональные (по отношению к простиранию складчатых структур) длительно живущие глубинные зоны повышенной трещиноватости.

Сухоложское месторождение располагается в северном крыле Кадали-Сухоложской взбросо-надвиговой зоны. Судя по геофизическим и геологическим данным эту взбросо-надвиговую зону можно рассматривать как разлом "скрытого типа" - конседиментационную структуру повышенной проницаемости, проявленную на площади месторождения в виде разрывных смещений (суммарно до 2 км) только в кристаллическом фундаменте складчатого основания. Непосредственно в верхнем рудовмещающем комплексе осадочных пород эта тектоническая зона проявилась без существенных смещений - в виде линейной зоны повышенных пликтивных дислокаций и расщепления с микровзбросами в подвернутых крыльях сильно сжатых антиклиналей, ее составляющих.



1:200000

Рис. 11. Геологическое строение Кропоткинского рудного поля (по Буряку, 1982, с доп.):

1 - штокообразный массив Константиновских гранитоидов, окруженный контактовыми роговиками; 2 - золотосульфидная минерализация; 3 - золотоносные кварцевые жилы (показаны вне масштаба); 4 - взбросо-надвиговые зоны (К-С - Кадали-Сухоложская); 5 - золотоносные аллювиальные россыпи; 6 - секущие зоны разрывов: а - субмеридиональной ориентировки - преимущественно пострудные, б - диагональные - рудолокализирующие. Индексы отражают наименование свит (стратиграфических образований) верхнего протерозоя (PR<sub>3</sub>) и их подразделений (снизу вверх): hm - хомолхинская свита (hm<sub>1</sub> - нижняя подсвита, преимущественно алевролиты; hm<sub>2</sub> - кварцитовидные песчаники; hm<sub>3</sub> - алевросланцы с прослоями алевролитов), im - имняхская свита (светлые известняки, известковые сланцы), au - аунакитская свита (au<sub>1</sub> - преимущественно светлые кварциты, au<sub>2</sub> - преимущественно серые кварц-серицитовые сланцы с прослоями алевролитов, кварцитов, au<sub>3</sub> - кварциты, песчаники, алевролиты), an - анангская свита (an<sub>1</sub> - преимущественно полимиктовые песчаники, an<sub>2</sub> - песчаники, филлитовидные сланцы), dg - догалдынская свита (dg - песчаники с прослоями алевролитов, dg<sub>2</sub> - преимущественно песчаники), il - иллигирская свита - известковые песчаники, сланцы в различном соотношении.

CA - Сухоложская антиклиналь. В рамке - Сухоложское рудное поле

Пересечение этой зоны конседиментационных разрывов диагонально ориентированными нарушениями северо-западного простирания обусловило образование локального прогиба, названного нами Сухоложским, контролирующего накопление рудовмещающих углеродистых тонкозернистых осадков с сульфидами. Общая протяженность Сухоложского прогиба около 5 км, а центральной части, вмещающей основное рудное тело, - 3 км. Ширина прогиба 700 м. Наличие конседиментационных нарушений обусловило поступление в процессе осадконакопления глубинных сероводородных эксгаляций и флюидов, приведших к образованию гидротермально-осадочного золотоносного пирита, характерного для месторождения.

В связи с этим, как видно из представленной карты (рис. 11), геолого-тектоническое положение месторождения Сухой Лог вполне конкретное - оно определяется местом пересечения субширотной продольной зоны интенсивного расщепления и пликвативных дислокаций, находящейся в висячем крыле Кадали-Сухоложской взброснадвиговой зоны, диагонально ориентированными разрывами, характерными для района и рудного поля. Меридионально ориентированные крутопадающие зоны сближенных разрывов широко развиты в пределах рудного поля и на месторождении. Однако, как показывают фактические данные, они не оказывают заметного видимого влияния на положение месторождения и распределение в нем оруденения. В то же время зоны этих разрывов контролируют размещение дайковых гранитоидных пород и штока Константиновских гранитов, расположенных западнее в 6 км от месторождения. Активно они подновлялись и в неотектонический этап, благодаря чему оказывают большое влияние на ориентировку гидросети.

Сухоложская рудовмещающая антиклиналь сильно запрокинута на юг гармонично с общей складчатостью, характеризуется узким сжатым замком, имеет форму близкую к изоклиальной. В пределах месторождения она сложена породами верхней части флишоидной кадаликанской подсерии, представленными (снизу вверх) терригенно-углеродистой хомолхинской и терригенно-известковистой имняхской свитами.

Хомолхинская свита слагает ядерную часть антиклинали, имняхская - приядерную и крылья. Промышленное золотосульфидное оруденение и основное количество золотоносных кварцевых жил избирательно локализируются в отложениях хомолхинской свиты. Зо-

лотоносные кварцевые жилы частично выходят в вышележащие известковистые сланцы имняхской свиты. В породах хомолхинской свиты жилы кварцевые, в известняках имняхской свиты состав их меняется на кварц-кальцитовый и кальцитовый и они становятся, как правило, незолотоносными. В связи с этим северная, западная и южная границы рудного поля (12 км<sup>2</sup>) проходят по контакту хомолхинской и имняхской свит, восточная условно проводится по правому борту долины р. Ныгри.

Проявления интрузивной магматической деятельности в Маракано-Тунгусской синклинали и вблизи месторождения незначительны. Наиболее существенным является гранитный массив, находящийся в 6 км к юго-западу от месторождения (рис. 11) и издавна известный под названием Константиновского штока.

Судя по общности минералогического и химического состава гранитов этого массива с Джегдокарским гранитоидным плутоном, Константиновский шток относится к посткладчатому нижнепалеозойскому конкудеро-мамаканскому интрузивному комплексу. Константиновские граниты картируются на поверхности двумя близко расположенными выходами общей площадью около 0,5 км<sup>2</sup>, которые, судя по приуроченности их к единой контрастной глубинной отрицательной аномалии силы тяжести, представляют собой единый довольно крупный шток. Последний, по геофизическим данным, залегает на глубине 1,5-2 км (?), имеет крутой южный контакт и пологопадающий северо-восточный, обращенный в сторону месторождения. Граниты штока биотитовые, нормальнокислые, порфирированные в центре массива и мелкозернистые в зоне эндоконтакта. Вокруг массива развит ореол контактового метаморфизма (ороговирования) шириной (в плане) 100-250 м, причем северный экзоконтакт шире южного.

В тесной связи с гранитным штоком находятся несколько субширотных даек гранит-порфиров и кварцевых порфиров, расположенных в 2-4 км от него.

Других магматических проявлений вблизи месторождений нет. Лишь в 35 км к юго-востоку имеются выходы гранитов Джегдокарского плутона конкудеро-мамаканского комплекса. Западнее в 50 км обнажаются граниты позднекембрийского мамско-оронского комплекса и в 30 км к востоку встречаются основные дайки мезозойского кадали-бутуинского комплекса. Непосредственно на площади месторождения магматические породы отсутствуют. На глубине 2-

3 км по геофизическим данным предполагается наличие гранитов, но объективных геологических данных, подтверждающих это, не получено. Признаков появления контактового метаморфизма даже в самых глубоких скважинах (700-800 м) не отмечается. Зональность оруденения по отношению к предполагаемому массиву не обнаружена.

### ВМЕЩАЮЩИЕ ПОРОДЫ, ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ В РАЗМЕЩЕНИИ ОРУДЕНЕНИЯ

Общий характер разреза пород, слагающих месторождение, и положение в нем золотосульфидного оруденения показаны на рис. 12. Современное положение в плане Сухоложского прогиба, выполненного рудовмещающими породами, в схематизированном виде приведено на рис. 13 и в продольном вертикальном сечении - на рис. 14.

**Рудовмещающие породы.** Как и на гольце Высочайшем, золотосульфидное оруденение месторождения Сухой Лог приурочено к отложениям хомолхинской свиты. Отличие лишь в том, что на гольце Высочайшем оруденение локализуется в нижней подсвите этой свиты, а на Сухом Логге - в верхней, т. е. несколько различно стратиграфическое положение рудовмещающих пород. Однако в обоих случаях они одинаковы - представлены резкопреобладающими тонкозернистыми разностями: углеродистыми алевросланцами и филлитовидными сланцами с подчиненными линзующимися прослоями алевролитов и тонкозернистых песчаников (в сумме 5-10%). В обоих случаях рудовмещающие породы слагают локальные палеопрогобы в местах пересечений продольных и диагональных конседиментационных глубинных нарушений (рис. 13). Общая суммарная мощность рудовмещающей верхней подсвиты на Сухом Логге 250 м.

В фациальном отношении породы этой рудовмещающей подсвиты относятся к флишоидной терригенно-углеродистой формации, содержащей осадочные магнезиально-железистые карбонаты анкерит-сидеритового ряда, а также осадочно-диагенетический и осадочно-гидротермальный пирит. Первично это были осадки монтмориллонит-гидроslюдистого состава с существенной примесью магнезиально-железистого карбонатного материала, кварца, полевых шпатов, серы и  $S_{орг}$ . Тонкозернистые разности (алевросланцы, филлиты, филлитовидные сланцы) резко преобладают. Мощ-

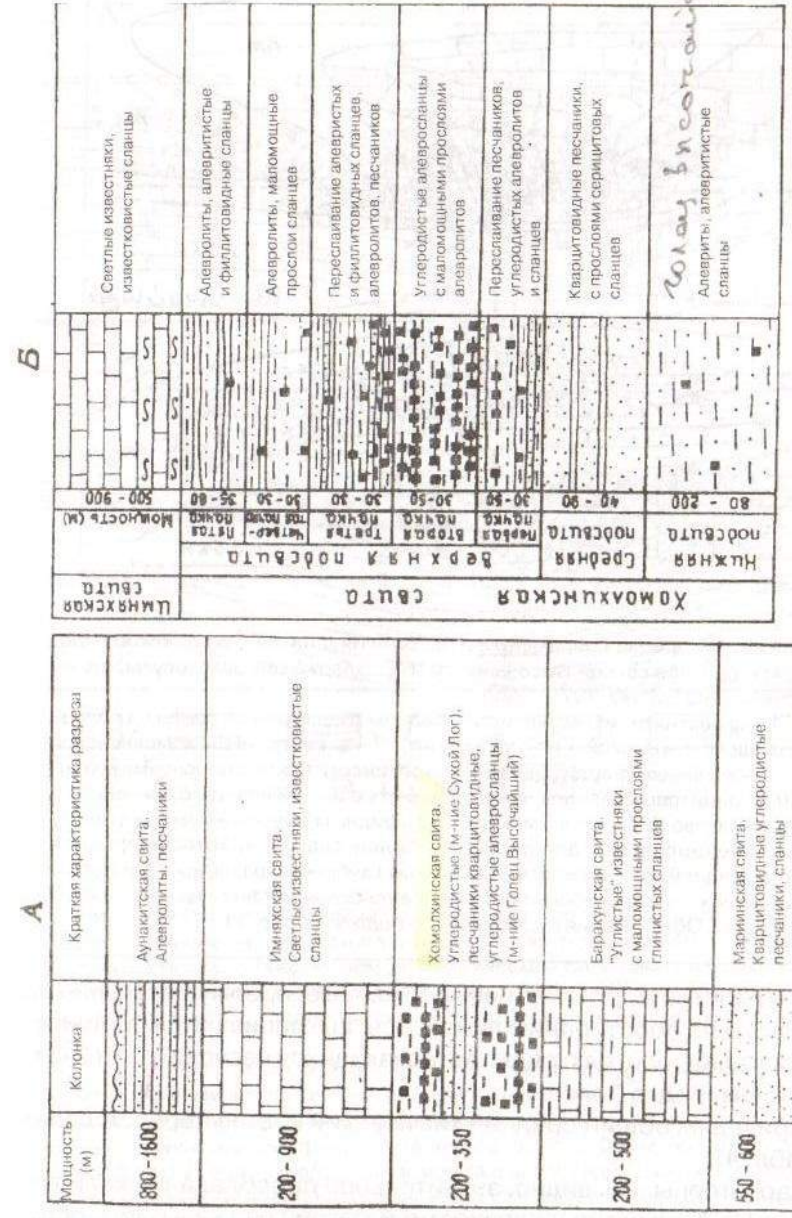
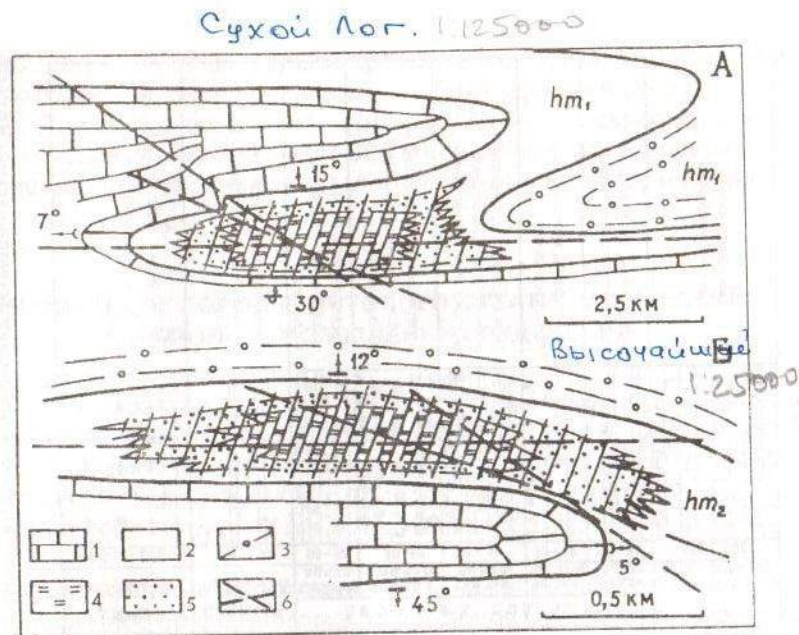


Рис. 12. Положение в разрезе рудовмещающей хомолхинской свиты и золотосульфидного оруденения в ней в региональном плане (А) и на месторождении Сухой Лог (Б). В верхней подсвите локализуется месторождение Сухой Лог, в нижней - Гольц Высочайший





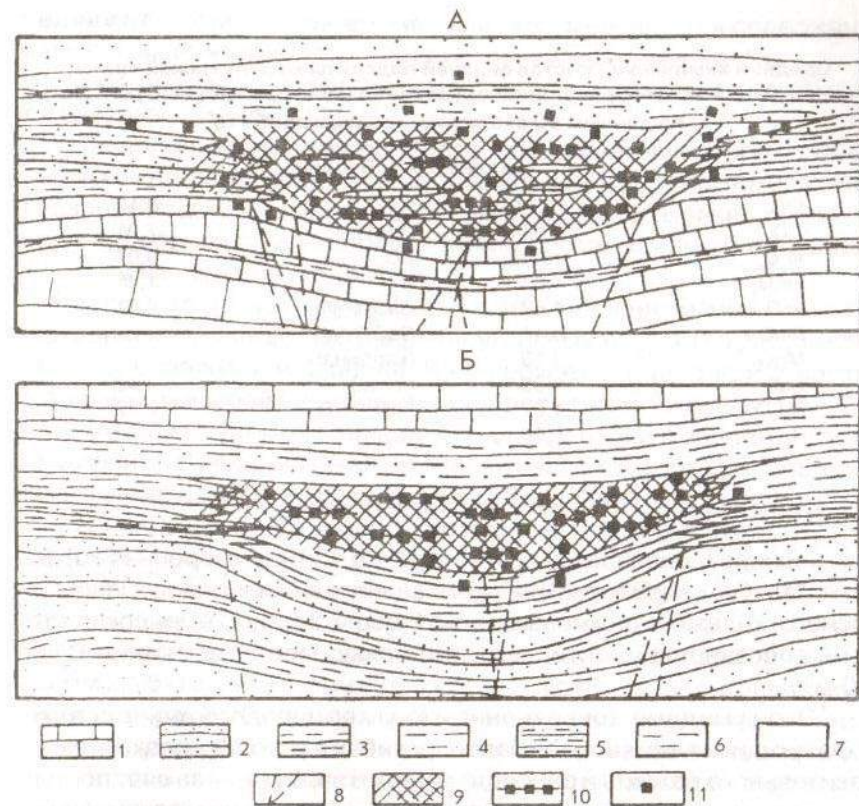
**Рис. 13.** Схема современного положения в плане Сухоложского прогиба (А) и прогиба гольца Высочайшего (Б), содержащих золотосульфидное оруденение (по Буряку, 1976, с доп.):

1 - известняки, известковистые сланцы (баракунской свиты на гольце Высочайшем, имняжской - на Сухом Логге); 2 - алевросланцы хомолхинской свиты; 3 - песчаники кварцитовидные хомолхинской свиты с прослоями кварц-хлорит-серцитовых сланцев; 4 - углеродистые алевросланцы с сингенетичным прожилково-вкрапленным золотосульфидным оруденением; 5 - углеродистые алевросланцы, алевролиты с более слабой золотосульфидной минерализацией; 6 - конседиментационные глубинные разрывы, обуславливающие заложение прогибов и поступление конседиментационных эксгальций и гидротерм. Обозначения индексов см. в подписи к рис. 11

ности их пластов и простоев невыдержанные, преимущественно 0,5-3 м. Пласты по простиранию линзуются, выклиниваются. Мощности прослоев алевролитов и редко встречающихся песчаников от 2-3 мм до 10-15 см, редко более.

Приведем общий средний химический состав пород подсвиты (см. табл. 4).

Характерны, как видно, значительное преобладание калия над натрием (калиевый тип щелочности) и магния над кальцием, общая



**Рис. 14.** Положение рудомещающих углеродсодержащих пород Ленского золотоносного района, несущих сингенетичное прожилково-вкрапленное золотосульфидное оруденение, в продольном литологическом профиле. Палеотектонические реконструкции (схематизированный вид): А - регрессивная серия осадков, прогиб типа гольца Высочайшего, Б - трансгрессивная серия осадков, прогиб типа Сухой Лог (по Буряку, 1987, с доп.):

1 - известняки, известковые сланцы; 2 - кварцитовидные песчаники; 3 - алевролиты с прослоями алевролитистых сланцев; 4 - алевролиты с прослоями сланцев; 5 - преимущественно алевролиты; 6 - филлитовидные алевролиты с прослоями алевролитов; 7 - алевросланцы, филлиты, алеврофиллиты; 8 - конседиментационные разрывы; 9 - повышенные содержания золота в ассоциации с сульфидами; 10 - прожилки, конкреции и линзовидные скопления золотоносных сульфидов; 11 - рассеянная вкрапленность слабозолотоносных сульфидов

Таблица 4

Средний химический состав верхней подсвиты хомолхинской свиты, содержащей золотосульфидное оруденение (месторождение Сухой Лог) по данным 90 анализов керновых проб (%)

Анализы В.А. Буряка			
SiO <sub>2</sub>	57,20	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12
TiO <sub>2</sub>	1,08	П.П.П.	7,91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,46	SO <sub>3</sub>	0,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,85	S <sub>общ.</sub>	1,45
FeO	4,67	CaO/MgO	0,41
MnO	0,11	CaO+MgO	
MgO	3,13	(карбонат-	
CaO	1,30	ность)	4,43
Na <sub>2</sub> O	1,82	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,52
K <sub>2</sub> O	2,90	C <sub>орг.</sub>	1,0-5

Примечание. П.П.П. - потери при прокаливании.

повышенная щелочность (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O = 4,72%) и умеренная карбонатность (Ca + MgO = 4,43), а также значительное преобладание закисного железа над окисным (FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 2,52), т. е. высокая степень восстановленности железа и невысокое содержание C<sub>орг.</sub> - 1,0-5%.

Это гумидные тонкозернистые углеродсодержащие осадки, образующиеся в локальных палеопрогихах в условиях резко восстановительного режима и сероводородного заражения за счет поступления конседиментационных эксгалаций и гидротерм, привносящих серу, CO<sub>2</sub>, золото, железо, а также в незначительных количествах мышьяк и прочие сопутствующие компоненты.

Минеральный состав пород рудовмещающей подсвиты следующий: кварц - 30-45%, хлорит + серицит - 20-45%, магнезиально-железистые карбонаты анкерит-сидеритового ряда - 5-15% (редко до 30%), осадочно-диагенетический и осадочно-гидротермальный пириты - в сумме 3-15%, полевые шпаты - 1-3%. Как акцессории присутствуют рутил, турмалин, фторапатит, циркон, лейкоксен. Содержание C<sub>орг.</sub> от 1 до 5%, преимущественно 1,0-2,5%. Кларковые содержания золота 3-8 мг/т и выше.

Состав пород подсвиты не выдержан по простиранию: к флангам Сухоложского прогиба (месторождения) преобладающие алевросланцы фашиально замещаются более грубозернистыми осадка-

ми - алевролитами. Одновременно в них уменьшается содержание магнезиально-железистых карбонатов, сульфидов и золота.

Неоднороден состав рудовмещающей подсвиты и в вертикальном разрезе (см. рис. 12).

По преобладающему характеру переслаивания пород, особенностям их состава, физическим параметрам и другим показателям в разрезе подсвиты выделяются (снизу вверх) пять пачек, химический и преобладающий литологический состав которых, по данным Н.П. Попова, приведен в табл. 5.

Первая (нижняя) пачка представлена ритмичным переслаиванием темно-серых умеренноуглистых (C<sub>орг.</sub> 1,0-1,5%) песчаников, алевролитов и сланцев. В ее верхней части среди углистых сланцев и алевролитов появляются прослой высокоуглистых (C<sub>орг.</sub> 2,5-3,0%) темно-серых сланцев. Мощность пачки в зависимости от положения в Сухоложской антиклинали колеблется от 25 м в подвернутом крыле до 40 м в нормальном и 70 м в ядре.

Вторая пачка выделяется повышенной (до 4-5% C<sub>орг.</sub>) углистостью слагающих пород и тонкозернистым их составом, является маркирующим горизонтом. Резко преобладают (90-95%) алевросланцы. Показательно также наличие линзующихся маломощных прослоев алевролитов. Мощности их невыдержанные - от 2-3 мм до 5-10 см. В сумме они составляют 5-10% от общей мощности этой пачки. Отмечаются еще более редкие маломощные прослой тонкозернистых песчаников, в основном в нижней части пачки.

Породы пачки характеризуются наиболее высокой эффективной пористостью (от 3,8 до 10,6%). Мощность пачки в зависимости от положения в складчатой структуре изменяется очень широко в связи с высокой пластичностью пород, она составляет 20-30 м в подвернутом крыле, 20-50 м в нормальном и 80-110 м в ядре антиклинали.

Третья пачка представлена переслаиванием алевритистых и филлитовидных сланцев повышенной углистости (2,5-3,0% C<sub>орг.</sub>) с алевролитами и тонкозернистыми песчаниками умеренной углистости. Филлитовидные сланцы преобладают в низах разреза пачки. Эффективная пористость умеренноуглистых пород составляет 1,0-4,6%, в высокоуглистых филлитах достигает 11,32% (в среднем 2,6-4,9%). Мощность пачки колеблется от 20 м в крыльях до 100 м в ядре.

Четвертая пачка умеренноуглистая (1,0-2,0% C<sub>орг.</sub>), существенно (на 80%) алевролитовая с маломощными прослоями слан-

Литология, химический состав и насыщенность золотосульфидной минерализацией различных пачек рудовмещающей верхней подсвиты хомолхинской свиты (в пределах месторождения Сухой Лог)

Номер пачки	Разнообразие преобладающих пород	Эффективная пористость	Среднее содержание										Степень рудоносности		
			C <sub>орг</sub>	SiO <sub>2</sub> связанная	SiO <sub>2</sub> валовая	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO		K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
5	Алевролиты, алевритистые сланцы	1,9-2,1	1,0-4,0	25,49	60,09	16,19	2,03	5,12	0,11	1,09	1,03	3,75	2,70	1,67	Не рудоносна
4	Алевролиты	2,3-4,9	1,0-2,0	26,32	59,70	16,32	1,81	5,61	0,14	1,03	1,76	3,75	2,57	1,90	Убогая минерализация
3	Алевролиты, алевросланцы	1,0-4,9	1,0-3,0	25,26	57,64	16,35	1,75	5,63	0,12	1,07	1,03	3,39	2,84	1,85	Очень слабое оруденение
2	Алевросланцы	3,8-10,6	1,0-5,0	24,49	54,49	17,38	2,74	4,60	0,09	0,91	0,81	3,07	3,52	1,35	Основное оруденение
1	Алевролиты, песчаники, сланцы	1,0-3,6	1,0-3,0	23,28	56,74	17,25	2,63	4,03	0,10	1,12	0,85	3,30	3,70	0,81	Не рудоносна

цев. Эффективная пористость колеблется от 2,3% в алевролитах до 4,9% в сланцах.

Пятая пачка завершает разрез хомолхинской свиты и представлена тонкоритмичным переслаиванием алевролитов, алевритистых и филлитовидных сланцев повышенной углистости ( $C_{орг}$  до 4%) с преобладанием последних в верхней части разреза. Эффективная пористость пород невысокая (1,9-2,1%), а физические характеристики близки к породам четвертой пачки. Мощность пачки от 35 до 60-80 м.

Степень минерализованности различных пачек не одинакова. Золотосульфидное оруденение приурочено преимущественно к наиболее тонкозернистым породам - ко второй пачке, представленной углеродистыми алевросланцами (95%), содержащими маломощные (1-10 см) прослои алевролитов, которых в сумме около 5%.

Значительно более слабое оруденение развито в третьей пачке, сложенной переслаиванием алевритистых и филлитовидных сланцев с алевролитами и песчаниками, и еще более слабое, убогое - в четвертой существенно алевритовой пачке. Первая пачка, образованная ритмичным переслаиванием песчаников, алевролитов и сланцев, золотосульфидного оруденения не содержит, если не учитывать редкие кварцево-сульфидные прожилки и вкрапленники. Кварцевые жилы и прожилки, в т. ч. золотоносные, отмечаются в пределах этой, как и других пачек, но они непосредственно не связаны с золотосульфидным оруденением, накладываются на него и, главное, играют подчиненную роль (около 5%) в общих запасах золота.

