

# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



1/1995



# ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА И РАЗВИТИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ

**РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ОБЗОР** — заключительная монография в серии «Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых», работа над которой была начата в 1972 году по инициативе выдающихся ученых страны.

В приложении (отдельный том) дан перечень геологических организаций и персоналии (первооткрыватели месторождений, почетные разведчики недр, геологи-лауреаты различных премий).

В составлении и подготовке работы участвовало свыше 100 ученых и организаторов геологоразведочного производства.

Работа объемом свыше 115 п. л. содержит обширный справочный и графический материал. Она рассчитана на широкий круг отечественных и зарубежных геологов, геофизиков, горных инженеров, научных работников, преподавателей и предпринимателей.

Геологическая служба рассматривается как специфическая система организаций, выявляющих природные ресурсы и создающих минерально-сырьевую базу экономики и прогресса. Охарактеризованы принципы и описаны системы построения и организационного обеспечения основных направлений и видов деятельности геологической службы:

- региональные геологические исследования и геокартирование
- исследования недр сверхглубокими скважинами и геотраверсами
- геология Мирового океана
- геофизические исследования и оценка сейсмической опасности
- гидрогеологические и инженерно-геологические работы
- геохимия и геоэкология
- металлогения, минерагения, прогноз нефтегазоносности и рудоносности

- научно-методическое и научно-техническое обеспечение
- системы управления развитием минерально-сырьевой базы и учета геологического изучения недр, ресурсов и запасов

**Состояние и развитие минерально-сырьевой базы** рассмотрено по 60 видам минерального сырья и включает:

- ретроспективный анализ стратегии геологоразведочных работ и их итогов за последние 15—20 лет
- распределение ресурсов и запасов по регионам
- тем
- зы
- ми
- оце
- нер
- ми
- род

Монография издана ограниченным тиражом и ре 50 000 руб., индивидуальным заказчикам по цене

Заявки принимаются по адресу: 113545, Москва, ЦНИГРИ, тел. 315-43-47, факс (095)315-2701.

Расчетный счет 208620 в Коммерческом Интер 201508.

1. Сальников  
2. Дубар  
3. Сальников



# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



1/1995

Научно-технический журнал

Выходит 6 раз в год

Основан в 1992 году

ISSN 0869-5997

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И. Ф. МИГАЧЕВ

Б. И. БЕНЕВОЛЬСКИЙ  
Э. К. БУРЕНКОВ  
В. И. ВАГАНОВ  
В. И. ВОРОБЬЕВ  
П. А. ИГНАТОВ  
С. С. КАЛЬНИЧЕНКО  
М. М. КОНСТАНТИНОВ  
А. И. КРИВЦОВ (зам. главного редактора)  
Н. К. КУРБАНОВ  
В. М. МИНАКОВ  
Н. И. НАЗАРОВА (зам. главного редактора)  
И. В. КРЕЙТЕР (отв. секретарь)  
Г. В. ОСТРОУМОВ  
В. М. ПИТЕРСКИЙ  
В. И. ПЯТНИЦКИЙ  
Г. В. РУЧКИН  
Ю. Г. САФОНОВ  
Г. В. СЕДЕЛЬНИКОВА  
В. И. СТАРОСТИН  
И. А. ЧИЖОВА  
Ю. М. ЩЕПОТЬЕВ

Учредитель

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ  
(ЦНИГРИ)

Издается при участии

Академии минеральных ресурсов,

фонда им. академика В. И. Смирнова

Москва, ЦНИГРИ – 1995

2 ж



# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## Прикладная металлогения

✓ Константинов М. М., Косовец Т. Н.  
Факторы прогноза скрытых золото-  
рудных месторождений

4

✓ Горжевский Д. И.  
Металлогения вторичных эвгеосинк-  
линалей

11

## Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений

Борщевский Ю. А., Игнатов П. А.,  
Ильин О. В., Медведовская Н. И.  
Рудоносные растворы месторожде-  
ний урана и золота наложенных впа-  
дин Северного Казахстана

16

Никаноров Г. С., Сабиров Х. С.  
Метод диффузионного извлечения  
металлов (МДИ) при геохимических  
поисках перекрытых золото-сереб-  
ряных месторождений

23

## Строение рудных месторождений

✓ Чекваидзе В. Б., Кудрявцева Н. Г.,  
Исакович И. З.

30

О рудно-метасоматических ассоциа-  
циях вулканогенных золото-полиме-  
таллических месторождений

Вихтер Б. Я., Хазан К. Е., Дзайнуков  
А. Б., Журавлев Д. З.

36

О Rb-Sr возрасте интрузивных обра-  
зований и золотого оруденения Чо-  
ринского рудного района (Централь-  
ный Таджикистан)

Полякова Т. П., Риндзюнская Н. М.,  
Николаева Л. А.

40

Золото в корях выветривания Урала

## Геолого-экономическая оценка рудных месторождений

Болотов Л. А.

49

Геолого-экономическая оценка ко-  
бальтомарганцевых корок Магелла-  
новых гор Тихого океана

## Applied Metalligeny

Konstantinov M. M., Kosovets T. N.  
Prediction Factors for Hidden Gold Ore  
Deposits

Gorzhevsky D. I.  
Metallogeny of Secondary Eugeosyn-  
clines

## Methods and Methodology of Prediction, Exploration, Evaluation and Prospecting of Mineral Deposits

Borshchevsky Yu. A., Ignatov P. A.,  
Ilyin O. V., Medvedovskaya N. I.  
Ore-bearing Solutions of Uranium and  
Gold Deposits in Superimposed De-  
pressions of Northern Kazakhstan

Nikanorov G. S., Sabirov Kh. S.  
A Diffusion-based Metal Extraction  
Method for Use in Geochemical Ex-  
ploration of Covered Gold-Silver  
Deposits

## Structure of Ore Deposits

Chekvaizde V. B., Kudryavtseva N. G.,  
Isakovich I. Z.

Ore-Metasomatic Associations of Vol-  
canogenic Gold - Base Metals  
Deposits

Vikhter B. Ya., Khazan K. Ye.,  
Dzainukov A. B., Zhuravlev D. Z.

On Rb-Sr Age of Intrusive Formations  
and Gold Ore Mineralization in Chorin-  
ski Ore Region (Central Tadjikistan)

Polyakova T. P., Rindzyunskaya N. M.,  
Nikolayeva L. A.

Gold in Crusts of Weathering of the  
Urals

## Economic Geology Evaluation of Ore Deposits

Bolotov L. A.

Pre-feasibility Evaluation of Cobalt-  
Manganese Crusts of Magellan Moun-  
tains, Pacific Ocean



## Комплексное использование минерального сырья

*Клюева Н. Д.*  
Повышение эффективности процес-  
са цианирования упорных серебро-  
содержащих руд с использованием  
окислителей и комплексообразова-  
телей

58

## Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ

*Хорев В. А.*  
Эффективный буровой инструмент  
для горно-разведочных работ

65

*Бондаренко А. Т., Пыстин А. Б.*  
Петрофизические свойства карбо-  
натных и магматических пород и их  
использование при поисках кимбер-  
литовых трубок

69

## История геологических исследований и оценки месторождений

*Волярович Г. П.*  
120000 тонн золота, добытого чело-  
вечеством. Где они?

77

## Дискуссии

*Сидоров А. А., Томсон И. Н.*  
Рудноформационные ряды и некото-  
рые проблемы крупных и уникальных  
месторождений

84

*Четвериков Л. И.*  
О содержательной основе понятий  
«поиски» и «разведка» месторожде-  
ний полезных ископаемых

98

## Complex Utilization of Mineral Products

*Klyuyeva N. D.*  
Enhancement of Cyanide Process Effi-  
ciency for Treatment of Rebellious  
Argentiferous Ores Using Oxidants and  
Complexing Agents

## Instrumentation and Technology for Geological Prospecting

*Khorev V. A.*  
An Efficient Drilling Tool for Prospec-  
tion Mining

*Bondarenko A. T., Pystin A. B.*  
Petrophysical Properties of Carbonate  
and Igneous Rocks and Their Use in  
Prospecting of Kimberlite Pipes

## History of Geological Re- search and Evaluation of Mineral Deposits

*Volarovich G. P.*  
Where Are Now the 120,000 Tons of  
Gold Produced by the Mankind?

## Discussions

*Sidorov A. A., Tomson I. N.*  
Ore-Formation Series and Some Prob-  
lems of Large and Unique Deposits

*Chetverikov L. I.*  
On the Essential Matter of «Explora-  
tion» and «Prospecting» Notions Ap-  
plied to Mineral Deposits





## ФАКТОРЫ ПРОГНОЗА СКРЫТЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

М. М. КОНСТАНТИНОВ, Т. Н. КОСОВЕЦ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Прогнозирование скрытых золоторудных месторождений осуществляется на основе моделей рудообразующих систем. Последовательно рассмотрены плутоническая рудно-магматическая, вулканогенная, гидротермально-осадочная, метаморфогенная и осадочная рудообразующие системы и следующие из них критерии прогноза скрытых месторождений. Разработаны представления об унаследованных рудных концентратах, морфологии разнотелных рудообразующих систем и асимметрии рудных полей, определяющие основные методические приемы прогноза скрытых месторождений.*

### 1. Рудообразующие системы

Прогнозирование скрытого оруденения является частью более общей проблемы прогноза золоторудных месторождений, в разработку которой большой вклад внесли ученые ЦНИГРИ — Н. И. и М. Б. Бородаевские, Г. П. Воларович, И. С. Рожков, Н. А. Фогельман, С. Д. Шер и многие другие. Современный уровень знаний в области геологии месторождений золота характеризуется разработкой альтернативных моделей рудообразования самого широкого диапазона — от осадочной до флюидно-мантийной. В связи с этим необходимо определить место скрытого оруденения в альтернативных моделях рудообразующих систем, каждая из которых в определенных условиях может адекватно характеризовать формирование промышленных месторождений.

Представление о плутонических рудно-магматических системах, сформулированное в трудах В. И. Смирнова, В. В. Богацкого, П. Ф. Иванкина и других, для золоторудных месторождений претерпело определенные изменения под влиянием новых фактических данных. В частности, конкретные наблюдения по метаморфизму золота и данные абсолютного возраста позволяют обосновать послерудный возраст «золотоносных» интрузий [9]. Геохимией изотопов показано, что в большин-

стве случаев, если не универсально, рудоотложение обусловлено смешением золотоносных флюидов с метеорными водами, приобретающими способность экстракции и перераспределения золота из вмещающих пород. В то же время данные изотопии можно использовать и для обоснования частично мантийного источника рудного вещества.

Изложенные соображения привели к разработке динамической модели плутонической рудообразующей системы для золоторудных месторождений (рис. 1). Скрытое оруденение локализуется в эндо- и экзоконтактовых частях плутонов, его позиция определяется следующими критериями: надпикильные части скрытых интрузивов; зоны термального метаморфизма над скрытыми интрузивами; градиентные области отрицательной гравитационной структуры; совмещение листовит-березитовых, скарновых, скарноидных, полевошпат-биотитовых метасоматитов; закономерная повторяемость рудных тел в структурной решетке и системах даек. Оруденение относится к золото-полисульфидно-кварцевому типу жильных и штокверковых руд, а также неправильных тел и залежей в скарнах.

Большой интерес представляет мантийно-флюидный вариант гидротермальной золотообразующей системы, разработанный П. Ф. Иванкиным [3], и положение золото-



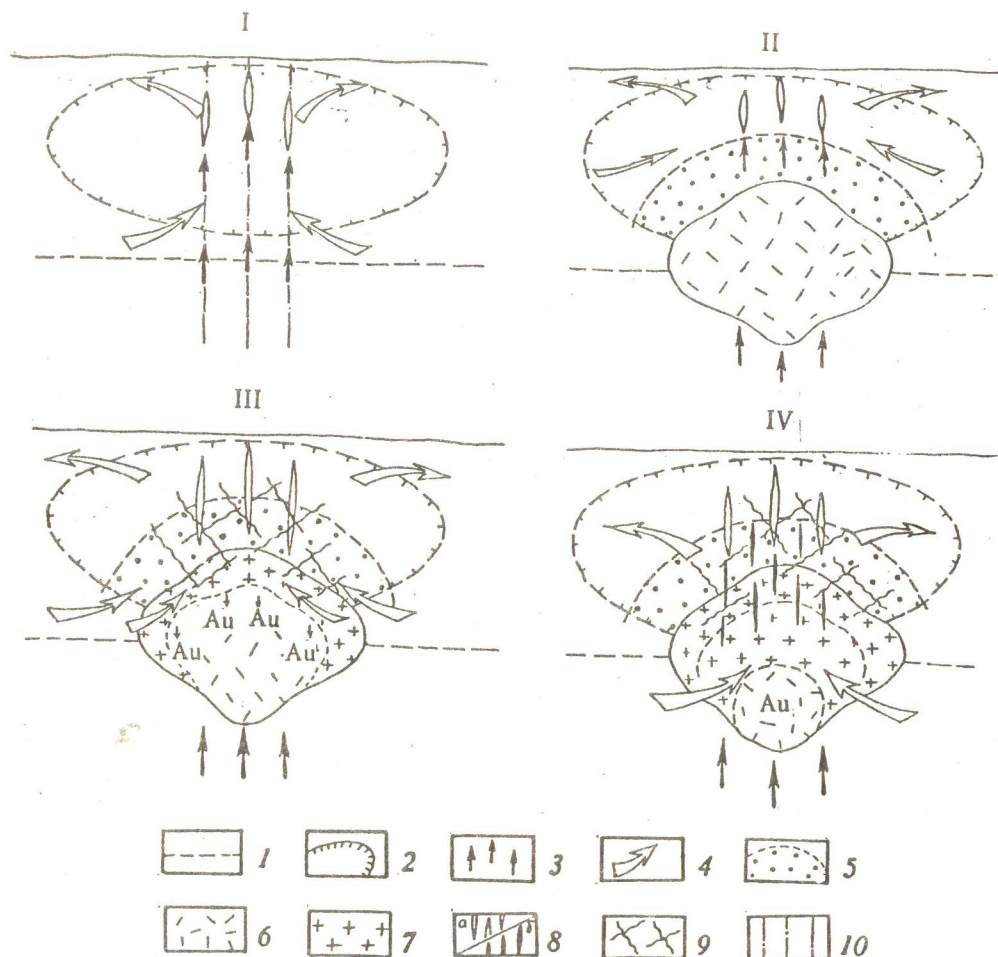


Рис. 1. Модель эндогенного рудообразования для месторождений золота:

I—IV — этапы развития рудообразующей системы. 1 — граница раздела структурных этажей; 2 — область рудоотложения; 3 — поток глубинных флюидов; 4 — конвективная геотермальная система; 5 — зона экзоконтактовых роговиков; 6 — магматический расплав; 7 — раскристаллизованная часть плутона; 8 — золоторудные зоны раннего (а) и позднего (б) этапов; 9 — комплекс даек формаций малых интрузий; 10 — зона тектонических дислокаций

рудных месторождений в вертикальном ряду рудно-геохимической зональности (рис. 2). Эта модель наиболее применима для месторождений золото-мышьяковисто-сульфидных прожилково-вкрапленных руд. Поисковыми критериями скрытых месторождений являются:

полосчато-струйчатые зоны умеренно- и обильноуглеродистых катаклазитов и милолитов в зонах глубинных разломов;

высокая фоновая золотоносность углеродистых метасоматитов;

неравномерно окварцованные и гидротермически разложенные породы, инъецированные дайками габбро-диабазов;

ареал с содержанием Au более 1 г/т;

углеродистое вещество (графит, антрацит, керит) в ассоциации с серицитом;

ареал Cu, Ni, Co, Zn, Pb на 1—2 порядка выше кларка;

железисто-магнезиальная карбонатизация в ассоциации с углеродистым метасоматозом.

Условия формирования скрытого оруденения в вулканических сооружениях достаточно подробно разработаны [4]. Для него наиболее характерны конформность систем рудных тел субвулканическим телам в центральных частях вулканических построек, в той или иной степени осложненных разрывными деформациями, в сочетании с сокращенным палеоуровнем концентрированного рудоотложения. Менее изучены условия об-



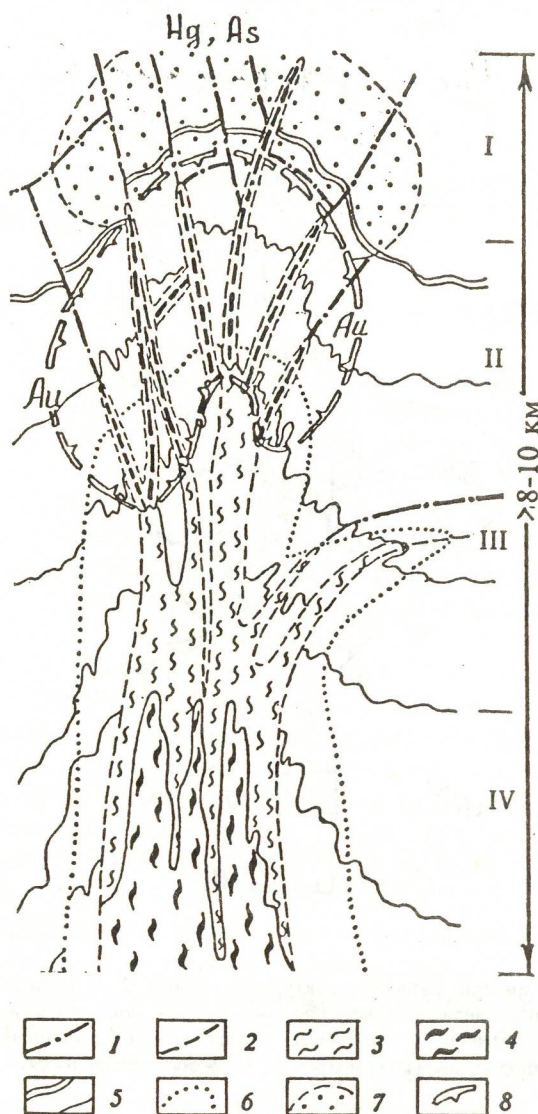


Рис. 2. Схема вертикальной зональности глубинного разлома миогеосинклинальной области для конца этапа тектонической инверсии (по П. Ф. Иванкину):

1 — дизъюнктивные нарушения (сдвиги, взбросы, надвиги) в слоистых дислоцированных толщах; 2 — зоны катаклизмов, милонитов и бластомилонитов с интенсивным проявлением карбонатно-сульфидно-углеродистого метасоматоза и кварцевой флюидизации; 3 — углеродистые динамосланцы, аспидные сланцы и филлиты с щелочно-кремнистой флюидизацией; 4 — кристаллические сланцы, парагнейсы, частично гранито-нейсы и амфиболиты с высокотемпературным щелочно-кремнистым метасоматозом, кварц-полевошпатовыми и пегматоидными флюидизитами; 5 — слоистые породы геосинклинальных ярусов с относительно невысоким региональным метаморфизмом; 6 — внешняя граница области «размягчения» — повышенного метаморфизма пород вокруг глубинного разлома. I—IV — структурно-вещественные этажи

разования на склонах палеовулканов в лахарах или субмаринной обстановке; промышленные месторождения в таких ситуациях известны, но достаточно редки. В единой вулканической системе они образуют направленный ряд, в пределах которого можно выделить:

близканальные месторождения, располагающиеся вблизи центра вулканической деятельности и завершающих ее гидротермальных эманаций. Они характеризуются интенсивными гидротермально-метасоматическими преобразованиями пород, иногда непосредственно переходят в крутопадающие «ножки» гидротермального происхождения. Скрытые стратифицированные залежи бронируются монолитными вулканическими покровами, заключающими индикаторы руд в виде отдельных богатых жил и прожилков;

склоновые месторождения, располагающиеся на склонах вулканов и локализующиеся в палеодепрессиях с характерными обломочными, известковистыми и кремнистыми фациями.

Ключ к прогнозированию скрытых месторождений этого типа дают наблюдения на современных геотермальных системах. Эти системы и продуцируемые ими отложения — обогащенные золотом скопления кремнезема — могут представлять промышленный интерес. Детально изучена, в частности, геотермальная система Ротокава в Новой Зеландии, на примере которой обосновывается эпитеермальное переотложение золота из боковых пород [12, 13]. Возраст геотермальной системы Ротокава менее 20000 лет; она приурочена к плейстоценовым вулканическим породам, подстилаемым мезозойскими граувакками. Крупнейший из эруптивных кратеров имеет 1,5 км в диаметре, возраст 6060 лет и заполнен кислыми водами с  $pH \approx 2$ . Древнее кратерное озеро содержит крупные залежи самородной серы. Современная геотермальная система имеет максимальную температуру  $320^\circ C$  и характеризуется разбавленными хлоридными водами (0,022 моль/кг) с повышенными концентрациями серы ( $H_2S \cdot 7 \times 10^{-3}$  моль/кг). Зона приповерхностной аргиллизации сменяется с глубиной пропилитами. Бурением на глубине установлены сфалерит, галенит, халькопирит, аргентит и сереброносный



алунит, а также дисульфиды железа в виде фрамбоидальных масс. Термальные источники возраста 1800 лет сформировали богатые металлами илы, представляющие собой слои зеленых, желтых и серых глин, состоящие из раскристаллизованного каолинита, сёры (20—50 %), алунита, кремнезема (аморфного  $\text{SiO}_2$ , кристобалита, кварца), площадью  $\approx 2$  га. Глины содержат сульфиды мышьяка (20—30 %), сурьмы (2—3 %), высокие концентрации Au (до 50 г/т), Ag (2—7 г/т), Tl (3—80 г/т), Ge (0—20 г/т), Ga (15—150 г/т), Ba (80—500 г/т) и W (20—30 г/т). Предполагается, что за время существования кратера из боковых пород было вынесено  $\approx 370$  т Au, а 50—100 т Au было отложено на глубинах 300—400 м.

Поисковыми критериями и признаками скрытого оруденения, связанными с древними геотермальными системами, могут являться:

- обогащенные Au кремнисто-глинистые осадки в вулканогенно-осадочном разрезе;

- повышенные концентрации Ag в алуните;  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  и  $\text{HgS}$  в отложениях горячих источников;

- вертикальная зональность отложения  $\text{Au} \rightarrow \text{Ag} \rightarrow \text{Cu} \rightarrow \text{Pb} \rightarrow \text{Zn}$  в интервале 300 м;

- наличие скрытого интрузива по геофизическим данным;

- положение палеорусловых, дельтовых, озерных, эвапоритовых осадков в осевой части рифтовой зоны.

Удаленно-вулканические месторождения формируются на удалении от вулкана, в субмаринных глинистых фациях, обогащенных туфовым материалом. Такие месторождения (как, например, Пуэбло Вьехо в Доминиканской Республике), утрачивают характерные признаки «вулканогенных», сохраняя лишь пространственные ассоциации с вулканической деятельностью.

Основные поисковые критерии и признаки вулканогенных месторождений следующие:

- приконтактные части субвулканических тел (лежащий бок асимметричных тел); эруптивных брекчий, туффизитов;

- латеральные системы рудных тел, конформные основанию вулканогенного яруса;

- надрудные зоны сольфатарной аргиллизации;

- выступы скрытых интрузивных тел (гравиметрические аномалии);

- вертикальная рудно-геохимическая зональность:

  - $\text{Hg} \rightarrow \text{As}, \text{Sb}, \text{Ba} \rightarrow \text{Au}, \text{Sb}, \text{As} \rightarrow \text{Pb}, \text{Zn}, \text{Cu}(\text{Au})$ ;

- стратифицированные залежи  $\text{Au}-\text{Cu}-\text{Pb}-\text{Zn}$  в карбонатных породах основания на контакте с вулканогенным ярусом.

В последние годы в России и за рубежом активно разрабатывается модель гидротермально-осадочного образования стратиформного оруденения в терригенных толщах, характеризующегося многоярусным расположением рудных залежей [8].

Поисковыми критериями скрытого оруденения являются: конседиментационные прогибы в пределах инверсионных поднятий; повышенная кларковая золотонность рудовмещающих толщ; текстуры «мусорных пород», наличие фаций дельтовых и русловых донных течений, их пилообразные сочленения; послойные кварцевые линзы, антраксолитовые прослойки, вкрапленная сульфидная минерализация; послойная вкрапленность арсенопирита с повышенной золотонностью; ассоциация с малоглубинными гидротермальными месторождениями.

В ряде исследований [2] обосновывается возможность метаморфогенного рудообразования с участием активизированных метаморфогенных растворов. Скрытые месторождения сопровождаются хлорит-серицитовой субфацией регионального метаморфизма и углисто-сланцевыми фациями пород, содержащими первично-осадочные магнезиальные и железистые карбонаты.

Экспериментальные данные о сорбции золота глинистыми морскими осадками, другие экспериментальные исследования, сведения о рудоносных фациях «пластовой железной формации» архея [7, 10, 11], позволяют наметить возможные палеофациальные позиции осадочных золотых руд: глинистые осадки; высокие концентрации гумусового вещества; участки опреснения морских вод; высокая кислотность (подводно-вулканическая гидротермальная деятельность); переход дельтовых в прибрежно-морские глинистые фации, обогащенные углистым веществом; фация силикатных и сидеритовых роговиков с пиритом; глинисто-доломитовые фации прибрежно-морских осадков, обогащенные органикой и си-



ликатно-сидеритовыми отложениями с пиритом.