Породы рудовмещающей второй пачки верхней подсвиты хомолхинской свиты, в отличие от нерудовмещающих отложений этой подсвиты, характеризуются, как это видно из табл. 5,6, следующими показателями:

- ♦ наиболее высокое содержание глинозема ( $Al_2O_3$ ) - в среднем 17,38% и суммы щелочей ( $K_2O+Na_2O$ ) - 4,87%;
- ♦ среди алевролитов и разновидностей алевросланцев наиболее низкие содержания CaO - в среднем 0,81% и  $Na_2O$  - в среднем 1,35% (в подстилающих и перекрывающих алевритистых сланцах и алевролитах содержание CaO и  $Na_2O$  соответственно на уровне 1,0 - 1,8% и 1,7-1,9% и выше);
- ♦ общее повышенное содержание  $K_2O$  и благодаря этому повышенное отношение  $K_2O/Na_2O$  - в среднем 2,60;

Таблица 6

Сравнительная характеристика петрохимических коэффициентов рудовмещающих пород верхней подсвиты хомолхинской свиты месторождения Сухой Лог, в различной мере насыщенных золотосульфидной минерализацией (приведены средние значения геохимических коэффициентов)

Номер пачки, преобладающий состав	Степень рудоносности	CaO+ +MgO	CaO MgO	FeO+ +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O+ +Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> O
5. Алевролиты, алевритистые сланцы	Не рудоносна	4,78	0,27	7,15	2,52	4,37	1,62
4. Алевролиты	Убогая минерализация	5,51	0,47	7,42	3,10	4,47	1,35
3. Алевролиты, алевросланцы	Очень слабое оруденение	4,42	0,30	7,38	3,22	4,69	1,53
2. Алевросланцы	Основное оруденение	<u>3,88</u>	0,26	7,34	1,68	<u>4,87</u>	<u>2,60</u>
1. Алевролиты, песчаники, сланцы	Не рудоносна	4,15	0,26	6,66	1,53	4,51	4,57

- ♦ пониженное значение карбонатности (CaO+MgO) - в среднем 3,88%;
- ♦ наиболее железистый состав магнезиально-железистых карбонатов и общее их повышенное содержание (от 5 до 30%, преимущественно 6-10%);
- ♦ несколько повышенное содержание C<sub>орг.</sub> - в среднем на уровне 3% и весьма высокую эффективную пористость - 3,8-10,6 (в то время как в нерудовмещающих породах - 1,0-4,9);
- ♦ помимо слабозолотоносных осадочно-диагенетических пиритов содержат осадочно-гидротермальные пириты в различной мере золотоносные - в т. ч. умеренно- и высокозолотоносные.

В сравнении с составом "обычных" сланцев, рассчитанным Ф.Кларком и нами (Буряк, 1987а,б), указанные особенности рудовмещающих алевросланцев хомолхинской свиты проявляются еще более контрастно: в них более низкие содержания CaO и SiO<sub>2</sub> и в то же время более высокие количества K<sub>2</sub>O, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Закисный модуль FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> значительно выше - 1,68.

В "обычных" сланцах по Ф.Кларку: SiO<sub>2</sub> - 58,1%; CaO - 3,11%; K<sub>2</sub>O - 3,24%; MgO - 2,44%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 15,40%; FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,6; по нашим данным: SiO<sub>2</sub> - 60,54%; CaO - 1,77%; K<sub>2</sub>O - 3,29%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 17,01%; FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1,14.

Минеральный состав рудовмещающих углеродистых алевросланцев: кварц - 25,32%, серицит - 45-52%, альбит - 1-3%, магнезиально-железистые карбонаты, содержащие фосфаты, - 5-30%, пирит - 0,5-6%, C<sub>орг.</sub> (шунгит, антраксолит, графит) - 1-5%, редко более. Акцессорные - турмалин, фторсодержащий апатит, биотит, лейкоксен.

Степень однородности рудовмещающей второй пачки для центральной части месторождения (разреза) умеренная, для фланговых частей низкая. Алевросланцы слагают центральную часть рудной зоны. К флангам месторождения они фациально замещаются алевролитами.

**Подстилающие породы.** В качестве подстилающей толщи выступает средняя подсвита хомолхинской свиты - флишоидная прибрежно-мелководная пачка кварцевых мелкозернистых и среднезернистых песчаников с тонкими (0,1-20 см) прослоями глинистых сланцев. Для этой части разреза, в отличие от рудовмещающей, характерны более высокая степень однородности и устойчивость состава пород. Мощности пластов (от 3-5 см до 3-6 м, преимущественно 1-2 м) выдержанные по простиранию.

Суммарная мощность пачки подстилающих пород 400-500 м. В пределах нее имеются напластования прогрессивной серии: снизу вверх по разрезу доля прослоев сланцев постепенно возрастает, а песчаников - уменьшается.

В связи с этим переход между породами подстилающей и рудовмещающей пачек постепенный.

Органическое вещество и осадочные сульфиды отсутствуют либо содержатся в крайне незначительных количествах (менее 0,5%). Кларковые содержания золота 2-5 мг/т.

**Перекрывающие (надрудные) породы** - известковистые глинистые сланцы и известняки (с маломощными прослоями глинистых сланцев) терригенно-известковистой формации, лишенные  $C_{орг.}$ . Мощность и число прослоев известняков и их пластов возрастает вверх по разрезу. Суммарная мощность отложений 900-1000 м. Осадочно-диагенетические и осадочно-гидротермальные сульфиды отсутствуют. Магнезиально-железистые карбонаты отмечаются, но в очень незначительных количествах (до 1-3%) и представлены железистым доломитом и кальцитом.  $C_{орг.}$  практически отсутствует. Исходные кларковые содержания золота существенно ниже - на уровне 0,5-3 мг/т.

Контакты рудовмещающей подбиты с подстилающими и перекрывающими породами постепенные (через переслаивание), но достаточно четкие и контрастные.

Степень однородности пород разреза подстилающей пачки высокая, рудовмещающей - умеренная для центральной части месторождения и низкая для фланговых частей. Перекрывающая пачка характеризуется умеренно высокой степенью однородности.

В целом совокупность рудоподстилающих, рудовмещающих и перекрывающих пород представляет собой парагенную ассоциацию.

Как показывает анализ данных по особенностям разреза других месторождений, с подобным Сухому Логу оруденением, триада таких пород обязательна. В случае отсутствия в разрезе одной из ее составляющих промышленное золотосульфидное оруденение не установлено.

#### МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Метаморфические преобразования рудовмещающих пород на месторождения Сухой Лог и в его окрестностях подразделяются на два типа:

- ♦ регионально проявленные, обусловленные процессами зонального регионального метаморфизма байкальской эпохи, завершившимися развитием складчатости;
- ♦ локальные, более поздние, вызванные контактовым воздействием посткладочных гранитоидов кокудеро-мамаканского ком-

плекса, к которым относится Константиновский шток, расположенный в бассейне р. Угахан в 6 км к юго-западу от месторождения.

Регионально проявленные метаморфические преобразования пород отвечают хлорит-серицитовую субфации зеленосланцевой фации. Они дополнительно усилены дислокационным метаморфизмом и интенсивным рассланцеванием, отвечающим VII-VIII тектонофациям (по классификации Паталахи, 1968). Структура пород метапелитов микролепидобластовая или лепидогранобластовая. Органическое вещество распылено во всей массе либо (преимущественно) концентрируется в промежутках между минералами по кливажным трещинам.

Чешуйки серицита и редко встречающегося хлорита ориентированы параллельно кливажу. Размер их возрастает по мере усиления степени рассланцевания пород. Альбит встречается в виде мелких правильной формы новообразованных зерен. Характерно также наличие более крупных альбитизированных обломков плагиоклаза различной исходной основности. Состав его соответствует почти чистому альбиту, примесь анортитовой составляющей не более 5%. Кварц образует тесные тонкие срастания с серицитом либо встречается в виде самостоятельных сегрегационных линзовидных выделений, просечек и прожилков, ориентированных по сланцеватости. Характерно наличие кварцевых и кварцево-карбонатных сегрегационных оторочек давления вокруг отдельных кристаллов и линзовидных выделений пирита и магнезиально-железистых карбонатов.

На нижних структурных горизонтах минерализованной зоны и иногда на средних в метапелитах отмечаются редкие новообразованные чешуйки биотита. Это свидетельствует о некотором усилении общего метаморфизма с глубиной и позволяет в целом метаморфические преобразования относить к высокотемпературной ступени хлорит-серицитовую субфации. Строго говоря, по P-T условиям метаморфические преобразования следует рассматривать как переходные между хлорит-серицитовую и биотит-хлоритовую субфациями зеленосланцевой фации. Судя по непосредственным изменениям температур декрипитации и гомогенизации газожидких включений метаморфогенного кварца, произведенным И.В. Коноваловым (1985), температура регионального метамор-

физма на площади месторождения достигала 330-390°. На это же указывает и парагенезис метаморфических минералов.

Слабое повышение степени регионального метаморфизма вниз по падению минерализованной зоны (к северу) устанавливается исходя из общей конфигурации изоград метаморфизма и положения изотерм метаморфогенных кварцево-жильных образований: вдоль южной границы рудного поля на уровне современного эрозионного среза намечается изограда 330°, вдоль северной границы - изограда 360° (Буряк, 1982). На самых нижних горизонтах рудного поля температура регионального метаморфизма достигала, можно полагать, 380-390°, а, возможно, и более высоких значений.

Метаморфические изменения, связанные с контактовым воздействием Константиновского штока гранитоидов непосредственно в пределах месторождения очень слабо фиксируются, поскольку по P-T условиям практически не отличаются от преобразований, обусловленных региональным метаморфизмом и, как последние, отвечают хлорит-серицитовой субфации зеленосланцевой фации. Тем не менее они проявлены. Выражаются они в будинировании кварцевых жил и сульфидных прожилков, грануляции, рекристаллизации и частичном перераспределении входящих в их состав сульфидов, золота и особенно карбонатов и золота с образованием мозаичных (при наблюдении под микроскопом) структур погасания. В кварцевых и, более часто, в карбонатных и кварцево-карбонатных жилах и прожилках образуются по секущим микротрещинам крупночешуйчатый серицит и гидромусковит. В межбудинных трещинах и участках кристаллизуются друзовидный прозрачный кварц, кальцит, железистый доломит. В ассоциации с ними присутствует в виде единичных зерен мелкокристаллический незолотоносный пирит и очень редко молибденит. Образуются также и мелкие секущие прожилки друзовидного кварца. В самих вмещающих сланцах дополнительно усиливается общее рассланцевание и, что весьма существенно, появляются чешуйки мелкочешуйчатого мусковита, серицита и иногда биотита, ориентированные перпендикулярно общему рассланцеванию и ориентировке метаморфических минералов - параллельно субмеридиональным тектоническим зонам разрывов, контролирующим положение штока гранитов.

Непосредственно вблизи контакта с Константиновским штоком гранитов резко возрастает количество биотита, появляется гранат,

затем ставролит; образуются магматогенные мелкие складки меридиональной ориентировки. Осадочные породы приобретают характер типичных контактовых роговиков.

По данным И.В. Коновалова, производившего детальное изучение газовой-жидких включений жильного кварца, температура контактового метаморфизма достигала 410-440°. Изограды контактового метаморфизма занимают секущее положение по отношению к изограммам регионального метаморфизма. Наблюдается и непосредственное пересечение кварцевых жил, отвечающих по своим текстурно-структурным особенностям, минеральному и химическому составу догранитным метаморфогенным, кварцевыми жилами и прожилками, развитыми в гранитах и в их приконтактовых частях и обусловленных этими гранитами.

Характерно эффектно проявленное псевдоморфное замещение в контактовых роговиках кубиков пирита пирротинном. Появляются также мелкие тонкие линзочки и просечки новообразованного пирротина в ассоциации с незначительным количеством халькопирита. Сами граниты слабо грейзенизированы, мусковитизированы, но не подвержены процессам березитизации, сопровождающим золотое оруденение. Золото в грейзенизированных гранитах не устанавливается.

#### ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Метасоматиты, развитые в пределах рудного поля и месторождения, подразделяются на 3 разновидности:

- ◆ наиболее ранние - раннеметаморфические, развившиеся в ранние периоды регрессивного этапа метаморфизма;
- ◆ метаморфогенно-гидротермальные, образованные в последующие заключительные периоды регрессивного этапа регионального метаморфизма;
- ◆ еще более поздние - гидротермально-метасоматические, обусловленные воздействием Константиновских постметаморфических гранитов.

Раннеметаморфические метасоматиты слагают краевые и внешние части рудовмещающей зоны рассланцевания -

внешний фон, сопровождая образование наиболее ранних метаморфогенно-метасоматических карбонатов и сульфидов, образующих линзы, прожилки, прожилковидные скопления и рассеянную вкрапленность. Представлены сульфиды в основном пиритом в ассоциации с очень незначительным количеством пирротина, сфалерита, галенита, халькопирита. Золотоносность этих сульфидов, как правило, низкая - 0,1-1,5 г/т.

Проявляются раннеметаморфические метасоматиты в общей слабо выраженной раскristаллизации песчано-глинистого материала пород с развитием серицита, минералов группы эпидота, цоизита, кальцита, хлорита, рутила, ильменита, альбита (по средним и основным кластогенным плагиоклазам). Одновременно происходят регенерация и собирательная перекристаллизация обломочных зерен кварца, осадочно-диагенетических карбонатов, осадочно-диагенетических и осадочно-гидротермальных сульфидов с обособлением и переотложением их в послойно-кливажные трещины в виде новообразованных мелких линзочек и коротких прожилков. Зерна обломочных минералов приобретают уплощенные вытянутые формы, параллельные сланцеватости. Отмечаются, но редко, и относительно крупные карбонатные, кварцево-карбонатные и кварцевые жилы и прожилки.

Существенных изменений химического состава пород при этом не происходило. Намечаются, по существу, лишь весьма незначительное увеличение содержания кальция,  $\text{CO}_2$  и уменьшение магния и  $\text{SiO}_2$ . Так, по данным 23 проб, отобранных нами из исходных регионально-метаморфизованных алевросланцев рудного поля, и 62 проб аналогичных алевросланцев, метасоматически измененных, содержания основных петрогенных элементов соответственно составили, %:  $\text{SiO}_2$  - 62,61 и 61,86;  $\text{TiO}_2$  - 1,14 и 1,17;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 17,55 и 17,65;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  - 5,75 и 6,05;  $\text{MnO}$  - 0,05 и 0,05;  $\text{MgO}$  - 2,38 и 1,91;  $\text{CaO}$  - 0,28 и 0,40;  $\text{Na}_2\text{O}$  - 1,72 и 1,80;  $\text{K}_2\text{O}$  - 2,96 и 3,20;  $\text{P}_2\text{O}_5$  - 1,10 и 0,12; П.П.П. - 4,95 и 5,50.

Содержания золота изменяются также незначительно: от 2-8 мг/т в исходных алевросланцах (лишенных сульфидов) до 2-15 мг/т в измененных, в т. ч. с новообразованными сульфидами.

Состав раннеметаморфических карбонатов различен: от кальцита и магнезита до анкерита и сидерита. При этом различные по составу карбонаты присутствуют совместно, часто даже в пределах одного и того же зерна. В общем случае, чем крупнее зернистость пород, тем менее железистые и более известковистые в них карбо-

наты. Для обычных углеродистых алевролитов характерны анкериты, для алевросланцев - пистомезит и сидероплезиты, для песчаников - железистые доломиты и кальцит.

При почти повсеместном распространении раннеметаморфических метасоматитов в пределах рудного поля повышенное развитие их наблюдается в ядерной части Сухоложской антиклинали, наиболее подверженной рассланцеванию. В генетическом отношении эти метасоматиты отвечают фации апосланцевых и апопесчаниковых пропицитов альбит-хлорит-эпидотовой ступени. Осуществлялись они под влиянием тех же метаморфогенных растворов, при участии которых развивались процессы собственно прогрессивного метаморфизма. Однако, в отличие от последних, захватывали более рассланцованные породы - зоны разгрузки метаморфогенных растворов.

Метаморфогенно-гидротермальные метасоматиты приводят к образованию кварцевых жил, кварцево-сульфидных, сульфидно-кварцевых прожилков и агрегатных скоплений, т. е. минеральных образований, содержащих в своем составе кварц. Характерно также образование антраксолита и графита за счет рассеянного  $\text{C}_{\text{орг}}$  исходных пород, альбита, фторapatита, магнезиально-железистых карбонатов и сульфидов, в т. ч. в составе кварцевых жил и прожилков. Наиболее хорошо метасоматиты проявлены в пределах золотоносной части зоны рассланцевания. По мере приближения к ее висячему и лежачему контактам интенсивность метасоматитов ослабевает, а содержание кварца в сульфидных прожилках уменьшается.

Химизм метаморфогенно-гидротермальных изменений детально рассматривался нами ранее (Буряк, 1982). Происходит значительный привнос  $\text{CO}_2$  (в среднем 111 кг в  $1 \text{ м}^3$  минерализованной зоны) и  $\text{CaO}$  (в среднем 24 кг/ $\text{м}^3$ ).

Характерно уменьшение величины отношения  $\text{MgO}/\text{CaO}$  по мере приближения к минеральным образованиям (кварцевым жилам, кварцево-сульфидным и сульфидно-кварцевым прожилкам) и вверх по восстанию минерализованных зон. На Сухом Логге на удалении 2 м и более от контакта с кварцевыми жилами, кварцевыми, сульфидно-кварцевыми и кварцево-сульфидными прожилками отношение  $\text{Mg}/\text{CaO}$  в алевросланцах составило 3,2-6,2, на расстоянии 0,5-1,5 м - 1,6-3,1 и непосредственно в экзоконтакте - 1,3-2,9.

Происходит общее возрастание содержания CaO по мере развития процесса метасоматического минералообразования, что выражается в следующем:

- ◆ более высокое содержание CaO (в среднем 2,5% против 1,21%) в магнезиально-железистых карбонатах, слагающих прожилки, по сравнению с вкрапленниками, за счет постепенного разрастания и укрупнения которых они образуются;
- ◆ обрастание сидерита анкеритом или железистым доломитом;
- ◆ расположение маложелезистых и наиболее известковистых разновидностей карбонатов по краям карбонатных линзочек и прожилков или в промежутках между кристаллами анкерита и пистомезита;
- ◆ в боковых околожильноизмененных породах карбонаты преимущественно магнезиально-железистые, в жилах - ранние разновидности представлены кальциевым анкеритом, поздние - кальцитом с ничтожной примесью магнезия и железа.

Естественно, при этом следует учитывать, что состав карбонатов существенно зависит и от исходного состава пород. По мере перехода от тонкозернистых разновидностей к более грубозернистым содержание кальция в карбонатах возрастает, а железа уменьшается. В песчаниках преобладают железистые доломиты, анкериты (NO - 1,690-1,770; NI - 1,520-1,570) и магнезиально-известковистые сидериты (NO = 1,780-1,820; NI = 1,570-1,590), в алевролитах - пистомезит, сидероплезит и железистые анкериты (NO = 1,775 - 1,870; NI = 1,530 - 1,620). В тонкозернистых песчаниках и алевропесчаниках карбонаты более железистые и менее кальцитовые, чем в средне- и крупнозернистых песчаниках.

Одновременно происходит возрастание содержания кварца в минеральных прожилковых и жильных новообразованиях - от 3-5% в наиболее ранних пиритовых прожилках и линзах до 30-50% в кварцево-пиритовых и до 60-70% в более поздних пирито-кварцевых. В кварцевых жилах, в контакте с которыми значения величины отношения MgO/CaO чаще всего самые низкие и которые завершают процесс минералообразования, содержание кварца составляет 95-99%.

Несмотря на образование сульфидно-кварцевых и кварцевых прожилков и жил, развитых на месторождении в значительных коли-

чествах, суммарное содержание  $\text{SiO}_2$  в минерализованной зоне (вмещающие породы + жилы и прожилки) не выше, а ниже, чем в таких же породах за пределами зоны рассланцевания. Разница эта весьма существенная; согласно выполненным нами расчетам на основе 80 полных химических анализов исходных пород и 90 проб, характеризующих минерализованную зону (с включением кварцевых жил и прожилков), она составила  $133 \text{ кг/м}^3$  (табл. 6). Кремнезема, как видно, вынеслось значительно больше, чем пошло на образование кварцевых и кварцево-сульфидных жил и прожилков.

В этом заключается одна из примечательных особенностей рудообразующего процесса месторождения Сухой Лог, позволяющая понять особенности его генезиса.

Следующая не менее любопытная особенность рудообразующего процесса - существенно более низкое содержание кристаллизационной воды ( $\text{H}_2\text{O}^+$ ) в рудовмещающей зоне в сравнении с исходными породами: соответственно 9,97 г и 12,88 г в  $100 \text{ см}^3$ . Как показало специально проведенное нами изучение подобных месторождений, развитых в терригенно-углеродистых толщах, это свойственно для таких образований.

Рудовмещающие зоны интенсивных пликативных дислокаций и рассланцевания - зоны десилификации и дегидратации. Высвобождающаяся в них кристаллизационная вода и кремний приводили к образованию кремнийсодержащих рудообразующих гидротерм.

## СТРУКТУРА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Сухоложская антиклиналь, контролирующая оруденение, сильно сжата, опрокинута, близкая к антиклинальной (рис. 15,16). Северное пологое крыло ее падает на север под углом  $15-25^\circ$ , южное подвернутое - под углом  $30-40^\circ$ . Осевая поверхность Сухоложской антиклинали наклонена на север под углом  $18-38^\circ$ , крылья и особенно ядерная часть осложнены складками нагнетания и межслоевого скольжения высоких порядков.

Ширина Сухоложской складки (размах крыльев) в средней части месторождения 0,5 км, к востоку постепенно расширяется, достигая в долине р. Ныгри 3 км.

Пластическое течение и нагнетание материала из крыльев в ядро Сухоложской антиклинали хорошо выражено, оно составляет ее особенность, приводя к образованию мелкой складчатости на-



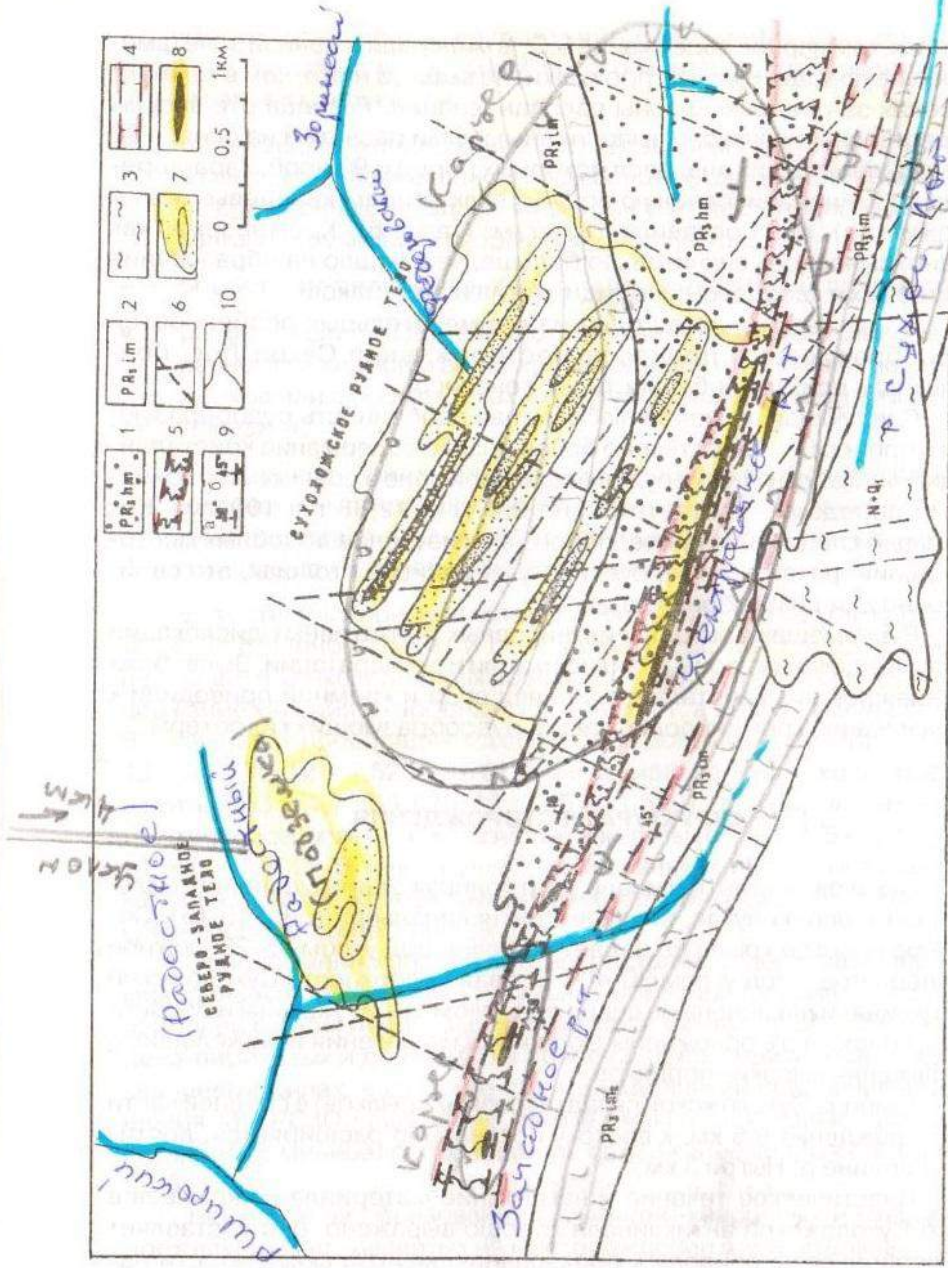


Рис. 15. Схематизированная геологическая карта месторождения Сухой Лог (по данным В. А. Буряка, Н. П. Попова, С. Г. Антонова, В. К. Черепанова, В. Б. Аминова, Н. А. Суслова и др.):

1 - осадочные породы хомлинской свиты, вмещающие оруденение - ядерная часть Сухоложской антиклинали; 2 - перекрывающие известняки, известковистые сланцы именная свиты; 3 - песчано-глинистые четвертичные отложения; 4 - Кадали-Сухоложская взбросонадвиговая зона; 5 - рудолокализирующая зона повышенного расщелачивания и смятия; 6 - тектонические нарушения; 7 - изоконцентрация содержания золота в основном рудном теле в проекции на горизонтальную плоскость (в обобщенном виде, схематично); 8 - проекция выхода рудного тела на поверхность; 9 - элементы залегания слоистости пород; а - нормального залегания, б - опрокинутого; 10 - гидросеть. Обозначения индексов см. в подлисе к рис. 11

гнетания, вплоть до пloidчатости. Причем происходило оно длительно, многоэтапно. Характерно наличие конседиментационных микроскладок и различных деформаций оползневой типа. Мощности слоев в ядерной части антиклинали, прежде всего пластичных сланцев, по сравнению с таковой в крыльях увеличиваются в 1,5-3 раза.

Осевые поверхности осложняющих складок параллельны основной складке либо косо (под углом 10-25°) ориентированы к ней, имея северо-западное простирание, согласное простиранию диагональных нарушений, секущих антиклиналь (см. рис. 11).

В пределах антиклинали рудовмещающей является зона расщелачивания и интенсивных пластических деформаций, избирательно развивающаяся по наиболее пластичным тонкозернистым породам - алевросланцам, изначально обогащенным сульфидами и золотом.

Кливаж осевой поверхности в северном крыле падает круче слоистости на 5-8°, в южном - положе на 2-5°. В ядерной части складки угол между слоистостью и кливажем достигает 90°.

Тектонически напряженный характер Сухоложской антиклинали, высокая пластичность пород (алевросланцев), слагающих ее ядро и зажатых между более жесткими подстилающими породами (песчаниками и алевролитами) и перекрывающими (алевролитами и известняками), способствовали интенсивному проявлению процессов перераспределения вещества и формированию в ядерной части антиклинали зоны пластического течения и расщелачивания. Областью выжимания служили южное и частично северное крылья, а областью нагнетания - ядро и близъядерная часть северного крыла. Эти процессы и при-

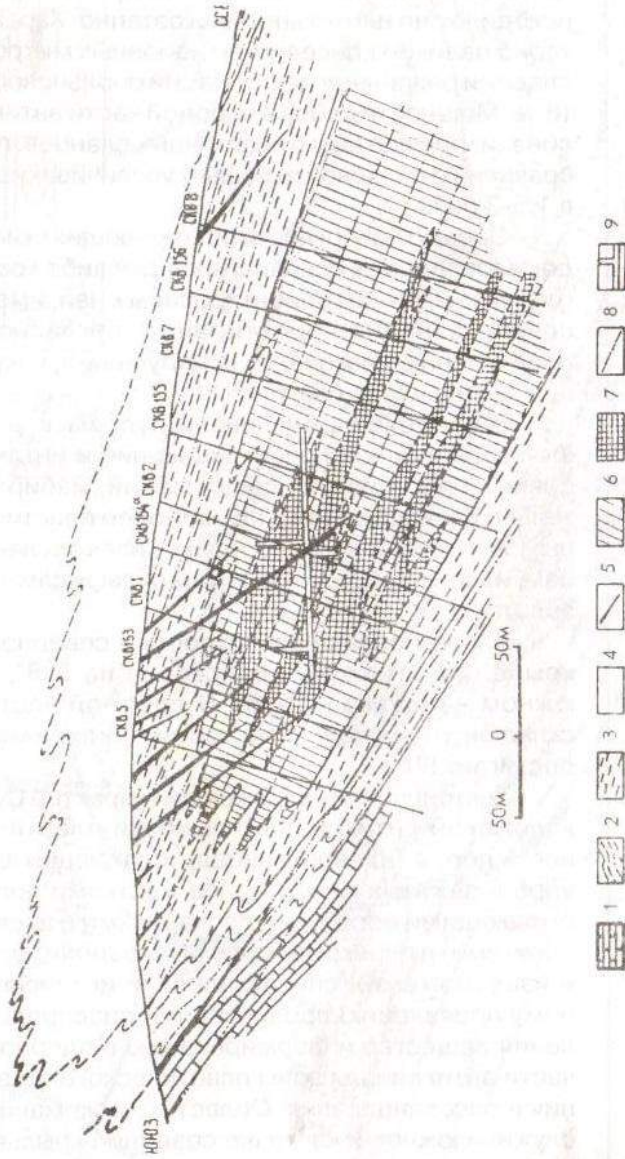


Рис. 16. Поперечный вертикальный разрез через месторождение Сухой Лог (по Буряку, 1982, с доп.):

1 - известняки, известковые алевролиты и алевросланцы имнянской свиты; 2-4 - метасадочные породы хомолхинской свиты; 2 - алевролиты и алевролиты преимущественно грубозернистые (пятая пачка), 3 - углеродистые филлолитовидные алевролиты, алевросланцы (третья и четвертая пачки), 4 - углеродистые алевролиты (вторая пачка); 5 - кварцевые жилы; 6-7 - ореол развития золотосульфидной минерализации; 6 - умеренной, 7 - повышенной; 8 - кливаж; 9 - подземные горные выработки

вели к образованию мелкой складчатости в зоне пластического течения, представленной складками нагнетания и волочения.

Мелкая складчатость хорошо видна при документации подземных выработок, отмечается она также в керне скважин. Размах крыльев мелких складок весьма разнообразен, он колеблется от нескольких миллиметров (микроскладки), наблюдаемых в шлихах, до первых метров и десятков метров. Причем в одном и том же месте могут наблюдаться мелкие складки разных порядков. Так, складка с размахом крыльев 2 м может иметь на крыльях осложняющие складки с размахом 0,5 м, которые в свою очередь осложнены более мелкими складками, вплоть до пloidчатости. Это создает картину весьма сложной многопорядковой складчатости, усложненной наличием мелких подвижек (до первых метров) по трещинам осевого и межслоевого кливажа, зачастую срезающих отдельные элементы мелких складок. Форма осложняющих складок в зависимости от положения их относительно оси основной антиклинали различная: синусоидальная, сундучная, веерообразная в северном крыле и изоклиальная с острым зажатым замком - в южном.

Шарнир антиклинали слабо ундулирует, погрожаясь по углом 2-13° на запад. В зависимости от особенностей строения антиклинали в ней выделяются три участка: западный, центральный и восточный.

**Западный участок** охватывает периклиналиное замыкание антиклинали и имеет протяженность около 3 км. Антиклираль здесь сильно запрокинута к югу, форма ее близка к изоклиальной, простирание оси 293-295°, осевая поверхность падает на северо-восток под углом 23°, шарнир довольно круто (10-13°) погружается на запад. Часть рудного поля, приуроченная к данному участку антиклинали, золотоносна (Северо-западное рудное поле), но промышленные концентрации отсутствуют.

**Центральный участок** антиклинали (Сухоложское рудное тело) протяженностью 3 км - собственно месторождение, оно характеризуется плавным изгибом (в плане) оси складки с 292° на западе до 278° на востоке (под влиянием диагональных нарушений северо-восточного простирания), увеличением угла падения осевой поверхности (в среднем до 30-35°) и уменьшением степени изоклиальности складки. Шарнир ее имеет преимущественно пологое залегание, на отдельных коротких интервалах погружается на запад под углом 8-11°. Такие участки, как правило, контролируются границами пере-

хода от пелитоморфных сланцевых (пластичных) пачек к более грубо-зернистым (жестким) и фиксируются повышенным развитием сколовых трещин запад-северо-западного простирания.

Характерен для центрального участка и волнообразный изгиб осевой поверхности складки, что фиксируется изменением углов ее падения на границах различных пачек, в частности второй и третьей. Н.П. Поповым установлено, что такой характер осевой поверхности влияет на морфологию рудного тела и распределение продуктивной минерализации: повышенное содержание золота и раздувы мощности рудного тела тяготеют в основном к пологим участкам осевой поверхности, обедненные и пережимы - к крутым (Попов и др., 1974).

На центральном рудоконтролирующем участке наиболее широко проявлены, кроме того, трещинно-складчатые малые структурные формы типа мелкой многопорядковой складчатости, осевого и слоевого кливажа, будинажа, гофрировки слоев, микронадвигов и сдвигов. Именно здесь происходит основное пересечение продольной зоны рассланцевания с диагональными нарушениями северо-западного простирания и, как следствие, наиболее интенсивны и разнообразны пликвативные деформации и сопряженные разрывы.

**На восточном участке**, протяженностью 3 км, антиклинальная складка в поперечном разрезе сохраняет общий облик, но степень ее запрокинутости и изоклинальности в сравнении с западным участком еще более уменьшается. Вследствие этого отчетливо выражено более крутое падение осевой поверхности (в среднем  $38^\circ$ ). Шарнир весьма полого ( $2-3^\circ$ ) погружается на запад. Отличительной чертой этого участка по сравнению с центральным является явное преобладание алевролитов над алевросланцами и, как следствие, заметное уменьшение количества малых пликвативных структурных форм. Промышленного оруденения в пределах этой части антиклинали не установлено.

Из описанных особенностей антиклинали видно, что центральный участок ее, сложенный пластичными алевросланцами второй пачки, тектонически наиболее напряженный. Здесь, помимо складчато-разрывных деформаций, связанных с формированием сильно сжатой запрокинутой складки, развиты дополнительные деформации изгиба и кручения, обусловившие широкое развитие малых структурных форм.

Ось кручения располагалась субгоризонтально, параллельно оси складки. Кручение происходило по часовой стрелке.

Наиболее отчетливым проявлением малых структурных форм является мелкая многопорядковая складчатость, интенсивно развитая в алевросланцах. Мелкие складки осложнены локальными микронадвигами. Характерно развитие также будинаж-структур. Они представлены линзовидными обособленными относительно жестких пород (алевролитов, песчаников), обтекаемых пластичными сланцами с образованием гофрировки и зон рассланцевания. Форма будин линзовидная, веретенообразная, реже округлая, дисковая. Длина будин по длинной оси достигает 0,3-0,5 м, мощность до 10 см. Будины ориентированы вдоль оси главной антиклинали.

Интенсивно проявлены различные типы кливажа - главный, межслоевой, слоевой. По кливажным трещинам широко развиты локальные разрывы типа мелких взбросов и микронадвигов. Они ограничивают "блок-пластины" пород и вмещают сульфидные и кварцево-сульфидные прожилки.

Широко развита и более поздняя тектоническая трещиноватость. Наиболее отчетливо проявлена система разрывов с элементами залегания (по азимуту):  $14-34^\circ$  (угол  $52-72^\circ$ ),  $60^\circ$  (угол  $40-50^\circ$ ),  $220-240^\circ$  (угол  $20-40^\circ$ ). Эти разрывы по своему характеру отвечают сколовым, возникшим на заключительном этапе формирования антиклинали, содержат золотоносные пирито-кварцевые и кварц-пиритовые прожилки, кварцевые жилы.

Интенсивное развитие трещин кливажа, микроскладок нагнетания и сжатия, сопутствующих микровзбросов и надвигов обуславливают в совокупности развитие в ядерной части антиклинали и ее северном пологом крыле тектонической зоны повышенного рассланцевания и смятия, контролирующей оруденение. Уровень тектонической переработки пород в зоне (по классификации, предложенной Е.И. Паталахой, 1968) составляет: VI тектонофаза - 30%, VII - 50%, VIII - 15%, IX (в локальных зонах, ограничивающих "блок-пластины") - 5%. По простиранию скважины колонкового бурения зона прослежена на 6,1 км.

Наиболее отчетлива рудовмещающая зона смятия на центральном участке рудного поля, приуроченного к изгибу Сухоложской антиклинали. Здесь зона падает на северо-восток (по азимуту  $15-20^\circ$ ) под углом  $20-30^\circ$ , мощность ее 200-250 м. Границы зоны нерезкие, затухание в подвернутом крыле антиклинали происходит более быстро, чем в нормальном, вследствие чего зона приобретает черты асимметрии в поперечном разрезе при сохранении в целом пласто-

образной формы. К западу и востоку от центрального участка мощность рудовмещающей зоны рассланцевания постепенно уменьшается до 50-100 м, а интенсивность проявления слагающих ее структурных элементов существенно снижается.

В целом, как видно, в пределах месторождения рудоконтролирующими являются пликвативные структуры и разрывы, связанные со складчатостью. Последние интенсивно развиты и представлены в виде:

- ◆ продольных зон интенсивного рассланцевания - определяющий тип разрывов;
- ◆ мелкоамплитудных (сантиметры - десятки сантиметров, редко до 1-2 м) сопряженных надвигов и взбросов, осевые поверхности которых параллельны либо субпараллельны основной складке.

Кососекущие разрывы на месторождении развиты, но угнетены проявлены ввиду повышенной пластичности сланцев. Они фиксируются отдельными разрывами и зонами трещиноватости. Развитие их, как указывалось, связано с объемными деформациями изгиба и кручения, ось которых совпадает с осью Сухоложской антиклинали. По времени образования они являются одними из последних, завершают развитие пликвативных деформаций, но оказывают весьма большое влияние на распределение оруденения.

## Глава 4

### МОРФОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУДНЫХ ТЕЛ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ

#### МОРФОЛОГИЯ РУДНЫХ ТЕЛ

**В** пределах рассмотренной субширотной рудоконтролирующей зоны смятия и рассланцевания золотосульфидное оруденение развито не повсеместно, а только в пределах алевросланцев второй пачки. Частично по кливажным и секущим трещинам оруденение выходит за ее пределы (в висячем контакте). В связи с этим месторождение представляет собой пластообразную залежь прожилково-вкрапленных руд, имеющую раздувы и пережимы и погружающуюся на север (по азимуту 8-12°) под углами 15-30°, согласно общему напластованию пород. Подошва залежи рудного тела более ровная, чем кровля, в связи с более резким контактом подошвы зоны рассланцевания в сравнении с кровлей.

Выделяются основное Сухоложское рудное тело, детально разведанное, и Северо-Западное, оцененное по категории  $P_1$  (см. рис. 15). Протяженность по простиранию основного Сухоложского рудного тела 3 км, по падению - 1100 м на восточном фланге и 1500 м на западном. Северо-Западное рудное тело имеет параметры 1 x 0,7 км и аналогичное строение.

Контурные промышленного оруденения в обоих телах нечеткие, они устанавливаются только по данным опробования и изменяются в зависимости от принятых кондиций. Визуально участки с промышленным содержанием золота часто неотличимы от безрудных интервалов. В пределах большей части месторождения устанавливается прямая корреляционная связь между концентрациями сульфидов и золота. Однако даже в пределах рудного контура имеются отклонения от указанной закономерности: наличие сульфидов и даже кварц-пиритовых прожилков есть необходимый, но недостаточный признак золотого оруденения. Наиболее золотоносны интенсивно дисло-

цированные участки, характеризующиеся наличием напряженной мелкой складчатости и позднекладчатых зон интенсивного пластического нагнетания и рассланцевания, развивающиеся в условиях объемных деформаций и кручений. В связи с этим благоприятны участки развития различно ориентированных прожилков и флексуобразных раздувов мощностей рудовмещающих сланцев. По простиранию названные рудные тела практически оконтурены, по падению имеются существенные перспективы прироста запасов. Могут быть выделены и новые рудные тела, особенно небольших размеров, в пределах рудоконтролирующей тектонической зоны при пересечении ею благоприятных литопачек и линз. Ослабление минерализации на флангах по падению и восстанию рудных тел обусловлено выходом рудокализирующей зоны смятия и рассланцевания из пачки алевросланцев и фациальным выклиниванием последних (сменой резкопреобладающих алевросланцев алевролитами).

Мощность основного рудного тела колеблется от минимально кондиционной (10-15 м) на флангах до 140 м в центральной части, средняя - 68 м. Повышенные мощности приурочены к местам резких перегибов шарнира антиклинали и вытянуты субширотно согласно с общей ориентировкой рудолокализирующей пачки сланцев и зоны смятия.

Между этими раздувами выделяется полоса пониженных значений мощности, ориентированная под острым углом (10-15°) к простиранию оси складки в запад-северо-западном направлении. Мощность рудного тела в пределах этого пережима 28-34 м. Пережим мощности приурочен к флексуобразной ступени, хорошо выраженной в кровле рудного тела и диагонально (под углом 10-15°) ориентированной к простиранию складки. Амплитуда флексуры возрастает от 30-40 м на западе до 75-85 м на востоке, прослежена она на 800 м. При этом рудное тело картируется практически без осложнений. Нарушений, сопоставимых по величине смещения с амплитудой флексуры, не наблюдается, что свидетельствует о формировании его, как и рудолокализирующей зоны смятия и рассланцевания, в условиях преобладающего развития пластических деформаций.

#### МИНЕРАЛЬНЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУД

Руды месторождения Сухой Лог просты по составу. Они представляют собой рассланцованные углеродистые метаалевросланцы

с маломощными прослоями алевролитов, содержащие рассеянную вкрапленность, прожилки, мелкие гнезда, линзы, линзовидные и прожилковидные выделения магнезиально-железистых карбонатов и сульфидов, с которыми ассоциирует золото (рис. 17-22). Встречающиеся на месторождении кварцевые жилы и прожилки играют резко подчиненную роль.

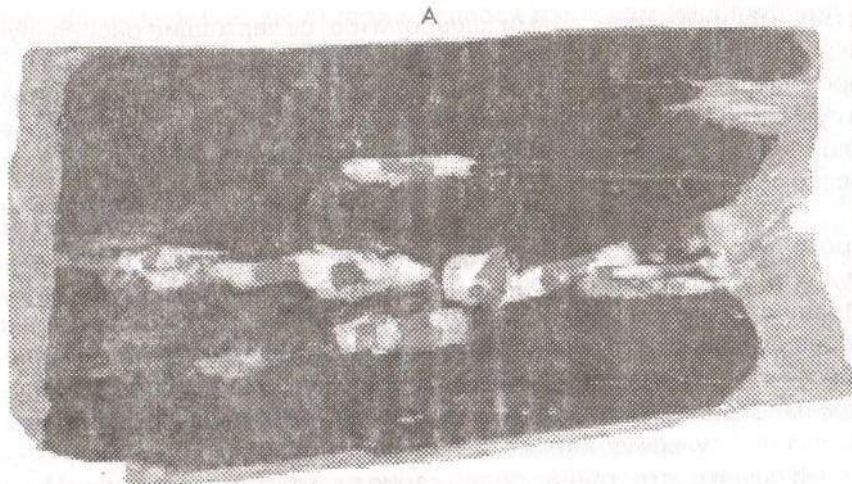
Частота встречаемости сульфидных и кварцево-сульфидных прожилков и прожилковидных выделений невысокая. В рядовых рудах их приходится 1-5, редко более на 1 м мощности рудной зоны. Мощности прожилков небольшие - от 1-2 мм до 1,5-2 см, редко более. Мощности сульфидных линз, гнезд и линзовидных выделений несколько больше - до 3-5 см, но также незначительные. Рассеянная вкрапленность отдельных кристаллов и мелких линзовидных выделений сульфидов также, как правило, слабая.

В связи с этим общее содержание сульфидов в рудах низкое, а химический состав руд мало отличается от состава вмещающих пород (табл. 7,8).

Плотность руд в среднем 2,87 г/см<sup>3</sup>, объемный вес 2,74 г/см<sup>3</sup> при общей пористости 1-3% и влажности 0,1-0,5%. Руда состоит в основном из породообразующих минералов вмещающих пород: кластогенного и метаморфогенного кварца, полевых шпатов (в сумме 33-49%), серицита (38-54%), осадочно-диагенетических и метаморфических магнезиально-железистых карбонатов (7-15%) и сульфидов. Содержание последних, из которых 90-99,9% приходится на пирит, составляет 0,5-7%, обычно 1,3-2,5%.

Минеральный тип руд золотопиритовый. Содержание золота в рудах изменяется в узком интервале: от 1-1,5 до 4-10 г/т, редко выше, в среднем 2,7 г/т. Содержание серебра очень низкое - 0,4-1,4 г/т. Присутствует оно в основном в виде примеси в сульфидах: 40-50% в галените, 35-40% в сфалерите и халькопирите, 10-15% в виде лигатуры в золоте. Редко отмечаются самостоятельные минералы серебра в виде аргентита и сальванита.

Содержания свинца, цинка, меди и прочих сопутствующих золоту элементов-примесей (за исключением урана, платиноидов и фосфора, распределение которых слабо изучено) находятся на уровне кларковых концентраций для слабоуглеродистых разновидностей осадочных пород либо незначительно (на полпорядка) превышают таковые. Более повышенные концентрации имеет мышьяк.

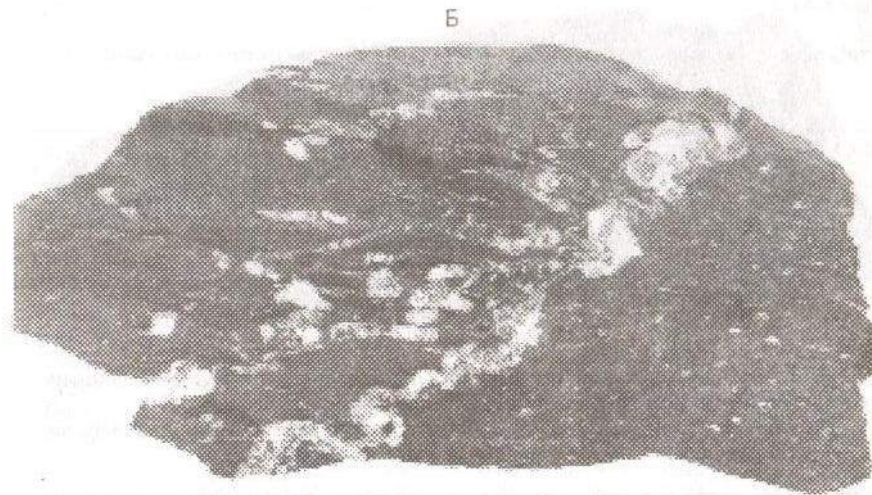


**Рис. 17.** Кварц-пиритовые прожилки, прожилковидные выделения и вкрапленность пирита в углеродистых алевросланцах.  
Фото шлифовки (А), штупф (Б). Натур. величина.

Содержание его может достигать 20-100 г/т и более высоких значений (на северном фланге месторождения), где визуально фиксируется арсенопирит. Обычно же он наблюдается только в протолочках при минералогическом анализе в виде мелких редких тонкоигльчатых кристаллов.

Помимо пирита в виде самостоятельных выделений визуально редко наблюдаются в небольших количествах пирротин и на отдельных участках (северная часть месторождения скважин 665, 669) арсенопирит (до 15-50%), крайне редко - халькопирит. Эти сульфиды развиты в основном на глубоких горизонтах и флангах месторождения за пределами золотоносной части рудной залежи.

Под микроскопом в виде мелких (сотые - тысячные доли миллиметра) редких включений и по микротрещинкам в кристаллах пирита и в промежутках между ними отмечаются (в порядке убывания): сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин, золото, крайне редко - пентландит, миллерит, герсдорфит, скуттерудит, виоларит, бравоит, аргентит, сальванит, различные платиноиды. Последние диагностированы лишь в самое последнее время и еще очень слабо изучены.



Серое - пирит, светлое - метаморфогенный кварц в виде оторочек давления вокруг пирита, темно-серое - углеродистые алевросланцы

Существенные количества их, как и золота, приурочены к пелитовым тонкозернистым разностям пород, содержащим органическое вещество и сульфиды. Не исключено, что содержание их окажется значительным, рентабельным для попутного извлечения из сульфидного концентрата. Помимо платины в повышенных количествах (от 0,1 до 3 г/т и выше) присутствуют палладий, осмий и иридий.

Особого внимания заслуживают также элементы-примеси, содержащиеся в пирите, - никель, кобальт, теллур, медь и др. При достаточно высокой технологической культуре производства они могут успешно извлекаться из руд. Пирит ввиду больших объемов руд, вовлекаемых в переработку, может оказаться выгодным также для организации сернокислотного производства.

В зависимости от количества кварца золотосодержащие сульфидные и кварцево-сульфидные линзы, линзовидные прослои, прожилки и вкрапленники подразделяются на:

- ♦ собственно золотосульфидные - кварца 5% и менее, в составе руд таких образований около 28%;

Химический состав минерализованной зоны месторождения Сухой Лог и вмещающих пород  
Средние данные: d - объемный вес, n - число анализов

Компоненты	Исходные породы, n=80			Минерализованная зона, n=90			Баланс, кг/м <sup>3</sup>
	$\bar{x}$ , %	$\sigma$	г/100 см <sup>3</sup>	$\bar{x}$ , %	$\sigma$	г/100 см <sup>3</sup>	
SiO <sub>2</sub>	62,50	3,29	175,00	58,35	5,85	161,63	-133,70
TiO <sub>2</sub>	1,15	0,14	3,22	1,08	0,24	3,00	+2,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,60	1,12	49,28	16,46	3,45	45,70	-46,0
FeO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,20	1,46	17,36	6,64	3,58	18,39	+10,3
MnO	0,05	0,04	0,14	0,11	0,04	0,30	+1,6
MgO	2,22	1,20	6,22	3,13	1,02	8,67	+24,5
CaO	0,40	0,45	1,20	1,30	0,75	3,60	+24,0
Na <sub>2</sub> O	1,83	0,42	5,12	1,82	0,68	5,04	-0,8
K <sub>2</sub> O	3,13	0,62	8,76	2,90	0,71	8,03	-7,30
H <sub>2</sub> O*	4,60	1,00	12,88	3,60	1,15	9,97	-29,10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,06	0,34	0,12	0,09	0,33	-0,10
CO <sub>2</sub>	0,20	0,82	0,56	4,20	2,09	11,63	+110,7
Fe <sub>n</sub> S <sub>n-1</sub>				0,29		0,80	+8,0
$\Sigma$	100,0			100,0			-35,7
d			0,28			0,29	

Примечание:  $\bar{x}$  - среднее арифметическое значение.

Таблица 8

Химический состав руд месторождения Сухой Лог по результатам валовых и технологических проб, (%)

SiO <sub>2</sub>	-	55,6	-	60,6	K <sub>2</sub> O	-	2,7	-	3,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	14,7	-	16,0	Na <sub>2</sub> O	-	1,2	-	2,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	3,2	-	9,3	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,9	-	0,12
MnO	-	0,10	-	0,12	S <sub>общ.</sub>	-	0,8	-	1,5
CaO	-	0,8	-	1,9	CO <sub>2</sub>	-	4,20	-	4,60
MgO	-	2,5	-	3,6	C <sub>орг.</sub>	-	0,8	-	2,5

доточены вблизи поверхности. По составу жилы разделяются на существенно кварцевые (90-98% кварца) - в кремнекислых породах хомолхинской свиты и кальцит-кварцевые (70-80% кварца, 20-30% карбонатов) - в известковистой имняхской свите. Из нерудных минералов присутствуют кальцит, фторапатит, анкерит, альбит, турмалин, серицит, из рудных - пирит (до 1%), галенит, халькопирит,



Рис. 18. Пирито-кварцевый прожилок сложноизвилистой формы и гнездовидные выделения пирита в ядерной части лежащей микроскладки.

Фото штуфа. Уменьш. 0,7. Серое - пирит, светлое - кварц, темное - углеродистые алевросланцы

- ♦ золото-кварц-сульфидные - кварца 5-50%, их в составе руд примерно 55%;
- ♦ золото-сульфидно-кварцевые - кварца 51-96%, их в рудной зоне около 15%;
- ♦ золотокварцевые - сульфидов менее 5%. Таких минеральных образований в пределах месторождения не более 1-2%.

На долю жильного кварца приходится обычно не более 0,5-1% от общего состава руд.

Кварцевые жилы широко распространены на месторождении и относятся к малосульфидной формации. Выделяется два уровня их концентрации, контролируемых контактом механически анизотропных пород:

- ♦ вблизи дневной поверхности в пределах верхней части разреза хомолхинской свиты - в зоне контакта с вышележащей имняхской свитой известняков;
- ♦ на глубине 300-400 м - в зоне контакта с песчаниками средней подсвиты хомолхинской свиты.

На уровне центральной части рудной зоны жилы менее развиты и, как правило, маломощны, сложной формы. Всего на месторождении выявлено более 300 жил, причем около половины из них сосре-

сфалерит, редко - видимое золото, в т. ч. крупное, гнездовое. Рудовмещающими структурами для жил служат трещины главного (осевого) и межслоевого кливажа, трещины скола и отрыва, сингенетичные формированию антиклинальной структуры и завершающие ее развитие.