## 2. Унаследованные рудные концентры и место в них скрытого оруденения

Под унаследованными рудными концен-трами нами понимаются участки месторож-дений, характеризующиеся наиболее бога-тым и разнообразным по составу орудене-нием и имеющие отличительные геологи-ческие признаки. Теоретической основой выделения унаследованных рудных концен-тров является представление о длительно формирующихся мантийных энергетиче-ских потоках, захватывающих два или более тектоно-магматических цикла, в пределах которых оруденение является лишь кратко-временным эпизодом. Суть нашей гипотезы состоит в том, что длительно формирующи-еся энергетические центры предопределили особенности структурообразования и седи-ментации, возможность концентрирования гидротермально-осадочных, гидротермаль-ных и метаморфогенных золотых руд [5]. В уже сформировавшихся полях длительно функционировавшие термопотоки оказыва-ли большое влияние на формирование ло-кальной сложной складчатости и зон рас-сланцевания рудовмещающих толщ, кото-рые под влиянием термического воздействия в условиях динамического сжатия приобре-тали повышенную пластичность.

Основные признаки унаследованных рудных концентров:

наличие древнего интрузивного штока, в котором концентрируются процессы акти-визации, магматизма и оруденения (место-рождения Зодское, Васильковское и др.);

наличие жесткого стабильного блока воздымания («микросрединного массива») в дорудный этап в зоне прогибания (место-рождение Балеysкое);

наличие длительного локального проги-ба («структурной ямы») в купольной или антиклинальной структуре (месторождение Дукал);

концентрация дайковых, субвулканиче-ских и субинтрузивных тел (месторождение Зодское);

напряженная складчатость и дислоциро-ванность толщ в локальном участке (место-рождения Майское, Олимпиадинское).

Во всех случаях положение скрытого оруденения определяется значительным

вертикальным интервалом промышленного оруденения, наличием кулисообразных сис-тем рудных тел и проявлением на глубоких уровнях поздних продуктивных ассоциаций.

## 3. Морфология разноглубинных рудо-образующих систем

Многочисленные наблюдения глубоко-вскрытых рудных месторождений, обобщен-ные П. Ф. Иванкиным [1] и многими дру-гими исследователями, свидетельствуют о различии «фигур» рудных полей и, соответ-ственно, позиции скрытого оруденения. В последнее время они дополнились анализом современных геотермальных систем и теоре-тическим моделированием тепломассопере-носа.

Малоглубинные рудообразующие систе-мы имеют характерную грибообразную фор-му. Как было отмечено выше, большое зна-чение имеет палеоповерхность рудоотложе-ния и продуктивный уровень, который проявляется как в масштабах рудных райо-нов, так и отдельных месторождений.

Для месторождений средних глубин ха-рактерна «булавовидная» форма рудокон-центраций. Наиболее богатые руды связаны с верхним уровнем, но оруденение продол-жается на значительные глубины, возмож-ности развития вертикальных кулис и мно-горусного оруденения становятся актуаль-ными (Березовское, Дарасун). Месторож-дения больших глубин (Советское, Мурун-тау) имеют «уплощенно-коническую», по терминологии П. Ф. Иванкина, форму, зна-чительный вертикальный интервал про-мышленного оруденения. Скрытые рудные тела не выходят за контур, устанавливае-мый на верхних уровнях; вертикальная зо-нальность выражена слабо, и на глубину сохраняются основные параметры промыш-ленного оруденения и его минералого-геохи-мические характеристики.

## 4. Асимметрия рудных полей

Важным элементом морфологии рудных полей является асимметрия в распределении рудной минерализации в объеме рудного пространства, что, в частности, наглядно демонстрируют сводные атласы морфологии рудных полей [1, 6] и многофакторных по-исковых моделей.

Можно сказать даже, что симметричные золоторудные поля являются исключением из правила: обычно объемные фигуры золо-



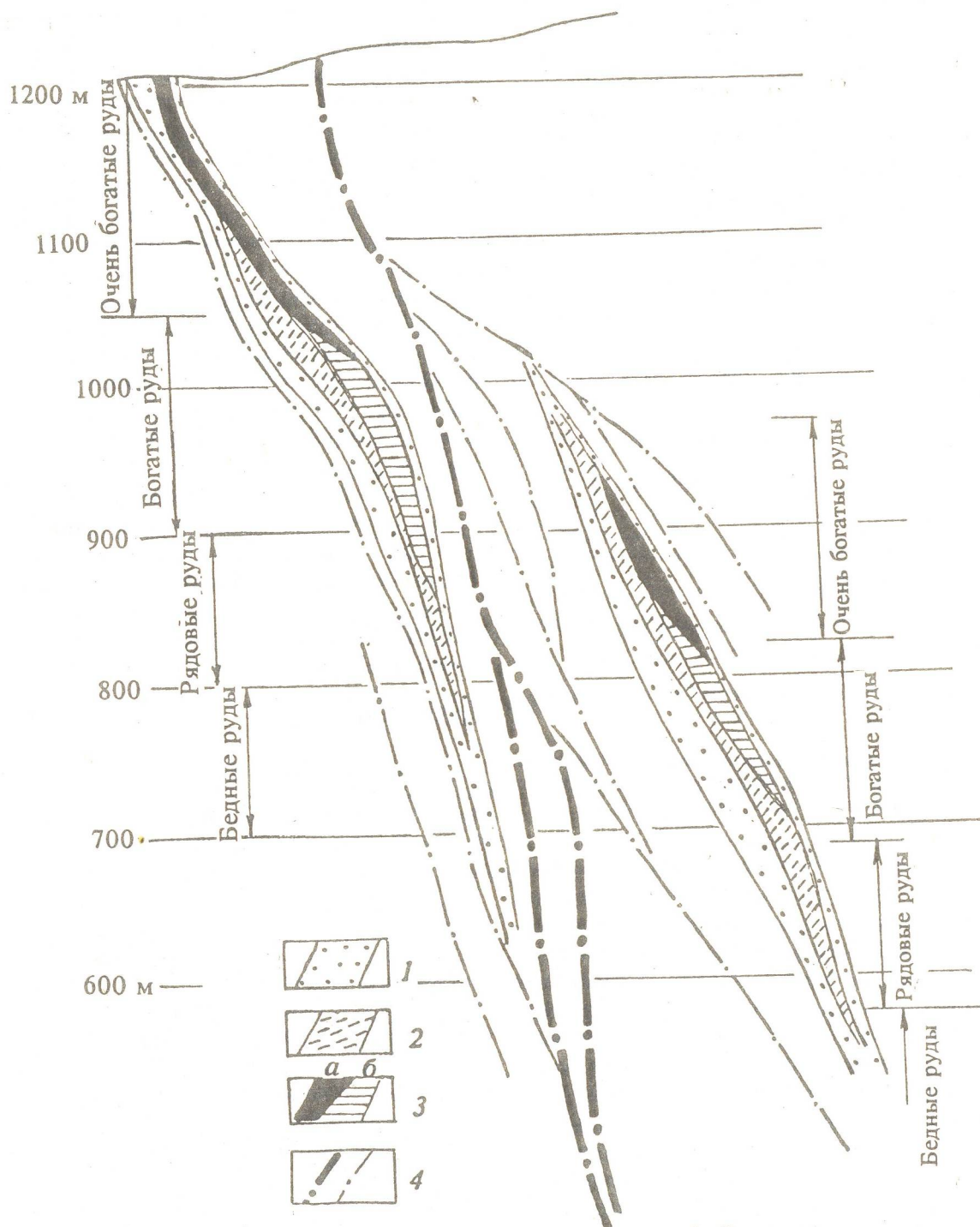


Рис. 3. Схема зонального распределения золотого оруденения в пределах Главной рудоносной зоны месторождения Кызыл-Алма (по данным Н. Ф. Рафикова):

1 — зона интенсивного окварцевания; 2 — контур промышленного оруденения; 3 — рудные минералы в кварце: а — линзы и гнезда, б — редкие прожилки; 4 — тектонические нарушения разных порядков



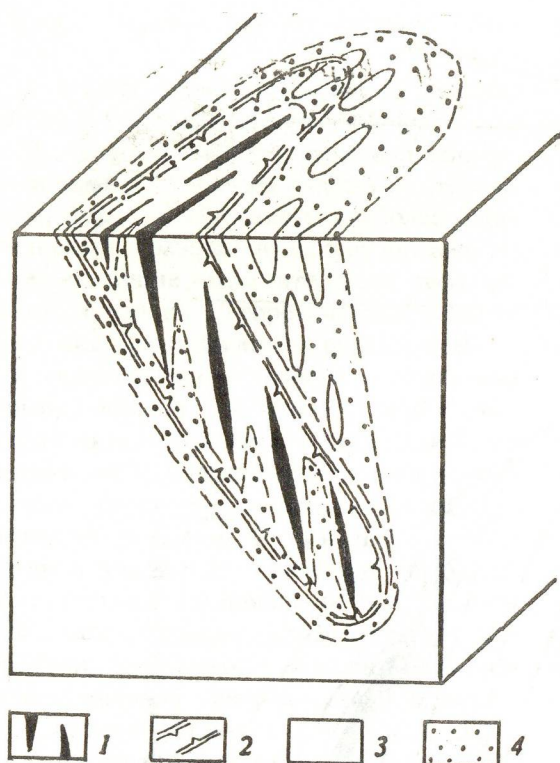


Рис. 4. Объемная асимметричная фигура рудного поля:

1 — кулисообразные рудные тела; 2 — контур рудной минерализации; 3 — окорудные фации метасоматитов; 4 — удаленные фации метасоматитов

торудных полей асимметричны. Асимметрия может определяться двумя факторами: асимметрией рудоконтролирующих структур, конформно которым развиваются рудообразующие системы (наиболее наглядный пример контроля оруденения надвиговыми структурами — месторождение Бакырчик и др.); разобщенностью в пространстве флюидоподводящих, замыкающихся на глубине, и приповерхностных дренирующих структур. По такой модели могут образоваться горизонтальные или пологие минерализованные горизонты. По этому механизму, вероятно, развиваются системы лестничных жил в гранит-порфировых дайках. Это же относится и к системам кулисных крутопадающих жил месторождений Берикуль, Кызылбулак и других (рис. 3) объектов.

Прогнозирование объемной фигуры рудного поля и, соответственно, направления поисков скрытых рудных тел представляет

большие трудности даже для глубоковскрытых рудных тел и, тем более, на стадиях поисковых и поисково-оценочных работ.

Можно предложить сочетание двух приемов: построение серии структурных разрезов с анализом положения рудных тел и их сочетаний с пологими элементами структур (контактов горизонтов с резко различными физико-химическими свойствами, межформационных срывов, нарушений, даек, силлов и т. п.);

выявление асимметрии геохимической и метасоматической зональности, «шлейфа» метасоматитов и ореолов рассеяния над погруженной частью фигуры рудного поля. Сочетание этих двух факторов может служить основанием для прогнозирования скрытых рудных тел (рис. 4).

Изложенные выше соображения составляют геолого-генетические основы прогноза скрытых золоторудных месторождений. Технология прогноза базируется на разработке многофакторных прогнозно-поисковых моделей месторождений ведущих геолого-промышленных типов [6].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас морфоструктур рудных полей / Ред. П. Ф. Иванкин. — Л.: Недра, 1973.
2. Бурак В. А. Условия образования месторождений золота метаморфогенно-гидротермального типа // Метаморфогенное рудообразование. — М., 1977. С. 75—82.
3. Иванкин П. Ф. Морфоструктуры и петрогенезис глубинных разломов. — М.: Недра, 1991.
4. Константинов М. М. Золотое и серебряное оруденение вулканогенных поясов мира. — М.: Недра, 1984.
5. Константинов М. М. Золоторудные гиганты // Отч. геология. 1994. № 6. С. 75—83.
6. Многофакторные прогнозно-поисковые модели золоторудных месторождений (атлас) / Ред. М. М. Константинов, В. А. Нарсеев. — Л.: Недра, 1989.
7. Пащикова Е. А., Данилова Е. А., Василевская Н. А. Роль гуминовых кислот в формировании сингенетичной золотоносности морских осадочных углеродистых толщ // Геохимия. 1989. № 6. С. 798—806.
8. Константинов М. М., Косовец Т. Н., Орлова Г. Ю. и др. Факторы локализации стратиформного золото-кварцевого оруденения // Геология рудных месторождений. 1988. № 5. С. 59—69.
9. Фирсов Л. В. Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. — Новосибирск: Наука, 1985.
10. Фишер Э. И., Фишер В. Л. Роль гумусовых кислот в процессах сорбции золота морскими осадками // Литология и полезные ископаемые. 1984. № 5. С. 77—82.



11. Фрунн Р. Е. Металлогения золота в архее Родезии // Ранняя история Земли. — М., 1980. С. 58—75.
12. Hollister V., Hruska D., Moore R. A mine-exposed hot spring deposit and related epithermal gold resource // Econ. Geol. — 1992-87. № 2. P. 421—424.
13. Krupp R. E. The Rotokawa geothermal system. New Zealand: an active epithermal gold — depositing environment // Econ. Geol. 1987-82. № 5. P. 1109—1129.

Konstantinov M. M., Kosovets T. N.

#### PREDICTION FACTORS FOR HIDDEN GOLD ORE DEPOSITS

*Prediction of gold ore deposits is performed on the basis of ore-forming system models. A series of ore-forming systems including the plutonic ore-magmatic, volcanogenic, hydrothermal-sedimentary, metamorphic and sedimentary ones is sequentially considered, and forecasting criteria for hidden deposits following from these models are highlighted. Basic concepts of inherited ore concentric features, morphology of different-depth ore-forming systems and ore field asymmetry are worked out, these concepts determining essential methodological procedures for prediction of hidden deposits.*

УДК 553.078:551.242.3

© Д. И. Горжевский, 1995

## МЕТАЛЛОГЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭВГЕОСИНКЛИНАЛЕЙ

Д. И. ГОРЖЕВСКИЙ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Рассмотрены геологические и металлогенические отличия первичных и вторичных эвгеосинклиналей, сформированных на базитовой и гранитно-метаморфической коре. Среди вторичных эвгеосинклиналей выделены две группы, различающиеся по характеру магматизма, составу колчеданных руд колчеданно-полиметаллических месторождений и их масштабам.*

Структуры этого типа впервые выделены и охарактеризованы Г.А.Твалчрелидзе [7, 8, 9], хотя ранее они отмечались другими исследователями под названием вулканогенных геоантиклиналей или эвгеоантиклиналей [1], а также мафически-сиалических структурно-формационных зон [5].

Вторичные эвгеосинклинали, или внутренние островные дуги, принципиально отличаются от первичных эвгеосинклиналей (внешние островные дуги) тем, что они не унаследуются от более древних структур, развивающихся на земной коре океанического типа, а формируются в процессе раздробления и переработки срединных массивов с континентальной гранитной корой. Они отличаются от первичных эвгеосинклиналей также меньшими мощностями толщ осадочных и вулканогенных пород и сте-

пенью их дислоцированности (табл. 1). Однако эти структуры нельзя относить к областям тектоно-магматической активизации (ТМА), т.к. история их геологического развития происходит на фоне общих погружений, а не поднятий, как это характерно для областей ТМА [10]. Здесь происходит накопление сравнительно мощных толщ морских осадков, проявляются вулканизм в морских условиях, орогенез, гранитообразование, а также формирование колчеданных месторождений, совершенно не характерных для областей ТМА. Типичными представителями первичных эвгеосинклиналей, как известно, являются Тагило-Магнитогорский синклиорий Южного Урала, Передовой хребет Кавказа, провинция Супериор в Канаде, Аппалачи в пределах США и др. Ко вторичным, вероятно, следует относить Ма-



1. Различия металлогенических провинций и зон первичных и вторичных эвгеосинклиналей

Характерные особенности	Типы эвгеосинклиналей	
	Первичные	Вторичные
Тектоническая позиция	Унаследованы от древних прогибов	Наложены на древние срединные массивы
Глубинное строение	На океанической коре (внешние островные дуги)	На континентальной коре с мощным гранитным слоем (внутренние островные дуги)
Характерные осадочные формации и их роль в строении разрезов	Резко подчиненные яшмовая, кремнисто-сланцевая, фтанитовая	Существенно (до 50 % разрезов) терригенные и карбонатно-терригенные
Преобладающие вулканогенные формации	Андезит-базальтовая, липарит-дацит-андезит-базальтовая, риолит-базальтовая	Базальт-андезит-дацит-риолитовая, базальт-риолитовая, риолитовая
Роль кислых пород в составе вулканогенных формаций	Подчиненная, < 20—30 %	Ведущая, > 70—80 %
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O в кислых вулканитах	8—3	2—1
Серии вулканогенных пород	Натриевая	Калиево-натриевая
Последовательность формирования вулканитов	Гомодромная	Гомодромная, антидромная
Мощности осадочно-вулканогенных отложений	Большие, многие километры	Умеренные, первые километры
Степень дислоцированности отложений	Интенсивная (линейная складчатость)	Умеренная (брахискладки)
Главнейшие тектонические структуры	Центральные погружения и периферийные поднятия	Горст-антиклинории и грабен-синклинории
Главнейшие метасоматические формации	Среднетемпературные пропилиты	Серицит-кварцевые метасоматиты, березиты, аргиллизиты
Предполагаемое соотношение мощностей «базальтового» и «гранитно-метаморфического» слоев земной коры	> 4 : 1	< 2 : 1
Характерные типы колчеданных месторождений (раннегеосинклинальные)	Медно-цинковые	Свинцово-медно-цинковые (полиметаллические), барит-полиметаллические
Примерные количественные соотношения содержаний свинца, цинка и меди в колчеданных рудах	1 : 10 : 10	1 : 5 : 5 и 1 : 3 : 1
Другие типы рудных месторождений (позднегеосинклинальные)	Железорудные скарновые, меднопорфировые, золото-сульфидно-кварцевые	
Примеры металлогенических провинций и зон	Тагиломагнитогорская (Урал) Передовой хр. (Кавказ) Супериор (Канада)	Малый Кавказ, Рудный Алтай, ЮЗ Гиссар, Куроко (Япония), Нью-Брансвик (Канада)



лый Кавказ, Рудный Алтай, Юго-Западный Гиссар в Тянь-Шане, а также провинцию зеленых туфов с месторождениями Куроко в Японии, Болгарское Среднегорье, район Брансвик в Канаде и т.д.

Вторичные эвгеосинклинали имеют сложное внутреннее строение. Они состоят из грабен-синклинориев и разделяющих их остаточных поднятий — обломков регенерированного срединного массива, выраженных в виде горст-антиклинориев. Осадочно-вулканогенные отложения накапливаются в грабен-синклинориях. В погруженных блоках развит более основной магматизм, а в приподнятых — более кислый. В отличие от первичных эвгеосинклиналей в составе осадочно-вулканогенных отложений существенную роль играют осадочные породы терригенного и карбонатного типа, слагающие обычно 30—50 % разрезов, в то время как в первичных эвгеосинклиналях осадочные породы играют резко подчиненную роль в разрезах и представлены главным образом кремнистыми образованиями — яшмами, кремнистыми сланцами и фтанитами.

В первичных эвгеосинклиналях существенную часть вулканогенных формаций составляет недифференцированная андезитобазальтовая формация, а в дифференцированных формациях — риолит-дацит-андезит-базальтовая и риолит-базальтовая, в которых господствуют породы основного состава. Во вторичных эвгеосинклиналях недифференцированные формации играют незначительную роль, а в составе дифференцированных формаций господствуют андезиты или риолиты. Соотношения натрия и калия в кислых вулканитах первичных эвгеосинклиналей высокое (8—3), а в таких же породах вторичных эвгеосинклиналей — низкое (2—1).

Как известно, с вулканогенными породами первичных эвгеосинклиналей связаны медноколчеданные и медно-цинково-колчеданные месторождения с примерными соотношениями средних содержаний свинца, цинка и меди (1:10:10). Во вторичных эвгеосинклиналях в колчеданных рудах появляется значительное количество свинца. Формирование медно-цинково-колчеданных месторождений обычно сопровождается процессами среднетемпературной пропилитизации, а медно-свинцово-цинковых — се-

рицит-кварцевыми метасоматитами и березитами, реже аргиллизитами.

По характеру раннегеосинклинального вулканизма и истории геологического развития среди вторичных эвгеосинклиналей следует различать две группы. К первой из них могут быть отнесены Малый Кавказ, Болгарское Среднегорье, область зеленых туфов Японии и др. (малокавказский тип), где раннегеосинклинальный вулканизм представлен последовательно дифференцированной существенно натриевой формацией обычно с господством андезитов, а позднегеосинклинальный интрузивный магматизм — натриево-калиевыми гранитоидами. История магматизма осуществляется гомодромно, т.е. от основных пород к кислым [3] (табл. 2).

Во второй группе, характерными представителями которой являются Рудный Алтай, Юго-Западный Гиссар и район Батерст в Канаде (рудноалтайский тип), раннегеосинклинальные вулканиты представлены контрастной базальт-риолитовой формацией натриево-калиевого петрохимического профиля, а позднегеосинклинальные — андезитовой, а затем и андезит-базальтовой формацией, а также умеренно-кислыми гранитоидами. Здесь процессы магматизма развивались антидромно [3, 4, 9].

Происхождение этих двух типов вторичных эвгеосинклиналей, по нашему мнению, обусловлено степенью тектонической переработки локализирующих их срединных массивов и связанным с этим преобразованием состава глубинных зон земной коры: незначительным — для первой группы и более интенсивным — для второй [2, 9].

Общие металлогенические черты этих двух типов вторичных эвгеосинклиналей состоят в широком распространении свинцово-медно-цинково-колчеданных и барит-золото-полиметаллических месторождений в связи с раннегеосинклинальными вулканитами, а скарново-магнетитовых, меднопорфировых и золото-сульфидно-кварцевых — с позднегеосинклинальными гранитоидами.

Их отличительные металлогенические особенности (см. табл. 2) заключаются в том, что в рудах колчеданных месторождений малокавказского типа средние содержания свинца, как правило, меньше, чем со-



2. Отличительные особенности вторичногеосинклинальных металлогенических зон малокавказского (I) и рудноалтайского (II) типов

Характерные особенности	I	II
Главные магматические формации:		
Раннегеосинклинальные	Риолит-дацит-андезит-базальтовая с господством андезитов. Натриевая (последовательная)	Базальт-риолитовая с господством риолитов. Калиево-натриевая (контрастная)
Позднегеосинклинальные	Натриево-калиевая гранитоидная	Натриево-калиевая гранитоидная
Типы рудных месторождений:		
Раннегеосинклинальные	Свинцово-медно-цинково-колчеданные (Cu : Pb > 1)	Медно-свинцово-цинково-колчеданные (Cu:Pb ≤ 1)
Позднегеосинклинальные	Скарновые железорудные	
	Меднопорфировые	Золото-сульфидно-кварцевые
Масштаб колчеданных месторождений	Мелкие и средние	Средние и крупные
Примеры	Малый Кавказ, Болгарское Среднегорье, Куроко	Рудный Алтай, ЮЗ Гиссар, район Батерст (Канада)

держание меди, а среди месторождений позднегеосинклинального этапа преобладают меднопорфировые. В месторождениях рудноалтайского типа большая часть колчеданных руд, напротив, характеризуется высокими содержаниями свинца, превышающими или равными содержаниям меди. Среди позднегеосинклинальных месторождений здесь господствуют золото-сульфидно-кварцевые.

Колчеданные месторождения вторичных эвгеосинклиналей малокавказского типа обычно невелики по масштабам, тогда как среди месторождений колчеданных руд рудноалтайского типа нередко встречаются крупные месторождения с большими запасами свинцово-цинковых руд.

Приведенные выше данные свидетельствуют о целесообразности выделения при тектоническом районировании вторичногеосинклинальных структур малокавказского и рудноалтайского типов. Целенаправленные поиски в их пределах медно-цинково-колчеданных, колчеданно-полиметаллических, меднопорфировых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений могут проводить-

ся на основе поисковых критериев, установленных в хорошо изученных металлогенических зонах подобного типа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горжевский Д.И. О геотектонической позиции промышленно-генетических типов свинцово-цинковых месторождений // Геология рудных месторождений. 1970. № 3. С. 41—51.
2. Горжевский Д.И., Иванкин П.Ф., Филатов Е.И. Типизация колчеданно-полиметаллических зон в эвгеосинклиналях фанерозоя для прогнозирования // Разведка и охрана недр. 1975. № 11. С. 9—13.
3. Горжевский Д.И. О металлогенических типах эвгеосинклинальных структурно-формационных зон и рудных районов // Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. XII. — М.: Наука, 1978. С. 130—135.
4. Рудоносность и геологические формации структур земной коры. — Л.: Недра, 1981.
5. Смирнов В.И. Металлогения геосинклиналей // Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. V. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 47—81.
6. Твалчрелидзе Г.А. Рудные провинции мира (Средиземноморский пояс). — М.: Недра, 1972.
7. Твалчрелидзе Г.А. Металлогенические особенности главных типов вулканических поясов. — М.: Недра, 1977.



8. Твалчредидзе Г.А. Металлогения земной коры. — М.: Недра, 1986.  
9. Филатов Е.И., Ширай Е.П. Формационный анализ рудных месторождений. — М.: Недра, 1988.  
10. Щеглов А.Д. Основы металлогенического анализа. — М.: Недра, 1976.

Gorzhevsky D. I.

#### METALLOGENY OF SECONDARY EUGEOSYNCLINES

*Geological and metallogenic distinctive features of primary and secondary eugeosynclines formed on basite and granite-metamorphic crust are considered. Two groups of secondary eugeosynclines are discerned differing by the type of magmatism, composition of massive sulfide ores in base metals massive sulfide deposits and size of these latter*



**ЦНИГРИ**

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

### НОВЫЙ ТИП КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ — МЕТАМОРФОГЕННЫЙ

**Месторождение технических алмазов** в Северном Казахстане представляет собой новый коренной источник этого сырья, отличный от известных ранее кимберлитового, лампроитового и импактного типов. На сегодняшний день месторождение не имеет мировых аналогов.