Поля повышенных концентраций жил и прожилков отмечаются в замковой части антиклинали, а также на крыльях - прежде всего в зоне контакта хомолхинской и имняхской свит.

Магнезиально-железистые карбонаты, как и сульфиды, встречаются в виде отдельных ромбовидных в поперечном сечении кристаллов, удлинённых линз (мощностью от 1-2 мм до 1-1,5 см), прожилков аналогичной мощности, расплюснутых и будинированных конкреций и конкрециевидных скоплений. По генезису и времени образования магнезиально-железистые карбонаты подразделяются на осадочно-диагенетические, раннеметаморфические и метаморфогенно-гидротермальные (Буряк, Львова, 1969). Ожидать также можно наличие осадочно-гидротермальных разностей карбонатов.

#### МОРФОЛОГИЯ СУЛЬФИДНЫХ И КВАРЦЕВО-СУЛЬФИДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Имея однообразный минеральный состав, золотосульфидная минерализация в то же время характеризуется большим разнообразием морфологических разновидностей. Она подразделяется на рассеянную вкрапленную и несколько более интенсивную - прожилково-вкрапленную.

Рассеянная сульфидная вкрапленность слагает внешний ореол рудной залежи и ее краевые части. Развита она в основном в пределах 4-й и 5-й пачек и представлена тонкозернистыми пылевидными выделениями и разобщенными кубическими метакристаллами пирита, более или менее равномерно распределенными во вмещающих породах. Общее содержание пирита при этом не превышает 0,5%. Такой рассеянный "фоновый" пирит внешнего ореола рудной зоны характеризуется повышенным содержанием Ni и Co, низким содержанием As и отрицательным ТЭДС. Изотопный состав серы имеет широкий разброс значений  $\sigma S^{34}$ . В генетическом отношении

эта минерализация относится к осадочно-диагенетической (пылевидный пирит) и метаморфогенной (метакристаллы). Золотоносность ее незначительна, редко превышает 1 г/т, однако в рудной зоне, где рассеянные вкрапленники пирита часто несут следы деформаций и наложенных изменений, сопровождаемых кварцем, содержание золота в пиритах может достигать десятков граммов на тонну.

В ядерной части антиклинали в рудолокализирующей второй пачке и частично в третьей, при общем усилении интенсивности пиритной минерализации (от 1,5 до 7%, в среднем до 2-2,5%), преимущественное распространение получает прожилково-вкрапленная минерализация, представленная прожилковыми, гнездо-линзовидными и желвакоподобными обособлениями. Ареал их развития и образует рудную зону.

"Рудный пирит" отличается от "фоновый" не только морфологией выделений, но и по комплексу признаков - повышенным содержанием As, положительным знаком ТЭДС, более однородным составом изотопов серы ( $\sigma S^{34}$  от +6,5 до +11,0%). Золотоносность его на порядок выше.

Гнездо-линзовидная разновидность пиритовой минерализации наиболее характерна для периферической части рудной зоны, развита преимущественно в сланцево-алевролитовых горизонтах пород.

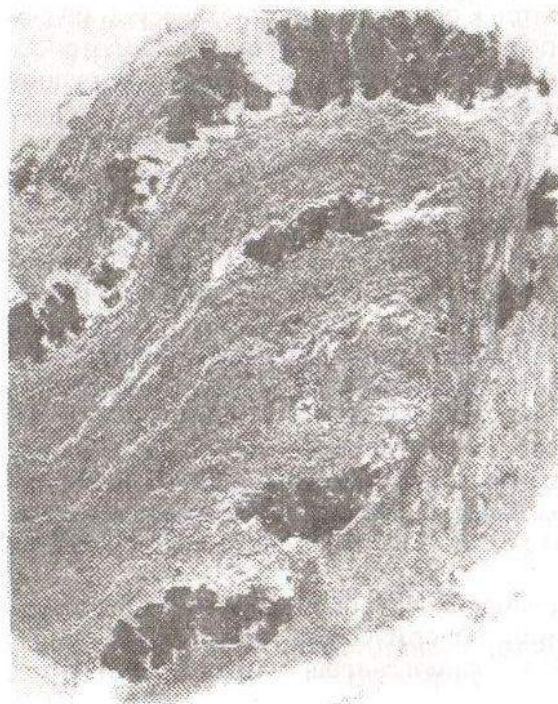
Прожилки и крупные линзы сульфидов локализованы практически только в пределах рудной зоны.

В морфологическом отношении сульфидные и кварцево-сульфидные прожилки и линзовидные выделения разнообразны. Несколько условно они могут быть подразделены на три группы: прямолинейные, "складчатые", сложноизвилистые (рис. 18, 19).

Прямолинейные прожилки располагаются в межпластовых трещинах, в трещинах главного и межслоевого кливажа, реже в сколовых поздне-складчатых секущих трещинах типа микровзбросов, ограничивающих "блок-пластины". На их долю приходится основная масса (до 80%) всех сульфидов. По составу они преимущественно сульфидные, реже кварцево-сульфидные. Протяженность их 0,3-5 м, редко больше, мощность 0,5-1,5 см, редко до 2 см.

Прожилки "складчатых" форм развиты преимущественно в ядерной части основной Сухоложской антиклинали и в ядрах более мелких сопряженных складок, осложняющих ее. Форма прожилков подчинена конфигурации мелких складок, она разнообразна. Длина





**Рис. 19.** Кварц-пиритовый послойный золотоносный метаморфогенный прожилок в ядерной части микроскладки.

Фото шлифа. Увелич. х 6. Черное - пирит, светлое - кварц в ассоциации с карбонатами, серое - углеродистые алевросланцы

по простиранию не превышает 2-4 м, по падению - до 0,5-1,0 см в крыльях. Мощность от 2-3 см в ядерных частях микроскладок до 0,5-1,0 см в крыльях. По составу прожилки кварцево-сульфидные и сульфидно-кварцевые, реже сульфидные.

Сложноизвилистые прожилки тесно ассоциируют со "складчатыми", контролируются в основном трещинами отрыва. Как правило, они короткие (от нескольких сантиметров до 1-1,5 м), мощность невыдержанная (от нескольких миллиметров до 2-4 см). По составу они, как правило, сульфидно-кварцевые.

Взаимоотношения прожилков сульфидов различных форм сложные. Они встречаются как обособленно, так и совместно. Многократно наблюдаются взаимопереходы одних в другие, что указывает на единство процесса их образования. Общность прожилков подчеркивается также идентичностью минерального состава. Кроме пирита и кварца в них почти всегда в виде микроскопических выделений присутствуют пирротин, сфалерит, халькопирит, галенит,

арсенопирит и некоторые другие сульфиды. Они чаще всего составляют включения в пирите, реже образуют самостоятельные микровыделения в кварце.

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ

Процесс формирования оруденения на месторождении Сухой Лог был, несомненно, длительным и многоэтапным. Выделяются 3 основных этапа: осадочный, метаморфический и постмагматический, связанный с внедрением интрузий гранитоидов. Метаморфический этап дополнительно подразделяется на 2 подэтапа - раннеметаморфический и заключительный - метаморфогенно-гидротермальный (метаморфогенно-метасоматический).

В соответствии с этим рудообразующие сульфиды и магнезиально-железистые карбонаты, развитые на месторождении, в генетическом отношении подразделяются на 4 основные разновидности (Буряк, 1982):

- ♦ сингенетичные породам: а) осадочно-диагенетические, б) конседиментационные (синседиментационные) осадочно-гидротермальные;
- ♦ раннеметаморфические, сформированные в ранний период регрессивного этапа регионального метаморфизма осадочных толщ;
- ♦ метаморфогенно-гидротермальные, возникшие в заключительный период регрессивного этапа регионального метаморфизма пород;
- ♦ магматогенно-гидротермальные (постмагматические), образованные под влиянием Константиновских гранитов.

Осадочно-диагенетические сульфиды и магнезиально-железистые карбонаты, развитые на месторождении, имеют все признаки, присущие минералам такого генезиса: литостратиграфический контроль в размещении, более раннее образование по сравнению с процессами дислокационного и регионального метаморфизма и пр. Специфическая особенность их в

пределах месторождения, обусловленная повышенным расщеплением и метаморфизмом слагающих его осадочных толщ, - повышенная степень перекристаллизации и переотложения по послойно-кливажным трещинам. Метакристаллы, линзы пирита и карбонатов обычно деформированы, окружены, как правило, оторочками и "тенями" давления (рис. 20). В ассоциации с пиритом в очень незначительных количествах отмечаются галенит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит, пирротин и золото, наблюдаемые только под микроскопом.

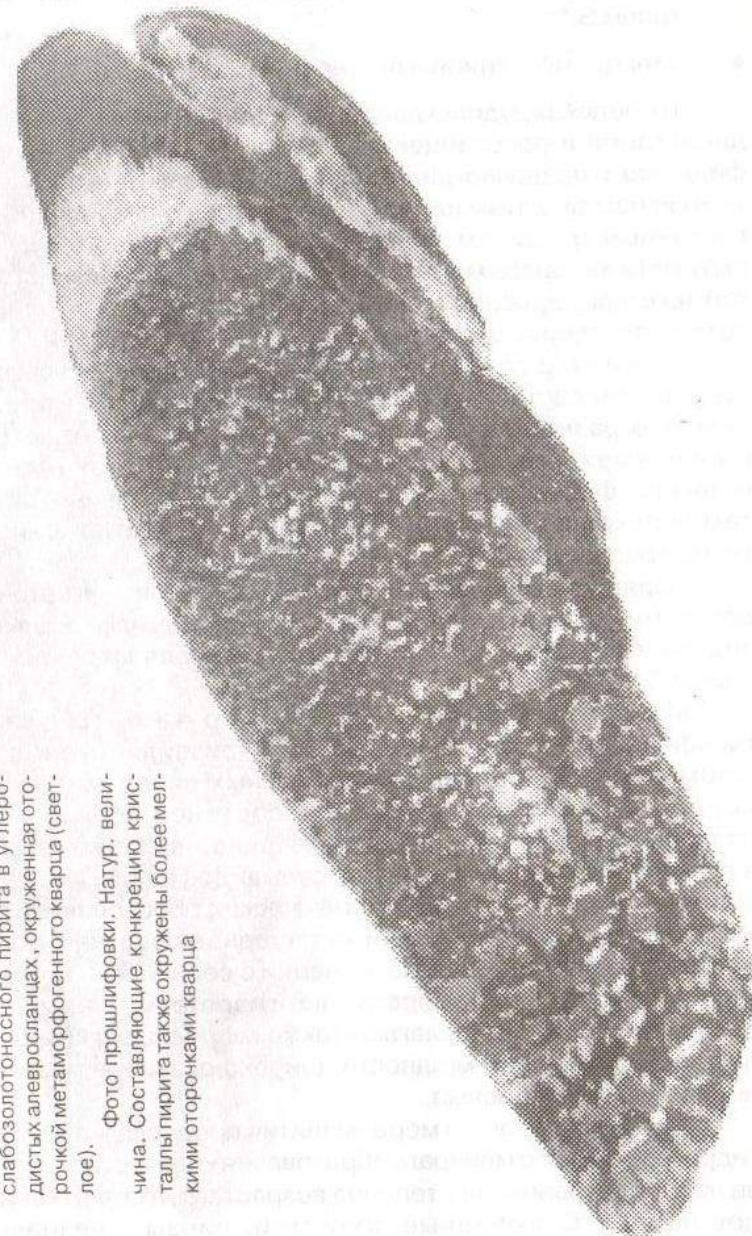
В пределах месторождения Сухой Лог осадочно-диагенетические сульфиды как таковые сохранились только по периферии рудомещающей зоны расщепления и на ее флангах. Собственно в пределах рудоносной части зоны, где осадочные толщи претерпели повышенный дислокационный метаморфизм, они перекристаллизованы, регенерированы и трансформированы в раннеметаморфические и метаморфогенно-гидротермальные разности.

Осадочно-гидротермальные сульфиды развиты на месторождении довольно широко, но с трудом отличаются от осадочно-диагенетических и трудно диагностируются. Они формируются непосредственно в процессе осадконакопления за счет поступления сернистых эксгаляций и гидротерм. Впервые они были выделены нами на месторождении в 1976 г. (Буряк, 1976) в завершающие этапы его изучения. Одновременно была показана важная роль этих сульфидов в формировании золотого оруденения среди черносланцевых толщ и других регионов.

Основные особенности осадочно-гидротермальных сульфидов (в сравнении с осадочно-диагенетическими) следующие:

- ◆ преобладание в составе пирита кобальта над никелем (отношение  $Co/Ni > 1$ );
- ◆ повышенное крайне неравномерное содержание свинца, цинка и особенно мышьяка, золота;
- ◆ частое развитие в виде прослоев, слоев, линз, конкреций, удлиненных конкрециевидных скоплений характерной мелкозернистой и метаколлоидной структуры и зонального строения (рис. 21);
- ◆ локальная приуроченность к фации углеродистых пелитовых отложений второй пачки средней подсвиты хомолхинской свиты;

**Рис. 20.** Деморфированная конкреция осадочно-диагенетического слабозолотосного пирита в углеродистых алевросланцах, окруженная оторочкой метаморфогенного кварца (светлое). Фото шлифовки. Natur. величина. Составляющие конкрецию кристаллы пирита также окружены более мелкими оторочками кварца



- ◆ более утяжеленный состав изотопов серы, т. е. обогащение изотопом  $S^{34}$ ;
- ◆ синседиментационный генезис образования.

В пределах рудолокализирующей зоны повышенных пликтивных дислокаций и рассланцевания осадочно-гидротермальные сульфиды, как и осадочно-диагенетические, испытали повышенный метаморфизм с полным или частичным переотложением по послыно-кливажным трещинам. Линзы и конкреции их часто будинированы, окружены кварцевыми оторочками давления волокнисто-шестоватой текстуры, прослойки и слои - смяты в складки. Содержания золота в конкрециях достигают 350 г/т.

Раннеметаморфические карбонаты и сульфиды по минеральному составу не отличаются от осадочных. Определяющую роль в их размещении в пределах пиритоносных пачек играют послыно-кливажные трещины. Метакристаллы имеют, как правило, угнетенные формы роста. Образовались они, главным образом, путем перекристаллизации и частичного переотложения сингенетических разностей.

Наряду с кубическими кристаллами пирита угнетенных форм роста эти сульфиды слагают прожилки, прожилковидные и линзовидные скопления сульфидов, относящиеся к группе "прямолинейных".

Метаморфогенно-гидротермальные карбонаты и сульфиды слагают в основном сложноизвилистые и складчатые формы прожилков и прожилковидных скоплений, развитые в породах. Характерно наличие в составе прожилков кварца в различных количествах: 5-50% в кварцево-сульфидных, до 80-90% в сульфидно-кварцевых. Состав сульфидов аналогичен развитым в сингенетических и раннеметаморфических образованиях. Для эндо- и экзоконтактов прожилков и характерно развитие магнезиально-железистых карбонатов в ассоциации с серицитом. Иногда отмечается фторапатит. Метаморфогенно-гидротермальные карбонаты в ассоциации с кварцем слагают также кварцевые и кварц-карбонатные жилы различной мощности, широко развитые на месторождении, в т. ч. золотоносные.

В общем случае по мере развития процесса метаморфогенно-гидротермального минералообразования количество кварца в составе новообразований постепенно возрастает, а содержание сульфидов падает. Сульфидные прожилки, линзы с незначительным

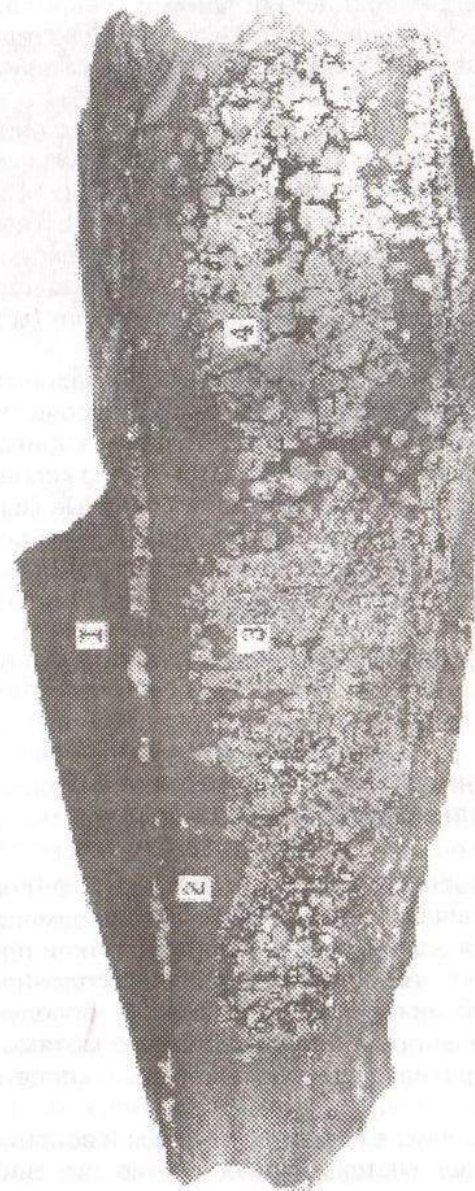


Рис. 21. Конкреция осадочно-гидротермального высокозолотоносного пирита в углеродистых алевросланцах. Фото прошлифовки. Natur. величина. 1 - углеродистые алевросланцы, 2 - тонкозернистый метакристаллический пирит, 3 - мелкозернистый глобулярный пирит, 4 - крупнозернистый глобулярный пирит

количеством кварца обычно являются наиболее ранними образованиями, сульфидно-кварцевые - наиболее поздними. Кварцевые жилы, содержащие обычно очень низкие количества сульфидов (десятые доли процента), завершают процесс метаморфогенного рудообразования.

Обращает на себя особое внимание также тот факт, что пирит (как и другие сульфиды) в составе кварцево-сульфидных и сульфидно-кварцевых прожилков кристаллизуется не позже кварца (как это обычно бывает в типично постмагматических образованиях), а явно раньше: кварц в виде оторочек волокнисто-шестоватой текстуры обрастает отдельные кристаллы и агрегатные скопления сульфидов (см. рис. 17). Последние содержат в своем составе реликты не кварца, а вмещающих пород.

Постмагматическая минерализация, связанная с константиновскими гранитоидами, на Сухом Логе внешне проявлена очень слабо. Ее легче предполагать, нежели достоверно зафиксировать. К образованиям этого типа можно относить тонкие кварцевые и кварц-кальцитовые прожилки, рассекающие основные кварцевые жилы в межбужинных участках, присутствие мелких редких чешуек молибденита, иногда отмечающегося в кварцевых жилах. В этот этап происходили, вероятно, дополнительная регенерация и перекристаллизация метаморфогенных сульфидов и золота, грануляция жильного кварца, усложнение формы сульфидных прожилков и кварцевых жил.

#### **ВЗАИМООТНОШЕНИЕ ЗОЛОТОСУЛЬФИДНОЙ И КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЙ**

Как следует из вышесказанного, основная золотосульфидная минерализация месторождения Сухой Лог, развитая в рудовмещающих алевросланцах, образовалась раньше кварцевых жил и прожилков, развитых в этих же породах, - за счет процессов осадочного и осадочно-гидротермального минералообразования. В последующем при процессах регионального и дислокационного метаморфизма произошли ее многократная перекристаллизация, концентрирование и регенерация.

По временному соотношению с жилами сульфиды и ассоциирующее с ними золото подразделяются на три основные разновидности (Буряк, 1963б; 1982): дожилые, синжилые и постжилые.



**Рис. 22.** Зональный пирито-кварцевый прожилок с отходящими тонкими прожилками кварца.

Фото шлифовки. Натур. величина. Светлое - кварц, серое - пирит с включениями вмещающих углеродистых алевросланцев - темное

В каждом конкретном случае первые две разновидности сульфидов строго разделять не всегда представляется возможным. Прежде всего это касается центральной рудовмещающей зоны рассланцевания, где наиболее интенсивно прошли процессы метаморфогенно-метасоматического преобразования рудовмещающих осадочных пород и содержащейся в них осадочной и осадочно-гидротермальной минерализации. Тем не менее, как и обычно при изучении метаморфогенного минералообразования, в большинстве случаев удается реставрировать последовательность перекристаллизации и переотложения сульфидов по мере усиления метаморфогенно-метасоматических преобразований пород.

Устанавливается вся гамма переходов от осадочно-диагенетических образований, лишенных кварца и представленных рассеянной вкрапленностью, послойными с линзами, конкрециями, прожилками и прожилкоподобными скоплениями крупно-, средне- или мелкокристаллического пирита, к метаморфогенно-метасоматическим новообразованиям в виде кварцево-пиритовых и пирито-кварцевых прожилков сложной формы, гнездовидных скоплений и линз.

Особенно характерно при этом поведение кварца. В субмаринных условиях в ассоциации с осадочно-диагенетическими и осадочно-гидротермальными сульфидами он не кристаллизуется. Основные причины - дефицит кислорода, редковосстановительные условия. Кварц начинает кристаллизоваться в минеральных новообразованиях инверсионного этапа - в субаэральных условиях, т. е. в принципиально иной геохимической обстановке, при повышенном потенциале кислорода. Содержание его в минеральных новообразованиях обычно увеличивается по мере развития метаморфогенно-метасоматических преобразований, на фоне общей инверсии и падения значений P-T метаморфизма.

Вначале кварц слагает маломощные оторочки и "тени" давления, образующиеся по принципу Рикке вокруг отдельных кристаллов и конкреций пирита. Эти метаморфогенные оторочки постепенно разрастаются, сливаются между собой, образуя оторочки вокруг скоплений кристаллов пирита и создают, тем самым, весьма своеобразные зональные пирито-кварцевые линзовидные образования и прожилки: сульфиды вместе с включениями вмещающих пород слагают их центральные части, кварц - краевые.

В дальнейшем оторочки кварца еще более разрастаются, начинают отходить по послойным секущим трещинкам в виде прожилков (рис. 17, 22). И завершается этот процесс, на фоне общей инверсии и ослабления  $P_{\text{общ.}}$  образованием кварцевых жил - послойных, секущих и послойно-секущих.

По времени образования сульфидные и основная масса кварцево-сульфидных и сульфидно-кварцевых прожилков предшествуют образованию жил. Часть сульфидно-кварцевых и кварцево-сульфидных прожилков образуется одновременно или близкоодновременно с кварцевыми жилами.

## Глава 5

### ЗОЛОТОНОСНОСТЬ

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА

**С**одержания золота в золотосульфидных рудах месторождения изменяются в узком интервале - от 0,5-2,0 до 4-10 г/т, редко до 20 г/т, обычно 1,5-5 г/т. Лишь в отдельных штучных пробах и образцах концентрации золота могут достигать более высоких значений. Обусловлено это, в первую очередь, общим низким количеством сульфидов и относительно равномерным распределением их в пределах минерализованной зоны. В то же время в самих сульфидных прожилках и новообразованиях содержания золота существенно изменяются в зависимости от их состава и генезиса: от десятых долей грамма на тонну до нескольких десятков граммов на тонну (табл. 9).

Коэффициенты вариации содержаний по бороздовым пробам составляют 100-150%, по керновым - 100-200%.

Пережимы мощности рудного тела и пониженные содержания золота не совпадают в пространстве; корреляция между мощностью рудного тела и содержанием золота не устанавливается. Внутри рудного тела встречаются участки как слабозолотоносных (ниже 1 г/т), так и относительно высокозолотоносных руд. Различнозолотоносные участки ассоциируют на различных гипсометрических уровнях; форма и размеры их во многом зависят от плотности разведочной сети и способа опробования: чем детальнее опробование, тем мельче участки с различным содержанием золота.

В пределах большей части месторождения намечается прямая корреляционная зависимость между содержанием золота и пирита (прежде всего в виде прожилков и линз), золота и серы (коэффициент корреляции 0,2-0,85). Однако даже в пределах рудного контура имеются отклонения: присутствие сульфидов и даже кварца есть благоприятный, но недостаточный показатель наличия повышенных концентраций золота. Участки с повышенным содержанием сульфидов обычно, но не всегда рудоносны.

Наиболее золотоносны интенсивно дислоцированные пласты алевросланцев второй пачки, характеризующиеся присутствием

Таблица 9

**Содержания золота в минеральных новообразованиях различного состава и морфологии (месторождение Сухой Лог)**

Характер минеральных выделений (перечислены в порядке образования)	Содержание золота, г/т
Отдельные метакристаллы пирита, их рассеянная вкрапленность	<u>0,01 - 0,8 (26)</u> 0,15
Прямолинейные пиритовые и кварцево-пиритовые прожилки, конкреции и линзовидные скопления, параллельные сланцеватости и слоистости; кварца менее 5%	<u>0,2 - 350,0 (48)</u> 40,0
Прожилки, линзы, линзовидные скопления пиритового и кварцево-пиритового состава, контролируемые прямолинейными трещинами скальвания	<u>0,6 - 316,0 (65)</u> 42,0
Короткие послынные сложной формы прожилки кварц-пиритового состава (кварца 5-50%), приуроченные преимущественно к ядерным частям микроскладок	<u>0,8 - 180,0 (95)</u> 43,0
Пирито-кварцевые сложноизвилистые прожилки (кварца 50% и более)	<u>3,8 - 136,0 (25)</u> 56,0
Кварцевые, кварцево-карбонатные жилы и прожилки	<u>0,01 - 415,0 (1695)</u> 1,9

Примечание. В числителе - разброс содержаний по частным пробам, в знаменателе - среднее значение. В скобках - число проб.

осадочно-гидротермальных сульфидов, наличием напряженной мелкой складчатости нагнетания и позднескладчатых флексуорообразных изгибов, позднескладчатых зон рассланцевания и будинажа. Особенно благоприятны мелкие осложняющие складки и зоны рассланцевания, диагонально (под острым углом) ориентированные по отношению к оси основной антиклинали. Эти рудолокализирующие структуры образуются в условиях интенсивного сжатия и слабо выраженного кручения (вдоль оси антиклинали и под острым углом к ней) на фоне волнообразного изгиба осевой поверхности и шарнира складки, т. е. в условиях развития объемных пластических и сопряженных разрывных деформаций. Такие места благоприятны для развития процессов собирательной перекристаллизации и перераспределения рудных компонентов. Основным из них, как отме-

чалось, является Центральный участок Сухоложской антиклинали, где в связи с этим и сосредоточено основное оруденение.

Наиболее низкие и равномерные концентрации золота устанавливаются в породах, содержащих только рассеянную вкрапленность пирита. Такие участки, как правило, не содержат промышленных количеств золота и составляют внешний фон рудной залежи - характеризуют ее висячий и лежащий контакты и фланги месторождения. Мощность таких ореолов - десятки метров.