Месторождение расположено на Кокчетавском срединном массиве в стратифицированной толще метаморфогенных пород раннего-среднего протерозоя. Толща сложена гнейсами, сланцами и мигматитами с маломощными прослоями и линзами карбонатных пород, амфиболитов и эклогитов. Рудное тело приурочено к зоне разлома мощностью до 300 м. Алмазные породы представлены тектонитами и разнообразными метасоматитами.

Содержания алмазов на порядок выше, чем в месторождениях кимберлитового типа, запасы уникальны. Алмазы представляют собой монокристаллы размером до 1,0 мм. Преобладают кристаллы размером от 20 до 70 микрон, кубического габитуса, темнозеленой окраски.

По абразивной способности алмазы метаморфических пород превосходят кимберлитовые и синтетические, являются уникальным сырьем для изготовления абразивных порошков и паст, а также режущих инструментов, прекрасно компактируются и спекаются. Широкие перспективы открываются при использовании их в электронной промышленности.

**Открытие алмазов нового метаморфогенного типа** открывает широкие перспективы для их поисков в нетрадиционной геологической обстановке.

Адрес: 113545, Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 313-18-18  
Телетайп: 114142 АДУЛЯР  
Факс: (095) 315-27-01



# МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.065.495 + 550.4:546.02. (574)

© Ю. А. Борщевский, П. А. Игнатов,  
О. В. Ильин, Н. И. Медведовская, 1995

## РУДОНОСНЫЕ РАСТВОРЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА И ЗОЛОТА НАЛОЖЕННЫХ ВПАДИН СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Ю. А. БОРЩЕВСКИЙ (ИЛС РАН), П. А. ИГНАТОВ, О. В. ИЛЬИН,  
Н. И. МЕДВЕДОВСКАЯ (МГГА-МГРИ Роскомнедра)

*Для определения природы гидротермальных растворов использован изотопный состав углерода и кислорода карбонатов из вмещающих пород и метасоматитов на урановых и золоторудных объектах. Показано, что ореолы кварц-мусковит-турмалиновых метасоматитов, пропилитов и золотоносных березитов были сформированы магмато-метаморфогенными водами с участием углекислоты, мобилизованной из пород фундамента. Ураноносные эйситы и березиты образовались из растворов формационной и метеорной природы в условиях их дегазации в трещинных зонах. Формирование уранового оруденения в фундаменте девонских впадин связано с большим участием метеорных вод, чем рудообразование в самих депрессиях.*

Месторождения урана и золота, локализованные в среднепалеозойских наложенных впадинах и их ближайшем обрамлении, являются важными геолого-промышленными типами в Северо-Казахстанской рудной провинции [14]. Возраст молассовых толщ этих впадин разными исследователями оценивается по-разному: от позднесилурийского до живет-франского. Авторами принят девонский возраст толщ. Вопросы происхождения источников вещества рудоносных растворов и физико-химических условий рудообразования для таких месторождений во многом являются дискуссионными. Представления о механизме их формирования чрезвычайно разнородны: от гипотез об эндогенном до разработок об экзогенном образовании оруденения. Тем не менее решение именно генетических проблем рудообразования позволяет создать целостную систему научно обоснованных критериев прогнозирования.

Авторами предпринята попытка оценить участие различных генетических типов вод в формировании метасоматитов на основа-

нии изучения изотопного состава кислорода и углерода. Показана эволюция изменения состава растворов, формировавших дорудные, рудосопровождавшие и пострудные новообразования.

В качестве основного объекта изотопно-геохимических исследований были использованы карбонаты. Они наиболее распространены во вмещающих породах и во всех типах околорудных изменений. Закономерности фракционирования изотопов углерода и кислорода в карбонатных системах исследованы достаточно хорошо [8, 12, 16]. Стабильные их изотопы дают надежную генетическую информацию для установления природы источников воды и углекислоты, участвующих в гидротермальном рудообразующем процессе.

Изученные жильно-штокверковые месторождения урана входят в состав Ишим-Балкашинской рудной зоны и Чаглинского узла Северо-Казахстанской рудной провинции (СКРП). Рудные объекты первой площади расположены в прибортовых частях девонских наложенных впадин: Шокпак-



ской (Камышевое месторождение) и Чистопольской (Викторовское месторождение, Рухловское, Петаевское, Литвиновское, Гусаковское и другие рудопоявления). Они приурочены к узлам пересечения продольных прибортовых тектонических нарушений глубокого заложения и поперечных осложняющих структур конседиментационного характера (валы, флексуры). Месторождения Чаглинского рудного узла (Чаглинское, Южно-Славянское, а также Красноярское рудопоявление) расположены в складчатом обрамлении Кокчетавской впадины и контролируются зоной влияния Донгульгагашского глубинного разлома и гранитоидными массивами зерендинской серии. Всего изучено 170 образцов разновозрастных карбонатных образований из 11 месторождений и рудопоявлений. В подавляющем большинстве исследовались урановорудные объекты, в меньшей мере анализировались рудопоявления золота.

На всех указанных объектах урановая и золотая минерализация сопровождается ореолами окolorудных изменений [6, 7, 9, 13]. Основными из них являются кварц-мусковит-турмалиновые метасоматиты, пропилиты, березиты с золото-сульфидно-полиметаллической минерализацией, кварц-карбонат-альбитовые урансодержащие метасоматиты (эйситы) и кварц-карбонат-хлорит-гидрослюдистые метасоматиты («гидрослюдизиты») или урановорудные березиты. Первые два из перечисленных типов изменений практически не несут какой-либо рудной минерализации. Золотоносные березиты и ураноносные эйситы широко распространены в регионе, в том числе и на известных эксплуатируемых месторождениях урана и золота. В пределах конкретных рудных зон различные типы метасоматитов, как правило, телескопированы и образуют линейные (эйситы, березиты, «гидрослюдизиты») и площадные (березиты, пропилиты) ореолы. Рудоносные метасоматиты обычно контролируются разрывными нарушениями.

Во всех типах метасоматитов в качестве типоморфных минералов присутствуют карбонаты. Для золоторудных березитов характерен железистый кальцит, парагенный с кварцем и пиритом. Типоморфным минералом эйситов является розовый низкомагнетизальный кальцит, по времени образования

наиболее близкий к урановой минерализации [4, 6, 7]. Доломит и железистый доломит типичны для урановорудных березитов [2, 6, 7]. Карбонат, ассоциирующий с эпидотом в пропилитах, представлен кальцитом. Важно подчеркнуть, что для каждого из перечисленных типов метасоматитов указанные карбонатные минералы, как правило, не являются единственной карбонатной генерацией [6, 7]. Однако именно эти карбонаты, выделенные в качестве типоморфных, встречаются на всех типах рудных объектов СКРП и при этом легко «узнаваемы».

Температурные режимы минералообразования, определенные для выделенных групп карбонатных метасоматитов методом гомогенизации газово-жидких включений [7], указывают на то, что фактически весь комплекс метасоматитов формировался в сходных среднетемпературных условиях: кальцит золоторудных березитов при 260—265°C; кальцит эйситов при 170—220°C; доломит урановорудных березитов при 200—240°C. По изотопно-кислородным геотермометрам минеральных пар: турмалин-кварц, мусковит-кварц, хлорит-кварц, кальцит-кварц рассчитана температура образования минеральных парагенезисов: 360—370°C — для турмалиновых метасоматитов и 260°C — для золоторудных березитов (таблица). Как видно, так называемые изотопные температуры, установленные для золоторудных березитов, точно совпадают с температурами, полученными в результате термобарогеохимических исследований.

Изотопный состав кислорода воды гидротермального флюида, сформировавшего эти метасоматиты, характеризуется значениями  $\delta^{18}\text{O}$  воды, варьирующими в пределах 7—8‰, что соответствует водам магматогенной и метаморфогенной природы [1, 11, 15, 17]. Это подтверждается и геологическими данными. Так, кварц-мусковит-турмалиновые метасоматиты образуют зонально построенный ореол вокруг Кедейского штока гранит-порфиров (Чистопольская впадина) и широко проявлены в гранитизированном фундаменте впадин, т. е. обнаруживают тесную пространственную связь с магматическими телами [9]. В то же время слабые проявления этой ассоциации широко распространены также в девонских песчани-



Изотопный состав кислорода (‰) и расчетные температуры образования минералов кварц-мусковит-турмалиновых метасоматитов и золотоносных березитов в Чистопольской впадине

Тип метасоматитов (объект)	Минерал $\delta^{18}\text{O}$	$T^{\circ}\text{C}$ расчетная	$\delta^{18}\text{O}$ воды, расчетный	$\delta^{18}\text{O}$ воды, среднее содержание
Кварц-турмалин-мусковитовые (месторождение Викторовское)	турмалин +11,3	360	+7,3	+7,7
	кварц +13,8		+8,4	
	мусковит + 9,3	370	+7,3	
	кварц +14,2		+8,7	
Золотоносные березиты (рудопроявление Георгиевское)	хлорит + 7,2	260	+6,7	+6,8
	кварц +16,7	260	+7,4	
	кварц +16,4		+7,4	
	кальцит +12,6		+5,6	

Примечание: точность анализов — + 0,1 ‰.

ках и конгломератах, что заставляет предполагать активное участие в их формировании метаморфизованных поровых вод молассовых отложений. Таким образом, изотопные и геологические данные свидетельствуют о формировании ореолов кварц-мусковит-турмалиновых метасоматитов среднетемпературными гидротермальными флюидами, основу которых составляли активизированные магмато-метасоматическим процессом метаморфогенные воды.

Изотопное изучение карбонатов пропилитов и золоторудных березитов, объединяемых, по представлениям А.П.Мотова [9], в единую метасоматическую формацию, показало сходные условия их формирования. Вариации и средние значения  $\delta^{18}\text{O}$  карбонатов из этих метасоматитов отражены в таблице. Расчетные значения  $\delta^{18}\text{O}$  воды рудоносных флюидов для золоторудных березитов варьируют в пределах от + 4,3 до + 12,2 ‰, причем подавляющее большинство значений лежит в интервале + 7—+ 8 ‰, что полностью отвечает области активизированных метаморфогенных вод (рис. 1 и 2). Признаком метаморфогенной природы флюидов служит и расчетный изотопный состав углерода углекислого газа, составляющий для золотоносных березитов -0,7—-1,7 ‰. Установленные значения отвечают изотопному составу углерода  $\text{CO}_2$ , мобилизованного из карбонатных пород морского генезиса

[10]. Вероятнее всего, механизмом такой мобилизации служила термическая декарбонатизация пород ближайшего обрамления впадин при процессах регионального и динамометаморфизма. Как известно, при термической декарбонатизации отделяющийся углекислый газ обогащается тяжелыми изотопами углерода и кислорода, а карбонатный остаток — легкими изотопами [12, 15].

Подобные изотопные эффекты для золоторудных березитов прослеживаются на всех изученных месторождениях. Так, характерно распределение изотопов углерода и кислорода в карбонатах золотоносных березитов Камышевого месторождения (рис. 3). Карбонаты из ореолов березитов в фундаменте на 3—4 ‰ «облегчены» по сравнению с такими же образованиями из пород самой впадины. Такая же тенденция отмечается для изотопного состава карбонатов пропилитов. Ореолы, преимущественно распространенные в фундаменте впадин, всегда обеднены тяжелыми изотопами углерода и кислорода, тогда как карбонаты метасоматитов этого типа из пород впадин имеют большие (на 2—3 ‰) значения  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ .

Механизм термической декарбонатизации вполне логично объясняет пределы вариаций значений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  карбонатов в рамках закрытой системы с пульсационным характером поступления гидротермальных флюидов на фоне понижающейся темпера-



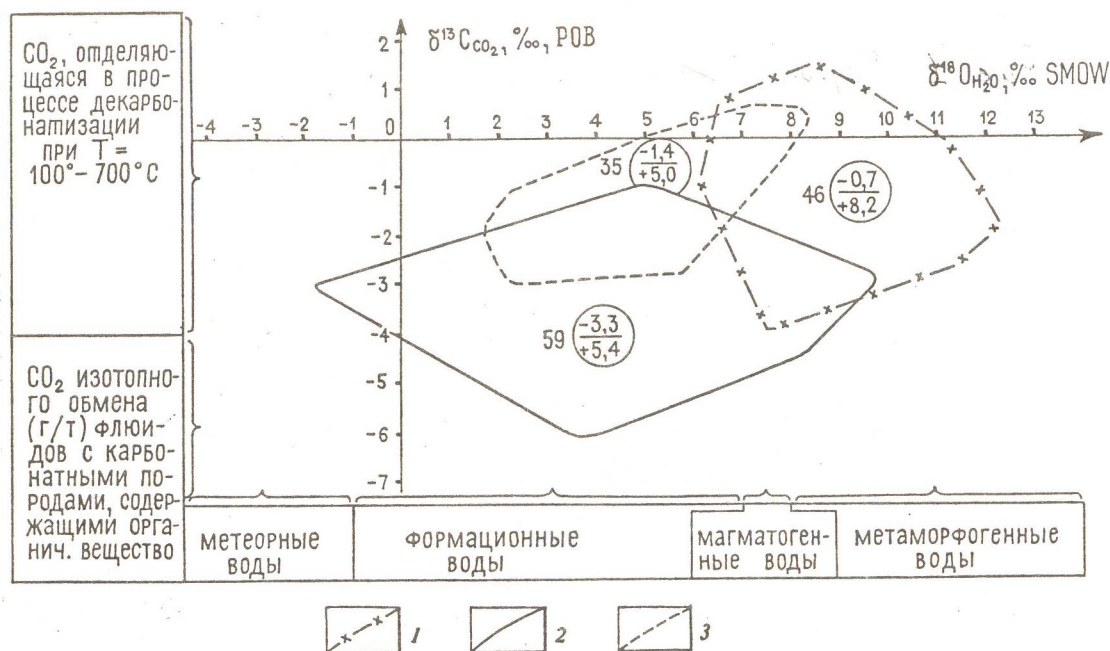


Рис. 1. Поля вариаций расчетного изотопного состава углерода углекислоты и кислорода воды гидротермальных флюидов, сформировавших ореолы околорудных метасоматитов месторождений урана в девонских впадинах:

поля вариаций изотопных параметров растворов, сформировавших ореолы: 1 — золотоносных березитов, 2 — урановорудных эйситов, 3 — урановорудных березитов; дробные числа в кружках — средние значения  $\delta^{13}\text{C}$  углекислоты (числитель) и  $\delta^{18}\text{O}$  воды (знаменатель); целые числа около кружков — количество определений

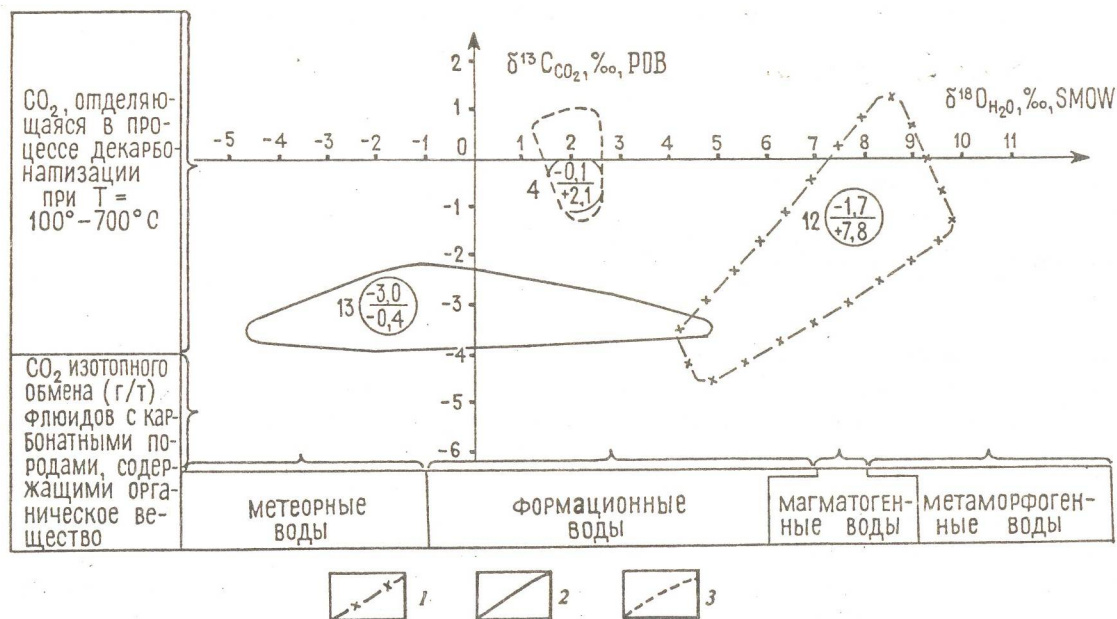


Рис. 2. Поля вариаций расчетного изотопного состава углерода углекислоты и кислорода воды гидротермальных флюидов, сформировавших ореолы околорудных метасоматитов месторождений урана в пределах складчатого обрамления девонских впадин.

Условн. см. рис. 1



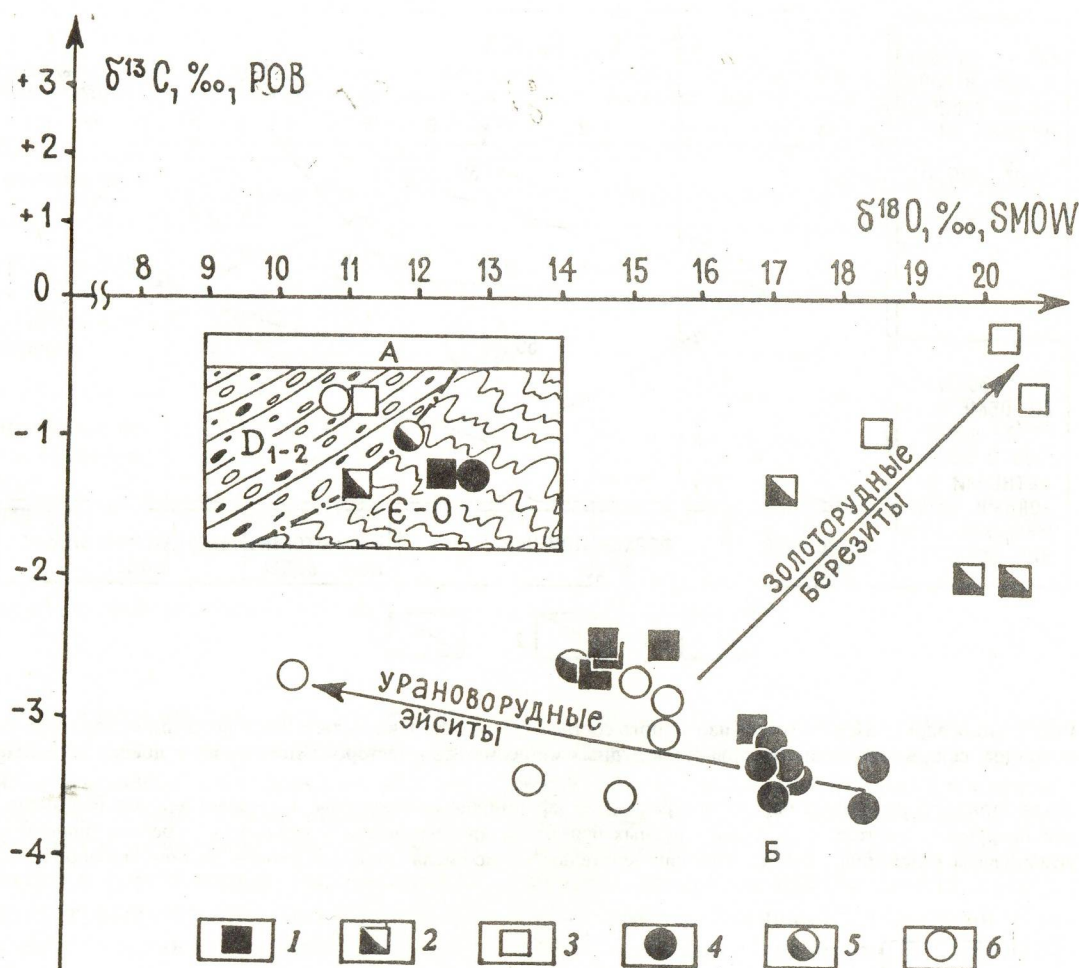


Рис. 3. Изотопный состав углерода и кислорода разностадийных карбонатов Камышевого месторождения урана:

карбонаты ореолов золоторудных березитов: 1 — в кембро-ордовикских породах фундамента впадины, 2 — на межформационной границе несогласия между породами девона и фундамента, 3 — в нижне-среднедевонских конгломератах и песчаниках; карбонаты ореолов урановорудных эйситов: 4 — в кембро-ордовикских породах фундамента, 5 — на межформационной границе, 6 — в нижне-среднедевонских конгломератах и песчаниках. А — схематический геологический разрез с указанием мест отбора проб

туры [13]. Кроме того, для  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  карбонатов золоторудных березитов всех рудных объектов установлена ранговая корреляция, что также свидетельствует о метаморфогенном источнике воды и углекислого газа [2, 8]. О тесной связи минералообразования с процессами метаморфизма говорит и наличие структур карбоната, серицита, турмалина в виде «теневых двори́ков давления», «бородатых зерен», формирующихся при анизотропном тектоническом давлении.

В ореолах золоторудных березитов наблюдается обогащение карбонатов тяжелыми изотопами углерода и кислорода в направлении от внутренних зон к внешним,

что может быть обусловлено смешиванием гидротермального раствора с поровыми водами вмещающих пород на фронте развития метасоматического процесса. В пользу этого свидетельствует идентичность изотопного состава углерода и кислорода диагенетических карбонатов из цемента красноцветных конгломератов и метасоматических карбонатов периферии внешних зон ореолов золоторудных березитов.

Приведенные факты подтверждают вывод о формировании пропилитов и золоторудных березитов среднетемпературными (260—270°C) растворами, основу которых составляли метаморфогенные воды. Источ-



ником углекислоты служило ассимилированное карбонатное вещество осадочно-метаморфических пород фундамента впадин.

Изучение изотопных характеристик низкомagneзиальных кальцитов кварц-карбонат-альбитовых урансодержащих метасоматитов (эйситов) показало более низкое содержание в них кислорода-18 ( $\delta^{18}\text{O}$  достигает +5,1 ‰) по сравнению с карбонатами и силикатами золоторудных метасоматитов (см. таблицу). Этот факт подтверждается и проверкой гипотез о равенстве средних и дисперсий как по общей выборке значений  $\delta^{18}\text{O}$ , так и по выборкам для отдельных месторождений. Расчетный изотопный состав кислорода воды гидротермального раствора (см. рис. 1, 2), сформировавшего ореолы эйситов, варьирует от -0,5 ‰ (Красноярское рудопроявление) до +5,5 ‰ (Камышевское месторождение). В целом область расчетных значений  $\delta^{18}\text{O}$  воды эйситов отвечает изотопному составу кислорода формационных вод осадочных бассейнов [1]. Однако отдельные значения, лежащие в отрицательной области, дают основания предполагать, что в минералообразовании принимали участие и изотопно-легкие воды метеорной природы. Последнее подтверждается и тенденцией уменьшения значений  $\delta^{18}\text{O}$  карбонатов в направлении от пород фундамента к породам самой впадины, которая отчетливо прослеживается на Камышевском месторождении (см. рис. 3) и других рудных объектах.

Важно отметить, что во всех рассмотренных случаях закономерности изменения  $\delta^{18}\text{O}$  карбонатов эйситов и золоторудных березитов прямо противоположны. Так, на Камышевском месторождении установлена большая доля участия метеорных вод в формировании эйситов молассовой толщи по сравнению с породами фундамента впадины. Подобные вариации значений  $\delta^{18}\text{O}$  нельзя объяснить температурным фракционированием изотопов, поскольку в случае падения температуры тенденция изменения изотопного состава кислорода была бы обратной.

По изотопному составу углерода карбонатов эйситы также статистически значимо отличаются от остальных типов метасоматитов. Их существенное обеднение тяжелым изотопом углерода  $\delta^{13}\text{C}$  (на 2—3 ‰) может

быть обусловлено либо присутствием в растворе изотопно-легкой по углероду органической углекислоты, вовлеченной в гидротермальную систему из материнских осадочных отложений, либо процессами изотопно-углеродного фракционирования в результате многоступенчатого вскипания-конденсации («дегазации») гидротермального раствора в трещинных зонах. Поскольку эйситы, в отличие от других метасоматитов, выполняют узкие шовные зоны, сопровождаемые интенсивным брекчированием и расщелачиванием пород, более вероятен второй механизм фракционирования изотопов углерода. Кроме того, в ряде случаев (Камышевское месторождение, Рухловское рудопроявление) в центральных частях ореолов эйситов отмечено постепенное уменьшение  $\delta^{13}\text{C}$ , достигающее значений -4—-7 ‰ в наиболее тектонически нарушенных участках. Резкая дегазация раствора, сопровождающаяся эндотермическими реакциями, неизбежно должна приводить к синхронному обеднению отлагающихся карбонатов тяжелым изотопом  $\delta^{18}\text{O}$ , что было зафиксировано во многих случаях.

По мнению некоторых исследователей [3], к образованию «изотопно-легких» карбонатов также может приводить окисление двухвалентного железа до трехвалентного за счет кислорода  $\text{CO}_2$  гидротермального раствора. На более окислительные условия образования эйситов указывает характерная в них тонкая пигментация кварца, карбоната и альбита гематитом.

Таким образом, урановорудные эйситы, в отличие от золоторудных метасоматитов, были сформированы флюидами, основу которых составляли формационные и метеорные воды межгорных впадин. Минералообразование происходило, по-видимому, в весьма специфических геохимических условиях вследствие дегазации гидротермального раствора в трещинных зонах. Не исключено, что при формировании рудоносных флюидов принимала участие изотопно-легкая биогенная углекислота.