Промышленные концентрации золота связаны с прожилковой и прожилково-вкрапленной минерализацией, а также с конкрециями и линзовидными выделениями сульфидов метаморфогенно-гидротермального либо осадочно-гидротермального генезиса. Установленные содержания золота в линзовидных выделениях пирита гидротермально-осадочного генезиса, показанного на рис. 21, достигают 350 г/т.

В собственно осадочно-диагенетических и новообразованных раннеметаморфических сульфидах содержания золота хотя и значительно превышают кларковые (0,01 - до 1 г/т), но не достигают промышленных концентраций.

В свою очередь, золотоносность метаморфогенно-гидротермальных пиритов, как видно из табл. 10, также не одинакова. В метаморфогенно-гидротермальных разностях наблюдается слабо выраженное возрастание количества золота по мере увеличения кварца, т. е. по мере перехода от золотосульфидных прожилков к кварцево-сульфидным и сульфидно-кварцевым. Однако эта тенденция проявляется лишь до образования кварцевых жил и прожилков. В них содержания золота в среднем намного ниже по сравнению с кварцево-сульфидными и сульфидно-кварцевыми.

Относительно обогащенные золотом участки выделяются только по данным опробования и имеют в плане и по падению рудной зоны форму удлиненных маломощных линз - струй, разобщенных слабозолотоносными интервалами. Характерна ориентировка этих струй: в плане они располагаются под углом 10-20° к оси антиклинали по принципу левых кулис, слагая в совокупности субширотно ориентированную золотоносную залежь. Осевая линия этих кулис соответствует оси Сухоложской антиклинали. Каждая отдельная кулиса - обогащенная струя - вытянута вдоль сколовых разрывов, диагонально ориентированных по отношению к оси антиклинали. В схематизированном обобщенном виде это показано на рис. 23, а на гори-

Таблица 10

Характер золотоносности различных морфогенетических типов минерализации (месторождение Сухой Лог)

Тип минерализации	Содержание, г/т	Число анализов
Осадочно-диагенетический пирит (расеянная вкрапленность кристаллов, их линзовидные скопления и прожилки)	$\frac{0,15}{0,01 - 0,8}$	26
Гидротермально-осадочный пирит (линзы, конкреции, конкрециевидные скопления метакolloидной текстуры)	$\frac{60,0}{0,1 - 350,0}$	27
Слабо метаморфизованные выделения осадочно-гидротермального пирита (линзы, конкреции) или с небольшим количеством кварца в виде оторочек давления	$\frac{65,0}{0,1 - 361,5}$	35
Отдельные вкрапленные кристаллы раннеметаморфического пирита со слабо развитыми кварцевыми и кварцево-карбонатными оторочками давления	$\frac{0,4}{0,01 - 0,5}$	20
Метаморфогенный пирит в виде линзовидных скоплений, прожилков. Кварца в ассоциации с пиритом менее 3%	$\frac{1,5}{0,01 - 10,0}$	25
Более поздние метаморфогенно-гидротермальные кварцево-сульфидные и сульфидно-кварцевые прожилки, линзовидные выделения (кварца 5 - 80%)	$\frac{43,0}{0,1 - 360,0}$	68
Гидротермально-метасоматические кварцевые жилы и прожилки (кварца 90 - 99%), завершающие процесс рудообразования	$\frac{1,9}{0,01 - 415,0}$	1695

Примечание. В числителе - среднемедианное значение, в знаменателе - разброс частых значений.

зонте штольни № 1 - по данным бороздowego и кернового опробования на рис. 24.

В пределах минерализованной зоны устанавливается общее усложнение распределений концентраций золота по падению рудной зоны. Фактически единое на верхних горизонтах по кондиционным требованиям рудное тело на нижних горизонтах распадается на

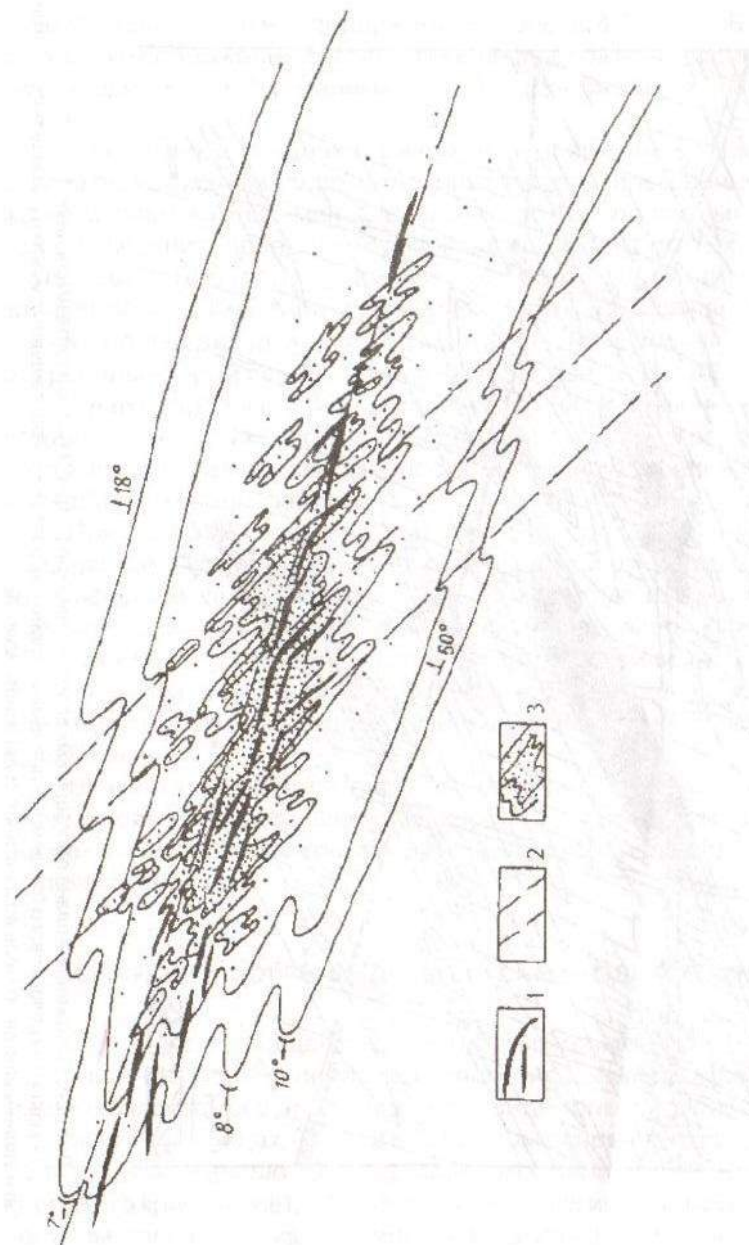
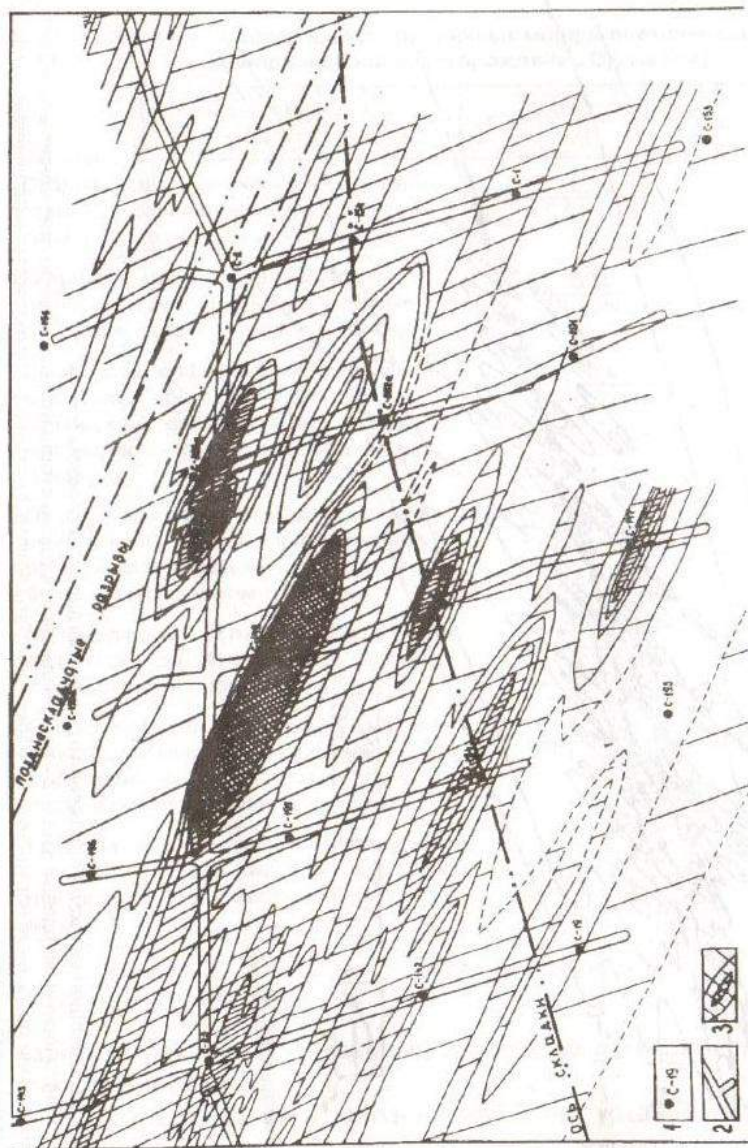


Рис 23. Обобщенная схема положения в плане обогащенных золотом "струй":

1 - золотоносные кварцевые жилы; 2 - диагональные и продольно ориентированные по отношению к оси Сухоложской антиклинали разрывные нарушения; 3 - изоконцентраты золота, связанные с прожилково-вкрапленной золотосульфидной минерализацией



**Рис. 24.** Положение в плане обогащенных золотом участков ("струй") на горизонте штольни № 1: 1 - скважины колонкового бурения; 2 - подземные горные выработки; 3 - обогащенные участки (насыщенность штриховки увеличивается по мере возрастания содержания золота)

разообращенные струи с содержанием золота 4-6-8 г/т. В пределах этих струй содержания золота также не выдержаны. Характерно наличие единичных "ураганных" проб с содержанием золота более 10 г/т.

На верхних и средних горизонтах рудной зоны распределение золота более равномерное. Отдельные пробы с повышенным содержанием золота имеют меньшее значение. Так, по данным Н.А. Суслова на верхних и средних горизонтах на долю "богатых" проб, составляющих 10% от общего количества проб, приходится 20-25% запасов золота. Ниже - на горизонте второй и третьей пачек, на долю этих же проб приходится уже 30% металла, на интервале 200-500 м от границы второй пачки - 36% металла и еще ниже - 43% запасов.

Таким образом, вниз по падению рудной зоны несколько усложняются не только форма рудного тела, но и распределение золота - возрастает неравномерность его распределения, уменьшаются общие концентрации.

При рассмотрении пространственных соотношений в положении повышенных содержаний золота и сульфидов в пределах золотосульфидной зоны устанавливается зачастую их несовпадение: участки с повышенным количеством сульфидов располагаются на 10-30 м ниже по падению золотоносных интервалов или на их границах. Это свидетельствует в пользу более высокой подвижности золота при метаморфогенно-гидротермальных процессах в сравнении с сульфидами.

Нижний контакт золотоносной части рудной зоны значительно четче и контакстней в сравнении с верхней, в соответствии с общим более четким лежачим контактом зоны сульфидизации в сравнении с висячим верхним.

#### ХАРАКТЕР И ФОРМА ВЫДЕЛЕНИЙ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА

Золото, содержащееся в золотосульфидных рудах Сухого Лога, почти все (88-96,3%) свободное, легкоизвлекаемое; связанного, трудноизвлекаемого, находящегося в виде тонкодисперсной вкрапленности в сульфидах, - 3,7-12%. При этом основное количество свободного золота (около 70%) ассоциирует с пиритом (в т. ч. находится внутри его кристаллов), 10-15% связано с другими сульфидами (сфалеритом, галенитом, халькопиритом), 15-25% располагается в квар-



це, обрастающем сульфиды, и на контакте кварцевых выделений с сульфидами и минералами вмещающих пород. Золотины ноздревато-пористые, губчатые, кавернозные. Облик золотин как в пирите, так и в кварце близок или одинаков. Но в пирите золото преимущественно мельче (0,001-0,05 мм). В кварце и на контакте пирита с кварцем встречаются иногда золотины размером в десятые доли миллиметров и очень редко до 1 мм. Золото светлое, золотисто-желтое, обычное для кварцево-прожилковых образований. Преобладающие размеры золотин мелкие и тонкие; средний медианный размер 0,035 мм. Визуально золото не наблюдается, но устанавливается в протолочках под бинокляром.

Намечается слабо выраженная тенденция возрастания размеров золотин по мере развития процесса рудообразования и перехода от золотосульфидных образований (золотины преимущественно 0,001-0,05 мм) к сульфидно-кварцевым прожилкам (размер золотин преимущественно 0,005-0,10 мм) и кварцевым жилам (золотины от 0,01 до 1-2 см и более).

Золото, содержащееся в кварцевых жилах и прожилках, в основной массе намного крупнее (десятки доли миллиметров - 1-3 мм и крупнее); характерны самородки за счет хорошо выраженных процессов собирательной перекристаллизации. В связи с этим кривые распределения содержания золота в жилах отчетливо правасимметричны, т. е. пробы с повышенными содержаниями встречаются чаще обычного стандартного логнормального распределения (Буряк, 1982). В зоне золотосульфидной вкрапленности в целом кривые распределения содержания золота практически соответствуют стандартному логнормальному распределению.

### ПРОБНОСТЬ ЗОЛОТА

Средняя валовая проба золота золотосульфидных руд по данным технологических исследований довольно устойчива - 880-890. Однако при изучении отдельных золотин по данным лазерного микроанализа она изменяется в широких пределах - от 500 до 980 (рис. 25), что свидетельствует о длительности процесса минералообразования и наличии многочисленных генераций самородного золота.

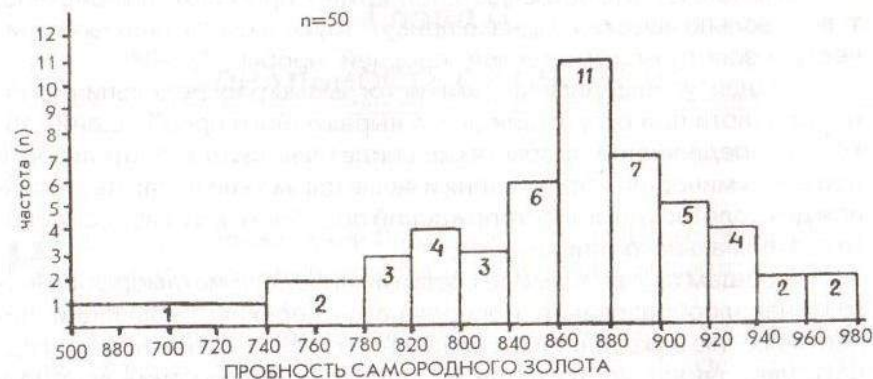


Рис. 25. Гистограмма пробности самородного золота месторождения Сухой Лог (n - число определений)

Таблица 11

Пробность самородного золота месторождения Сухой Лог в последовательно образующихся минеральных ассоциациях (от ранних к поздним)

Минеральные образования	Пробность золота	Число анализов
Слабо метаморфизованные сульфидные прожилки, линзы, конкрециевидные скопления осадочного и осадочно-гидротермального генезиса (без кварца или с небольшим его количеством)	$\frac{720 - 860}{780}$	7
Новообразованные кварцево-сульфидные прожилки, линзовидные скопления (кварца 5-30%)	$\frac{805 - 870}{830}$	18
Сульфидно-кварцевые прожилки, линзовидные скопления (кварца 30-50% и более)	$\frac{820 - 920}{890}$	15
Кварцевые жилы и прожилки с небольшим количеством (менее 5%) сульфидов	$\frac{830 - 980}{920}$	10

Примечание. В числителе - разброс частных значений, в знаменателе - среднее значение.

Наиболее часто встречаются золотины, проба которых 840-900, т. е. довольно высокая. Однако присутствуют в существенных количествах золотины и умеренной "средней" пробы - 780-840.

Общая "уплощенная" форма гистограммы распределения пробыности золота при отсутствии резко выраженного преобладания золотин определенной пробы также свидетельствует о длительности процесса минералообразования и является, можно полагать, типичной для золоторудных месторождений подобного метаморфогенно-гидротермального генезиса.

В общем случае по мере развития процесса метаморфогенно-минералообразования, приводящего к перекристаллизации, перетолжению и укрупнению самородного золота, пробаность последнего увеличивается на фоне возрастания содержания кварца в составе минеральных новообразований (табл. 11). Следствием этого являются образования наиболее высокопробного и крупного золота в кварцевых жилах.

В более редких случаях (по тектоническим зонам рассланцевания) происходят грануляция самородного золота, одновременная с грануляцией кварца, уменьшение его размерности и некоторое понижение пробыности.

## Глава 6

### ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРУДЕНЕНИЯ

**Н**а месторождении Сухой Лог проявлены различные виды зональности, но все они неконтрастные и обнаруживаются лишь при детальных наблюдениях.

**Литофациальная зональность.** Как следует из вышеприведенных данных, основная золотосульфидная минерализация развита в линзовидной пачке углеродистых алевросланцев - в тонкозернистых алевропелитовых углеродистых пиритоносных осадках, содержащих изначально магнезиально-железистые карбонаты и сульфиды, в т. ч. осадочно-гидротермальные повышенной золотоносности. Алевросланцы в пачке резко преобладают - их 90-95%. На флангах месторождения по мере постепенного фациального выклинивания алевросланцев и замены их преобладающими алевролитами интенсивность минерализации также постепенно ослабевает. Благодаря этому центральная часть месторождения, охватывающая пачку алевросланцев, характеризуется наличием основной золотосульфидной минерализации в виде сближенных сульфидных и кварцево-сульфидных линз, прожилков и частой вкрапленности сульфидов. По периферии развивается ореол более редкой слабозолотоносной рассеянной минерализации.

Одновременно в связи с избирательной приуроченностью оруденения к определенным литофациям меняется первичный химический состав пород, на что ранее обращалось внимание. Изменяется также эффективная пористость пород. В рудоносной части минерализованной зоны она наиболее высокая - 3,8-10,6%, в подстилающих и перекрывающих породах - явно более низкая: 1,0-4,9%.

**Структурно-тектоническая зональность.** Эта зональность является отражением литофациальной, выражается в значительно более интенсивной тектонической проработке рудоносной части месторождения, охватывающей пачку пластичных алевросланцев, в сравнении с флангами, надрудными и подрудными горизонтами, сложенными более грубозернистыми - менее пластичными породами. Уровень тектонической проработки рудоносной части зоны от-

вечает IV-IX тектонофациям по классификации Е.И. Паталахи (1988), в т. ч. VII тектонофация составляет 50%, VIII - 15%, IX - 5%, IV-VI - 30%. В надрудной части разреза тектоническая проработка отвечает II-VIII тектонофациям, в т. ч. VII тектонофация - 20%, VIII - 5%, II-VI - 75%. В подрудной части разреза степень проработки отвечает II-VI тектонофациям, в т. ч. II-III - 85%, IV-VI - 15%.

Дополнительно слабо выражена "структурная" зональность, проявляющаяся в последовательном увеличении числа и степени открытости трещин скола и, особенно, разрыва по вертикали за счет уменьшения  $P_{обш.}$ . Как следствие вверх по восстанию рудной зоны увеличивается количество кварцевых жил и прожилков, возрастают их мощности. Увеличивается и число сульфидно-кварцевых прожилков. Можно ожидать, что объемный вес руд будет уменьшаться в этом направлении, а пористость возрастать.

Эту зональность следует рассматривать как наложенную в связи с тем, что кварцевые жилы и прожилки являются преимущественно более поздними по отношению к основной золотосульфидной минерализации.

**Зональность метасоматитов.** За пределами рудной зоны месторождения развиты пропилиты и раннеметаморфические метасоматиты неконтрастных регионально проявленных фаций. Непосредственно в пределах месторождения метасоматиты проявляются интенсивнее и более заметны.

Надрудная часть - апоалевролитовые и апопесчаниковые метаморфогенно-гидротермальные березитоподобные метасоматиты, интенсивно развитые, сопровождающиеся золотосульфидными кварцевыми жилами и прожилками и слабой вкрапленной золотосульфидной минерализацией.

Рудный уровень - умеренно развитые, аналогичные по генезису апосланцевые березитоподобные метасоматиты с промышленной золотосульфидной минерализацией + слабо распространенные кварцевые жилы и прожилки. Подрудная часть - раннеметаморфические метасоматиты и слабо развитые апосланцевые метаморфогенно-гидротермальные березиты с меньшим количеством кварцевых жил.

Внешний фон, окружающей рудоносную тектоническую зону, - раннеметаморфические метасоматиты и пропилиты хлорит-эпидот-цоизитовой ступени.

**Минеральная зональность.** Выделяются три основные зоны.

1. Надрудная фронтальная зона. Мощность ее в зависимости от глубины эрозионного среза различна. Непосредственно на месторождении она составляет 20-60 м, в среднем 40 м. На других аналогичных объектах может достигать 200-400 м и более. Представлена малосульфидными золотосульфидными кварцевыми и кварцево-карбонатными жилами и прожилками (они в сумме составляют 2,5-8% от общего объема зоны), сопровождающимися слабой (менее 0,1%) рассеянной (слабозолотосной) пиритовой вкрапленностью метакристаллов, прожилками и вкрапленниками магнезиально-железистых карбонатов. Содержание последних 5-30%, в среднем 18%.

2. Основная (средняя) рудоносная часть (зона). Протяженность ее по вертикали 360 м, по падению 950-1000 м. Представлена золотосульфидной прожилково-вкрапленной пиритовой (25%), кварц-пиритовой (52%) и пирито-кварцевой (20%) минерализацией. Кварцевые жилы и прожилки развиты, но значительно слабее, чем в надрудной зоне, и составляют в среднем 1,5% от объема рудной зоны. Магнезиально-железистых карбонатов 8-20%, в среднем 13%.

3. Нижнерудная (прикорневая) зона. Прослеженная протяженность по вертикали 200 м, по падению зоны - 500 м. До полного выклинивания не изучена. Представлена в основном золотосульфидной пиритовой (40%) и кварцево-пиритовой (55%) минерализацией. Пирито-кварцевые прожилки и вкрапленники составляют около 5%, т. е. развиты существенно слабее. В ассоциации с пиритом отмечаются пирротин, арсенопирит, халькопирит. Кварцевые жилы и прожилки развиты крайне слабо, составляют в среднем 0,5% от объема рудной зоны. Магнезиально-железистых карбонатов 6-15%, в среднем 10%.

Градиент кварцевонасыщенности на месторождении 1,5-2% на 100 м по вертикали и 0,5% на 100 м по падению, для магнезиально-железистых карбонатов - 1,3% на 100 м (по вертикали).

Указанная минеральная зональность находит отражение в различной крупности золотин, характерных для каждой из названных зон.

В надрудной зоне отмечается преимущественно крупное золото (в составе кварцевых жил), в основной (среднерудной) - мелкое и тонкое, в нижнерудной - преимущественно еще более мелкое. Изменяется состав магнезиально-железистых карбонатов, входящих в кварцево-сульфидные и кварцевые прожилки. В них хотя и незначительно, но возрастает величина Ca/Mg вверх по восстанию рудной

зоны. Одновременно в составе карбонатов уменьшается количество железа. В рудных телах растет общее содержание кальцита, увеличивается содержание серицита и, как следствие, возрастает коэффициент щелочности ( $K_2O + Na_2O/Al_2O_3$ ) - в среднем от 0,18 в нижнем срезе рудных тел до 0,30 в верхнем. Вертикальный градиент порядка 0,02 на 100 м, а отношение Ca/Mg в рудных телах в среднем от 0,25 в нижнем срезе до 0,45 в верхнем; вертикальный градиент 0,03 на 100 м. Увеличивается общее содержание в составе кварцевых жил и прожилков магнезиально-железистых карбонатов (от 0,5 до 10-15%), кальцита, сфалерита, галенита и фторapatита.

**Температурная зональность.** Температура образования минеральных парагенезисов месторождения 120-410°, преимущественно 220-380°, постепенно возрастает с глубиной. Температурный градиент весьма низкий: в среднем 4-8° на 100 м по вертикали и 1,5-3° по падению рудных тел. По данным И.В. Коновалова (1985), намечается также и латеральная зональность. Ядерная часть Сухоложской антиклинали, контролирующая развитие повышенной золотосульфидной минерализации, характеризуется (в сравнении с крыльями антиклинали) повышенным температурным полем, вытянутым вдоль ее оси. Температура начала кристаллизации кварцевых жил здесь повышенная, она составляет 370-390°. Горизонтальный градиент (вкрест простирания зоны) 3-20° на 100 м.

**Геохимическая зональность.** Проявляется различно.

Пробность самородного золота (судя по среднестатистическим данным) постепенно возрастает от 780-920 ( $\bar{x}$  - 820) в прикорневой части рудной зоны до 850-950 ( $\bar{x}$  - 905) во фронтальной части и 840 - 930 ( $\bar{x}$  - 885) в основной зоне. Вертикальный градиент составляет в среднем 18 ед. на 100 м. По простиранию зоны выдержанных изменений не установлено.

Величина Ni/Co в пиритах сверху вниз по вертикали и падению зоны уменьшается. Градиент изменения незначительный: в среднем по месторождению 0,23 на 100 м по вертикали и 0,09 по падению, от 1,8-4 в пиритах верхней части рудной зоны до 0,9-2,0 - в нижней. Одновременно с этим в пиритах уменьшаются, но незначительно, содержания сурьмы, свинца, цинка от сотых-десятых долей процента до тысячных-сотых долей процента, т. е. в 5-10 раз.

Устанавливаются также изменения в содержании золота в пирите по мере перехода от внешних периферических частей рудного тела (0,01-2 г/т) к основной рудной части (0,2-200 г/т и более). Одновременно происходит и возрастание содер-

жания мышьяка в пирите: от 0,001-0,06% в околорудных ореолах до 0,01-0,5% в золоторудных интервалах.

Содержание золота в рудном теле изменяется аналогичным образом. Оно довольно постепенно нарастает по мере перехода от внешних периферических частей к центру, в т. ч. от надрудной зоны к рудной. Благодаря этому основное рудное тело относительно умеренными и повышенными содержаниями золота (2,5-8 г/т и более, среднее 2,7 г/т), имеющее форму пластовидной линзы, окружено ореолом более бедных руд (0,5 - 1,5 г/т), а контуры промышленного оруденения устанавливаются только по результатам опробования.

В пределах самого рудного тела четко выраженная однонаправленная зональность в изменении содержаний золота как по простиранию, так и по его падению очень слабо проявлена, на что ранее обращалось внимание. Распределение содержаний не является равномерным. На фоне относительно бедных и умеренных концентраций золота (2,0-4 г/т) выделяются более богатые участки различных размеров, имеющие вид линз - обогащенных струй.