Изотопные характеристики урановорудных березитов («гидрослюдизитов») близки к характеристикам эйситов, что свидетельствует о единстве источников вещества и воды. Некоторые различия, выраженные в



отсутствии отрицательных значений  $\delta^{18}\text{O}$  и несколько более высоких значениях  $\delta^{13}\text{C}$  (см. таблицу, рис. 1, 2) на ряде объектов, не являются статистически значимыми. Они могут быть вызваны отличиями физико-химических условий образования (температуры, давления, окислительно-восстановительного потенциала и пр.), обусловивших разные минеральные парагенезисы эйситов и березитов.

Проведенные изотопно-геохимические исследования также показали различия в формировании месторождений урана, локализованных во впадинах и в их ближайшем складчатом обрамлении. Несмотря на единую формационную принадлежность рудосопровождающих метасоматитов, воды, формировавшие гидротермальные системы в обрамлении впадин, отличались более легким изотопным составом кислорода. Вероятно, палеогидрогеологические условия формирования месторождений на палеоподнятиях (в складчатом обрамлении впадин) предполагали большую открытость трещинных систем, по сравнению с трещинно-поровыми системами самих наложенных межгорных впадин. Как следствие, в формировании гидротермальных растворов в зонах палеоподнятий большую роль играли изотопно-легкие метеорные воды.

Изложенный материал позволяет сделать следующие выводы:

на месторождениях урана, локализованных в пределах наложенных девонских впадин, ореолы кварц-мусковит-турмалиновых метасоматитов, пропилитов и золотоносных березитов были сформированы среднетемпературными (260—360°C) растворами, основу которых составляли магмато-метаморфогенные воды. Источником углекислоты служило мобилизованное вещество осадочных пород фундамента впадин;

ураноносные эйситы и березиты образовались из низко-среднетемпературных (170—340°C) растворов формационной и метеорной природы в условиях их дегазации в трещинных зонах. Не исключается участие в урановом рудообразовании биогенной углекислоты;

формирование урановых месторождений в фундаменте девонских впадин происходило в условиях открытых трещинных систем

при более активном участии метеорных вод по сравнению с оруденением в самих депрессиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борщевский Ю.А. Природа гидротермальных рудоносных флюидов по данным изотопии кислорода и водорода // *Геохимия*. 1980. № 11. С. 1650—1661.
2. Генезис редкометальных березитов фанерозоя по данным изотопно-геохимических исследований / Ф.И. Жуков, Ю.А. Фомин и др. // *Докл. АН УССР*. 1988. № 9. С. 15—18.
3. Загитко В.Н., Луговая И.П. Особенности изотопного состава карбонатных систем, образующихся в присутствии ионов железа // *Тез. докл. XI Всесоюз. симпози. по геохимии изотопов*. — М.: ГЕОХИ АН СССР, 1986.
4. Иванов П.А. Вертикальная зональность ураноносных эйситов // *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1986. № 8. С. 68—75.
5. Изотопный состав углерода и кислорода кальцитов как показатель генезиса стратиформной флюоритовой минерализации / Ю.А. Борщевский, П.А. Игнатов, О.В. Ильин и др. // *Литология и полезные ископаемые*. 1991. № 6. С. 132—136.
6. Киселева Г.Д. Минеральный состав и геохимические особенности урановых месторождений Камышевское и Викторовское (Северный Казахстан). Автореф. канд. дисс. — М.: ИГЕМ АН СССР, 1991.
7. Крылова Т.Л. Физико-химические условия образования урановых месторождений Северо-Казахстанской провинции (по данным изучения газожидких включений). Автореф. канд. дисс. — М.: ИГЕМ АН СССР, 1991.
8. Кулешов В.Н. Изотопный состав и происхождение глубинных карбонатов. // *Тр. ГИН АН СССР*. — М., 1987. Вып. 405. С. 22.
9. Мотов А.П. Гидротермально-метасоматические образования в красноцветных отложениях девонских наложенных впадин Кокчетавского массива (Сев. Казахстан) // *Зап. Всесоюз. минер. об-ва*. 1986. Ч. 115. Вып. 6. С. 650—658.
10. Поляков В.А., Селецкий Ю.Б. К вопросу об изотопном составе углерода углекислого газа как критерии эндогенности углекислоты // *Тез. докл. IX Всесоюз. симпози. по стабильным изотопам в геохимии*. — М.: ГЕОХИ АН СССР, 1982. С. 558.
11. Тейлор Х.П. Применение изотопии кислорода и водорода к проблемам гидротермального изменения вмещающих пород и рудообразования // *Стабильные изотопы и проблемы рудообразования*. — М., 1977.
12. Устинов В.И. Фракционирование изотопов углерода в процессе декарбонизации // *Геохимия*. 1976. № 1. С. 120—123.
13. Фомин Ю.А., Коростышевский И.З. Зависимость изотопного состава кислорода и углерода карбонатов от температуры их образования (в зонах щелочно-карбонатного метасоматоза) // *Докл. АН УССР*, Б. 1986. № 9. С. 28—30.
14. Харламов М.Г., Чернов В.Я., Григорьев К.А. Гео-



- логия и рудоносность Северного Казахстана //Топорковские чтения. — Кустанай: Рудненский Индустриальный институт. 1992. Вып. 1. С. 102—111.
15. Хефе Й. Геохимия стабильных изотопов. — М.: Мир, 1983.
  16. Friedman I., O'Neil J.R. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. - Data Geochem., 6th. Ed. Geol. Surv. Prof. Paper 440KK, 1977.
  17. Taylor H.P. Oxygen isotope studies of hydrothermal mineral deposits. Holt. Rinehart and Winston Inc., New York, 1967.

Borshchevsky Yu. A., Ignatov P. A., Ilyin O. V., Medvedovskaya N. I.

#### ORE-BEARING SOLUTIONS OF URANIUM AND GOLD DEPOSITS IN SUPERIMPOSED DEPRESSIONS OF NORTHERN KAZAKHSTAN

*Carbon and oxygen isotopic composition of carbonates from country rocks and metasomatites at uranium deposition sites is used to determine the nature of hydrothermal solutions. It is shown that aureoles of quartz-muscovite-tourmaline metasomatites, propylites and gold-bearing beresites appear to be due to the action of magmato-metamorphogenic waters with the participation of carbon dioxide mobilized from fundamental rocks. Uranium-bearing eisites and beresites apparently originated from formation- and meteoric-type solutions under the conditions of degasation of these latter in rock fracture zones. Formation of uranium mineralization in the basement of Devonian depressions is associated with larger participation of meteoric waters than ore formation process in depressions themselves.*

УДК 553.41:550.835.52(575.11)

© Г. С. Никаноров, Х. С. Сабилов, 1995

## МЕТОД ДИФфуЗИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ (МДИ) ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ ПЕРЕКРЫТЫХ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Г. С. НИКАНОРОВ, Х. С. САБИРОВ (ЦЛ ПГО «Ташкентгеология»)

*Описан усовершенствованный метод диффузионного извлечения металлов при геохимических поисках; показано применение метода на конкретных геологических объектах Приташкентского региона.*

Проблема дистанционных геохимических методов поисков золото-серебряных и других месторождений, перекрытых чехлом рыхлых четвертичных отложений, является одной из важнейших в общем комплексе геологоразведочных работ. Поэтому многие исследователи давно сконцентрировали свое внимание на разработке и внедрении геохимических методов поисков, в основе которых лежит изучение гипергенного поля рассеяния в наиболее доступных для непосредственного изучения геологических образованиях у дневной поверхности. Такие ореолы

являются важнейшими признаками эродированных месторождений. По способу образования ореола выделяют механический, солевой и смешанный типы. Наиболее распространенным геохимическим методом при поисках рудных месторождений является спектрометаллометрическая съемка, базирующаяся на выявлении преимущественно механических ореолов рассеяния [6]. Однако этот достаточно простой метод обладает глубиной не более 10—20 м. К тому же он дает суммарную информацию о концентрации рудного элемента как в самих рых-



лых отложениях, так и привнесенных, в виде солей подвижных форм металлов.

Более селективными методами, основанными на миграции металлов от рудного тела в связанной пленочной воде, являются сорбционно-солевой метод — ССМ [3, 7], метод подвижных форм — МПФ [1, 2], метод частичного извлечения металлов — ЧИМ [5], и, в последнее время, метод диффузионного извлечения металлов — МДИ [4] (Г.В.Милков, В.С.Гванов и др., авт. свидетельство СССР № 894660 от 15.05.80).

Недостатком сорбционно-солевого метода, с нашей точки зрения, является разложение первичных минералов (в частности, железа), содержащих золото и серебро, при получении, например, солянокислых вытяжек. Метод подвижных форм, базирующийся на накоплении металлов в слое гумуса, во многом зависит от мощности слоя гумуса, его сохранности и концентрации. ЧИМ, основанный на концентрации подвижных форм металлов в специальном электроде под воздействием приложенной разности потенциалов (генераторная станция), трудоемок в исполнении. Метод диффузионного извлечения металлов (МДИ) — ближайший аналог ЧИМа — основан на накоплении водорастворимых солей металлов в электроде с полупроницаемой оболочкой под воздействием естественной (мембранной) разности потенциалов, достигающей на границе раздела сред около 100 мВ. Однако оба последних метода требуют применения высокочувствительных методик, особенно при определении золота и серебра, т.к. концентрация их в электролите мала.

Несмотря на то, что дистанционные геохимические методы (ССМ, МПФ, ЧИМ) для поисков некоторых перекрытых золото-серебряных месторождений в Восточном Узбекистане начали внедряться давно, эффективность их применения в практике геофизических поисков оставалась невысокой. Одной из основных причин, по нашему мнению, явилось отсутствие до последнего времени достаточно простых, чувствительных и точных методик анализа. В частности, при использовании методов ССМ и ЧИМ необходима, как показал опыт работ, чувствительность анализа на золото около  $10^{-10}$  %, доступная в настоящее время лишь активационному анализу.

Сущность метода диффузионного извлечения, предложенного сотрудниками ГПО «Рудгеофизика» [4], заключается в следующем. В изучаемую среду (почву) помещаются специальные устройства — электроприемники (ЭЛПР), в которых под действием диффузионных сил происходит накопление характерных для изучаемой среды и способных к перемещению компонентов. Проводя через определенное время анализ состава электроприемников, судят о составе изучаемой среды.

В общем случае процесс перемещения носит сложный характер. Перемещение элементов может осуществляться под действием сил, связанных с градиентом концентрации компонентов, под действием осмотических сил и т.п. Одна из конструкций ЭЛПР, представляет собой целлюлозную трубку, герметично закрытую с двух сторон, в которую залит раствор электролита. В качестве электролита могут использоваться растворы солей, кислот, оснований различной концентрации.

При постановке электроприемника возникает диффузия электролита в исследуемую среду. Если электролит будет образовывать с накапливаемыми элементами нерастворимые соединения, то диффузия последних в электроприемник станет невозможной. Перемещение компонентов в ЭЛПР происходит под действием градиента их концентрации и градиента возникающего диффузионного потенциала (Г.В.Милков, В.С.Гванов и др., авт.свидетельство СССР № 894660 от 15.05.80). Этот потенциал связан с различными коэффициентами диффузии ионов электролита и ионов окружающей среды. Для стабилизации процесса извлечения необходимо выбрать в электроприемнике состав электролита, обеспечивающий для различных исследуемых сред более постоянную величину этого потенциала. Если в качестве раствора выбрать дистиллированную воду, то величина диффузионного потенциала будет определяться практически только составом окружающей среды. Применение в ЭЛПР сильных кислот (или щелочей) позволяет застабилизировать величины возникающих потенциалов, т.к. эти потенциалы, в основном, будут определяться составом и концентрацией используемой кислоты (щелочи). Кроме того, использование



кислоты, по сравнению с дистиллированной водой, позволяет увеличить скорость накопления металлов.

Так, проведенными нами экспериментами установлено, что использование  $\text{In}$  раствора азотной кислоты позволяет увеличить количество накапливаемого золота в 7—8 раз. Однако применяемый электролит должен вызывать лишь минимальное химическое растворение твердой фазы почвы, поэтому применение кислоты с концентрацией выше  $\text{In}$  нежелательно.

В варианте, предложенном НПО «Рудгеофизика», полевые наблюдения проводятся по заранее размеченным профилям следующим образом. Перед началом работ на профиле подготавливают элементоприемники. Для этого нарезают отрезки целлюлозной (сосисочной) оболочки длиной 70 мм, скручивают один конец и завязывают узлом. В полученный цилиндр заливают через воронку  $150 \pm 10$  мл приготовленного электролита, выжимают из оболочки воздух и завязывают с другого конца. Электроприемники помещают в полиэтиленовое ведро, а затем укладывают в почву в гумусовый слой в подготовленную канавку на глубину 5—10 см. ЭЛПР засыпается почвой из канавки, и вся почва вокруг нее увлажняется 0,5 л воды. Для нахождения электроприемника место его установки помечается колышком или концы оболочки выводятся из почвы на поверхность. Через определенное время (примерно 20 часов) ЭЛПР осторожно вынимают из почвы, смывают водой от приставшей почвы, разрезают ножницами в верхней части и раствор осторожно переливают в заранее подготовленную стеклянную емкость ( $\approx 200$  мл) с герметичной крышкой. Пробы направляются на концентрирование и последующий анализ.

Практика применения такой методики в полевых условиях выявила целый ряд недостатков, а именно:

герметичность целлофановой оболочки  $\approx 20\%$  случаев нарушается из-за прокола (колючки, острые камни), в результате чего электролит вытекает;

практически невозможно вернуться на отработанный участок в случае необходимости контроля;

время проведения полевых работ ограничено сезоном (лето, осень);

производительность сравнительно невысока — около 50 точек наблюдений в день на бригаду из 3 чел.

Указанные обстоятельства побудили нас выяснить возможность проведения МДИ в лабораторных условиях из заранее отобранных проб. Экспериментально было установлено, что при использовании навески пробы 30—50 г можно получить результаты, совершенно идентичные данным полевых наблюдений. В этом случае проведение полевых работ сводится к отбору проб с глубины 5—10 см (навеска 100 г), их просеиванию через сито с диаметром отверстий 1,0 мм и упаковке полученных проб в пакет. Производительность полевых работ при этом повышается примерно в 2 раза. Исключается брак при получении вытяжки. Появляется возможность контроля и проведения работ вне зависимости от сезона.

Техника извлечения металлов из пробы в этом случае заключается в следующем. Заранее готовятся отрезки из целлюлозной оболочки длиной 15 см, с узлом на конце. В оболочку засыпается через воронку с помощью мерки  $\approx 30$  г почвы, которая смачивается 10 мл дистиллированной воды. Проба в целлофановой оболочке помещается в стакан емкостью 100—150 мл, в который заливается заранее подготовленный электролит объемом 80 мл. Помещенная таким образом проба выдерживается в течение 3 сут. За это время в результате обратной диффузии накопление металлов в электролите практически прекращается. Электролит, содержащий золото, серебро и др. элементы, передается на концентрирование и последующий анализ.

Рассмотрим методику нейтронно-активационного определения золота и серебра в электролитических пробах МДИ ( $\text{In}$  раствор  $\text{HNO}_3$ ) с предварительным выделением в тонком слое ионообменника. Эта методика предназначена для количественного определения золота и серебра в электролитических пробах МДИ, представляющих собой  $\text{In}$  раствор  $\text{HNO}_3$ , содержащий микроколичества подвижных форм металлов, в т.ч. золота и серебра, извлеченных из почвы методом диффузии. В основе методики концентрирования лежит высокий коэффициент сорбции золота и серебра анионитом типа АВ-17 в j-форме, поэтому можно количественно вы-



Численные значения показателя точности (воспроизводимости) результатов анализа проб МДИ

Определяемый элемент	Среднее содержание, %	Относительное среднеквадратичное отклонение, %	Запас точности
Золото	$10,7 \cdot 10^{-10}$	19,6	1,5
	$23,8 \cdot 10^{-10}$	10,7	2,8
	$94,4 \cdot 20^{-10}$	12,0	2,5
Серебро	$3,5 \cdot 10^{-8}$	31,7	—
	$13,1 \cdot 10^{-8}$	19,6	1,5
	$74,1 \cdot 10^{-8}$	24,9	1,2

делить эти элементы из объема 100—200 мл электролита в навеске ионита 20 мг. Благодаря использованию малого объема ионита большинство мешающих анализу элементов проходят через ионит, практически не сорбируясь (Г.С.Никаноров, А.А.Кист, авт.свидетельство СССР № 394084).

Радиохимическая чистота ионита после концентрирования достаточна для нейтронно-активационного определения золота с пределом обнаружения  $1 \cdot 10^{-10}\%$ , серебра —  $3 \cdot 10^{-8}\%$ . Экспериментально установлено, что 20 мл ионита АВ-17 в j-форме, крупностью 0,15—0,2 мм, помещенного в микроколону диаметром 2—2,5 мм, обеспечивает количественное поглощение золота и серебра при пропускании до 200 мл 1н. раствора  $\text{HNO}_3$ . При этом золото концентрируется на 90—95 %, а серебро на 70—75 %. Вариации содержания микроэлементов в электролите не имеют существенного значения для полноты концентрирования золота и серебра.

Методика предварительного концентрирования и анализа сводится к следующему. Электролит из стакана переносят в концентратор, представляющий собой полиэтиленовый стакан с отверстием в нижней части, в которое вставляется микроколонка с ионитом. Скорость прохождения раствора через микроколону при соблюдении условий составляет не более 0,5 мл/мин, что сводит вероятность потерь за счет «проскока» к минимуму. По окончании сорбции микроколонки заворачивают в алюминиевую фольгу, маркируют и вместе с эталонами золота и серебра помещают в алюминиевый блок-

контейнер. Концентраты в количестве 100—120 шт, помещенные в блок-контейнер, облучаются в течение 3 ч в канале ядерного реактора потоком в  $10^{13}$  нейтронов на  $1 \text{ см}^2$  в 1 с. После спада активности короткоживущих радионуклидов через 10—11 дней концентраты извлекают из контейнера и измеряют спектр гамма-лучей с помощью Ge (Li)-полупроводникового детектора типа ДГДК-60 и многоканального анализатора АИ-1024. Содержание золота и серебра определяют по аналитическим фотопикам радионуклидов Au — 198 ( $E_g = 411,8 \text{ кэВ}$ ) Ag — 110 ( $E_g = 657,8 \text{ кэВ}$ ) путем сравнения их интенсивности с эталонами. При времени измерения наведенной активности около 7 мин предел обнаружения для золота составил  $1 \cdot 10^{-10}\%$ , для серебра —  $2 \cdot 10^{-8}\%$ . Поправка на «холостой опыт» за счет привноса золота и серебра из азотной кислоты марки ЧДА составила для золота  $2 \cdot 3 \cdot 10^{-10}\%$ , серебра —  $2 \cdot 3 \cdot 10^{-8}\%$ .

Для оценки воспроизводимости результатов на основе материала проб с рудопроявления «Тоннельное» Алмалыкского рудного района были подготовлены 3 пробы с различным содержанием золота и серебра. Воспроизводимость оценивалась в соответствии с ОСТ 41-08-205 (1981г.) путем отбора и анализа 20 навесок из каждой пробы. Полученная среднеквадратическая погрешность приведена в таблице.

Полученные результаты удовлетворяют условиям, предъявляемым к количественным определениям по III—IV категории точности.

Оценка возможности применения МДИ



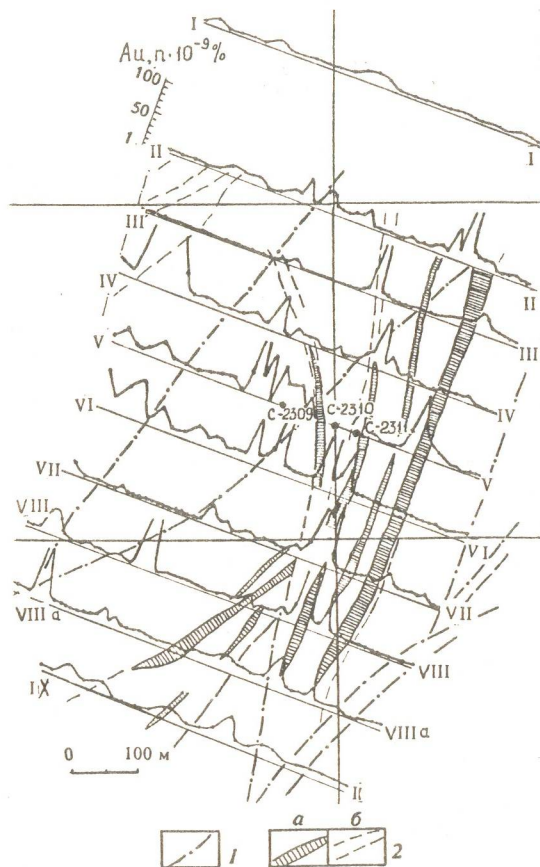


Рис. 1. Результаты определения золота по данным МДИ на рудопроявлении «Тоннельное»:

1 — разломы; 2 — зоны с рудными телами: а — выявленными, б — предполагаемыми; I, IX — номера профилей

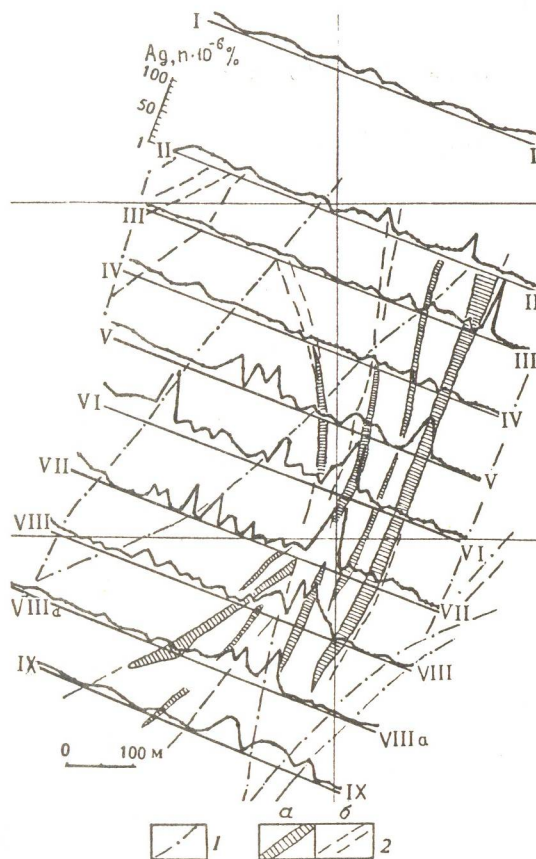


Рис. 2. Результаты определения серебра по данным МДИ на рудопроявлении «Тоннельное».

Усл.обозн. см. рис. 1

при геохимических поисках перекрытых золото-серебряных месторождений проведена в Алмалыкском рудном районе на рудопроявлении «Тоннельное».

Участок расположен в Северном тектоническом блоке Алмалыкского рудного района между двумя глубинными разломами С-З простирания (Накпайский, Саукбулакский) и занимает площадь около 7 км<sup>2</sup>. Преобладающими являются разломы С-В простирания, слагающие единую крупную структуру (Тоган-Северо-Каратагская). К западу находится медно-молибденовое месторождение Кальмакыр. Рельеф участка расчлененный. Углы наклона склонов от

10—15 до 30—40°. Абсолютные отметки достигают 1000 м. Мощность лессовых отложений от 0 до 10—15 м. Сиенито-диориты среднего карбона и их разновидности являются основными рудовмещающими породами полиметаллического с золотом жильного типа руд.