Эти обогащенные участки можно рассматривать как пологопадающие "рудные струи", ориентированные преимущественно под острым углом к простиранию оси Сухоложской антиклинали, кулисообразно по отношению друг к другу.

Конфигурация обогащенных струй в целом имеет тенденцию к усложнению по мере увеличения глубины залегания оруденения: относительно простые линзовидные в центральной и верхней частях рудной зоны сменяются преимущественно более сложными в нижней рудной зоне. Расстояние между обогащенными струями соответствует их мощности либо (преимущественно) в 1,5-2,5 раза меньше.

Состав изотопов серы сульфидов изменяется зонально. В рудном теле сера пиритов наиболее гомогенна,  $\delta^{34}S$  изменяется преимущественно в довольно узком интервале (от +6,5 до +12‰), во внешних ореолах сера более разнообразна и  $\delta^{34}S$  изменяется в широком интервале от -15 до +27,5‰.

По мере перехода от сульфидных прожилков к сульфидно-кварцевым и кварцевым жилам происходит облегчение состава изотопов серы. Благодаря этому устанавливается горизонтальная поперечная зональность в распределении состава изотопов (рис. 26): по мере перехода от флангов и краевых частей рудного тела к их центру происходит постепенное утяжеление серы, т. е. обогащение изотопом

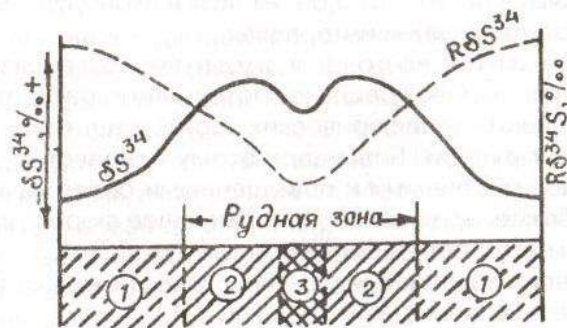


Рис. 26. Характер изменения состава изотопов серы пиритов в поперечном сечении золотоносных зон сухоложского типа, развитых в углеродистых сланцах (обобщенная принципиальная схема) (по Буряку, 1986):  
 1 - экзоконтакт рудного тела (зоны): алевролиты, алевросланцы с рассеянной вкрапленностью пирита (внешний фон); 2, 3 - рудная зона: 2 - слабо- и умереннозолотоносные алевросланцы (руды) с прожилково-вкрапленной минерализацией, 3 - интервалы рудной зоны повышенной золотоносности

$^{34}\text{S}$ , а затем (в наиболее золотоносных участках) некоторое облегчение. Одновременно в наиболее золотоносных интервалах уменьшается разброс значений  $\delta^{34}\text{S}$ , т. е. происходит гомогенизация изотопов (Буряк, 1987а).

Обогащенные золотом участки, характеризующиеся некоторым понижением значений  $\delta^{34}\text{S}$ , приходятся на наиболее рассланцованные, метасоматически проработанные интервалы минерализованной зоны с пониженными значениями рН растворов, повышенной фугитивностью кислорода и, как следствие, повышенным количеством новообразованного кварца в ассоциации с сульфидами. Аналогичная зональность наблюдается, как известно, в целом ряде метаморфизованных колчеданных месторождений.

Вследствие этого вверх по восстанию рудного тела намечается постепенное слабовыраженное уменьшение содержания изотопов  $\delta^{34}\text{S}$ . В среднерудном срезе среднее значение  $\delta^{34}\text{S}$  составило  $+8,0\text{‰}$ , в верхнерудном -  $+5,0\text{‰}$ , в надрудном -  $+3,6\text{‰}$ . Вертикальный градиент изменения  $\delta^{34}\text{S}$  незначительный, порядка 0,5-1,5 ед. на 100 м.

**Зональность состава пород** проявлена довольно заметно. Как подчеркивалось, основное золотосульфидное оруденение развито в пачке кремнекислых алевросланцев умеренной карбонатности и

повышенной щелочности. В известковых сланцах и в известняках золотосульфидное оруденение не развито. Жилы присутствуют в различных породах, но состав их существенно меняется. В кремнекислых сланцах и песчаниках они кварцевые (часто с магнезиально-железистыми карбонатами), в известковых сланцах - кальцито-кварцевые, в известняках - кварцево-кальцитовые и кальцитовые. Наиболее золотоносны собственно кварцевые жилы (в т. ч. с магнезиально-железистыми карбонатами), значительно слабее - кальцито-кварцевые. Кварцево-кальцитовые жилы слабозолотоносны либо практически незолотоносны. Кальцитовые жилы, как правило, не содержат золота.

Характерно изменение состава изотопов серы сульфидов по мере изменения состава вмещающих пород. Пириты, развитые среди известковых и кремнистых пород, имеют более высокие, как правило, положительные значения  $\delta^{34}\text{S}$  независимо от интенсивности золотоносности по сравнению с аналогичными пиритами, находящимися в алевросланцевых разностях пород, т. е. обогащены тяжелым изотопом серы. Это согласуется с изотопным составом серы в геосинклинальных толщах: с положительными значениями  $\delta^{34}\text{S}$  для сульфатов и общей серы в карбонатных породах и преимущественно отрицательными - в глинистых.

**Свойства главных минералов.** Термоэдс пирита центральной части рудной зоны преимущественно положительного знака в пределах  $+100 \div +150$  мкВ. К периферии рудной зоны одновременно с уменьшением содержанием золота и мышьяка положительный знак термоэдс меняется на отрицательный, а преобладающий дырочный тип проводимости - на электронный.

Микротвердость пирита различных разновидностей примерно одинакова ( $1800 - 1400$  кг/мм<sup>2</sup>), но вариации у "фоновых" раннеметаморфических и осадочно-диагенетических пиритов значительно меньше (коэффициент вариации 17% по 64 определениям), чем у "рудных" (коэффициент вариации 32% из 114 определений).

Газонасыщенность рудоносного жильного и прожилкового кварца  $100-200$  см<sup>3</sup>/кг, непродуктивного значительно меньше -  $10-100$  см<sup>3</sup>/кг.

Температура кристаллизации жильного кварца (по данным гомогенизации) в пределах месторождения ( $370-400^\circ\text{C}$ ) более высокая, чем за его пределами ( $320-360^\circ\text{C}$ ). В то же время температуры окончания кристаллизации практически одинаковы -  $180-220^\circ\text{C}$ .

**М**есторождение Сухой Лог в начальный этап его изучения и оценки рассматривалось всеми геологами как обычное постмагматически-гидротермальное, связанное с интрузивным гранитоидным магматизмом. Золотосульфидная минерализация, отмечавшаяся в боковых породах, вмещающих золотоносные кварцевые жилы, характеризовалась и оценивалась в связи с этим как обычная околожильная, сопутствующая образованию кварцевых жил. Это явилось одной из основных причин, приводивших к отрицательным результатам первого этапа разведочных работ.

И в настоящее время эта концепция все еще разделяется многими геологами. Золотосульфидное и кварцево-жильное оруденение месторождения связывается с гранитоидным магматизмом конкудеро-мамаканского комплекса, ближайшие выходы которого представлены Константиновским штоком гранитов. Обусловлено это тем, что такая точка зрения привычна, довольно «удобна» и не требует особых «мудрствований» и отступлений от обычных традиционных представлений.

Наличие осадочно-диагенетических сульфидов при этом признается, но считается, что они не играли существенной роли в формировании оруденения. Отрицается и определяющая роль вмещающих пород как источника золота и сопутствующих элементов. Избирательная приуроченность золотосульфидного оруденения к углеродистым толщам считается обусловленной благоприятными физико-механическими свойствами этих пород - повышенной способностью к интенсивному расщелачиванию и присутствием в них органического вещества - осадителя золота и сульфидов из поступающих извне (магматических гранитоидных очагов) гидротермальных растворов. Магнезиально-железистые карбонаты, широко развитые в углеродистых породах, содержащих золотосульфидную минерализацию, и сами золотоносные сульфиды рассматриваются как производные околожильных гидротермальных метасоматических преобразований вмещающих пород (Шер, Кондратенко, 1962; Ленский золотоносный район, 1971).

Эта магматогенная концепция, первоначально не вызывавшая особых сомнений, стала, однако, по мере разворота поисковых работ в Ленском золотоносном районе порождать все большее число возражений. Так, на основе изучения месторождения голец Высочайший было уставлено, что кварцевые жилы, в т. ч. золотоносные, развитые на этом и других месторождениях района, образовались значительно позже основной золотосульфидной минерализации, развитой во вмещающих углеродистых толщах (Буряк, 1959, 1963б). Впервые было высказано мнение и приведены данные, указывающие на заимствование жилами не только сульфидов, но и золота из вмещающих пород (Буряк, 1963).

Несколько позднее было установлено также, что магнезиально-железистые карбонаты, считавшиеся гидротермально-метасоматическими, избирательно приурочиваются (как и сопровождающие их золотоносные сульфиды) к определенным литостратиграфическим фациям (пачкам) и образовались в основной массе в процессе литификации осадков (Буряк, Львова, 1969). Последующие наложенные процессы метаморфизма вызвали их неоднократное перераспределение и формирование метаморфогенных разностей.

Стало накапливаться все большее число данных, указывающих на то, что сульфиды, типичные по всем своим признакам для сингенетических вмещающих осадочных толщ, весьма широко распространены в регионе и, главное, практически не отличаются от тех, которые развиты в пределах рудных тел и считаются производными магматогенно-гидротермальных процессов. И, наконец, пожалуй, самое главное - была установлена метаморфическая зональность в изменении состава золотосульфидной и кварцево-жильной минерализаций, избирательная приуроченность золотого оруденения к биотит-хлоритовой и хлорит-серицитовой зонам регионального метаморфизма (Буряк, 1963а; и др.). Одновременно выявлена определяющая роль пликативных складчатых структур и сопряженных зон расщелачивания в локализации оруденения.

В итоге и была предложена концепция метаморфогенно-гидротермального генезиса золотого оруденения на месторождении Сухой Лог и других аналогичных объектах Ленской золотоносной провинции.

Эта концепция вызвала очень жесткие, резкие возражения со стороны многих исследователей, особенно в начальный период. Однако по мере развития геолого-разведочных работ и накопления

все большего числа новых данных стала все более «овладевать умами» геологов и получила признание.

Более того, при проектировании и ведении поисково-оценочных и разведочных работ на месторождении Сухой Лог именно эта концепция была принята за основу и привела к положительным результатам. Естественно, в процессе ведения геолого-разведочных и сопутствующих научно-исследовательских работ на месторождении высказанные представления подверглись доработке и трансформации.

Установлены следующие наиболее важные данные, раскрывающие генезис и особенности размещения оруденения как на Сухом Логе, так и на подобных месторождениях.

1. Помимо слабозолотоносных осадочно-диагенетических сульфидов для углеродистых рудонесущих пачек с сухоложским типом оруденения характерно наличие осадочно-гидротермальных сульфидов с различным содержанием золота, в т. ч. с повышенным и высоким. Эти сульфиды даже при относительно слабом распространении, трансформируясь и переотлагаясь под влиянием наложенных процессов метаморфизма (регионального, контактового), могут приводить к образованию промышленного оруденения. В решающей мере на Сухом Логе именно они явились, можно полагать, основным поставщиком золота и сопутствующих элементов. Дополнительный существенный привнос золота из зон ультраметаморфизма и гранитизации непосредственно в этап метаморфизма и складчатости, что ранее предполагалось нами почти обязательным (Буряк, 1963а, б), в связи с этим не является таковым. Наличие привноса благоприятно, но не обязательно.

2. Зоны высокотемпературного метаморфизма, ультраметаморфизма и гранитизации, окружающие золотоносные площади и развитые по периферии Ленского золотоносного района, представленные в современном виде гнейсовыми и гранитогнейсовыми куполами, - это действительно зоны преобладающего выноса золота и сопутствующих халькофильных элементов, как и предполагалось ранее. Установлено, что в высокометаморфизованных и, особенно, в гранитизированных породах содержания золота существенно более низкие в сравнении с исходными.

Вместе с тем можно полагать, что вынос золота в межкупольные прогибы происходил длительно, многоэтапно с самого раннего времени - начала формирования межкупольных прогибов и запол-

нения их осадочными и вулканогенно-осадочными отложениями, т. е. еще в этап осадконакопления. Это и могло в комплексе с поступлением золота за счет глубинных конседиментационных флюидов и гидротерм по рециклинговой схеме обусловить образование высокозолотоносных осадочно-гидротермальных сульфидов и общий повышенный фон золота в осадках межкупольных прогибов.

3. В связи с этим избирательная приуроченность промышленного золотого оруденения и россыпей золота в Ленском золотоносном районе к межкупольным прогибам - областям распространения зеленосланцевой фации регионального метаморфизма обусловлена, можно полагать, в решающей мере развитием здесь рассеянной осадочно-гидротермальной сульфидной минерализации колчеданного типа с повышенным содержанием золота.

Это же касается и других аналогичных золотоносных провинций, в т. ч. типичных гранито-зеленокаменных поясов. Привнос золота непосредственно на этапе метаморфизма рудовмещающих толщ из окружающих областей высокотемпературного метаморфизма происходил, но играл подчиненную роль.

Второй важный фактор, приведший к избирательному образованию золота в породах зеленосланцевой фации метаморфизма, - Р-Т условия метаморфизма этой фации, благоприятные для развития рудообразующих метаморфогенных гидротермально-метасоматических процессов. Области распространения более высокотемпературного метаморфизма неблагоприятны для концентрирования золота ввиду повышенных значений Р и Т.

4. Массивы интрузивных постскладчатых гранитоидов являются пострудными по отношению к основному промышленному оруденению. Последнее развивается независимо от наличия гранитоидов. Характерный пример - месторождение голец Высочайший. На площади этого месторождения, аналогичного Сухому Логу, и в пределах его рудного поля магматические породы отсутствуют, а золотое оруденение не менее богатое, хотя и более равномерное. На участках Бужуихтинском, Вернинском, Спектральном, Александровском и др., где выявлена золотоносная минерализация, аналогичная Сухому Логу, гранитоиды также отсутствуют.

В местах наличия интрузивных гранитов, что наблюдается на Сухом Логе, золотосульфидное и кварцево-жильное оруденение подвергается воздействию контактового метаморфизма, что выражается в частичной перекристаллизации сульфидов и жильно-

Сдвиг  
23.10  
2016г.

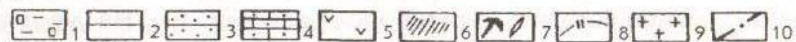
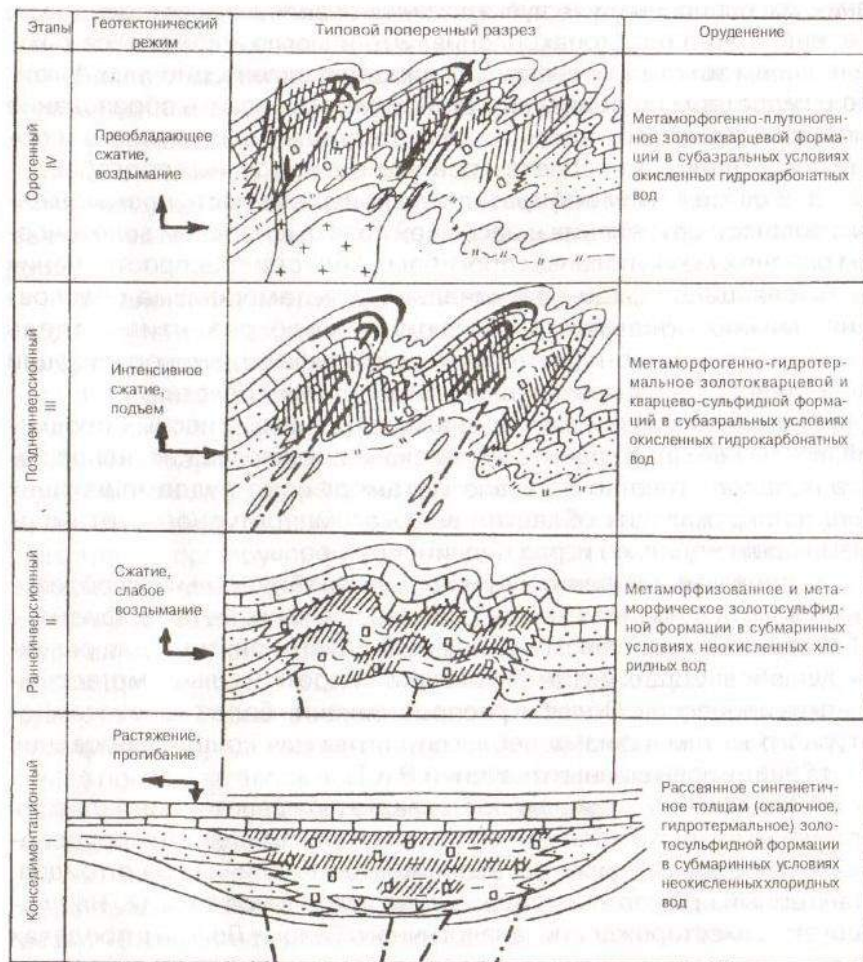


Рис. 27. Типовая модель формирования оруденения сухоложского типа:

1 - углеродистые алевросланцы с рассеянной вкрапленностью слабозолотоносных сульфидов; 2 - глинистые сланцы; 3 - алевролиты; 4 - известняки, известковые сланцы; 5 - вулканиты; 6 - золотоносная прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация; 7 - кварцевые жилы: залитый знак - золотоносные, незалитый - незолотоносные; 8 - изограда граната регионального метаморфизма; 9 - постметаморфические интрузивные граниты; 10 - разломы глубинные конседиментационные

го кварца, будинировании кварцевых жил и прожилков, регенерации золота. Однако эти процессы, в отличие от связанных с региональным метаморфизмом, имеют существенно меньшее значение и не обязательны для формирования промышленных месторождений. Непосредственно на Сухом Логе они проявились, но играют, можно полагать, подчиненную роль.

В целом схема образования промышленного метаморфогенно-гидротермального оруденения применительно к Сухому Логу показана на рис. 27. Целесообразно выделить 4 основных этапов: конседиментационного, раннеинверсионного, позднеинверсионного и орогенного - заключительного.

**В конседиментационный этап** на фоне прогибания и общего растяжения происходило накопление тонкозернистых углеродсодержащих осадков рудовмещающего разреза в мелководных условиях неокисленных хлоридных вод с развитием рассеянной осадочно-диагенетической слабозолотоносной минерализации и в различной мере золотоносной - осадочно-гидротермальной в виде прослоев, линз, конкреций, вкрапленности. В этот же этап происходят разложение основной массы  $S_{орг.}$  его десорбция, трансформация слабо-минерализованных поровых и иловых вод в подземные, более минерализованные.

Накопление рудовмещающих осадков, судя по фациальному выклиниванию их на флангах месторождения (с заменой тонкозернистых отложений более грубозернистыми), происходило в локальном палеопрогибе, названном нами Сухоложским.

Помимо резкопреобладающих пелитовых разностей осадков для рудовмещающей пачки (прежде всего для ее нижней части) показательно наличие линзующихся прослоев алевритов. Мощности их невыдержанные - от 2-3 мм до 10-15 см. В сумме они составляют не более 10% от общей мощности разреза рудовмещающей пачки. Отмечаются также еще более редкие маломощные прослои тонкозернистых песчаников, прежде всего в ее нижней части.

Соотношение осадков различной зернистости в разрезе рудовмещающей пачки отвечает трансгрессивной серии.

Общая протяженность Сухоложского прогиба, обусловившего накопление тонкозернистых рудовмещающих отложений, порядка 5 км, а центральной части, вмещающей основное рудное тело, 3 км. Ширина прогиба около 700 м.

По своим фациальным особенностям рудовмещающие осадки характеризуются калиевым типом щелочности: им присущи суще-



ставленное преобладание калия над натрием (величина  $K_2O/Na_2O$  в среднем 2,6) и пониженное содержание  $SiO_2$  (в среднем 55%). Накопление их происходило в условиях нормальной солености морских вод при пассивном гидродинамическом и относительно спокойном тектоническом режимах, повышенном тепловом потоке и благодаря этому довольно бурному росту растительных и животных организмов, приведшим к накоплению  $C_{орг.}$

По отношению к миграции конседиментационных растворов и флюидов, поступающих из глубины по разломам и приводящих к образованию осадочно-гидротермальных золотосодержащих сульфидов, вполне применима схема рециклинга, как и к «обычным» колчеданным месторождениям стратиформного типа.

Геохимическая специализация осадков в пределах Сухоложского и аналогичных рудовмещающих прогибов обусловлена в решающей мере не составом пород, вовлекаемых в эрозию в процессе роста куполов, а поступлением конседиментационных глубинных растворов и флюидов.

Протяженность Сухоложского прогиба по простиранию отвечает протяженности месторождения рудовмещающей второй пачки. Положение его в тектоническом отношении определяется местом пересечения конседиментационных разломов - продольных (по отношению к общему простиранию пород и прогиба) и диагональных более мелких северо-западного простирания.

Продольный разлом, исходя из анализа геолого-геофизических данных, является глубинным, реставрируется в фундаменте складчатого основания и служит южной границей рудного поля и месторождения.

Суммарная амплитуда вертикальных смещений по нему по геофизическим данным достигала, возможно, 2 км. В этап складчатости по нему произошли взброснадвиговые перемещения, и в современном виде он фиксируется как **Кадали-Сухоложская надвиговая зона**.

Диагональные более мелкие разломы занимают остросекущее положение (под углом 15-30°) по отношению к основному продольному. На месторождении они фиксируются неотчетливо зонами трещиноватости и отдельными разрывами этого направления. По своей характеристике их следует относить к категории «скрытых», плохо выраженных.

Поступление глубинных конседиментационных гидротерм и флюидов, содержащих железо, серу и золото и приведших к обра-

зованию золотоносных осадочно-гидротермальных сульфидов, происходило, можно полагать, именно по этим конседиментационным разломам и сопряженным более мелким разрывам. На это, в частности, указывает повышенное развитие осадочно-гидротермальных сульфидов в центральной части месторождения - в месте сопряжения этих разрывов.

В парагенетической ассоциации с осадочными и осадочно-гидротермальными сульфидами, представленными в подавляющем большинстве пиритом, произошло образование также аутигенных магнезиально-железистых карбонатов анкерит-сидеритового ряда и фторapatита, постоянно присутствующих в рудовмещающих породах и в самих рудах.

В региональном плане конседиментационный Сухоложский прогиб, приведший к накоплению углеродистых тонкозернистых рудовмещающих и рудогенерирующих осадков, следует относить к палеопрогибам третьего порядка. Он входит в состав более крупного Маракано-Тунгусского палеопрогиба второго порядка (осложняющего Бодайбинский прогиб первого порядка). Маракано-Тунгусский прогиб в современном виде представлен одноименной сложно построенной синклинальной складкой второго порядка, а Бодайбинский - Бодайбинским сложно построенным синклинорием - крупной складчатой структурой первого порядка.

Бодайбинский прогиб в палеотектоническом отношении исходя из его расположения между гранитогнейсовыми куполами и кристаллическими сланцами позднебайкальской эпохи метаморфизма можно рассматривать как межкупольный, аналогичный древним «зеленокаменным трогам» (Буряк, 1982). На это же указывает и расположение изоград метаморфизма в пределах прогиба.

Формирование Бодайбинского прогиба в целом и осложняющих его дополнительных более мелких, но более глубоких прогибов (наиболее золотоносных тектонических структур) генетически, несомненно, было связано с формированием гранитогнейсовых куполов и зонами гранитизации позднебайкальской эпохи. Метаморфические пояса и входящие в их состав гранитогнейсовые купола, лишённые повышенных сингенетичных и последующих концентраций золота, окружающие пояса и купола прогибы, с повышенной сингенетичной золотосульфидной минерализацией - единая парагенная ассоциация.

Всплывание гранитогнейсовых куполов (продолжающееся в регионе и в настоящее время), вызванное пониженной плотностью

гранитогнейсов, и синхронное формирование межкупольных прогибов, обусловленное сопряженным компенсационным прогибанием и оттоком вещества в купола (зоны гранитизации), - следствие процессов гравитационной дифференциации глубинных слоев Земли. Эти явления тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены.

Этим, в итоге, и обусловлена характерная для Ленского золотоносного района пространственная ассоциация и сопряженность лишенных россыпей и золотого оруденения зон развития кристаллических сланцев (с гранитогнейсовыми куполами) и окружающих их областей развития зеленосланцевой фации метаморфизма - межкупольных прогибов, несущих золотое оруденение.

Метаморфическая зональность в развитии золотого оруденения - следствие всех этих процессов: гранитогнейсовый купол и пояса (лишенные золота) - области повышенного теплового потока и метаморфизма амфиболитовой фации. Сопряженные золотоносные межкупольные прогибы - области пониженного теплового потока и более слабого метаморфизма зеленосланцевой фации.

В раннеинверсионный этап в период слабого воздымания происходили сжатие пород в складки, их общий региональный метаморфизм, формирование слабозолотоносных раннеметаморфических сульфидов, не сопровождающихся кварцем, на фоне развития апосланцевых - апопесчаниковых пропилитов. Геохимические условия те же, что и в конседиментационный этап, или близкие - режим неокисленных хлоридных вод, обогащенных серой (сероводородом).

Происходят дальнейшая десорбция  $S_{орг}$  и глинистых минералов, регенерация кластогенных и аутигенных минералов. Слабоминерализованные поровые и подземные воды в итоге трансформируются в более концентрированные метаморфогенные растворы.

В позднеинверсионный этап геохимическая обстановка существенно изменилась - субмаринные условия сменились субаэральными, а неокисленные хлоридные метаморфогенные воды - окисленными гидрокарбонатными. Произошла кристаллизация кварца с образованием кварцево-сульфидных и сульфидно-кварцевых метаморфогенно-гидротермальных прожилков и кварцевых жил.

Процесс минералообразования развивался длительно по схеме: прослой, прожилки, линзы и прожилкоподобные скопления

осадочно-гидротермальных и раннеметаморфических сульфидов трансформировались в более сложные по форме сульфидные, кварцево-сульфидные выделения, сульфидно-кварцевые прожилки и вкрапленность. Завершился процесс образованием кварцевых жил и прожилков с незначительным количеством сульфидов.

Позднеинверсионный этап сыграл наиболее важную роль в формировании оруденения: исходные углеродистые алевротиты второй пачки средней подсвиты хомолхинской свиты, представлявшие до процессов метаморфизма бедные или весьма бедные золотосодержащие руды прожилково-вкрапленного «колчеданного» стратиформного типа с относительно равномерно распределенным золотом, трансформировались в более неоднородные метаморфогенные образования, содержащие линзы и «струи» более богатых руд.