Жильный комплекс представлен кварцем с бедной полисульфидной минерализацией и кварц-барит-карбонатными жилами и прожилками с интенсивной полисульфидной с золотом минерализацией (преобладают галенит, сфалерит). Почти все жилы, выполняющие такие зоны, имеют крутое 70—80° падение на З-С-З. Роль карбонатов



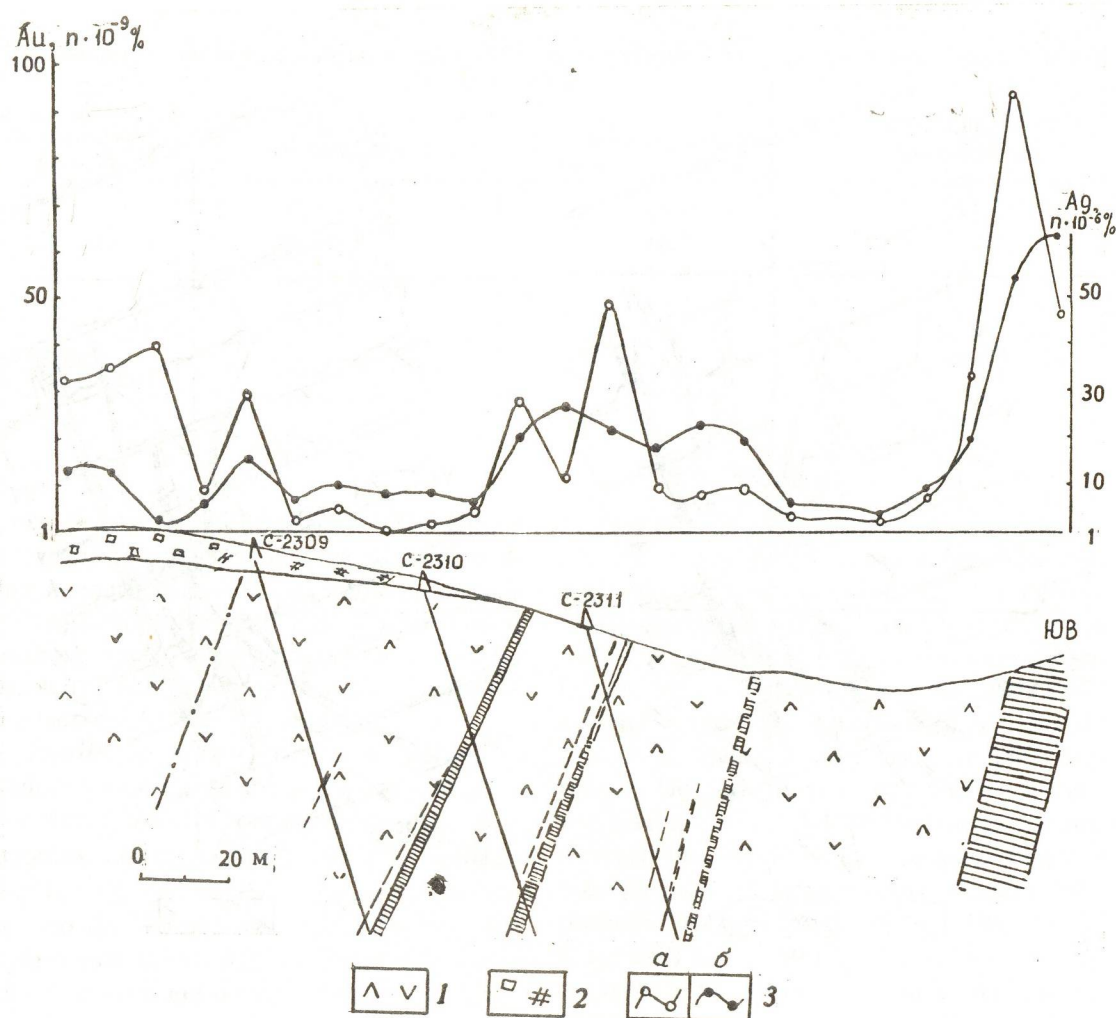


Рис. 3. Геологический разрез по профилю V—V рудопроявления «Тоннельное» с результатами МДИ на золото и серебро:

1 — сиенито диориты; 2 — рыхлые четвертичные отложения; 3 — содержание благородных металлов: а — золота, б — серебра, остальные усл. обозн. см. рис. 1

как катализаторов, способных осаждать полиметаллы, общеизвестна. При образовании гидротермальных жильных месторождений кварц-барит-карбонатные растворы, по-видимому, на глубине концентрируют в себе полиметаллы. Поднимаясь по рудоподводящим разломам, они локализуются в тектонических ловушках. Одна из таких ловушек была встречена в 1990 году при проходке водоотводного тоннеля № 4, где была вскрыта субмеридиональная тектоническая зона, выполненная барит-карбонатным материалом. Среднее содержание на общую мощность 11,5 м составило Pb — 1,58 %, Zn —

3,33 %, Au — 3,21 г/т, Ag — 25 г/т. Выделено несколько рудных сечений мощностью от 0,5 до 1,5 м с содержанием Pb — 0,4—40 %, Zn — 0,4—12 %, Au — 0,1—68 г/т, Ag — 1,0—556 г/т. При этом установлена прямая корреляция золота и серебра и полиметаллическим оруденением. Однако поисковые признаки для обнаружения трещинно-жильного типа руд в полной мере еще не отработаны.

Нами были проведены исследования МДИ на участке по 9 профилям по сети наблюдений 50 x 10 (рис. 1, 2, 3). Сложное тектоническое строение участка не позволя-



ет однозначно интерпретировать полученные результаты. Тем не менее, анализируя приведенные данные, можно увязать большинство аномалий золота и серебра с основной полиметаллической минерализацией или с тектоническими нарушениями. С нашей точки зрения, это позволяет дать рекомендации для выявления зон под бурение в недостаточно исследованных частях площади (например, Ю-В часть профиля VI—VII—VIII и С-З часть профиля V).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропова Л.В. Геохимические поиски глубокозалегающих рудных месторождений по металлоорганическим формам нахождения элементов // Геохимические методы поисков рудных месторождений. — М., 1982. С. 157—160.
2. Антропова Л.В., Шуралева А.З. Поиски глубоко-

залегающих рудных объектов методом МПФ по металлоорганическим формам // Методические рекомендации НПО «Рудгеофизика». — Л.: ВИРГ, 1984.

3. Гидрохимический и сорбционно-солевой методы поисков рудных месторождений / С.П.Албуа и др. — М.: УДН, 1966.
4. Метод диффузионного извлечения (Методические рекомендации ГПО «Рудгеофизика») / Г.С.Алексеев, А.С.Духанин и др. — Л., 1985.
5. Рысс Ю.С., Гольдберг И.С. Способ частичного извлечения металлов (ЧИМ) для поиска рудных месторождений // Сб. научных трудов. — Л.: ВИТР, 1973. № 84.
6. Соловов А.П. Основы теории и практики металлометрических съемок. — Алма-Ата: изд. АН КазССР, 1969.
7. Сорбционно-солевой метод поисков рудных месторождений / Под ред. С.П.Албуа, В.П.Горьковца. — М., 1978.

Nikanorov G. S., Sabirov Kh. S.

#### A DIFFUSION-BASED METAL EXTRACTION METHOD FOR USE IN GEOCHEMICAL EXPLORATION OF COVERED GOLD-SILVER DEPOSITS

*An advanced technique of diffusion-based metal extraction for use in geochemical exploration is described. The application of this method in exploration of concrete geological features in Pritashkentski region is reported.*



# СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.22:553.41/48

©В. Б. Чекваидзе, Н. Г. Кудрявцева, И. З. Исакович, 1995

## О РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЯХ ВУЛКАНОГЕННЫХ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В. Б. ЧЕКВАИДЗЕ, Н. Г. КУДРЯВЦЕВА, И. З. ИСАКОВИЧ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*На примере Маднеульского (Малый Кавказ) и Береговского (Закарпатье) месторождений проводится сравнительный анализ ассоциаций околорудных метасоматитов и руд, свойственных золото-полиметаллическим объектам колчеданного и эпитермального семейств.*

Золото-полиметаллические месторождения, содержащие в промышленных концентрациях как золото, так и цветные металлы, принадлежат в основном двум семействам рудных месторождений: колчеданному и семейству золото-серебряных месторождений «эпитермального» типа. Поскольку обстановки их формирования достаточно контрастны, представляет интерес провести сопоставление свойственных им ассоциаций руд и метасоматитов как индикаторов условий рудообразования. Объектами сравнительного анализа выбраны Маднеульское и Береговское месторождения.

✓ Маднеульское колчеданное месторождение расположено в Сомхето-Кафанской зоне Малого Кавказа. Его геологическая позиция определяется приуроченностью к вулканогенной депрессии между двумя выступами палеозойского фундамента. Рудовмещающими являются осадочно-вулканогенные породы верхнемелового возраста, подразделяемые на три свиты (снизу вверх): маднеульскую — туфы и туфо-брекчии андезитового и андезит-дацитового состава; казретскую — туфопесчаники, туфоалевролиты, кремнистые сланцы; набакревскую — туфы и субвулканические интрузии преимущественно липарит-дацитового состава. Последние образуют на месторождении силлообразную залежь, экранирующую орудене-

ние верхних горизонтов (данные Ю. П. Зарянова, Н. К. Курбанова и др., 1979 г.).

Комплекс околорудных метасоматитов слагает овальную линзовидную залежь в пачке серых туфоалевролитов казретской свиты и в кровле пачки дацитовых туфов, осложненную многочисленными крутоориентированными струями, уходящими в подстилающие и, в меньшей степени, в перекрывающие породы. Протяженность зоны метасоматитов в субширотном направлении 1,5 км, в меридиональном — около 800 м при средней мощности 250—300 м. В комплексе метасоматитов выделяются три основные группы преобразованных пород, последовательно сменяющих друг друга от глубин к поверхности (рис. 1).

1. Пропилиты слагают внешние обрамления линзовидного тела метасоматитов по простирацию и на глубину. Господствует альбит-хлоритовая фация пропилитов, с глубиной переходящая в эпидот-хлоритовую с ангидритом. С пропилитами ассоциирует рассеянно-вкрапленная серноколчеданная минерализация.

2. Слюдисто-кварцевые метасоматиты, близкие по составу к измененным породам формации кварц-серицитовых метасоматитов [5] и дающие переходы к гидрослюдистым аргиллизитам, представлены хлорит-серицит-кварцевыми, гидрослюдисто-сери-



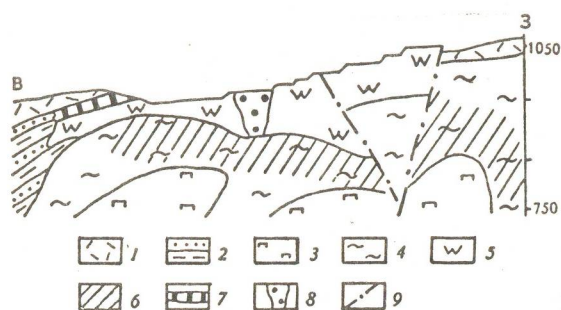


Рис. 1. Схема соотношения метасоматитов и руд в разрезе через Маднеульское месторождение:

1 — вулканы набакревской свиты; 2 — вулканогенно-осадочные породы казретской свиты; 3 — пропильтизированные вулканы маднеульской свиты; 4 — хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты; 5 — сольфатарные аргиллизиты; руды: 6 — медноколчеданные, 7 — барит-полиметаллические, 8 — золотые штокверковые; 9 — разломы

цит-кварцевыми и серицит-кварцевыми метасоматитами, часто чередующимися в разрезе. По мере приближения к поверхности усиливается гидратация слюд. В контуре метасоматитов описанной группы развита основная масса медноколчеданных руд в виде штокверковой пирит-халькопиритовой минерализации, контролирующей послонными зонами срыва и крутопадающими рудоподводящими разломами.

3. Группа сольфатарных аргиллизитов и кварцитов — сольфатаритов состоит из кварца, каолинита, алунита, гидрослюды, ярозита, барита, гидроксидов железа в разных соотношениях и других более редко встречающихся минералов. Сольфатариты непосредственно выходят на уровень современного эрозионного среза в центральной части месторождения. Здесь же выделяется удлиненно-овальное тело золотых штокверковых руд, представленных системой кварцевых прожилков. Кварц характеризуется темно-серой, зеленовато-серой и серой окраской и мелкозернистой структурой агрегатов. Локально в интерстициях его зерен отмечается опал. Кварц, насыщенный тонкораспыленным гематитом и гидроокислами железа, приобретает характерную желтовато-бурую окраску. К этим же участкам приурочена и убогая вкрапленность сульфидов [2].

4. Зоны баритизации, сопровождающие массивные и прожилково-вкрапленные полиметаллические руды, располагаются в самой верхней части сольфатаритов. В виде жил и прожилков они проникают в экранирующие тела липарито-дацитов.

Необходимо отметить, что кроме собственно золотых руд, золото отмечается также в составе медноколчеданных и барит-полиметаллических руд, не образуя промышленных скоплений.

Судя по данным гомогенизации газожидких включений, температуры формирования серноколчеданных руд составляют 370—280°C, медноколчеданных — 320—260°C, а барит-полиметаллических — 280—180°C [1]. Близкие к этим значениям температуры гомогенизации отмечаются и Э.Н.Барановым и др. [2]. В то же время, последние из указанных авторов отмечают на фоне плавного снижения температур от медноколчеданных руд к барит-полиметаллическим резкий всплеск температур формирования собственно золотых руд — 310—280°C.

По поводу возрастных взаимоотношений отмеченных типов оруденения существуют разные мнения. Один из первооткрывателей месторождения Ю.И.Назаров считает, что процесс формирования барит-полиметаллических и медноколчеданных руд разорван во времени, причем первые предшествуют вторым [9]. Согласно представлениям В.Г.Гогишвили [4], серноколчеданные, медноколчеданные и барит-полиметаллические руды составляют единую гидротермальную колонку, и их последовательное отложение обусловлено падением температуры и изменением *РН* растворов. Позиция собственно золотого оруденения В.Г.Гогишвили не рассматривалась. Близкой схемы в отложении серно-медноколчеданного и барит-полиметаллического оруденения придерживаются Э.Н.Баранов с соавторами [2], причем золотое оруденение в сольфатаритах они считают продуктом более поздних процессов, хотя и имеющих общие геолого-генетические связи с медноколчеданным и полиметаллическим оруденением. Существенно по-иному рассматривают последовательность оруденения Ю.П.Зарянов, В.В.Кулаков, Н.К.Курбанов и некоторые другие исследователи, выска-



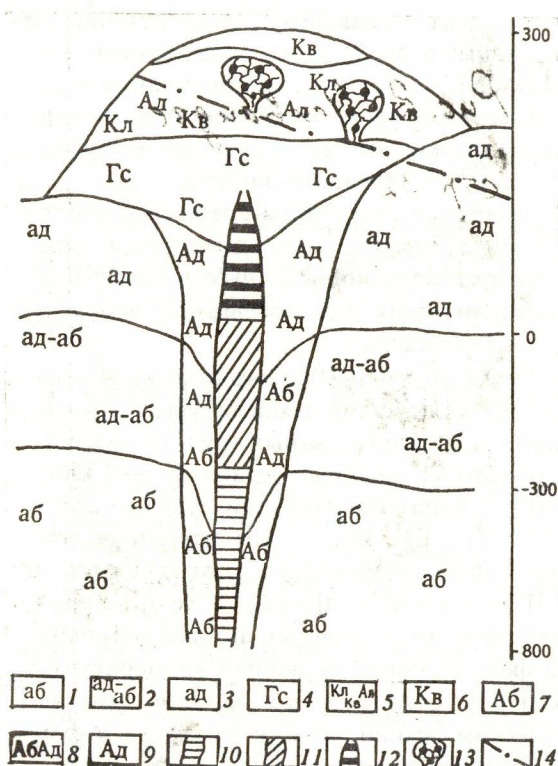


Рис. 2. Схема соотношений метасоматитов и руд на Береговском месторождении:

дорудные изменения: 1 — альбитовые, 2 — адуляр-альбитовые, 3 — адуляровые; сольфатариты: 4 — гидрослюдистые, 5 — каолинит-алунит-кварцевые, 6 — монокварцевые; 7 — альбитовые кварциты; 8 — адуляр-альбитовые кварциты; 9 — адуляровые кварциты; руды: 10 — колчеданно-полиметаллические, 11 — полиметаллические, 12 — золото-барит-полиметаллические, 13 — золотые штокверковые; 14 — разломы

завшие в 1979 г. представления о тесных связях его с определенными фазами вулканизма верхнемелового времени. По их мнению, формирование медноколчеданных руд происходило в «казретское время» после накопления туфогенно-осадочной толщи и ее гидротермальной проработки, а барит-полиметаллических руд — после отложения верхних туфов и их лав и внедрения субвулканических интрузий липарито-дацитов в «набакревское время». Формирование же собственно золотых руд отнесено к более позднему самостоятельному этапу оруденения, связи которого с магматизмом остаются проблематичными.

Береговское месторождение расположено в пределах внутренней вулканической

дуги Восточных Карпат. Вмещающие оруденение породы представлены часто чередующимися толщами вулканогенных (преимущественно кислого состава) и осадочных пород миоценового возраста, прорванных субвулканической интрузией туфовидных риолитов (данные А.Я.Радзивилла, 1978 г.) и многочисленными экструзивными куполами плагиориолитов. Породы разбиты системами разноориентированных разрывов, зачастую являющихся рудолокализирующими. В западной части рудоносной площади, известной под названием собственно Береговского месторождения, простирание разломов и контролируемых ими рудоносных зон преимущественно северо-восточное. В восточной части площади, часто выделяемой под названием Мужиевского месторождения, господствует запад-северо-западное простирание рудолокализирующих структур. В морфологическом отношении выделяются две группы рудных тел: 1 — жилы и жильные зоны, 2 — штокверки. Первые охватывают значительный вертикальный интервал рудовмещающего разреза, а вторые локализуются лишь на верхних горизонтах восточной части месторождения в виде конусообразных малопротяженных (десятки м) тел. Все породы рудовмещающего разреза в той или иной степени претерпели метасоматические преобразования. Основываясь на данных М.Ю.Фишкина [12, 13], Э.А.Лазаренко [8], О.М.Фиала, Л.П.Кириченко, Г.Г.Сасина, В.М.Зайцевой, Б.В.Пеньковской и собственных наблюдениях, комплекс метасоматитов Береговского месторождения может быть подразделен на три группы образований: дорудные, предрудные и синрудные.

Дорудные метасоматиты имеют большей частью площадное распространение и отчетливо зональное строение по вертикали. От глубины к поверхности сменяют друг друга следующие зоны: альбитовая, адуляр-альбитовая, адуляровая, зона сольфатарных продуктов с подзонами — гидрослюдистой, каолинит-алунит-кварцевой и монокварцевой (рис. 2). Следует заметить, что адуляр-содержащие зоны максимальное развитие получают на участках рудолокализации. Аналогична позиция и сольфатарных продуктов, по-видимому, телескопированно вмещающих в себе верхние зоны как доруд-



ных, так и предрудных и синрудных метасоматических колонок.

Предрудные метасоматиты включают в себя группу полевошпатсодержащих кварцитов. Они локально развиты в обрамлении рудных тел. В зоне сгущения рудоносных зон ореол развития кварцитов расширяется до нескольких десятков метров. Состав кварцитов зависит от их местоположения в вертикальной колонке дорудных метасоматитов. На уровне развития площадных альбититов в кварцитах господствует альбит, внутри двуполевошпатовой зоны в их составе присутствует альбит и адуляр. Наконец на уровне площадной адуляровой зоны в кварцитах господствует адуляр (см. рис. 2). Следует заметить, что обозначение метасоматитов как «кварциты» является условным, поскольку в их составе нередко преобладают полевые шпаты. Вверх по восстанию рудолокализирующих структур кварциты постепенно сменяются комплексом сольфатаритов.

Синрудные метасоматиты наиболее отчетливо выражены в составе золотоносных штоков на верхних горизонтах месторождения. Здесь они представлены кварцаолинит-диккитовыми скоплениями, вписанными в контур сольфатарных изменений. Их спецификой является наличие тонкого штокверка кремневидного кварца с гидроокислами железа и самородным золотом. Синрудные метасоматиты в обрамлении жильных зон маломощны (первые сантиметры) и встречаются спорадически в виде новообразований кварца, адуляра и т.д.

Рудоносные зоны зачастую характеризуются зональным строением по вертикали, при этом обнаруживается следующая тенденция в размещении руд: в зоне развития площадных альбитовых изменений и альбитовых кварцитов развиты колчеданно-полиметаллические, на уровне двуполевошпатовых метасоматитов локализуются полиметаллические, в зоне адуляровых изменений господствуют золото-полиметаллические руды. Следует отметить, что золото в рудах присутствует по всему вертикальному интервалу оруденения, но вполне отчетливо проявляется тенденция к накоплению его на верхних уровнях рудных тел, совмещенных с адуляровыми кварцитами. Гипсометрически выше золото-полиметаллических руд, в

зонах сольфатарных изменений, наблюдается резкое падение содержаний сульфидов вплоть до их полного исчезновения. Именно в этой обстановке локализуются штокверковые собственнорудные руды. По поводу генезиса и возраста последних существуют различные мнения. Некоторые исследователи объединяют указанные образования в единый рудный ряд, отмечая специфику геохимических условий рудоотложения отдельных звеньев этого ряда. Другие (Ю.А.Аверин, В.В.Грицик и др.) связывают золотоносные штокверки с этапом формирования взрывных брекчий в связи с более поздними магматическими проявлениями.

Сравнительный анализ двух рассмотренных объектов выявляет ряд черт их сходства и различия. Последние проявляются прежде всего в разном характере площадных преобразований, выраженных на Маднеульском месторождении пропиловыми изменениями, а на Береговском — процессами фельдшпатизации, что, возможно, связано с различиями состава вмещающих вулканитов — андезитоидного типа в первом случае и липаритоидного во втором. Это же обстоятельство, вероятно, явилось причиной различий в составе локальных метасоматических образований, являющихся типичными продуктами гипогенного кислотного выщелачивания на Маднеульском месторождении и проявлением щелочного метасоматизма на Береговском. Устанавливаемая в последнем случае корреляция степени золотоносности жильных рудных тел с интенсивностью адуляризации вполне обычна для золоторудных объектов эпitherмального типа [6].

Наиболее существенные черты сходства рассмотренных объектов проявлены в преимущественном развитии полиметаллического оруденения на средних и глубоких горизонтах месторождений, а золоторудных тел — на верхних уровнях рудолокализирующих структур. Другим сближающим оба объекта признаком является интенсивное развитие на их приповерхностных уровнях сольфатарных продуктов, заключающих штокверковые золоторудные тела.

Указанные продукты нередко обозначались термином «вторичные кварциты» [4, 7, 9]. Однако еще в 50-х годах Д.С.Коржинский [7] различал два типа метасоматитов



стадии кислотного выщелачивания в вулканических комплексах — вторичные кварциты и сольфатарные аргиллизиты. Первые, по мнению Д.С.Коржинского, формируются в несколько более глубоких субвулканических условиях и отчетливо привязаны к контактам интрузивных тел. Вторые же развиваются вблизи поверхности вне связи с интрузиями и свойственные им минеральные парагенезисы с кварцем, опалом, халцедоном, дикситом, каолинитом, минералами группы бестделлит — монтмориллонит, а также обильным алунином обусловлены окислением послемагматических газов и растворов кислородом поверхности. Таким образом, наличие сольфатарных шляп является свидетельством близповерхностных и субаэральных условий формирования объектов. Такое подразделение вулканогенных метасоматитов сохранилось в работах В.А.Жарикова и Б.И.Омельяненко [5 и др.] и нашло подтверждение в новейших разработках [11]. Важно подчеркнуть, что окислительные условия накопления сольфатаритов, по-видимому, не соответствуют осаждению из растворов сульфидов, в том числе и сульфидов цветных металлов, в то время как для накопления золота данная обстановка оказывается благоприятной.

В итоге сравнительного изучения разнотипного золото-полиметаллического оруденения, на примере двух месторождений, могут быть отмечены следующие закономерности.

1. Анализ материалов по рудно-метасоматическим ассоциациям эпитермальных золото-серебряных месторождений [14] выявляет отчетливую приуроченность колчеданно-полиметаллического оруденения к нижним и средним зонам вертикальной метасоматической колонки, где развиты пропилиты, полевошпатовые и слюдястые метасоматиты. С переходом к зоне сольфатарных аргиллизитов количество сульфидов в рудных телах резко снижается, вплоть до полного исчезновения. В этой связи локализация полиметаллических и барит-полиметаллических руд Маднеульского месторождения в зоне сольфатаритов выглядит совершенно аномальной. Как установлено в областях древней и современной гидротермальной деятельности [15], в зоне образования сольфатарных продуктов происходит

окисление сероводорода гидротерм кислородом поверхности, что не способствует отложению сульфидов, тем более в виде сплошных масс. Все эти данные не отвечают единому зональному ряду руд (от медноколчеданных к полиметаллическим и барит-полиметаллическим) на Маднеульском месторождении, а свидетельствует скорее о правомерности выделения самостоятельных этапов оруденения, как это следует из представлений Ю.П.Зарянова, Н.К.Курбанова и др. В этом случае накопление полиметаллических руд под экраном более молодых вулканитов набаковской свиты, перекрывших сольфатарные аргиллизиты и прервавших связи гидротермальной системы с поверхностью, выглядит в геохимическом плане более обоснованным.

2. Помимо рассеянного золота в колчеданных и полиметаллических рудах выделяются компактные массы собственно золотых руд, формирующих обособленные тела на верхних горизонтах месторождений в зонах сольфатарных аргиллизитов. Руды этого типа формируются в самостоятельные этапы гидротермальной деятельности, нередко в связи с взрывными процессами. Их соотношения с известными магматическими проявлениями остаются проблематичными, хотя общая пространственно-временная связь колчеданно-полиметаллического и золотого оруденения отмечается рядом исследователей [2, 10].

3. Развитие сольфатарных аргиллизитов на верхних уровнях Маднеульского месторождения свидетельствует о его определенном своеобразии и отличии от типичных колчеданных объектов, формирующихся обычно в более глубоководных условиях. По обстановке субаэральности в период рудообразования оно приближается к типичным эпитермальным золото-серебряным месторождениям окраинно-континентальных поясов и зон тектоно-магматической активизации, для которых подобные обстановки вполне обычны.

4. Тела штоковерковых золотых руд в зонах сольфатаритов легко могут быть пропущены из-за своих небольших размеров и при ориентировании поисков на жильный тип оруденения, что неоднократно имело место на практике. Поскольку эти тела отличаются высокими содержаниями золота и



нередко составляют основную ценность месторождений, целесообразно проведение ревизии разведываемых, эксплуатируемых и погашенных объектов, с хорошо развитыми сольфатарными шляпами, на данный тип оруденения.

Авторы выражают благодарность Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за финансирование работ по проекту 94-05-16522-а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аревадзе Д.В., Кавиладзе М.Ш., Сухишвили А.И., Ярошевич В.З. Флюидные включения и стабильные изотопы водорода и серы в колчеданно-полиметаллических рудах Болнисского района // Вопросы геологии и технологии полезных ископаемых Кавказа. — Тбилиси, 1979. С. 84—96.
2. Баранов Э.Н., Берман Ю.С., Карпущина В.С., Лежнеков Л.Г. О соотношении колчеданной и золотой минерализации (на примере колчеданного месторождения типа куроко) // Геохимия. 1989. № 4. С. 552—558.
3. Витык И.О., Скакун П.З., Демихов Ю.Н. Эволюция гидротермальных растворов в рудообразующей системе Береговского месторождения (Закарпатье) // Геология рудных месторождений. 1993. Т. 35. № 2. С. 142—150.
4. Гогишвили В.Г. Метасоматическая зональность на колчеданно-полиметаллических месторождениях Малого Кавказа // Сов. геология. 1980. № 4. С. 86—98.
5. Жариков В.А., Омеляненко Б.Н. Некоторые проблемы изучения изменений вмещающих пород в связи с металлогеническими исследованиями // Изучение закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях. — М., 1965. С. 119—190.
6. Константинов М.М. Золотое и серебряное оруденение вулканогенных поясов мира. — М.: Недра, 1984.
7. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. — М., 1955. С. 335—456.
8. Лазаренко Э.А., Козловский Л.М. Условия образования и закономерности пространственного размещения минералов во вторичных кварцитах Береговского района (Закарпатье) // Минералогия рудных месторождений Украины. — Киев, 1984. С. 193—198.
9. Назаров Ю.И. Особенности формирования и прогноз глубинных (скрытых) месторождений формаций Южной Грузии. — М.: Недра, 1966.
10. Науменко В.В., Гончарук А.Ф., Контюх Ю.М. Вулканогенное рудообразование в паннонском срединном массиве. — Киев: Наукова думка, 1986.
11. Русинов В.Л. Метасоматические процессы в вулканических толщах. — М.: Наука, 1989.
12. Фишкин М.Ю. Пропилиты Береговского рудного района в Закарпатье, их минеральные фации и генезис // Вопросы литологии и петрографии. — Львов, 1969. Кн. I. С. 134—140.
13. Фишкин М.Ю. Метасоматические процессы в вулканических породах Закарпатья и их роль в рудообразовании // Проблемы петрографии и генетической минералогии. — М., 1970. С. 103—123.
14. Hayba P.O., Bethke P.M., Heald P., Foley N.K. Geologic, mineralogic and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious-metal deposits. Review in Economic Geology. Vol 2. 1985. P. 129—167.
15. Henley R.W., Ellis A.J. Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review. Earth science reviews. 19. 1983. P. 1—50.

Chekvaide V. B., Kudryavtseva N. G., Isakov I. Z.

#### ORE-METASOMATIC ASSOCIATIONS OF VOLCANOGENIC GOLD - BASE METALS DEPOSITS

*A comparative analysis of the association of by-ore metasomatites and ores innate to gold - base metals deposition features of massive sulfide and epithermal families is performed using the Madneul'skoye (Little Caucasus) and Beregovskoye (Trans-Carpathian region) deposits as specific examples.*



УДК 553.411:550.93(575.3)

© Б. Я. Вихтер, К. Е. Хазан, А. Б. Дзайнуков, Д. З. Журавлев, 1995

## О Rb-Sr ВОЗРАСТЕ ИНТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЧОРИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)

Б. Я. ВИХТЕР, К. Е. ХАЗАН (ЦНИГРИ Роскомнедра), А. Б. ДЗАЙНУКОВ, Д. З. ЖУРАВЛЕВ (ИГЕМ РАН)

*Rb-Sr определения возраста интрузивных пород Чоринского района в Центральном Таджикистане в совокупности с геологическими данными позволили установить возрастной интервал (280—260 млн лет) формирования золото-сульфидного прожилково-вкрапленного оруденения, а также однозначно определить послерудный возраст пород формации биотитовых гранитов.*

Чоринский рудный район приурочен к Туркестано-Зеравшанской структурно-формационной зоне Южно-тяньшанского покровно-складчатого пояса. Золоторудные месторождения размещаются в известковистых, полимиктовых и вулканомиктовых песчаниках, гравелитах, алевролитах и аргиллитах олистостромово-флишовой формации верхнекаменноугольного возраста. Они контролируются кулисно построенной крутопадающей зоной смятия северо-западного простирания, прослеженной более, чем на 20 км. Месторождения относятся к единому геолого-промышленному типу прожилково-вкрапленных золото-сульфидных руд, пирит-арсенопиритовому минеральному типу; рудные тела представлены ленто- и линзообразными залежами.

Среди интрузивных образований выделяется три группы пород. Гранодиорит-, гранит-, тоналит-порфиры слагают дайки и дайкообразные штоки, образующие пояса и ареалы, преимущественно субпараллельные рудоконтролирующей зоне смятия, местами локализуются непосредственно в ней. Дайки диоритовых порфиритов и лампрофиров второй группы интрузивных пород также образуют пояса преимущественно северо-восточного направления. Ориентированы они диагонально и поперечно по отношению к рудоконтролирующей зоне смятия. Эта группа интрузий моложе первой: установлено отчетливое пересечение дайками лампрофиров даек гранодиорит-порфиритов. К третьей группе относится Петинский гранитоидный массив, находящийся южнее рудо-

контролирующей зоны смятия, в центре рудного района (рисунок). Обнаженная его часть имеет размер 1х3,5 км<sup>2</sup>. Плутон сложен биотитовыми гранитами, а эндоконтактная его часть, составляющая не более 10 % обнаженной площади массива, — биотит-амфиболовыми гранодиоритами. Соотношение биотитовых гранитов с дайковыми породами обеих групп неизвестны: в пределах плутона последние не отмечены.

Золото-сульфидные руды накладываются на порфир-порфиритовые дайки первой группы и на некоторых месторождениях (Чоре, Яфч) последние являются наиболее благоприятной средой рудоотложения, контролирующей наиболее богатые интервалы рудных тел. В дайках второй группы золоторудная минерализация не установлена. Более того, В.Н.Сорокиным на месторождении Чоре наблюдалось пересечение рудного тела дайкой лампрофиров. Петинский плутон не имеет непосредственных контактов с золоторудной минерализацией. По косвенным признакам термального воздействия плутона на золото-сульфидные вкрапленные руды месторождений Чоринского рудного района было высказано предположение [1] о пострудном возрасте становления биотитовых гранитов. Однако, установленная зональность размещения содержаний дисперсного золота в пирите по отношению к плутону позволяла также предположить отложение его в связи со становлением пород плутона. С целью решения вопроса о возрасте золотого оруденения и вероятности связи с биотитовыми гранитами Петинского плу-



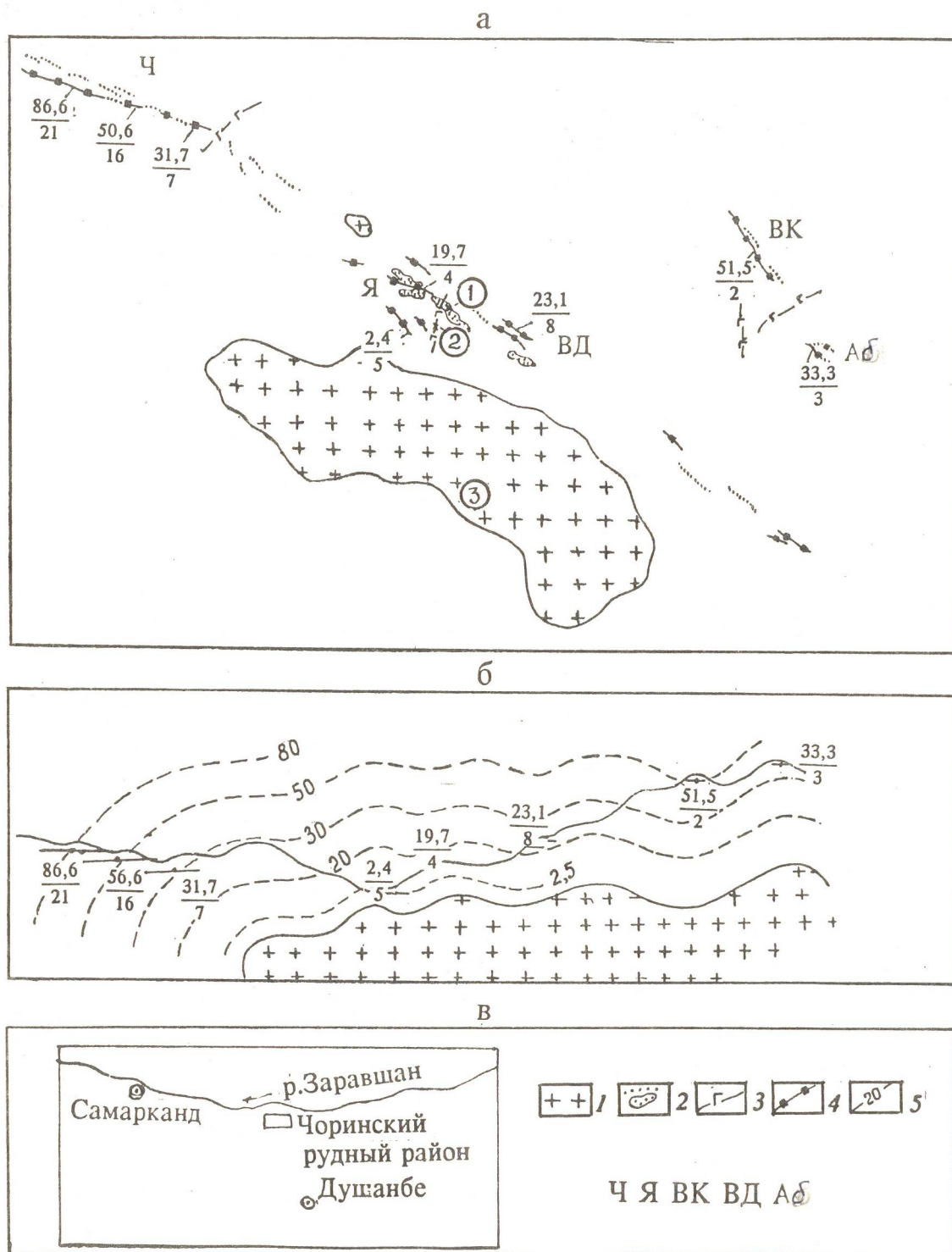


Схема центральной части Чоринского рудного района:

а — план, б — разрез, в — географическое положение. 1 — биотитовые граниты, 2 — дайки и штоки пород порфир-порфириновой группы, 3 — дайки лампрофиров, 4 — зоны с золото-сульфидной минерализацией, 5 — условные изоконцентраты содержания золота в пирите; дробные цифры: в числителе — среднее содержание золота, г/т, в знаменателе — число проб. Золоторудные месторождения: Ч — Чоре, Я — Яфч, ВД — Верхняя Дуоба, ВК — Верхний Кумарг, Аб — Альбититовое; цифры в кружках — места отбора проб для определения возраста



Результаты определения рубидий — стронциевого возраста интрузивных пород Чоринского рудного района

Но- мер проб	Порода	Материал	Концентрация МКГ/Г		$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$	Возраст породы, млн лет		
			Рубидий	Строн- ций				Изо- хрон- ный	По паре по- левой шпат—био- тит	По ва- лу и биоти- ту
1	Гранодиорит-порфир из штока	Вал	108,7	2837	0,1109±4	0,706900±15	0,70646±17		279±6	255±6
		полевой шпат	154,6	2482	0,1802±8	0,707030±23				
		биотит	253,9	1384	0,5310±63	0,708421±10				
2	Керсантит из дайки	Вал	61,5	851	0,2091±14	0,706136±20	0,705365±12	261±2		
		полевой шпат	115,7	1209	0,2769±10	0,706398±21				
		биотит	360,7	37,46	28,15±29	0,80984±10				
3	Граниты Петинского массива	Вал	150,3	339,4	1,282±5	0,714604±49	0,71000±66		255±2	254±2
		полевой шпат	349,0	256,6	3,943±13	0,723648±51				
		биотит	316,1	15,62	59,81±62	0,925968±26				

Примечание. Пробы проанализированы в лаборатории ИГЕМ, аналитик Д.З.Журавлев.



тона были выполнены Rb-Sr определения возраста образцов трех упомянутых групп интрузивных пород. Результаты определения представлены в таблице.

Изотопно-геохронологические исследования проводились по стандартным методикам с использованием смешанного трасера  $^{85}\text{Rb}$ - $^{84}\text{Sr}$ . Изотопные анализы рубидия выполнены на масс-спектрометре МИ-1320, стронций анализировался на многоколлекторном масс-спектрометре Финниган MAT-262. Параллельные анализы стандартного образца «Sr-ВНИИМ» дали средний результат  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70802 \pm 2$  (2 ед.).

Проба 1 отобрана из биотитовых гранитов Петинского плутона, представляющих преобладающую по объему и самую молодую по геологическим соотношениям фацию пород массива. Неудачным оказалось место отбора образца — вблизи контакта с известняками, в результате чего в гранитах содержится около 10 % карбонатов. Возможно по этой причине по трем определениям (по биотиту, полевоому шпату, валовому составу) не получилось четкой изохроны. По паре полевой шпат — биотит возраст составил  $255 \pm 2$  млн лет; по паре валовый состав — биотит —  $254 \pm 2$  млн лет. Образец 2 отобран из дайки керсантита на левом борту ручья Яфч, напротив штольни 15. Дайка имеет субмеридиональное направление, мощность около 2,5 м. По трем определениям из этого образца получена хорошая изохрона, отвечающая возрасту  $261 \pm 2$  млн лет. Образец 3 отобран из дайкоподобного штока гранодиорит-порфиров на правом борту ручья Яфч, вблизи устья штольни 15. Необычным является очень высокое содержание стронция, особенно в биотите. Изохроны по трем определениям для данного образца не получилось, возможно, из-за наложенных изменений, с которыми, вероятно, связано и аномально высокое содержание стронция. По паре полевой шпат — биотит возраст породы составил  $276 \pm 6$  млн лет, а по паре валовый состав — биотит —  $255 \pm 6$  млн лет. Однако последняя цифра представляется менее надежной, т.к. дайка керсантитов, изохронный возраст которой оказался 261 млн лет, пересекает шток гранодиорит-порфиров. Молодой возраст гранодиорит-порфиров совпадает с возрастом, установленным по паре полевой шпат — биотит для биотитовых

гранитов Петинского плутона. Можно предположить, что он отражает время термального воздействия биотитовых гранитов плутона на гранодиорит-порфиры.

Таким образом, изотопные рубидий-стронциевые определения возраста наиболее распространенных магматических пород Чоринского рудного района показали, что все они формировались в раннепермское время, а главная золотопродуктивная ассоциация, накладывающаяся на дайки гранодиорит-порфиров и пересекающаяся дайками керсантитов, отлагалась в интервале 280—260 млн лет. Биотитовые граниты Петинского массива, как предполагалось, формировались после отложения главной золотопродуктивной ассоциации. Таким образом, зональное размещение содержаний золота в пирите относительно Петинского плутона биотитовых гранитов, вероятнее всего, обусловлено воздействием последних на уже отложенные золото-сульфидные прожилково-вкрапленные руды.

Полагаем, что установленные возрастные соотношения золотого оруденения и интрузивных пород могут быть распространены и на аналогичные руды других месторождений Южного Тянь-Шаня — месторождения рудных полей Даугызтау и Кокпатаса в Кызылкумах. Хотя в их пределах не установлено таких отчетливых геологических соотношений золотого оруденения и интрузивных образований, как в Чоринском рудном районе, общность тектоно-магматического развития Южно-тяньшанского покровно-складчатого пояса, единство формационного характера плутонитов и сходство Rb-Sr и K-Ar возраста интрузивных пород в Кызылкумах и Центральном Таджикистане [1, 3] позволяют высказать такое предположение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вихтер Б.Я., Хазан К.Е. Зональность золото-сульфидного месторождения на основе распределения золота и других элементов в пирите и арсенопирите. //Тр. ЦНИГРИ. 1982. Вып. 167. С. 38—44.
2. Костицин Ю.А. Rb-Sr система пород и минералов месторождения Мурунтау: Автореф. канд.дис. — М., 1991.
3. Вихтер Б.Я., Иваненко В.В., Карпенко М.И. Новые K-Ar — определения возраста гранитоидов Южного Букантау (Кызылкумы, Западный Узбекистан) //Докл. АН СССР. 1991. Т. 317. № 6. С. 1435—1438.



Vikhter B. Ya., Dzainukov A. B., Khazan K. Ye., Zhuravlev D. Z.

ON Rb-Sr AGE OF INTRUSIVE FORMATIONS AND GOLD ORE MINERALIZATION IN CHORINSKI ORE REGION (CENTRAL TADJIKISTAN)

*Rb-Sr dating of intrusive rocks of Chorinsky region (Central Tadjikistan), taken together with geological data, has enabled the estimation of age interval (280—260 Ma) for gold-sulfide impregnated-streaky-type ore mineralization and unambiguous determination of post-ore age of biotitic granite formation rocks.*

УДК 553.411:551.311.231 (470.5)

© Т. П. Полякова, Н. М. Риндзюнская, Л. А. Николаева, 1995

## ЗОЛОТО В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ УРАЛА

Т. П. ПОЛЯКОВА, Н. М. РИНДЗЮНСКАЯ, Л. А. НИКОЛАЕВА (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Рассмотрены гипергенные преобразования остаточного золота в корях выветривания различных морфогенетических типов. В профиле линейно-площадной коры выветривания прослежены изменения золота снизу вверх (от зоны дезинтеграции к зрелым горизонтам бесструктурных глин).*

*Приведены описание и механизм образования вторичного золота.*

Авторами собрана коллекция золота из кор выветривания Урала, при изучении которого использовались следующие методы: геологическая документация скважин с отбором материала на пробирный, спектральный полуколичественный анализы, отбор проб на минералогический анализ для фацально-генетических реконструкций глинистых образований практически с каждой проходки (использована песчаная фракция класса 0,355—0,09 мм). Методика наших работ была направлена на изучение характера изменений золота в генетическом ряду первичная руда — кора выветривания (КВ) — россыпь. Это позволяет проследить последовательные эволюционные изменения золота и использовать их в качестве поисковых признаков золотоносных кор выветривания, а в комплексе с другими данными — оценить перспективы поисков коренных руд или россыпей. Помимо собственных исследований в данной работе учтены материалы Н. В. Петровской [9], В. М. Крейтера [10], В. В. Мурзина [4], Н. Б. Сергеева [1], С. В. Яблоковой [3, 6], Р. А. Амосова, А. Г. Баранникова [8], D. Evans [12], J. Webster [14], A. Mann [13] и др.

Типоморфизм золота изучался в разных морфогенетических и минеральных типах кор выветривания, сформированных по рудам различной формационной принадлежности. Большое внимание уделялось особенностям трансформации золота в разрезе гипергенного профиля коры выветривания от нижних его горизонтов к верхним. При этом использован комплекс методов, включающий оптическую и растровую электронную микроскопию\*, энергодисперсионный и рентгеноспектральный анализы, структурное травление, химический и спектральный анализы. Типоморфные особенности золота, отражающие условия его образования и изменения в зоне гипергенеза, позволяют судить о направленности и глубине процессов корообразования, и, соответственно, о генезисе рыхлых толщ, а также связи с ними тех или иных типов руд.

Основными объектами исследований являлись золотоносные коры выветривания Воронцовского и Светлинского месторожде-

\* Съемки на растровом электронном микроскопе проводились Р. А. Амосовым, Г. П. Кудрявцевой (ЦНИГРИ)



ний, а также ряд рудопоявлений золота в корях выветривания Приполярного, Северного и Южного Урала. Наложение процессов корообразования на гипогенные руды приводит к практически полному высвобождению золота из вмещающих пород и минералов, накладывает свой отпечаток на морфологию зерен и их внутреннее строение. Состав вмещающих пород, минеральный состав руд, морфология, внутреннее строение и набор элементов-примесей гипогенного золота в значительной степени определяют глубину преобразования золота в зоне гипергенеза, особенно ее нижних горизонтов. В верхних горизонтах коры выветривания, отличающихся глубокими химическими преобразованиями, типоморфные особенности гипогенного золота можно выявить далеко не всегда. В коре выветривания встречается золото двух генетических типов: остаточное (реликтовое), испытавшее различные преобразования, и вторичное (гипергенное), изучавшееся многими исследователями [1, 4, 6, 12, 13 и др.]. Соотношения остаточного и гипергенного золота в КВ зависят от минерального типа первоисточника (например, при окислении золото-сульфидных руд вторичного золота всегда значительно больше, чем при окислении золотоносных кварцевых жил).

Гипергенное золото образуется за счет окисления и разложения сульфидов, теллуридов, антимонидов, селенидов, золотосодержащих минералов, частичного растворения остаточного золота. Заключение в них тонкое и ультратонкое золото переходит в растворимый комплекс  $AuCl$  в истинных и коллоидных растворах [1, 13, 14]. Перенасыщенные золотом растворы в определенной обстановке (геохимические барьеры, карбонатная среда, сорбенты в виде Fe, Mn, глины и др.) быстро теряют свою устойчивость и легко осаждают золото. Вторичные выделения золота имеют размеры от десятых и сотых долей микрон до 1—5, реже 10—20 мкм. Такое золото было выявлено нами на целом ряде месторождений Урала. В больших количествах вторичное золото образуется в наиболее зрелых горизонтах контакто-карстовых кор выветривания (Светлинское месторождение, Чуксинское и Екатерининское рудопоявления). Диагностировать гипергенную природу золота на

микроскопическом уровне можно по тонко- и мелкозернистым, часто неоднородным, одно- и многофазным агрегатным структурам, пористым (губчатым, ажурным, рыхлым) текстурам, сростаниям с образованными в зоне гипергенеза вторичными минералами (при признаках одновременного с ними осаждения) и весьма часто по высокой пробе, отличающейся от пробы эндогенного золота.

При прочих равных условиях степень преобразования остаточного и интенсивность накопления вторичного золота зависят от геохимической направленности процессов выветривания и степени зрелости коры выветривания. Это представление подтверждается детальным изучением разрезов различных типов кор выветривания Урала, где мы наблюдали последовательные и направленные изменения золота снизу вверх по разрезу от слабоизмененных к более зрелым горизонтам коры выветривания.

Линейно-площадные коры выветривания. Эталонным объектом являлось Воронцовское месторождение, в зоне окисления которого развиты линейно-трещинные, контакто-карстовые и карстовые коры выветривания [2, 11], развивающиеся по прожилково-вкрапленным рудам золото-сульфидной формации. Главные рудные минералы-концентраторы золота представлены пиритом, арсенопиритом, антимонитом, реальгаром, аурипигментом, сфалеритом, галенитом, реже теллуридами и др. минералами. Золото изучалось из всех типов первичных и гипергенных руд.

В линейно-трещинной коре выветривания верхние наиболее зрелые горизонты денудированы, в результате чего гипергенный профиль сохранившейся коры следует отнести к неполному гидрослюдисто-каолинитовому, состоящему из нижеследующих минерало-геохимических зон:

*Зона дезинтеграции* представляет собой нижнюю часть (подошву) разреза коры выветривания. Мощность ее определяется, во многом, устойчивостью материнских пород. В зоне дезинтеграции силикатных и карбонатных руд, состоящей из глинисто-щебнистого материала, широко проявлены процессы высвобождения самородного золота из рудного вещества, чему способствовали эпигенетические гипогенные нарушения (дробление, метаморфизм и др.), приведшие к



повышенной трещиноватости рудовмещающих пород. Степень высвобождения самородного золота здесь высока, тем не менее не все золото переходит в глинистую массу. Часть его заключается в щебне рудовмещающих пород, часть находится в сростках с кварцем, сульфидами. Поскольку последнее, как и теллуриды, в нижней зоне лишь частично затронуты окислительными процессами, процент связанного с ними золота может быть достаточно высок и всегда выше, чем в более зрелых горизонтах КВ.

На периферии Воронцовского месторождения в участках развития кварцевых «застилов» (обломочные продукты разрушения кварцевых жил и прожилков), а также на ряде других месторождений Урала, где коры выветривания развивались по золото-кварц-сульфидным рудам, значительная часть золота (от 30 до 70 %) может быть заключена в щебне кварца.

Особенностью зоны дезинтеграции всех изученных нами месторождений Урала является резкое преобладание остаточного золота, сохраняющего морфологию и внутреннюю структуру металла первичных руд. Это характерно для всех типов эндогенных руд, кроме, пожалуй, карбонатных (Воронцовское месторождение). Р.О.Берзоном из протоцек последних было выделено большое количество золота биогенного происхождения (определение Р.А.Амосова). В коре выветривания по этому типу руды подобное золото не обнаружено. Возможно, золотые псевдоморфозы быстро разрушаются при окислительных процессах.

Наиболее характерными изменениями остаточного золота в зоне гидратации являются:

слабо развитая коррозия на поверхности зерен: зародышевая, прерывистая, локальная. Реже встречаются золотины со сплошной тонкой коррозионной оболочкой. Иногда коррозия почти полностью отсутствует;

образования вторичного золота не характерны;

среди примесей в золоте отмечается широкий набор элементов, отражающий минеральный состав первичных руд (серебро, медь, сера, ртуть, свинец и др.). Но в корродированных золотилах происходит частичный вынос элементов-примесей, особенно серебра, ртути. Содержание серебра на

поверхности золотинов обнаруживает обратную связь с интенсивностью гипергенного расчленения микрорельефа поверхности и может быть использовано как критерий глубины коррозии;

в значительной степени сохраняются реликты первичных минеральных ассоциаций золота, как правило, в форме изолированных включений кварца, полевого шпата, магнетита, реже пирита, арсенипирита. Часть золотинов покрыта гипергенными пленками в виде тонких налетов гидроксидов железа или карбонатов. Корродированные золотины имеют матовую мелкобугорчатую поверхность, за счет выщелачивания минералов (сульфидов, кварца и др.). Некорродированные золотины сохраняют реликтовый металлический блеск;

проба золота варьирует в широких пределах (от 650 до 960) и зависит от его эндогенных особенностей. Наряду с этим у слабокорродированного бугорчатого золота в поверхностном слое она выше, чем в центральной ядерной части зерен.