Эти относительно обогащенные золотом участки-«струи» приурочены к зонам повышенного рассланцевания, флексурообразным изгибам и ядерным частям мелких складок, осложняющим более крупные, и представляют собой области нагнетания метаморфогенных растворов - участки относительно пониженных давлений.

Орогенный (постмагматический) этап минералообразования, как и позднеинверсионный, протекал в условиях повышенной активности кислорода за счет окисленных гидрокарбонатных метаморфогенных растворов при относительно высоком потенциале серы.

При большой роли этих процессов в формировании оруденения образуются метаморфогенно-плутоногенные месторождения (Буряк, 1983) типа Неждановского в Якутии. Однако непосредственно на Сухом Логе эти процессы минералообразования проявились относительно слабо. Можно предполагать частичную регенерацию самородного золота и усложнение его пробности, форм золотин, что согласуется с полимодальным характером кривой распределения пробности. Происходили частичная перекристаллизация и грануляция жильного кварца, хорошо наблюдаемые под микроскопом, будинирование метаморфогенных кварцевых жил и прожилков, образование кварцевых и кварцево-кальцитовых прожилков, содержащих иногда молибденит. Однако общий характер распределения золота и сопровождающих его элементов, минеральный парагенезис и химический состав руд остались в основном прежними - метаморфогенными.

В заключение данной главы подчеркнем следующий важный момент. Понять генезис и особенности месторождения Сухой Лог можно только с учетом строения и характера золотоносности всего Ленского золотоносного района, изложенных во вступительных главах. Ограничиваясь пределами месторождения и его рудного поля, сделать это не представляется возможным.

Наиболее важный момент - избирательная приуроченность оруденения в региональном плане к межкупольным миогеоклинальным прогибам (преимущественно к их центральным наиболее опущенным частям), осадочные породы в пределах которых содержат интенсивно дислоцированные и метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации линзовидные пачки углеродистых алевросланцев с рассеянной золотоносной осадочно-гидротермальной минерализацией колчеданного типа.

## Глава 8

### КРИТЕРИИ ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ СУХОЛОЖСКОГО ТИПА

Главное, что требуется при поисках и прогнозировании золоторудных месторождений сухоложского типа, - это отказ от традиционных представлений от обязательной связи оруденения с гранитоидным интрузивным магматизмом и признание избирательной приуроченности его к строго определенным литофациальным комплексам - углеродистым тонкозернистым алевросланцевым пачкам, содержащим осадочно-диагенетические и осадочно-гидротермальные золотоносные сульфиды. При этом установить исходные содержания золота в осадочных отложениях не представляется возможным ввиду их повышенного рассланцевания и значительной метаморфизованности. Скорее всего они были относительно невысокими, но явно повышенными - на уровне  $4,5 - 8,5 \text{ г/т}$  и равномерно распределенными.

Наиболее близкими аналогами Сухому Логу являются: Майское - в Магаданской области и Маломырское в Амурской области России, Бакырчик - в Казахстане, Бобриковское - на Украине, Кумтор - в Киргизии, Школьное, Даугыз и др. - в Западном Узбекистане, голец Высочайший, Вернинское - в Ленском золотоносном районе. Из зарубежных наиболее близки - Хомстейк в США, Морру-Велью и Рапосос в Бразилии. Во многом сходны по генезису, но отличаются по литофациальным особенностям вмещающих пород и, как следствие, минеральному составу руд - месторождения Олимпиадинское в Енисейском Кряже и Карлин в США.

Исходя из рассмотренных особенностей геологического строения Ленского золотоносного района, непосредственно самого месторождения Сухой Лог, а также учитывая опыт изучения других аналогичных месторождений в черносланцевых толщах, можно выделить следующие основные критерии прогноза и оценки месторождений сухоложского типа.

Регионально-тектонические критерии. В региональном плане оруденение сухоложского типа приурочивается к

крупным перикратонным, реже - к внутрикратонным прогибам трогового типа, представленным синклинорными, грабен-синклинорными и узкими шовными структурами, выполненными мощными осадочными либо вулканогенно-осадочными углеродсодержащими толщами, т. е. к опущенным относительно прилегающих платформенных структур блокам растяжения земной коры, ограниченным глубинными разломами. Положение этих трогового типа прогибов контролируется глубинными разломами, глубоко вдающимися в раздробленное основание древних платформ или щитов, т. е. заложены на уже сформировавшейся протокоре.

В раннем докембрии такие структуры проявляются в виде типичных «зеленокаменных» трогов и поясов, выполненными осадочными и вулканогенно-осадочными толщами и окруженными гранитоидными куполами, в более поздние периоды развития земной коры - геосинклинальными (в т. ч. миогеосинклинальными) прогибами шовного типа, в различной мере эродированными и метаморфизованными.

Продуктивность на золото трогов и прогибов находится в прямой зависимости от их размеров, мощности слагающих углеродсодержащих осадочно-терригенных и вулканогенно-осадочных толщ, т.е. от объема этих толщ. Промышленное оруденение может быть как в средних и нижних частях разреза, отвечающих эвгеосинклинальному режиму развития прогибов, так и в верхних, отвечающих миогеосинклинальному характеру разреза толщ. Наиболее широко распространены осадочные углеродистые отложения в верхней части разреза. В соответствии с этим здесь наиболее часто отмечается оруденение суходожского типа. Однако оно может быть развито и в нижней - эвгеосинклинальной части разреза. Прежние представления об избирательной приуроченности его только к терригенно-углеродистым толщам миогеосинклинального типа или, наоборот, только к «зеленокаменным поясам», неправомерны.

Непосредственно в пределах трогов и прогибов, содержащих углеродистые толщи, золотоносные толщи, золотоносные районы и узлы приурочены к наиболее прогнутым частям - дополнительным конседиментационным прогибам, осложняющим основные, в их пределах - к местам изгибов, пересечений и сопряжений глубинных зон повышенной проницаемости, оказавших большое влияние как на палеотектонический и геохимический режимы осадконакопления и синхронного вулканизма, так и на последующие пликативные деформации, метаморфизм и рудообразование.

Эти глубинные зоны разрывов в большинстве случаев хорошо фиксируются только в фундаменте складчатого основания. Непосредственно в верхнем рудовмещающем ярусе они выступают как «скрытые» секущие зоны повышенной проницаемости.

Неблагоприятны для развития оруденения суходожского типа поднятые сиалические блоки земной коры, жесткие неактивизированные структуры платформенного типа.

Узлы сопряжения таких зон разрывов проявляются местами резкого усиления складчатости и усложнением складчатых структур, наличием флексуобразных изгибов (в плане и продольных разрезах), купольных и куполообразных сложно построенных антиклиналей, повышенным развитием в ряде случаев вулканогенных образований - пеплов и туфогенного материала, лавобрекчий и пр.

Метаморфические критерии. Оруденение локализуется в зоне развития зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, редко - в породах цеолитовой фации метаморфизма или претерпевших только катагенез. Наложенный контактовый метаморфизм может достигать более высокотемпературных фаций. По своим особенностям региональный метаморфизм зональный, дистенсиллиманитового типа, контролируется глубинными разломами. Различнофациальные метаморфические образования слагают регионально протяженные зонально построенные метаморфические пояса, центральные «осевые» части которых (амфиболитовая фация) содержат гнейсовые и (или) гранитогнейсовые купола, в различной мере эродированные.

Там, где эрозионный срез сравнительно глубокий и вскрыты ядерные части метаморфических поясов и куполов, оруденение локализуется в экзо- и эндоконтактных частях куполов и метаморфических поясов. При слабом эрозионном срезе метаморфических поясов и куполов оруденение локализуется в тех участках, где на глубине можно ожидать наличие гнейсовых куполов или термоантиклиналей.

Благоприятные глубины залегания кровли зоны гранитизации (часто интерпретируемой как «граниты») и кристаллических сланцев зависят от типа минерализации. Кварцево-жильное золотое оруденение располагается преимущественно на более верхних горизонтах по сравнению с золотосульфидным прожилково-вкрапленным. Вертикальный размах между основными уровнями концентрации золотоносных жил и золотосульфидной минерализации обычно незна-

чительный (10-50 м), но может быть и весьма существенным, достигая 2 км и более. Преимущественно он измеряется десятками-сотнями метров.

Глубины залегания кровли кристаллических сланцев для кварцево-жильного оруденения составляют 2-4,5 км, для прожилково-вкрапленного - 0,5-1,5 км.

Литологические критерии. Благоприятны для формирования промышленного оруденения тонкозернистые терригенно-углеродистые толщи флишоидного типа, характеризующиеся наличием осадочно-диагенетических и осадочно-гидротермальных магнезиально-железистых карбонатов и пиритов. По характеру геохимической специализации такие углеродистые породы относятся к калиевому типу (Буряк, 1982, 1986а,б). Для них показательны преобладание калия над натрием, пониженное содержание  $\text{SiO}_2$  (на уровне 50-62%) и преобладание магния над кальцием (табл. 12). Магнезиально-железистые карбонаты содержат в своем составе фосфор. Количество  $\text{C}_{\text{орг}}$  может изменяться в значительных пределах - от 0,1 до 5-6% и более, составляя обычно 1,5-3,0%. Отличительные особенности этих углеродистых пород, содержащих золотосульфидное оруденение ± золотоносные кварцевые жилы и содержащих только золотоносные кварцевые жилы, видны из табл. 12. Эта таблица рассчитана нами на основе использования практически всех месторождений золота СССР прожилково-вкрапленного и кварцево-жильного типов, развитых в углеродистых алевролитах и алевросланцах (Буряк, 1987б). Всего использовано 575 анализов.

Как видно, углеродистые алевролиты и алевросланцы, не содержащие прожилково-вкрапленного золотосульфидного оруденения сухоложского типа, в отличие от рудоносных, характеризуются «натриевой специализацией»: в них повышенное содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  (2,1 - 3,5%) и более высокое  $\text{SiO}_2$  (61-80%), преимущественно более низкое содержание магния,  $\text{C}_{\text{орг}}$  и, особенно, серы.

Общие отличительные особенности химического состава углеродистых сланцев, содержащих сухоложское и различные виды золотого оруденения (кварцево-жильное ± золотосульфидное), видны из табл. 13 и при сравнении табл. 12 и 13.

При составлении последней, помимо большого количества авторских анализов, использовались многочисленные данные других геологов, в т. ч. по различным зарубежным регионам. Учитывались анализы горных пород как докембрийского, так и других возра-

Таблица 12

Химический состав (%) углеродсодержащих алевросланцев с золотой минерализацией различных минерально-морфологических типов (средние данные по месторождениям СССР)

Компоненты	Алевросланцы с золотосульфидной минерализацией прожилково-вкрапленного типа*		Алевросланцы с кварцево-жильной и жильно-прожилковой золотокварцевой минерализацией малосульфидной формации	
	R	$\bar{X}$	R	$\bar{X}$
$\text{SiO}_2$	56,30-59,1	57,84	61,5-80,60	67,81
$\text{TiO}_2$	0,84-1,05	0,99	0,6-1,00	0,69
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16,4-18,3	17,35	9,11-17,20	14,31
FeO	4,6-6,1	5,34	1,22-4,69	3,31
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,9-2,5	1,59	0,86-3,20	1,56
MnO	0,06-0,28	0,14	0,01-0,08	0,05
MgO	0,8-3,1	2,22	0,60-3,10	1,76
CaO	0,3-1,4	0,90	0,05-1,70	0,88
$\text{Na}_2\text{O}$	0,3-1,8	0,96	2,16-3,35	2,84
$\text{K}_2\text{O}$	3,0-4,0	3,29	2,10-4,00	2,89
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,11-0,21	0,15	0,10-0,36	0,18
$\text{S}_{\text{общ}}$	0,6-2,90	1,72	0,05-1,53	0,48
$\text{C}_{\text{орг}}$	0,8-5,0	1,71	0,3-3,0	0,68
$\text{CO}_2$		2,66		0,63
$\text{H}_2\text{O}$		3,67		2,47
Количество анализов	302	3,10	273	263
Сумма		100,53		100,54

\* Кварцево-жильная золотоносная минерализация может отмечаться, но является более поздней новообразованной.

Примечание. R - разброс значений.

тов. В общей сложности использовано более 5 тыс. полных химических анализов по 90 регионам СССР и других стран. В отличие от Ф. Кларка и других исследователей, ранее сделавших попытку определить средний состав сланцев без строгого разделения их по содержанию CaO, нами при расчете «стандартного» состава сланцев учитывались пробы с содержанием CaO не выше 3,2%. Как показало построение гистограмм, породы с таким содержанием CaO образуют законченную естественную выборку, охватывающую обычные

Таблица 13

Средний химический состав разновидностей сланцев  
(% массы)

Компоненты	Обычные серые и зеленовато-серые незолотоносные Глинистые, хлорит-серицитовые	Средний глинистый сланец по Ф. Кларку (для сравнения)	Углеродистые, содержащие золотое оруденение	Темно-серые и темные углеродсодержащие незолотоносные
SiO <sub>2</sub>	60,54	58,10	60,22	60,01
TiO <sub>2</sub>	1,33	0,65	0,80	0,94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,01	15,40	16,45	17,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,05	4,02	2,50	3,55
FeO	3,47	2,45	3,96	3,13
MnO	0,10	-	0,09	0,08
MgO	2,34	2,44	2,30	2,35
CaO	1,77	3,11	1,06	1,64
Na <sub>2</sub> O	1,36	1,30	1,93	1,86
K <sub>2</sub> O	3,29	3,24	3,32	3,22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,17	0,17	0,18
H <sub>2</sub> O*	3,81	5,00	2,76	4,07
C <sub>орг.</sub>	0,39	0,8	1,6	0,95
S <sub>общ. (SO<sub>3</sub>)</sub>	0,10	(0,64)	1,3	0,18
CO <sub>2</sub>	1,70	2,63	1,62	0,81
Сумма	100,42	99,95	100,08	99,99
CaO/MgO	0,76	1,3	0,46	0,70
FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,14	0,6	1,60	0,90
Число анализов	3470		573	698

«нормальные» сланцы. При более высоком содержании CaCO<sub>3</sub> в соответствии с существующими классификациями их следует относить к известковистым разновидностям.

Алевросланцы, содержащие золотосульфидное оруденение сухоложского типа, в отличие от «обычных» нерудоносных сланцев, содержат повышенное количество C<sub>орг.</sub> и серы. Главное - в них повышенное значение закисного модуля FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - в среднем 3,36, в то время как в обычных сланцах этот коэффициент равен по данным Ф. Кларка 0,6, по нашим данным - 1,13, в «обычных» незолотоносных углеродистых сланцах - 0,9, в углеродистых, содержащих только кварцево-жильную золотоносную минерализацию, - 2,12 и с различными видами золотоносной минерализации (в среднем) - 1,58, в т. ч. Сухоложского типа - 3,36.

Рудовмещающие пелитовые пачки, представленные флишоидным переслаиванием алевросланцев, филлитов и алевролитов с редкими прослоями песчаников, на флангах месторождений сменяются более грубозернистыми отложениями - алевролитами, песчаниками с подчиненными прослоями сланцев. Характерна постоянная парагенетическая ассоциация рудовмещающих пачек в разрезе с песчаниками и известняками, отображенная на рис. 14.

Содержание C<sub>орг.</sub> в рудовмещающих толщах может изменяться в значительных пределах - от 0,1 до 5-6% и более. Четко выраженной зависимости между содержанием C<sub>орг.</sub> в разрезе и его продуктивностью не обнаружено. Но в пределах зон между содержанием C<sub>орг.</sub> и золотом чаще всего устанавливается прямая корреляционная зависимость. Это указывает на то, что присутствие C<sub>орг.</sub> в породах благоприятно для рудоотложения, но не является решающим и, тем более, единственным фактором.

Возраст толщ, благоприятных для рудообразования, может быть различным - от докембрийского до мезозойского включительно.

**Структурные критерии.** В благоприятных метаморфических зонах золотое оруденение среди продуктивных углеродистых отложений контролируется зонами повышенного рассланцевания и напряженной складчатости сжатия. Наиболее благоприятны те узлы напряженной складчатости, нагнетания и флексурообразных изгибов, которые находятся в местах пересечений и сопряжений глубинных зон повышенной проницаемости. Эти зоны не всегда четко фиксируются, но тем не менее при детальном наблюдении их можно установить.

Весьма благоприятны места изгибов и кручений осевых поверхностей складок.

Устанавливается следующая последовательная смена рудолокализирующих складчатых структур по мере перехода от крупных региональных к более мелким рудоконцентрирующим: 1) крупные прогибы трогового типа; 2) в их пределах - дополнительные осложняющие прогибы, трансформированные обычно в синклинали; 3) в составе последних - крупные сложно построенные синклинали и синклинали погружения; 4) в их составе - осложняющие антиклинальные складки; 5) в составе последних - дополнительные осложняющие более мелкие антиклинали; 6) в пределах последних - периклинальные погружения шарниров складок, изгибы и уча-

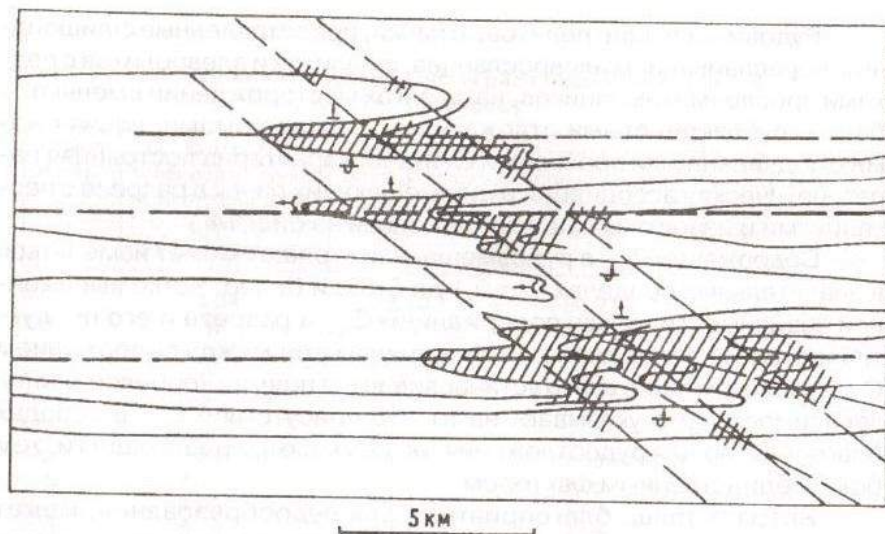


Рис. 28. Избирательная приуроченность золотого оруденения сухоложского типа (штриховка) к местам усложнений складчатых структур и пересечения продольных зон рассланцевания (диагональные линии) Ленский золотоносный район. Кропоткинское рудное поле

стки кручения их осевых поверхностей в местах пересечений продольных и диагональных разрывов. В схематизированном виде эта закономерность отражена на рис. 6, 28.

**Минералогические критерии.** Благоприятно наличие золотоносных осадочно-гидротермальных сульфидов, а также метаморфогенно-гидротермальных сульфидно-кварцевых, кварцево-сульфидных и кварцевых линзовидных выделений и прожилков. Сульфиды могут быть представлены: 1) пиритом; 2) арсенопиритом в парагенетической ассоциации с пиритом; 3) пиритом в ассоциации с пирротинном; 4) арсенопиритом. Другие сульфиды (галенит, сфалерит, халькопирит и пр.) присутствуют, но обычно в крайне незначительных количествах, и по этой причине их использование в качестве критерия весьма затруднительно.

Благоприятно наличие магнезиально-железистых карбонатов анкерит-сидеритового ряда, фторapatита, антраксолита, шеелита, платиноидов - во вмещающих породах и (или) в составе минеральных образований, арсенопирита в виде тонкоигольчатых метакристаллов.

**Гидротермально-метасоматические критерии.** Метасоматиты, сопровождающие золотое оруденение, относятся к гипо-мезоабиссальным фациям метаморфогенной березит-лиственитовой апосланцевой формации. Характерные особенности этих метасоматитов: регионально-площадное распространение вдоль глубинных зон повышенного рассланцевания, неконтрастность, отсутствие пространственной связи с магматическими породами и полями их распространения.

Для самых нижних корневых частей минерализованных зон типоморфно слабопроявленное окварцевание на фоне повышенной сульфидизации и выноса щелочей, для умеренных средних горизонтов - сульфидизация, развитие магнезиально-железистых карбонатов, серицитизация, для самых верхних горизонтов - появление адуляра, интенсивное развитие магнезиально-железистых карбонатов, кальцита.

**Геохимические критерии.** Оруденение формируется в условиях низких градиентов  $P$ ,  $T$  и химического состава рудообразующих растворов. В связи с этим геохимические ореолы, фиксирующие рудные тела, неконтрастные, а содержания золота и, особенно, сопутствующих компонентов ( $Pb$ ,  $Zn$ ,  $Cu$ ,  $Ag$ ,  $Co$ ,  $Sb$ ,  $Hg$  и др.) в них низкие или очень низкие. Содержания последних в пределах рудных тел обычно не более, чем в 5-10 раз превышают кларковые концентрации, типоморфные для вмещающих пород, а во многих случаях вообще не фиксируются как повышенные. Решающее значение имеют данные по содержанию самого золота. Рудоносные породы и, соответственно, геохимические ореолы постепенно переходят в регионально-метаморфизованные нерудоносные.

Первичная геохимическая специализация рудовмещающих пород (породные ассоциации элементов) оказывает решающее влияние на типовой парагенный набор элементов в рудных залежах и боковых средах, а также на зональность в их распределении (при смене состава пород) и на величины содержаний. Очень часто элементы (например,  $Fe$ ,  $Mn$ ,  $P$ ,  $K$ ,  $Ti$ ,  $V$ ,  $U$ ,  $Cu$ ,  $Ni$ ,  $Co$ ,  $Cr$ ,  $Pb$ ,  $Zn$ ), принимаемые за типоморфные для рудных зон, в не меньших количествах содержатся во вмещающих толщах за пределами распространения золотого оруденения. Поэтому использование геохимических ореолов сопутствующих элементов при поисках промышленного золотого оруденения затруднено, а данные по их содержанию следует оценивать как косвенные показатели.

Наиболее информативен (помимо самого золота) мышьяк. Ореолы его, даже незначительно превышающие фоновые, заслуживают самого пристального внимания и проверки. Затем обычно следуют (в порядке уменьшения информативности) серебро, свинец, медь, никель, кобальт, сурьма, висмут - при однотипном составе пород.

Целесообразен и весьма информативен анализ монофракций сульфидов, прежде всего пирита и арсенопирита. Общее валовое содержание золота в них в рудных телах намного выше, чем за их пределами, составляя 1,5 - 20 г/т и выше. Пирит золотоносных тел, кроме золота, характеризуется повышенным содержанием мышьяка. Отношение Ni/Co (по усредненным данным) изменяется в нем от 0,7 - в корневых частях рудных тел, развитых среди алевросланцев, до 1,5-2,6 - в апикальных частях рудных тел среди этих же пород.

В пирротине это отношение изменяется соответственно от 7,2 до 9,7.

При более высоких, как и при более низких, значениях этого коэффициента существенных концентраций золота в месторождениях Ленского района, находящихся среди алевросланцев, не отмечено.

Одновременно в магнезиально-железистых карбонатах и в самих минерализованных зонах увеличиваются величина Ca/Mg и коэффициент щелочности ( $K_2O + Na_2O/Al_2O_3$ ), уменьшается суммарное содержание в минерализованных зонах  $SiO_2$ , несмотря на общее увеличение количества кварцевых жил и прожилков (Буряк, 1982, 1986).

Величина отношения MgO/CaO в породах на удалении 2-3 м и более от золотоносных сульфидных прожилков равна 3-4, а в контакте с прожилками 1,5-2.

Состав изотопов серы сульфидов дает большую информацию (Буряк, 1987а). По мере перехода от флангов рудных тел к их центральным частям происходит постепенное утяжеление серы, а затем (в наиболее обогащенных участках) некоторое облегчение. Одновременно уменьшается разброс значений  $\delta^{34}S$  (см. рис. 26).

**Магматические критерии.** Интрузивные граниты, дайки и штоки основных пород являются пострудными по отношению к основному оруденению. В связи с этим их наличие не является обязательным для развития промышленного оруденения. Оно устанавливается как на участках, характеризующихся наличием гранитоидных интрузий (Сухой Лог), так и при их отсутствии (голец Высочайший, Верный).

Интенсивное развитие гранитоидного магматизма следует рассматривать как отрицательный фактор, поскольку оно может привести к полному уничтожению рудных тел.

**Геофизические критерии.** На региональных аэромагнитных картах черносланцевые рудовмещающие толщи обычно выражаются слабыми отрицательными аномалиями, поскольку в них нет ферромагнитных минералов - магнетита и пирротина, либо они встречаются, но в незначительных количествах в результате замещения при метаморфогенных метасоматических процессах.

На региональных гравиметрических картах области развития оруденения характеризуются относительно пониженными значениями гравитационного поля ввиду развития гнейсовых и гранитоидных куполов и поясов разуплотнения. При этом проявляется приуроченность оруденения к периферийным частям таких зон разуплотнения, что выражается в тяготении рудных узлов и месторождений к зонам повышенных градиентов силы тяжести.

На среднемасштабных магнитометрических картах рудовмещающие черносланцевые толщи характеризуются относительно спокойным знакопеременным полем, в пределах которого рудоносные зоны фиксируются слабоотрицательными значениями.

Электроразведочными методами золотоносные зоны, рудоконтролирующие их разрывы и рудовмещающие пачки углеродистых алевросланцев отчетливо фиксируются аномалиями повышенной проводимости. Целесообразно применение различных методов, в т. ч. аэро- и наземных, магнитометрических и электроразведочных.

**Экзогенные критерии.** Золотое оруденение в случае выхода на эрозионную поверхность постоянно фиксируется шлиховыми и вторичными геохимическими ореолами, а при относительно пологом рельефе и наличии кор выветривания - богатыми золотоносными россыпями. Россыпи установлены во всех районах распространения коренных месторождений. Наиболее благоприятны для их формирования зоны сближенных кварцевых жил и прожилков. Это основная россыпеобразующая формация. Зоны золотосульфидной вкрапленности также относятся к россыпеобразующей формации, но в связи с ними образуются более бедные россыпи ввиду преимущественно более мелких размеров золотин.