Таким образом, в зоне дезинтеграции гипергенные изменения слабые: преобладают слабокорродированные золотины. Вместе с тем, встречаются единичные зерна с глубокой коррозией, со следами шрамов и бороздами перемещения на их поверхности, что свидетельствует о выносе золота в зону дезинтеграции за счет механических просадок из верхних зрелых горизонтов коры выветривания.

Зона глин соответствует зоне гидратации, выщелачивания и начального гидролиза. Она является верхним горизонтом в профиле КВ. Мощность ее зависит от многих гипергенных и гипогенных факторов и может достигать 80—100 метров. Степень глинистости увеличивается вверх по разрезу. По структурно-текстурным, литолого-минералого-геохимическим особенностям можно выделить две подзоны: структурных и бесструктурных глин.

В подзоне структурных глин коренные породы, переходя в глинистое состояние, сохраняют первичные структурно-текстурные признаки и включают реликтовый менее выветрелый щебень. Количество его сокращается снизу вверх. Процессы химического выветривания протекают значительно интенсивнее, чем в зоне дезинтеграции. Они



приводят к тонкой диспергации рудного материала и, в конечном счете, к достаточно совершенному высвобождению и раскрытию самородного золота всех классов крупности, а также тонкодисперсного золота из упорных руд.

В верхней части подзоны подавляющее количество золота с технологической точки зрения — свободное. В нижней — металл, как правило, высвобождается из эндогенных рудных минералов не полностью: часть золота остается заключенной в окисленном пирите, арсенопирите, кварце и других остаточных рудных минералах. Основная часть свободного золота находится в глинистом заполнителе или связана с гипергенными инфильтрационными натечными гидроксидами железа. В верхних горизонтах золото ассоциирует почти исключительно с гипергенными образованиями: глинами, органикой, гидроксидами железа и марганца. В последних наряду с золотом сорбируются мышьяк, сурьма, серебро — высвободившиеся при окислении и разложении сульфидов, теллуридов и др. Включения эндогенных минералов, особенно кубического пирита и других сульфидов, чаще всего уже выщелочены из остаточного золота, но могут и сохраниться в виде окисленных форм. Частично сохраняются включения кварца. Размеры зерен золота зависят от размеров его выделений в первичных рудах. Как правило, преобладает мелкое, тонкое и дисперсное золото.

Морфология остаточного золота отражает морфологию первичного, но за счет коррозии происходит некоторое сглаживание ребер, граней, притупление вершин кристаллов. Сrostки кристаллов наблюдаются редко. Поверхность золотин матовая, нередко мелкобугорчатая, шагреновая, ямчатая. Иногда наблюдались золотины, одна плоскость которых корродирована, а другая сохраняет реликтовый рудный облик и блеск. Это, скорее всего, связано с неравномерным высвобождением золота из сrostков: одна грань высвободилась раньше и подверглась коррозии, другая длительное время была «запечатана» в кварце или в рудовмещающих породах и тем самым исключалась из окислительных процессов до момента полного высвобождения золота.

Для этой подзоны характерно сонахождение

золотин с различной степенью коррозии: от прерывистой до сплошной, глубокой. Пробность золота варьирует в широких пределах: от 650 до 990. Это связано с сохранением влияния разнообразного эндогенного золота, а также неравномерным во времени его высвобождением в зоне гипергенеза. Последнее объясняется различной устойчивостью к выветриванию рудовмещающих пород, а также золотосодержащих минералов. Неравномерность выветривания в пределах подзоны связана с неоднородностью геохимических обстановок, обусловленных изменяющимися геологическими, минералогическими и ландшафтными факторами. В целом здесь происходило очень быстрое нарастание интенсивности гипергенных изменений золота снизу вверх по разрезу: утолщается коррозионная оболочка, развиваются высокопробные каймы за счет выноса с поверхности серебра, меди, ртути. Проба золота в коррозионной оболочке составляет 960—998, а в центральной части золотин возможно сохранение реликтов с пробой 850.

Важной особенностью этой подзоны является развитие под влиянием процессов диффузии и электрохимической коррозии в зернистых агрегатах золота высокопробных межзерновых прожилков, включений и пленок. Здесь также встречаются единичные золотины со следами механических перемещений (завальцованные края, шрамы, борозды). Эти изменения характерны для верхних горизонтов подзоны. Отмечаются сrostки золота с глинистыми минералами, охрами железа. Вторичное золото встречается редко в виде микроскопических глобулярных выделений на остаточном золоте. В коррозионных трещинах последнего наблюдаются гидроксиды железа, образования алюминия, хлористого калия. Вверх по разрезу изменения остаточного золота сопровождаются частичным растворением и сглаживанием выступов.

Более глубокие преобразования золота в коре выветривания наблюдаются вблизи геохимических барьеров, например, на контакте силикатных пород с карбонатными, где активность гипергенного воздействия, в том числе и на золото, усиливается. Это выражается в изменениях внутренней структуры золотин: разрыхлении периферии



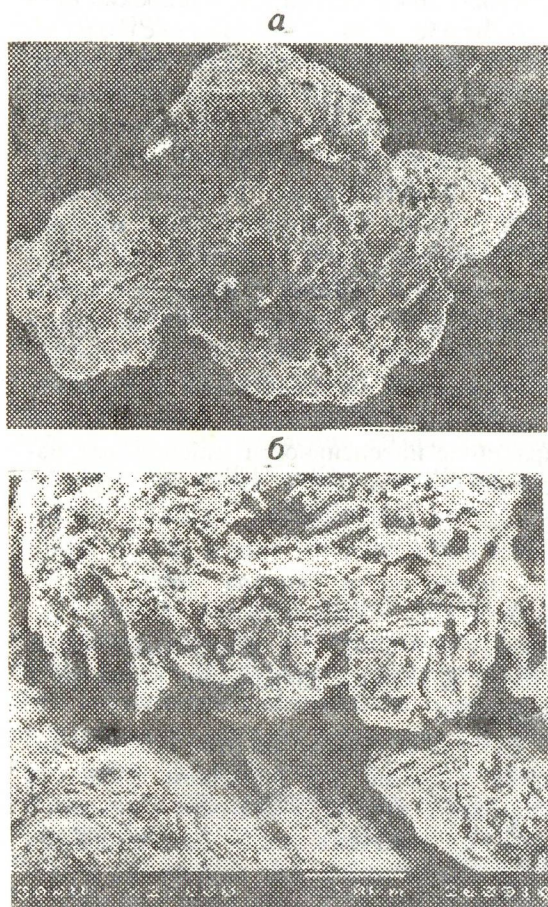


Рис. 1. Остаточное золото в коре выветривания:

*а* — ситовидное золото, *б* — глубоко корродированная поверхность золотины. На локальных участках сохранились следы транзита

ческого слоя зерен, которые в своей центральной части сохраняют остаточную плотную субструктуру роста; скруглении фестончатых границ разнозернистых тонко- и мелкозернистых агрегатов; появлении многочисленных высокопробных межзерновых прожилков мощностью 0,002—0,003 мм, в отдельных случаях до 0,02 мм. Проба золота преимущественно высокая: 910—960, лишь в единичных случаях в центральных частях золотинок сохраняется реликтовая проба 725. Вторичное золото в виде отдельных мелких наростов и пленок локализуется в коррозионных углублениях и бороздах остаточного

золота, не образуя сколько-нибудь значительных скоплений. На карбонатных барьерах оно находится в сростании с гипергенными глинистыми минералами и охрами.

В подзоне бесструктурных глин достаточно зрелые образования коры выветривания в коренном залегании сохраняются редко и обычно представлены нижней частью подгоризонта. В переотложенном состоянии они бывают захоронены в карстовых депрессиях.

Золото несет следы глубоких гипергенных преобразований. В связи с интенсивной диспергацией материала рудовмещающих пород все золото свободное, связанного обычно не наблюдается. Среди остаточного золота преобладает глубоко измененное. Гипогенные минералы, ранее сроставшиеся с золотом или находившиеся в нем в виде включений, практически уничтожены. Встречаются «ситовидные» золотины с множеством углублений и сквозных отверстий, оставшихся после выщелачивания или выпадения включений гипогенных минералов (рис. 1, *а*). Размер отверстий около 10 мкм.

В части отверстий сохранились реликты кварца. Рудные минералы, как менее устойчивые, полностью уничтожены выветриванием. Золото ассоциирует с гипергенными минералами. Широко распространены сростки золота с гидроксидами железа, марганца, алюминия, каолинитом, галлуазитом, гидрослюдой, ярозитом, в кавернозных впадинах отмечаются наросты крокоита, гипса, гетита. На поверхности золотинок широко развиты пленки гидроксидов железа. Поверхность большей части остаточных золотинок глубоко корродирована с образованием высокопробных кайм (до 1000 ед.). Широко развиты межзерновые высокопробные прожилки, за счет чего практически не остается реликтов остаточного золота и проба, даже в центральной части золотинок, не опускается ниже 965—990 ед. Иногда встречаются индивиды с зональным строением, в центральной части которых сохранилось реликтовое золото 750 пробы, в коррозионной оболочке проба — 960. Происходит полный или почти полный вынос примесей серебра, меди, ртути, серы и других элементов-примесей. Здесь также локально развиты на выступающих частях зерен следы механического проседания в виде борозд и шрамов (рис. 1, *б*).

Для этой подзоны характерно образова-



ние вторичного золота. Вместе с тем, в линейных корах выветривания Воронцовского месторождения его сравнительно мало и значительно меньше, чем в расположенных рядом карстовых полостях, где захоронены верхние наиболее зрелые горизонты коры.

Встречается на этом месторождении вторичное золото с очень высокой пробой и серебросодержащее. Последнее образовалось по золотоносным серицит-кварцевым метасоматитам с изначально низкой пробой эндогенного золота (650—760, 880) и представлено электрумом. Подобное золото обнаружено и в коре выветривания на Екатерининской площади Северного Урала, где, как мы считаем, возможно открытие месторождения воронцовского типа.

Контактово-карстовые коры выветривания на Воронцовском, Светлинском месторождениях, Чуксинском рудопроявлении и др. сформированы по контакту вулканогенно-осадочных и карбонатных пород. В этом типе кор золото, как правило, претерпевает очень глубокие преобразования. Высокая глинистость и повышенная карбонатность создают особо благоприятную среду для глубоких гипергенных изменений остаточного и для осаждения вторичного золота.

Остаточное золото сохранилось только в виде реликтовых пятен в ядерной части некоторых золотин. Оно окружено мощными коррозионными оболочками, занимающими до 80—90 % объема золотин. Коррозионная оболочка рекристаллизованная, с обрывающимися двойниками. Размер индивидуальных зерен в коррозионной оболочке — первые микроны. Встречаются золотины, претерпевшие полную перекристаллизацию и потерю пористости. Проба их очень высока. В коррозионных полостях отмечаются гидроксиды железа, марганца, сферолиты хлористого калия, кварца. Широко развиты золотины с ямчатой, шагреновой матовой поверхностью. Относительно слабо измененное золото наблюдается в нижних горизонтах кор выветривания и на участках перемещения материала в карстовых просадках.

Следы механического перемещения золота выражаются в деформациях поверхности зерен золота со сглаживанием их острых выступов, завальцовыванием тонких краев, уплотнением коррозионных оболочек. При резких вертикальных механических перемещени-

ях некоторые грани подвергаются полировке вплоть до рудного блеска золота за счет образования зеркал скольжения, а обмятие и завальцовывание острых выступов создает эффект псевдоокапывания при неоднократных просадках [2]. При перемещениях на поверхности золотин образуются царапины и шрамы. Они могут накладываться на уже корродированное золото. В других случаях шрамы сильно замаскированы последующей коррозией и наростами ажурных агрегатов вторичного золота. Следовательно, механические просадки золота происходили в несколько этапов, прерывавшихся периодами покоя, когда золото вновь подвергалось процессам корообразования. Это согласуется с многоэтапностью коро- и карстообразования.

Таким образом, в карсте процессы химического выветривания протекают более активно. Это проявляется в широком развитии гипергенного золота разнообразной морфологии, образующего на поверхности остаточного золота не отдельные глобулы, а гирлянды (рис. 2, а, б), цепочки из глобул, ажурные каймы. Вторичное золото не только выполняет выемки, шрамы, вмятины. Оно также рассеяно в виде пленок и отдельных агрегатов в глинистом материале, образует сростки с гидроксидами железа, глинистыми минералами. Размеры агрегатов вторичного золота от 0,0005 мкм до 2 мкм. При увеличении в 1000—3000 раз видно, что индивидуальные частицы вторичного золота неплохо окристаллизованы и иногда имеют почти плоские грани. Проба очень высокая. Серебро в составе вторичного золота не обнаружено.

За счет разложения теллуридов, антимонидов образуется так называемое «горчичное» золото. Оно может быть «бессеребряным» и «серебросодержащим» [1, 4, 5, 7]. Для него характерно землистое пористое строение и присутствие примесей Те (Sb, Se); форма выделений — тонкогубчатая из колломорфных, эмульсионных, нитевидных частиц. «Горчичное» золото образует рыхлые комковидные агрегаты из частиц размером 0,1—0,3 мкм, находящихся в охристой массе.

В карстовых корах выветривания Воронцовского месторождения обнаружены также выделения с колломорфными ажурными на-



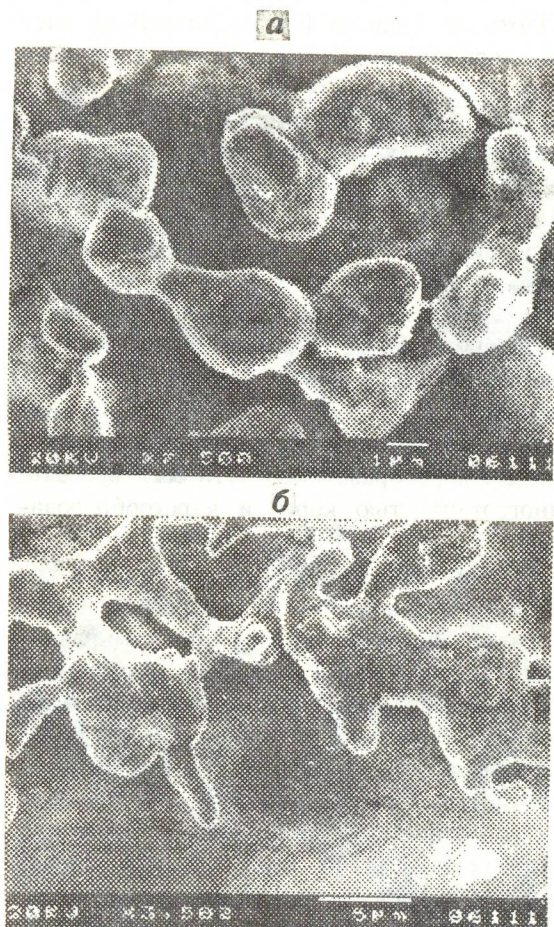


Рис. 2. Глобулярные выделения вторичного золота.

Увеличение: а — 7500, б — 3500

ростами вторичного золота, образовавшегося при разложении ауристита, сросшегося с весьма высокопробным эндогенным золотом антимонитовой ассоциации. Наблюдается процесс укрупнения таких выделений за счет слипания субмикронных однофазных частиц в более крупные тонко-микрозернистые многофазные агрегаты размером 0,3—0,8 мм до 1—2 мм [4]. Укрупнение гипергенного золота в коре выветривания встречается также в пределах Екатерининского рудно-россыпного узла. Одна из разновидностей вторичного золота представлена натечными агрегатами сферо-комковидной формы. Для них характерно зональное строение, обусловленное срастанием множества

микроскопических зональных сферических глобул, позднее обросших общими зонами. В результате этого размер золотинок увеличивается до образований видимого золота.

Очень характерны гипергенные срастания вторичного золота с вторичным гетитом, гематитом. При этом также часто происходит укрупнение золота. Формы выделения такого золота чрезвычайно разнообразны: от аморфных сферических агрегатов до кристаллических образований игольчатых, нитевидных форм или сложных четко ограниченных многоугольников. Соосаждение золота и гидроксидов железа способствует концентрации ультрадисперсного и дисперсного золота.

Детально изучены два таких стяжения.

1. Масса 2,63 г, размер 10х10х6 мм. Агрегат бурого железняка с включениями гипергенного кварца и пленочными наростами золота. Последние представляют собой результат укрупнения и слияния пылевидных частиц, которые на промежуточной стадии роста превращаются в островковую пленку, а затем — в сплошную корочку. Распределение пылевидного золота подчиняется текстуре натечного агрегата бурого железняка. Проба золота 960.

2. Масса 7,49 г, размер 17х10х10 мм (рис. 3, а, б). По форме напоминает конкрецию, в центре полости которой находились мелкие зерна сильно корродированного кварца со следами окатанности (возможно, за счет растворения выступающих граней) и обломки в виде тонких пластинок слюдинокварцевых сланцев. Конкреция представляет собой агрегат остаточного магнетита, гидроксидов железа и золота. В стенках конкреции заключены также беспорядочно ориентированные мелкие обломки кристаллов горного хрусталя.

При увеличении в 750—3500 раз можно видеть, что гидроксиды имеют коллоидное, радиально-лучистое строение. Золото двух типов: остаточное и вторичное, последнее представляет собой большое количество слипшихся пылевидных частиц, размером 0,5 мкм, образующих прожилки и пленки до 5 мкм. Распределение пылевидного золота подчиняется текстуре натечного агрегата бурого железняка.

Магнетит трещиноватый, неравномерно окисленный. По трещинам и в отдельных



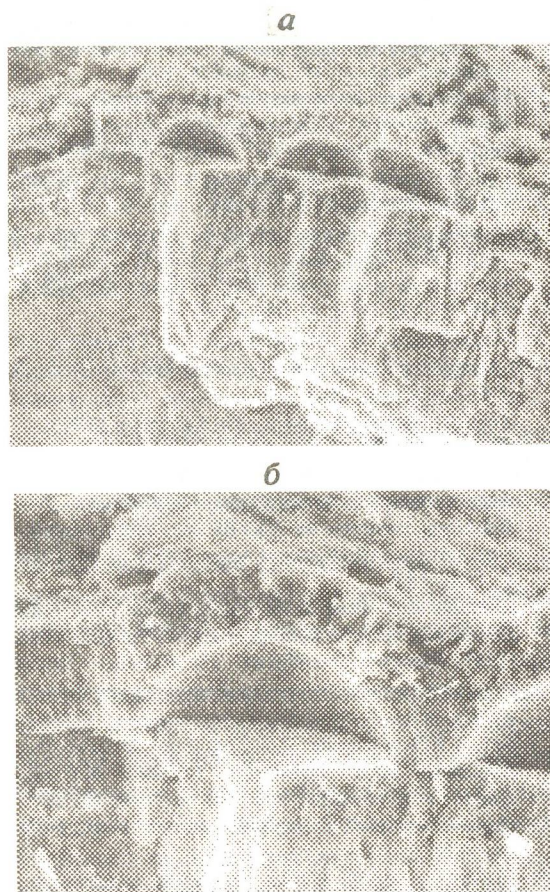


Рис. 3. Соосаждение гипергенного золота (0,5 мкм) с гидроксидами железа.

Увеличение: а — 2000, б — 5000

участках развиваются гидроксиды железа. В обломках магнетита и между ними процесс мартитизации проявлен в разной степени, иногда это только начальная стадия, приводящая к разуплотнению и слабой гидратации магнетита.

Крупные выделения вторичного золота располагаются в таких разуплотненных участках с прожилками гидроксидов (полированный срез) и в гидроксидах железа, заходя сrostками в разуплотненный магнетит-мартит и в трещинки магнетита. Золото выполняет трещинки и участки дробления во вмещающей среде и выделяется позднее развивающихся по магнетиту оксидов и гидроксидов железа. Структура золота разнoзернистая (от крупно- до тонкозернистой) в крупных выделениях, разнoзернистая и в

виде зернистых индивидов у частиц размером менее 3 мкм. Субмикроскопическая структура, в зависимости от ориентировки среза золотин, чешуйчатая ромбовидная плотная или торцово-полосчатая. Мелкие частицы часто имеют рыхлую чешуйчатую структуру, иногда двухфазную, причем форма чешуек как ромбовидная, так и скругленная или прямоугольная. В тончайших трещинках отдельные чешуйки отрываются от мелкой золотинки и как бы растаскиваются. Возможно, это просто тонкое золото, высвобожденное при окислении магнетита и после его замещения лимонитом, отложившееся на месте. В участках эмульсионной вкрапленности золота наблюдается рыхлая структура предположительно за счет слипания высвобожденных при разложении магнетита субмикронных его частиц.

По границам крупных массивных выделений золота появляются микрозернистые структуры с рыхлым двухфазным субмикроскопическим строением. Образуется губчатый агрегат вторичного золота, имеющий рыхлые чешуйчатые субструктуры с ветвистыми прожилками более низкопробной фазы. Чешуйки высокой пробы иногда не слипаются с другими, а размещаются изолированно в гидроксидах. Форма их прямоугольная.

Таким образом, механизм формирования вторичного золота в конкреционных стяжениях гидроксидов железа нам представляется следующим: высвобождение тонкого золота из окисленных минералов; слипание его в агрегаты и разрыхление периферических слоев золотин путем кислотного выщелачивания, отслоение тонких чешуек роста и их слипание или растаскивание по трещинкам. Вторичное золото настолько хрупко, что не выдерживает даже незначительных перемещений (ломается, рассыпается), поэтому, если в аллювии наблюдаем подобные формы, мы вправе говорить о наложении процессов корообразования на уже сформированную россыпь.

При просадках в карсте происходят изменения вторичного золота в виде его «обмятия», потери пористости, уплотнения облочечек, в результате чего оно может иметь россыпеобразующее значение.

Проведенное исследование показывает, что для контактово-карстовых кор выветривания Урала характерны более интенсивные



трансформации золота, чем для линейных. Они заключаются в полной перекристаллизации остаточного золота, образовании разнообразных форм вторичного золота и его укрупнении, в повышении концентрации золота на карбонатных барьерах, а также в достаточно широких процессах его механического перемещения в карстовых просадках.

В корях выветривания претерпевают преобразования и самородки. Несколько самородков было изучено из пролювиальных россыпей Кожимского района, источником питания которых являлись золотоносные коры выветривания. На поверхностях самородков с пробой 960—990 и весом от 2 до 7 г, видны глубокие преобразования. Характерна интенсивная корродированность самородков, особенно их выступов. На многих из них в отрицательных формах микрорельефа наблюдались «рубашки» гидроксидов железа и коррозионные скульптуры. В западинах и бороздах самородков развивается вторичное золото.

Подводя итоги вышеизложенному, можно констатировать, что:

интенсивность изменения золота в коре выветривания зависит от степени зрелости и геохимических особенностей среды. Для Урала наибольшие трансформации золота характерны для кор выветривания в карсте, за счет более активных процессов углекислого и серноокислого выветривания, а также за счет лучшей сохранности золота;

в корях выветривания происходит укрупнение золота, а также образование прожилков и агрегатов в результате электрохимических процессов, вызывающих его слипание.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугельский Ю.Ю., Витовская И.В., Никитина А.П., Сергеев Н.Б. Экзогенные рудообразующие системы кор выветривания. — М.: Наука, 1990.
2. Методические рекомендации по поискам россыпей, связанных с карстом / И.Б.Флеров, Н.М.Риндзюнская и др. — М.: ЦНИГРИ, 1988.
3. Минералогия золотоносной коры выветривания на месторождении прожилково-вкрапленных руд в терригенно-карбонатных толщах докембрия / С.В.Яблокова, М.С.Коновалова и др. //Тр. ЦНИГРИ. 1986. Вып. 208. С. 5—10.
4. Мурзин В.В., Григорьев Н.А., Мецнер Э.И. О механизме укрупнения частиц золота в гипергенном ореоле остаточного типа // Докл. АН СССР. 1985. Т. 284. № 4. С. 956—959.
5. Нестеренко Г.В., Воронников Б.А. Генезис и типоморфизм самородного золота гипергенной зоны // Рудоносные формации зоны гипергенеза. Тез.докл. Всесоюз. совещ., 3—5 октября 1990 г. — Л., 1990. С. 50.
6. Николаева Л.А., Яблокова С.В. Типоморфизм самородного золота зоны гипергенеза // Минералогия. Докл.сов. геологов на XXVIII сес. Международн. геол.конгресс (Вашингтон, июль 1989). — М., 1989. С. 178—183.
7. Новиков В.П. Поведение золота в зоне окисления золото-серебряного месторождения //Тр. ЦНИГРИ. — М., 1986. С. 23—28.
8. О механизме накопления свободного золота в продуктах мезозойской коры выветривания / Г.А.Бурин, А.Г.Бараников, В.С.Шуб и др. //Рудоносные формации зоны гипергенеза. Тез.докл. Всесоюз. совещ., 3—5 октября 1990 г. — Л., 1990. С. 52.
9. Петровская Н.В. Самородное золото. — М.: Наука, 1973.
10. Поведение золота в зоне окисления золото-сульфидных месторождений / В.М.Крейтер и др. Госгеолтехиздат, 1958.
11. Риндзюнская Н.М., Полякова Т.П., Берзон Р.О. Месторождения золота в корях выветривания // Руды и металлы. — М.: ЦНИГРИ, 1992. Стартовый номер. С. 62—69.
12. Evans D.L.C. Lateritisation as a possible contributor to gold placers //Eng. and Mining Journal. 1981. № 8. P. 86—91.
13. Mann A.W. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: some observations from Western Australia //Econ. Geol. 1984. Vol. 79. № 1. P. 38—49.
14. Webster J.B., Mann A.W. The influence of climate, geomorphology and primary geology on the supergene migration of gold and silver // J.Geochemistry Exploration. 1984. Vol. 22. № 1—3. P. 21—42.