Зоны золотосульфидной вкрапленности фиксируются также слабопроявленными «железными шляпами» и ореолами повышенного содержания гидроксидов железа в водных потоках и отложе-



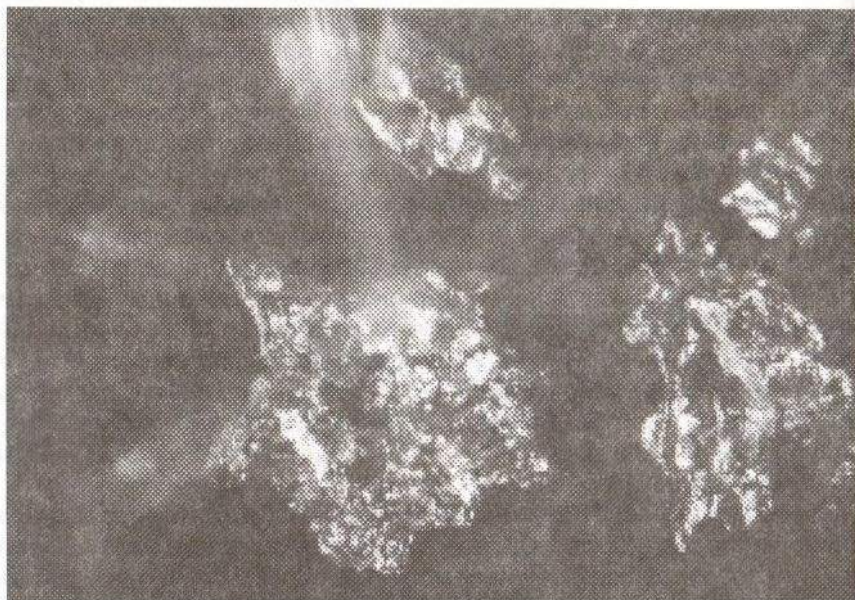


Рис. 29. Самородное золото месторождения Сухой Лог  
Фото. Увелич. x 90

ниях, а также слабокислой реакцией подземных вод. В местах выходов подземных источников фиксируются яркоокрашенные бурые и желто-бурые потеки, охры, скопления лимонита и гидрогетита.

Размеры и форма выделений самородного золота в шлиховых ореолах и первичных рудах сухоложского типа в решающей мере зависят от степени метаморфизма вмещающих пород. Рудные тела типа Майского месторождения в Магаданской области России и Бакырчик в Казахстане, находящиеся в осадках, испытавших только катагенез, содержат тонкодисперсное или очень мелкое золото. Месторождения типа гольца Высочайшего, заключенные в породах биотит-хлоритовой зоны метаморфизма, содержат свободное значительно более крупное золото - от десятых-сотых долей миллиметра до 0,2-0,5 см и более. В рудах Сухого Лога и связанных с ними шлиховых ореолах самородное золото в виде эффектных кристаллических образований, размером сотые-десятые доли миллиметра, наблюдается часто (рис. 29). Шлиховое опробование бортов канав и копушей в связи с этим позволяет достаточно четко выделять зо-



Рис. 30. Характер выраженности слабоэродированного золотосульфидного оруденения сухоложского типа в шлиховых ореолах. Месторождение Сухой Лог. Промышленное оруденение не выходит на поверхность.

1 - слабозолотоносные кварцевые жилы; 2 - алеволиты, лишенные оруденения; 3 - слабоминерализованные алевросланцы.

Изолинии содержаний золота проведены по количеству знаков золота в  $1 \text{ м}^3$  элювиально-делювиальных отложений

лотоносные интервалы среди сульфидизированных сланцев (рис. 30, 31). При этом шлиховым опробованием хорошо выделяются как сами минерализованные зоны, так и составляющие их отдельные обогащенные «струи» и золотосодержащие кварцевые жилы.

За счет гравитационной просадки золотин и химического выветривания содержания золота по данным опробования бортов канав в трещиноватых окисленных и слабоокисленных рудах, как правило, в 2-4,5 раза выше, чем в первичных рудах.

В связи с этим шлиховое опробование позволяет выделять не только участки минерализованных пород с промышленными содержаниями золота (на уровне 1,5-5 г/т и выше), но и с более низкими - 0,1-0,2 г/т. То есть шлиховое опробование из копушей и особенно бортов поверхностных горных выработок (канав, шурфов, траншей), при качественном его выполнении дает возможность не пропустить не только рудные тела, но и сопутствующую слабозолотоносные ореолы. Оно легко осуществимо и является единственным высокоэффективным и экспрессным полевым методом, как в этом неоднократно убеждались авторы, поскольку золото наблюдается сразу же при промывке шлихов либо при последующем их простейшем минералогическом анализе.

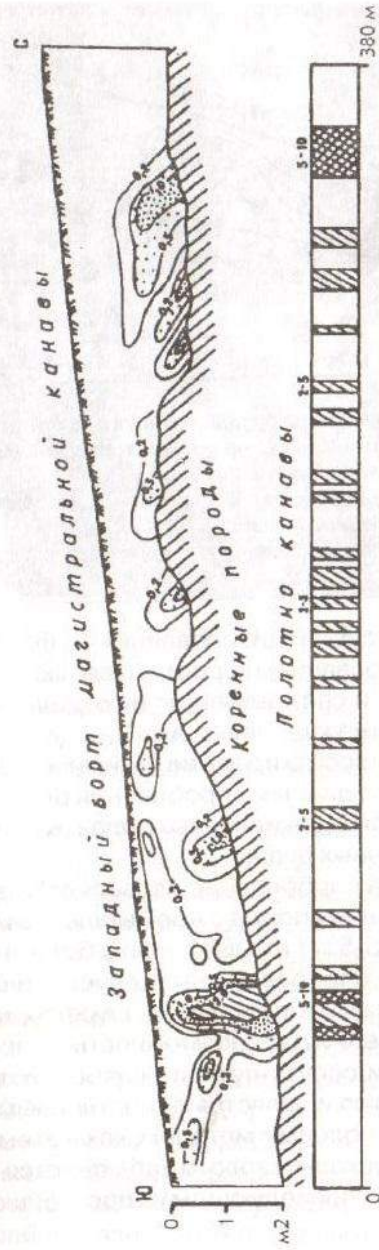


Рис. 31. Характер выраженности золотосульфидного оруденения сухоложского типа в шлиховых ореолах при умеренном и глубоком эрозионном срезе рудных тел. Месторождение голец Высочайший

По полотну канавы приведены содержания золота (г/т) в коренных породах (пробирный анализ) по результатам непрерывного секционного бороздового опробования, в борту - (г/м<sup>3</sup>) по результатам шлихового секционного опробования вертикальными бороздами, отстоящими друг от друга на 10 м

Кроме того, шлиховое опробование позволяет резко сокращать количество бороздовых проб при опробовании поверхностных горных выработок и, как следствие, - количество пробирных анализов. Однако, к сожалению, этот «стародедовский» метод на практике зачастую не проводится, что существенно удлиняет сроки получения объективных данных по золотоносности изучаемых объектов и приводит к излишним затратам.

При изучении зон золотосульфидной вкрапленности, развитых в биотит-хлоритовой зоне метаморфизма, т.е. испытавших повышенный метаморфизм, эффективен минералогический анализ проб - протолок, в т. ч. керновых проб. Золотоносные интервалы минерализованных зон в этом случае фиксируются наличием существенных количеств самородного золота (вплоть до весовых концентраций). Используются для этих целей сокращенные дубликаты издробленных и истертых проб, из которых проводится отбор навесок на пробирный анализ.

Для рудных тел, залегающих в более слабоморфизованных породах, минералогический анализ проб-протолок непосредственно на золото малоэффективен, но может позволить выделять продуктивные минеральные ассоциации. Прежде всего он эффективен при выделении тонкоигольчатого арсенопирита - обычно высокозолотоносного и тесно ассоциирующего с золотом.

Содержания золота в зонах золотосульфидной вкрапленности, позволяющие их рентабельно обрабатывать, зависят от географо-экономических условий местонахождения зон и предполагаемого способа извлечения золота, что, в свою очередь, определяется крупностью выделений и характером связи золота с сульфидами.

На месторождениях, в которых золото в подавляющем большинстве свободное и может извлекаться по гравитационно-флотационным схемам, достаточны содержания на уровне 2,5-3,0 г/т. При извлечении золота методами выщелачивания достаточны более низкие содержания - на уровне 1,5-2,5 г/т.

В целом, как следует из вышеизложенного, целесообразна следующая последовательность работ при оценке той или иной территории на сухоложский тип золотого оруденения.

#### 1. Общий региональный металлогенический анализ:

а) выделение протяженных трогового типа внутрикратонных, перикратонных и межкратонных прогибов, представленных в современном виде преимущественно линейно вытянутыми (вдоль глу-

бинных разломов) синклиориями и сложенными осадочными и (или) вулканогенно-осадочными породами;

б) литофациальный анализ пород, слагающих такие синклиории, - выделение среди них достаточно мощных углеродистых пачек алевропелитового состава калиевого типа, ассоциирующих в разрезе с известняками и кварцевыми песчаниками, т. е. с контрастными по химическому составу породами;

в) разбраковка углеродистых алевропелитовых пачек калиевой геохимической специализации - выделение (поиски) среди них сульфидоносных фаций, содержащих магнезиально-железистые карбонаты анкерит-сидеритового ряда, т. е. сформированных в резковостановительных условиях при высоком потенциале серы.

2. Структурно-тектонический и геофизический анализ площадей распространения этих благоприятных по фациальным условиям и составу осадочных образований:

а) выделение крупных линейных синклиорного типа складчатых структур первого порядка (прежде всего межкупольных), в их составе - выделение дополнительных осложняющих прогибов - синклинальных структур второго порядка, контролируемых продольными межблоковыми и внутриблоковыми разломами, в составе прогибов - линейных протяженных антиклиналей третьего порядка, в составе антиклиналей - мест резкого усложнения и периклинальных погружений складчатых структур;

б) разбраковка участков напряженной линейной складчатости, выделение среди них первоочередных для дополнительного изучения и опоискования - мест пересечений продольных хорошо выраженных зон рассланцевания с диагональными плохо выраженными и представленными «скрытыми» глубинными зонами разрывов.

3. Минералогический и геохимический анализ участков россыпной золотоносности: дополнительное использование для целей разбраковки и оценки мест напряженной линейной складчатости (в качестве положительных данных), наличия золотоносных россыпей, геохимических (первичных и вторичных) ореолов золота, мышьяка, в меньшей мере меди, свинца, сурьмы, цинка, никеля, кобальта, платиноидов и других возможных парагенных спутников золота.

4. Постановка ревизионно-оценочных и (или) поисковых работ на выделившихся в итоге наиболее перспективных участках, в т. ч.:

а) генетическая разбраковка сульфидов (по возможности), целеустремленный поиск осадочно-гидротермальных разностей;

б) опробование на золото и сопутствующие элементы (прежде всего на никель, кобальт, мышьяк, платиноиды) монофракций различных разновидностей сульфидов - пирита и арсенопирита в первую очередь;

в) площадное шлиховое опробование склонов и водоразделов с использованием копушей и шурфов;

г) маршрутное исхаживание с целью картирования и выделения минерализованных зон;

д) проходка магистральных канав и (или) линий шурфов вкрест ожидаемого простирания минерализованных зон и отдельных рудных тел;

е) проходка скважин колонкового бурения по структурно-поисковым профилям - при повышенной мощности рыхлых отложений, не позволяющих производить оценку площадей поверхностными горными выработками, а также при наличии данных, указывающих на возможность обнаружения не выходящего на поверхность оруденения.

5. **Постановка поисково-оценочных работ** - при получении положительных результатов. Решающее значение при их проведении целесообразно отдавать проходке скважин колонкового бурения, поскольку как показывает опыт работ, накопленный на Сухом Логе, гольце Высочайшем, Мурунтау и других подобных золоторудных объектах, данные опробования керна и бороздвое опробование подземных горных выработок дают одинаковые значения (при надлежащем выходе керна, что нетрудно обеспечить). Так, на Сухом Логе, содержания золота, вычисленные для одних и тех же участков по данным кернового и бороздвоего опробования, оказались практически одинаковыми, т. е. их отношение составило 1:1.

Обусловлено это мелкими размерами выделений золота и относительно равномерным его распределением. Проходка подземных горных выработок оправдана лишь в случае необходимости отбора крупных валовых проб для выработки наиболее рациональных схем извлечения золота.

6. При получении положительных результатов поисково-оценочных работ (что определяется по данным технологических исследований и параметрам рудных тел) планируются и осуществляются разведочные работы, призванные обеспечить получение запасов промышленных категорий -  $C_1 + C_2$ .

Подготовка запасов более детальных категорий не является необходимой, хотя и может предусматриваться.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**З**олоторудное месторождение Сухой Лог имеет относительно простое геологическое строение: пластообразная залежь бедных прожилково-вкрапленных золотосульфидных руд осадочно-диагенетического и осадочно-гидротермального генезиса, испытавших дислокационный и региональный метаморфизм зеленосланцевой фации.

За счет этих процессов метаморфизма, развившихся в условиях интенсивно проявленных субгоризонтально ориентированных стрессовых деформаций, произошло существенное усложнение формы рудного тела, развились явления регенерации и перераспределения сульфидов и золота вдоль прослойно-кливажных и позднескладчатых зон рассланцевания и приядерных частей антиклиналей высоких порядков - как мест относительно пониженных давлений. Одновременно при важной роли метаморфогенных гидротерм произошла кристаллизация кварца с образованием метаморфогенно-гидротермальных кварцево-сульфидных, сульфидно-кварцевых прожилков, линз, линзовидных выделений и кварцевых жил. Дополнительно эти преобразования усилились контактовым метаморфизмом.

В связи с этим руды Сухого Лога можно рассматривать как «обычные» золотосодержащие колчеданного типа, испытавшие существенный метаморфизм. Вместе с тем они и существенно отличаются от типичных колчеданных месторождений:

- ♦ характерны не для эвгеосинклинальных, а для миогеосинклинальных зон геосинклиналей (со слабо проявленными вулканогенными процессами) и для верхних частей эвгеосинклиналей;
- ♦ имеют, как правило, низкие содержания сульфидов - 3-5, редко до 7-10%;
- ♦ содержат в повышенных количествах элементы платиновой группы;
- ♦ развиты в породах строго определенного химического состава и палеофациальных условий - среди углеродистых тонкозер-

нистых алевросланцев калиевого типа, ассоциирующих в разрезе с известняками, песчаниками и алевролитами и содержащих фосфорносные магнезиально-железистые карбонаты анкерит-сидеритового ряда, а также осадочные и осадочно-гидротермальные золотосные сульфиды простого - пиритового или пирит-арсенипиритового состава.

Накопление рудовмещающих тонкозернистых углеродистых отложений происходило в локальных палеопрогибах, осложняющих более крупные синклиновые трогового типа и контролируемых разломами - проводниками конседиментационных глубинных флюидов и гидротерм, привносящих железо, золото, серу, мышьяк и элементы платиновой группы.

Кристаллизация сульфидов и золота первоначально происходила непосредственно при накоплении осадков и их литификации в субмаринных условиях режима неокисленных хлоридных вод в резковосстановительных условиях, т. е. при большом дефиците кислорода. В связи с этим кварц в ассоциации с сульфидами в этот этап минералообразования не отлагается. Золото выпадало в тонкодисперсной форме: 1) в основном захватывалось сульфидами при их кристаллизации (за счет проявления электрохимических факторов), 2) частично отлагалось в самих вмещающих осадках (за счет повышенной сорбционной способности глинистых минералов и особенно  $C_{орг.}$ ). Кластогенное золото в общем обогащении осадков играло подчиненную роль.

Заложение прогибов, контролирующих накопление углеродистых золотосных толщ и их развитие, происходило синхронно и в тесной генетической связи с формированием гранитогнейсовых куполов и поясов, окружающих прогибы. Золотосные прогибы, гранитогнейсовые купола и пояса - это парагенные взаимообусловленные образования.

Процессы регионального высокотемпературного метаморфизма и гранитизации, завершившие формирование гранитогнейсовых куполов, и обусловившие современное положение изоград метаморфизма, привели к интенсивным метаморфогенным преобразованиям осадочных толщ по периферии прогибов и к метаморфизму зеленосланцевой фации - непосредственно в пределах центральных рудоносных частей прогибов.

Эти процессы регионального метаморфизма, усиленные дислокационным метаморфизмом, сыграли положительную роль в

рудообразовании: привели к укрупнению золота в итоге собирательной перекристаллизации и частичному его перераспределению с образований обогащенных «струй» и гнезд, приуроченных к зонам рассланцевания и ядерным частям микроскладок.

Помимо регионального и дислокационного метаморфизма исходные сульфидизированные алевросланцы сухоложского месторождения испытали и более поздний контактовый метаморфизм за счет интрузии Константиновских гранитов. В итоге этих процессов произошли дополнительное перераспределение и регенерация сульфидов и золота. В связи с этим Сухой Лог можно рассматривать как метаморфогенно-плутогенное месторождение.

Однако в связи с тем, что процессы контактового метаморфизма не оказали решающего влияния на рудообразование, генезис месторождения правильнее будет именовать метаморфогенно-гидротермальным. Определяющими явились факторы первичного осадконакопления с участием эндогенных гидротерм и последующего регионального и сопряженного дислокационного метаморфизма.

В генетическом отношении Сухой Лог можно рассматривать как аналог позднеархейских золоторудных месторождений гранито-зеленокаменных поясов в позднепротерозойских миогеосинклинальных прогибах. Как и типичные золоторудные месторождения в гранито-зеленокаменных поясах, оруденение сухоложского типа имеет метаморфогенно-гидротермальный генезис и сформировалось в тесной генетической связи с заложением и развитием окружающих рудовмещающие прогибы гранитогнейсовых куполов и поясов. Отличие, по существу, заключается лишь в составе рудовмещающих пород и видимой роли вулканических процессов: в зеленокаменных поясах они контрастно проявлены и вулканогенные породы резко преобладают, при формировании руд сухоложского типа рудовмещающие породы имеют осадочную природу, а вулканогенные проявления и процессы имеют «скрытый» характер.

## ЛИТЕРАТУРА

- Буряк В.А. Предварительные данные изучения золоторудной минерализации сульфидного типа в Ленском золотоносном районе (на примере гольца Высочайшего)// *Материалы по геол. и полезн. ископаемым Вост. Сибири.* Иркутск, 1959. Вып. 5(26).
- Буряк В.А. Влияние процессов регионального метаморфизма на развитие золотосульфидной минерализации в центральной части Ленского золотоносного района // *Материалы конференции молодых научных сотрудников/ СО АН СССР. Ин-т земной коры.* Иркутск, 1963а. С. 13-15.
- Буряк В.А. О взаимоотношении кварцевых жил и прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации гольца Высочайшего// *Тр. ВСГИ СО АН СССР.* Иркутск, 1963б. Вып. 13.
- Буряк В.А. О влиянии процессов регионального метаморфизма на развитие золотосульфидной минерализации в центральной части Ленского золотоносного района// *Физ.-хим. условия магматизма и метасоматоза: Тр. III Всесоюз. петрогр. совещ. М., 1964.* С. 184-189.
- Буряк В.А. Зависимость оруденения древних (докембрийских) формаций от региональной метаморфической зональности (Витимо-Патомское нагорье)// *Докл. АН СССР.* 1965. Т. 163, № 2. С. 435-438.
- Буряк В.А. О генезисе сульфидной минерализации Ленского золотоносного района// *Геол. и геофизика.* 1967. № 1. С. 113-118.
- Буряк В.А. Метаморфогенно-гидротермальный тип промышленного золотого оруденения. Новосибирск: Наука, 1975. 46 с.
- Буряк В.А. Роль вулканоогенно-осадочного и гидротермально-осадочного минералообразования в формировании золотого оруденения черносланцевых толщ// *Докл. АН СССР.* 1976. Т. 226, № 4. С. 907-910.
- Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. М.: Недра, 1982. 256 с.
- Буряк В.А. Метаморфогенно-плутогенный тип золоторудных месторождений// *Докл. АН СССР.* 1983. Т. 270, № 4. С. 934-937.
- Буряк В.А. Источники золота и сопутствующих компонентов золоторудных месторождений в углеродсодержащих толщах// *Геол. рудн. месторожд.* 1986а. № 6. С. 31-43.
- Буряк В.А. Роль гранитогнейсовых куполов в размещении метаморфогенных месторождений// *Закономерности размещения и поисковые критерии метаморфогенных месторождений.* Киев: Наук. думка, 1986б. С. 69-86.
- Буряк В.А. Пространственно-временная эволюция состава изотопов серы золоторудных месторождений среди углеродистых толщ// *Докл. АН СССР.* 1987а. Т. 295, № 1. С. 160-164.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

- Буряк В.А. Формирование золотого оруденения в углеродистых толщах//Изв. АН СССР. Сер. геол. 1987б. № 12. С. 94-105.
- Буряк В.А., Лобанов М.П., Хренов П.М. Роль глубинных разломов в размещении фаций метаморфизма и эндогенного докембрийского оруденения в складчатом обрамлении юга Сибирской платформы//Докл. АН СССР. 1966. Т. 168, № 2. С. 404-406.
- Буряк В.А., Лобанов М.П., Хренов П.М. К проблеме метаморфогенного рудообразования// Сов. геология. 1967. № 5. С. 11-24.
- Буряк В.А., Львова Н.А. О генезисе магнезиально-железистых карбонатов Ленского золотоносного района// Эндогенное оруденение Прибайкалья. М.: Наука, 1969. С. 46-62.
- Буряк В.А., Попов Н.П. Типы гипогенной зональности оруденения в докембрийских золотоносных провинциях//Изв. Томск. политех. ин-та. 1968. Т. 134. С. 45-54.
- Коновалов И.В. Условия образования золоторудной метаморфогенно-гидротермальной минерализации. Восточная Сибирь. Новосибирск: Наука, 1985. 96 с.
- Ленский золотоносный район. М., 1971. 163 с. Тр. ЦНИГРИ; вып. 85.
- Паталаха Е.И. Результаты тектонофизических исследований зон динамометаморфизма// Изв. АН Каз.ССР. Сер. геол. 1968. № 4. С. 52-57.
- Попов Н.П., Антонов С.Г., Черепанов В.К., Иньшин Е.Д. Некоторые структурные особенности одного из золоторудных месторождений Ленского района// Межвуз. сб. / Мин-во высш. и сред. спец. образования РСФСР. Иркутск, 1974. Вып. 2. С. 96-101.
- Салоп Л.И. Геология Байкальской горной области. М.: Недра, 1964. Т. 1.
- Салоп Л.И. Геология Байкальской горной области. М.: Недра, 1967. Т. 2.
- Шевелев В.В., Попов Н.П., Федченко С.Д., Эпов Е.А. Особенности разведки большеобъемных месторождений золота в черносланцевых толщах// Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых: (Межвуз. сб.). Иркутск: Иркут. политех. ин-т, 1980. С. 157-168.
- Шер С.Д., Кондратенко А.К. Метаморфические преобразования пород южной части Ленского золотоносного района// Тр. ЦНИГРИ. 1962. Вып. 48.

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	7
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУХОЙ ЛОГ .....	10
ГЛАВА 2. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА МЕСТОРОЖДЕНИЯ .....	25
Геотектоническое положение и золотоносность .....	25
Метаморфическая зональность и оруденение .....	38
Региональные особенности минерализации Ленского золотоносного района .....	46
Первичные кларковые содержания золота в породах рудовмещающего разреза .....	49
Гидротермально-метасоматические преобразования рудовмещающих пород .....	52
Основные факторы, обусловившие высокую продуктивность Ленского золотоносного района .....	55
ГЛАВА 3. ОБЩЕГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУХОЙ ЛОГ .....	58
Геолого-тектоническая позиция месторождения .....	58
Вмещающие породы, литолого-стратиграфический контроль в размещении оруденения .....	62
Метаморфические преобразования вмещающих пород .....	72
Гидротермально-метасоматические изменения .....	75
Структура месторождения .....	79
ГЛАВА 4. МОРФОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУДНЫХ ТЕЛ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ .....	87
Морфология рудных тел .....	87
Минеральный и химический состав руд .....	88
Морфология сульфидных и кварцево-сульфидных образований .....	94
Последовательность и основные этапы минералообразования .....	97
Взаимоотношение золотосульфидной и кварцево-жильной минерализаций .....	102
ГЛАВА 5. ЗОЛОТОНОСНОСТЬ .....	105
Распределение золота .....	105
Характер и форма выделений самородного золота .....	111
Пробность золота .....	112
ГЛАВА 6. ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРУДЕНЕНИЯ .....	115
ГЛАВА 7. ГЕНЕЗИС ОРУДЕНЕНИЯ .....	122
ГЛАВА 8. КРИТЕРИИ ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ СУХОЛОЖСКОГО ТИПА .....	133
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	150
ЛИТЕРАТУРА .....	153

## CONTENTS

Preface .....	5
Introduction .....	7
Chapter 1. Sukhoy Log deposit - discovering history .....	10
Chapter 2. Brief geological characteristics of deposit's area .....	25
Geotectonic position-and gold ore bearing .....	25
Metamorphic zonation and ore deposition .....	38
Regional peculiarities of mineralization in Lena gold-field .....	46
Primary clark gold content in deposit rocks .....	49
Hydrothermal-metasomatic transformations of ore-containing rocks .....	52
Main factors causing high productivity of Lena gold-field .....	55
Chapter 3. General geological characteristics of the deposit Sukhoy Log .....	58
Geological and tectonic position of the deposit .....	58
Containing rocks, lithologic-stratigraphic control over gold ore distribution ..	62
Metamorphic transformations of containing rocks .....	72
Hydrothermal-metasomatic changes .....	75
The deposit's structure .....	79
Chapter 4. Morphology and mineral composition of ore bodies, sequence of mineral formation .....	87
Morphology of ore bodies .....	87
Mineral and chemical ore composition .....	88
Morphology of sulphide and quartz-sulphide formations .....	94
Sequence and main stages of mineral formation .....	97
Arrangement of gold-sulphide and quartz mineralization .....	102
Chapter 5. Gold-bearing ability .....	105
Distribution of gold .....	105
Genetic type and form of gold ore particles .....	111
Gold carats (standard) .....	112
Chapter 6. Ore deposition zonation .....	115
Chapter 7. Ore deposition genesis .....	122
Chapter 8. Criteria for prospecting and appreciation of Sukhoy Log type .....	133
Conclusion .....	150
Bibliography .....	153

**Владимир Афанасьевич БУРЯК**  
**Нелли Максимовна ХМЕЛЕВСКАЯ**

**СУХОЙ ЛОГ – ОДНО ИЗ КРУПНЕЙШИХ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИРА**  
**(генезис, закономерности размещения оруденения,  
критерии прогнозирования)**

Научное издание

Редактор *О. В. Глазунова*  
Художник *Г. П. Писарева*  
Техн. редактор *Г. Н. Игнатьева*  
Редактор электронного набора *Е. Ю. Бородина*  
Редактор электронной верстки *Т. Ф. Макарова*  
Корректор *Ю. А. Симакова*

Изд. лиц. ЛР № 040118 от 15.10.96 г. Подписано к печати 21.11.97 г.  
Формат 60x84/16. Гарнитура "Прагматика". Печать офсетная.  
Усл. п. л. 9,75. Уч.-изд. л. 8,98.  
Тираж 300 экз. Заказ 194

Отпечатано в типографии издательства "Дальнаука" ДВО РАН  
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7