Polyakova T. P., Rindzyunskaya N. M., Nikolayeva L. A.

#### GOLD IN CRUSTS OF WEATHERING OF THE URALS

*Hypergene transformations of residual gold in crusts of weathering of different morphogenetic types are studied. Gold alteration is traced upwards from below in a profile of linear-areal crust of weathering (from disintegration zone to mature horizons of structureless clay). A description of secondary gold is presented and the mechanism of its formation discussed.*



# ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.484'32.043

© Л. А. Болотов, 1995

## ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОБАЛЬТОМАРГАНЦЕВЫХ КОРКОВ МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР ТИХОГО ОКЕАНА

Л. А. БОЛОТОВ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Обоснованы прогнозные ресурсы кобальтомарганцевых корок в приэкваториальной зоне Тихого океана и показана возможность проведения поисково-разведочных работ на этот вид сырья.*

По оценке многих специалистов, с учетом уменьшения вероятности открытия новых месторождений полезных ископаемых на суше, одним из наиболее перспективных путей решения минерально-сырьевой проблемы является освоение полезных ископаемых шельфа и глубоководных частей Мирового океана. В минерально-сырьевом потенциале твердых полезных ископаемых Мирового океана ведущая роль отводится железомарганцевым конкрециям (ЖМК) и кобальтомарганцевым коркам (КМК).

Кобальтомарганцевые корки — океанические донные минеральные ассоциации гидроксидов железа и марганца, образовавшиеся на границе раздела вода — коренные породы. КМК покрывают выходы коренных пород в пределах подводных горных сооружений, свободные от осадков. Участки развития корок перемежаются с безрудными участками. Ширина рудных «струй» составляет от 0,1 до 10,7 км, безрудных промежутков — от 0 до 6,3 км. Ширина рудных залежей в целом изменяется от 1 до 22 км, протяженность — до 110 км. Толщина (мощность) корок варьирует от долей миллиметра до 20 см. Рудными считаются КМК толщиной более 1 см. По геохимической специализации КМК относятся к богатым кобальтомарганцевым рудам. Субстратом корок являются вулканогенные (базальты, вулканокластиты) и осадочные (известняки, брекчии, алевролиты) породы. На них КМК образуют наросты в пределах вершин и склонов гайотов и островвершинных гор. Крутизна

склонов, на которых установлены залежи КМК, достигает в привершинных частях 30°, постепенно выходя к подножию гор до 5—7°. Характерной особенностью корок является параллельно-полосчатая текстура и слоистость. Скорость их роста составляет 0,8—2,7 мм/млн лет.

КМК являются многокомпонентным минеральным сырьем со сложным химическим составом. Минералы марганца представлены преимущественно вернадитом, реже бернесситом. Среди минералов железа преобладают гидрогетит, гетит и гематит. Концентрирование в корках кобальта, никеля, меди и других сопутствующих элементов происходит в результате сорбции этих элементов из водной толщи оксидами марганца и железа. Собственных минералов они не образуют, а входят в виде изоморфных примесей в минеральные ассоциации марганца и железа. Суммарное содержание рудных компонентов в КМК колеблется от 20 до 50 %, составляя в среднем 35 %. Основное количество кобальта и никеля (60—93 %) связано с марганцевой минеральной фазой.

Применительно к кобальтомарганцевым коркам (КМК) Мирового океана выделяются следующие таксономические единицы:

Рудная провинция — основная таксономическая единица для скопления КМК Мирового океана. Приурочена к региональным морфоструктурам — вулканотектоническим и сводово-глыбовым поднятиям. Плот-



ность залегания КМК в пределах провинции может изменяться в широких пределах при их относительно устойчивой геохимической специализации.

**Поле КМК** — часть рудной провинции, приуроченная к определенной морфоструктуре, для которой характерны общность истории геологического развития, устойчивая плотность залегания КМК ( $10 \text{ кг/м}^2$  и выше) и их выдержанный вещественный состав.

**Рудный узел** — часть поля КМК, характеризующаяся однородной геолого-геоморфологической обстановкой: глубиной океана, типом и происхождением рельефа, геологическими комплексами. В пределах рудного узла плотность залегания КМК не ниже  $20 \text{ кг/м}^2$ , содержание кобальта более 0,4 %.

**Рудное поле** — отдельный гайот или подводная гора, для которых характерны выдержанная плотность залегания КМК и их высокая (более  $20 \text{ кг/м}^2$ ) продуктивность по кобальту.

**Месторождение** — наиболее богатая часть рудного поля до глубины 3000 м, в пределах которой оконтурены одна или несколько рудных залежей. Разработанные технологии добычи и переработки руд обеспечивают рентабельность добычного предприятия на основе максимального комплексного извлечения основных и попутных полезных компонентов.

**Рудная залежь** — скопление корок и других ассоциирующих с ними железомарганцевых образований, контуры которого определены в соответствии с требованиями параметров кондиций.

В целях рационального ведения морских работ на КМК геологоразведочный процесс делится на следующие стадии:

I. Региональные геолого-геофизические исследования.

II. Поисковые работы.

III. Поисково-разведочные работы.

IV. Разведочные работы.

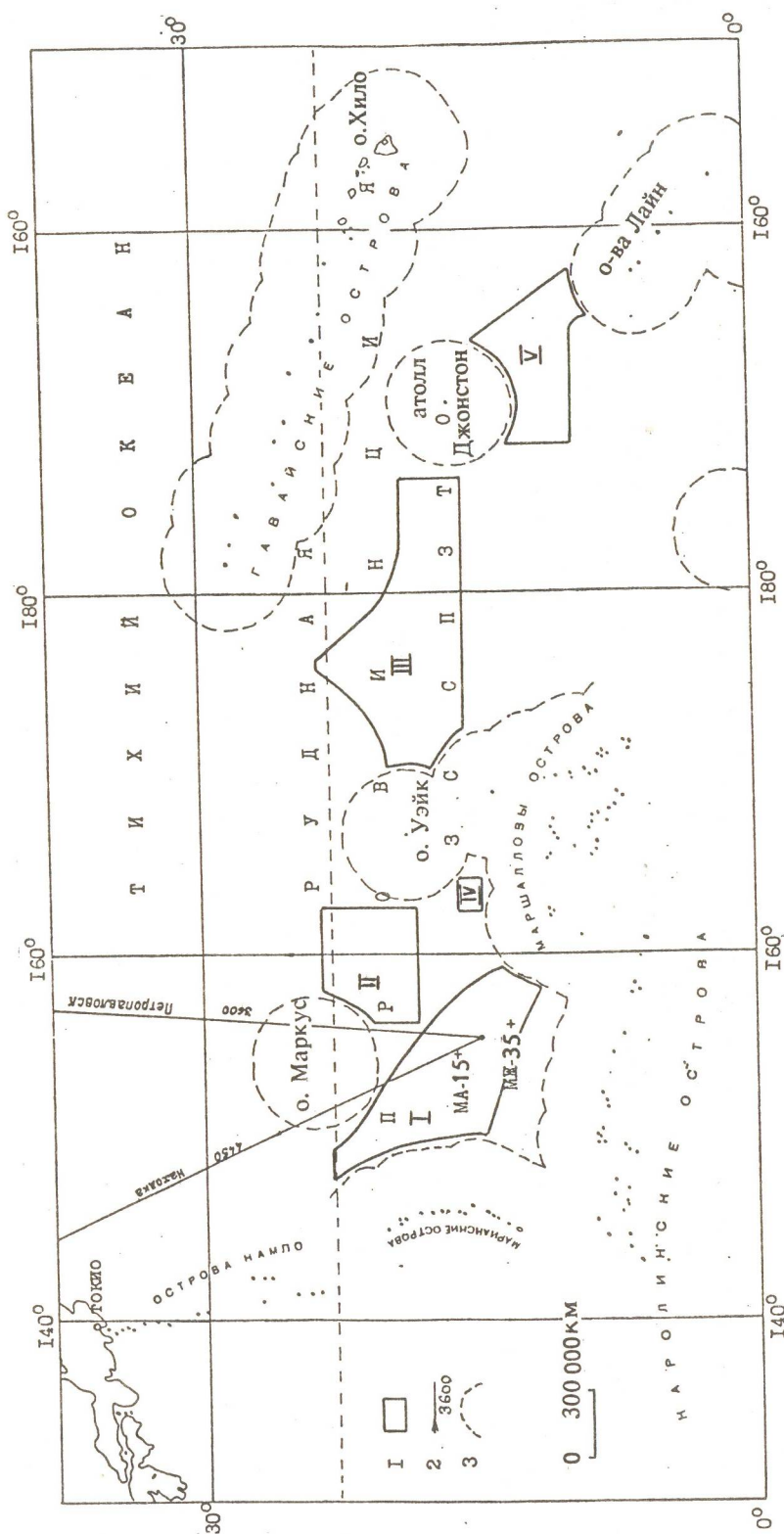
Целенаправленные региональные геолого-геофизические исследования на КМК в Тихом океане геологическими организациями РФ (Севморгеология, Дальморгеология) проводятся с 1986 г. Изучена площадь  $1,5 \text{ млн км}^2$  рудной провинции Западного сектора Северной приэкваториальной зоны, в

пределах которой выделены самостоятельные поля КМК: Магеллановы горы, Маркус-Уэйк, Уэйк-Неккер, Маршалловы острова, Лайн (рисунок, табл. 1). В поле КМК Магеллановы горы было обнаружено 28 гайотов с площадью распространения оруденения  $9708 \text{ км}^2$ , средней толщиной корок 5,4 см и прогнозными ресурсами 665 млн т. В них заключено 3,26 млн т кобальта, 2,82 млн т никеля и 132,5 млн т марганца.

При выборе из большого числа гайотов наиболее перспективных для дальнейшего изучения Дальморгеологией были использованы оценочные (браковочные) кондиции, разработанные ЦНИГРИ. Они отражают минимальные требования промышленности к количеству и качеству прогнозных ресурсов и запасов полезного ископаемого. В сочетании с географо-экономическими и горно-техническими условиями последние позволяют обосновать выбор объектов для дальнейшего изучения и отбраковать минеральные проявления, не имеющие промышленного значения. Кондиции характеризуют месторождение в целом и рассчитываются исходя из принципа равенства извлекаемой ценности из 1 т руды эксплуатационным затратам на получение товарной продукции, т. е. бесприбыльно-безубыточной разработки. В 70-е годы оценочные кондиции на цветные металлы (медь, свинец, цинк, молибден, олово, вольфрам, ртуть) были составлены в ВИЭМСе под руководством профессора Н.А.Хрущева. В ряде геологических управлений подготовлены районные кондиции. Они использовались при оценке месторождений на ранних стадиях их изучения в СССР и странах-членах СЭВ [4, 5]. В 1987 г. были разработаны оценочные кондиции на железомарганцевые конкреции Мирового океана [3].

При расчете оценочных кондиций на КМК [1] использованы материалы и разработки: Дальморгеологии, Севморгеологии, Южморгеологии, ЦНИГРИ, ВИЭМС, Московского горного института, МГРИ; в качестве аналогов — «Технико-экономические соображения (ТЭС) о возможном промышленном значении месторождений железомарганцевых конкреций на выделенном Советскому Союзу участке морского дна площадью 75 тыс.  $\text{км}^2$  в зоне Кларион-Клиппертон Тихого океана» (1990 г.) и





Рудная провинция Западного сектора Северной приэкваториальной зоны Тихого океана:

1 — поля КМК в международном районе морского дна; 2 — пути следования судов и расстояния от портов до районов в км; 3 — границы 200-мильных экономических зон государств; поля КМК: I — Магеллановы горы, II — Маркус-Уэйк, III — Уэйк-Неккер, IV — Маршалловы острова, V — острова Лайн; гайоты и их номера: + МА — 15, МЖ — 35 +



1. Прогнозные ресурсы полей КМК Северной приэкваториальной зоны Тихого океана по состоянию на 01.01.94

Количество гайдов	Площадь оруденения, км <sup>2</sup>	Средняя толщина корок, см	Плотность залега- ния КМК, кг/м <sup>2</sup>		Ресурсы КМК, млн т		Содержание элементов, %				Ресурсы металлов, млн т			Продук- тивность КМК по Со-услов- ному, кг/м <sup>2</sup>
			влажных	сухих	влажных	сухих	Co	Ni	Mn	Со-услов- ный	Co	Ni	Mn	
28	9708	5,4	105,2	68,6	1021,4	665,6	0,49	0,43	19,9	0,97	3,26	2,82	132,5	0,66
2	867	4,8	91,8	58,0	79,6	50,3	0,60	0,46	22,3	1,14	0,30	0,23	11,2	0,66
19	6905	3,5	67,2	45,1	464,3	311,7	0,60	0,47	22,4	1,14	1,87	1,47	69,8	0,51
54	16783	3,8	74,0	47,9	1242	803,4	0,56	0,50	20,7	1,08	4,5	4,02	166,3	0,52

Магеллановы горы

Маршалловы острова

Маркус-Уэйк

Уэйк-Неккер







**Ц**еленаправленно и с минимальными затратами вести поиски и разведку месторождений алмазов, благородных и цветных металлов;

**Н**адежно оценить эффективность инвестирования геологоразведочных и горно-добычных работ;

**И**спользовать современные экономичные и высокоэффективные технологии геологических, геофизических, буровых и горных работ;

**Г**лубоко проанализировать и оценить конъюнктуру минерального сырья;

**Р**еализовать прогрессивные технологии извлечения благородных и цветных металлов из руд;

**И**зучить минеральный состав руд и точно определить содержания благородных металлов в рудах, концентратах и сплавах

В а м п о м о ж е т

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Комитета Российской Федерации по геологии и использованию недр

Гарантии Вашего и нашего успеха – высокая квалификация специалистов и шестидесятилетние традиции работ института во многих странах мира

Россия, 113545, Москва, Варшавское шоссе, дом 129«Б», тел. (095)313-18-18, факс (095)315-27-01

ЯНВАРЬ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

ФЕВРАЛЬ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28					

МАРТ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	18
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

АПРЕЛЬ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

МАЙ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

ИЮНЬ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
				1	2	3
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

ИЮЛЬ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

АВГУСТ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
		1	2	3	4	5
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

СЕНТЯБРЬ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

ОКТАБРЬ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

НОЯБРЬ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

ДЕКАБРЬ						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31



ЯНВАРЬ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
1	2	3	4	5	6	7	
8	9	10	11	12	13	14	
15	16	17	18	19	20	21	
22	23	24	25	26	27	28	
29	30	31					

ФЕВРАЛЬ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
			1	2	3	4	
5	6	7	8	9	10	11	
12	13	14	15	16	17	18	
19	20	21	22	23	24	25	
26	27	28	29				

МАРТ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
				1	2	3	
4	5	6	7	8	9	10	
11	12	13	14	15	16	17	
18	19	20	21	22	23	24	
25	26	27	28	29	30	31	

АПРЕЛЬ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
1	2	3	4	5	6	7	
8	9	10	11	12	13	14	
15	16	17	18	19	20	21	
22	23	24	25	26	27	28	
29	30						

МАЙ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
			1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12	
13	14	15	16	17	18	19	
20	21	22	23	24	25	26	
27	28	29	30	31			

ИЮНЬ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
					1	2	
3	4	5	6	7	8	9	
10	11	12	13	14	15	16	
17	18	19	20	21	22	23	
24	25	26	27	28	29	30	

ИЮЛЬ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
1	2	3	4	5	6	7	
8	9	10	11	12	13	14	
15	16	17	18	19	20	21	
22	23	24	25	26	27	28	
29	30	31					

АВГУСТ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
			1	2	3	4	
5	6	7	8	9	10	11	
12	13	14	15	16	17	18	
19	20	21	22	23	24	25	
26	27	28	29	30	31		

СЕНТЯБРЬ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
						1	
2	3	4	5	6	7	8	
9	10	11	12	13	14	15	
16	17	18	19	20	21	22	
23	24	25	26	27	28	29	30

ОКТАБРЬ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
	1	2	3	4	5	6	
7	8	9	10	11	12	13	
14	15	16	17	18	19	20	
21	22	23	24	25	26	27	
28	29	30	31				

НОЯБРЬ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
				1	2	3	
4	5	6	7	8	9	10	
11	12	13	14	15	16	17	
18	19	20	21	22	23	24	
25	26	27	28	29	30		

ДЕКАБРЬ							
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	
						1	
2	3	4	5	6	7	8	
9	10	11	12	13	14	15	
16	17	18	19	20	21	22	
23	24	25	26	27	28	29	30

1

9

9

6

Effective exploration, prospecting and evaluation of diamond, precious and base metal deposits;

Feasibility studies and investment efficiency assessment for geological prospecting and mining activities;

Use of advanced cost-effective and efficient geological, geophysical, drilling and mining techniques and technologies;

Research and assessment of market conditions for mineral resources and geological services;

Implementation of advanced treatment techniques and technologies for precious and base metal ores;

Ore mineral composition analysis and precise metal content determination in ores, concentrates and alloys

are offered and could be aided by

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals  
(TsNIGRI)  
(The Committee of Geology and Use of Mineral Resources of the Russian Federation)

Our guarantees are high qualification of our researchers and experts and sixty-year practice of the Institute's activity in many countries the world over.

Address: TsNIGRI, Varshavskoye sh., 129 B, Moscow, 113545, Russia  
Phone: (095) 313-1818 Fax: (095) 315-2701







## 2. Ресурсы КМК рудных полей гайотов МА — 15 и МЖ — 35

Показатели	Магеллано- вы горы	МА — 15		МЖ — 35	
		Всего	В т.ч. обо- гащенные участки	Всего	В т.ч. обо- гащенные участки
Площадь оруденения, км <sup>2</sup>	9708	737,5	489,6	889,8	393,9
Интервал глубин, м		1370—3000		1350—3000	
Средняя мощность КМК, см	5,40	6,12	6,13	7,54	6,72
Удельная плотность, г/см <sup>3</sup>		1,89	1,89	1,88	1,88
Естественная влажность, %	34,8	35,3	35,0	38,7	39,7
Коэффициент рудоносности, %		69	70	80	80
Плотность залегания КМК, кг/м <sup>2</sup> :					
влажных	105,2	115,6	115,9	141,7	126,4
сухих	68,6	74,8	75,3	86,8	76,2
Ресурсы КМК, млн т:					
влажных	1021,4	85,3	56,8	126,1	49,8
сухих	665,6	55,1	36,9	77,2	30,0
Обеспеченность эксплуатационного предприятия ресурсами при годовой про- изводительности 1 млн т КМК, лет		55	37	77	30
Средние содержания элементов в КМК:					
кобальт, %	0,49	0,57	0,62	0,54	0,63
никель, %	0,43	0,45	0,46	0,45	0,46
марганец, %	19,9	21,2	22,0	21,5	22,41
медь, %		0,13	0,13	0,124	0,126
молибден, г/т		404		416	
редкоземельные элементы, г/т		801		1668	
платиноиды, г/т		0,29		0,48	
Ресурсы металлов, тыс. т:					
кобальт	3261,4	316,8	227,4	415,6	189,0
никель	2862,1	246,0	167,8	347,8	136,9
марганец	132454	11696	8127	16607	6728
медь		70,3	47,1	96,2	37,8
молибден		22,3		32,2	
редкоземельные элементы		44,2		128,8	
платиноиды		0,0162		37,2	

«Экспертная технико-экономическая оценка по промышленному освоению полиметаллических конкреций на заявочном участке СО Интерокеанметалл (ЭТЭО)» (1991 г.).

Согласно проекту оценочных кондиций, предложенного ЦНИГРИ, минимальные извлекаемые прогнозные ресурсы КМК оценены в 5,0 млн т при содержании кобальта 0,5 % и условного кобальта 0,9 %. НТС Северо-Тихоокеанской геологоразведочной экспедиции ПГО «Дальморгеология» при их рассмотрении отметил: «первый вариант оценочных кондиций позволяет более обоснованно выполнять оценку прогнозных

ресурсов КМК и получать реальную картину о масштабах оруденения». Дальморгеологией кондиции приняты и использованы при разбраковке выявленных гайотов путем сравнения их параметров (прогнозные ресурсы корок, среднее содержание условного кобальта) с оценочными кондициями. Из 28 гайотов поля Магеллановы горы для дальнейшего изучения Дальморгеологией были рекомендованы два — МА— 15 и МЖ— 35 (табл. 2).

Освоение минерально-сырьевых ресурсов Мирового океана стало важным направлением общечеловеческой хозяйственной



деятельности. Во избежание споров и конфликтов, III конференция ООН по морскому праву 30 апреля 1982 г. приняла Конвенцию ООН по морскому праву, заложившую основы международно-правового регулирования деятельности в Мировом океане. В соответствии с частью XI Конвенции, все ресурсы, находящиеся в Международном районе морского дна (за пределами национальной юрисдикции) объявлены «общим наследием человечества», и ни одно государство не может претендовать на них без соответствующего разрешения Международного органа по морскому дну.

Для проведения морских геологоразведочных работ Конвенцией устанавливаются две системы работ — уведомительная и разрешительная. Уведомительная система работ по изучению недр океана может вестись без ограничения во времени, но без существенного изъятия донного материала и нарушения экологической обстановки. Поиски месторождений полезных ископаемых проводятся по уведомительной системе. Работы, связанные с добычей значительных масс полезного ископаемого при пробной или промышленной эксплуатации, должны вестись по разрешительной системе на выделенном участке морского дна.

Важное значение в освоении минеральных ресурсов Мирового океана имеют положения Конвенции о верхнем пределе производства металлов при разработке выделенных участков и сроке разработки. Срок разработки не может быть более 20 лет и складывается из первого десятилетнего и второго десятилетнего периодов промышленного производства, которые различаются финансовыми сборами и платежами. В частности, по ЖМК ограничивается объем годового производства никеля на уровне 46500 т, что с учетом среднего содержания никеля в конкрециях, разубоживании и коэффициенте сквозного извлечения равноценно добыче на уровне 3—4 млн т сухих конкреций в год. Производство других металлов (медь, кобальт, марганец) ожидается пропорционально их среднему содержанию и коэффициенту сквозного извлечения. Верхний предел производства кобальта из КМК Конвенцией ООН по морскому праву не лимитирован. Масштаб возможного предприятия по добы-

че кобальтомарганцевых корок должен обосновываться следующими факторами [1, 2]:

мировой конъюнктурой кобальта, марганца, никеля;

потребностью РФ в кобальте, марганце и никеле;

техничко-эксплуатационными характеристиками технических средств добычи корок;

конвенцией ООН по морскому праву.

Для многовариантных расчетов принята годовая добыча корок 250, 500, 750 и 1000 тыс.т или 1, 2, 3 и 4 тыс.т кобальта. Безусловно, в будущем производство кобальта на каждом заявочном участке КМК будет регулироваться Конвенцией ООН по морскому праву.

Добыча глубоководных твердых полезных ископаемых, в том числе и КМК, представляет собой наиболее рискованный в экономическом плане производственный процесс, обусловленный высокой степенью неопределенности. Причинами неопределенности являются: новизна планируемого к применению технологического оборудования, непредсказуемость эффективности его использования в условиях, трудно поддающихся физическому моделированию; трудность оптимального контроля и управления технологическим добычным оборудованием в слабо изученных инженерно-геологических условиях морского дна, невозможность оценки отдачи технологического оборудования при переходе от модельных образцов к натурным.

В 1987 году группа «Запад—Восток» Центра в Гонолулу представила полный сценарий добычи КМК (проект EIS), основанный на изучении корок в районе Гавайского архипелага и острова Джонстон. Проект добычной системы предполагает добычу 1 млн т корок в год. В качестве выемочного агрегата предлагается самоходная установка массой 100 т, передвигающаяся по дну на 8 гусеницах со скоростью 0,2 м/сек и производительностью 200—300 т/час. Подъем разрушенных корок предусматривается гидравлический. Ассоциацией ресурсов Японии (JRA) изобретена канатно-черпаковая система подъема корок (CLB). Производительность добычной установки оценивается в 70—90 тыс.т в год. Япония и США осуществляют совместное испытание системы CLB



## 3. Сравнительная оценка технико-экономических показателей освоения КМК и ЖМК

Технико-экономические показатели	КМК				ЖМК	
	Экспертная оценка, ЦНИГРИ, 1993	Проект Гавай- ского универ- ситета, 1989	Проект Япон- ской Ассоциа- ции минераль- ных ресурсов, 1988	Проект Цент- ра геологиче- ских исследо- ваний КНР, 1991	Австралий- ский про- ект, 1986	Проект Ifertmet, 1988
Годовая добыча руды, млн т	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0	1,5
Содержание в недрах, %						
кобальт	0,64	0,92	0,95	1,0	0,26	0,27
никель	0,44	0,47	0,50	0,50	1,33	1,45
медь	0,12	0,07	0,07	0,06	1,03	1,30
марганец	22,3	24,2	28,0	24,7	26,8	28,3
Годовое производство, тыс. т						
кобальт	5,0	5,71	6,44	5,8	5,1	2,6
никель	3,3	3,0	3,3	3,0	36,7	20,6
медь	—	0,5	0,5	0,5	28,7	17,4
марганец	159,4	144,0	169,4	209,9	453,5	186,8
Стоимость годовой продукции, млн долл.	274,3	300,0	330,0	259,4	581,8	496,7
Извлекаемая ценность, долл./т	274,3	300,0	330,0	259,4	193,9	331,1
Капитальные вложения, млн долл.	779,5	630,0	705,0	740,0	1763,0	940,0
Эксплуатационные затраты, млн долл.	226,0	120,0	92,5	93,0	488,0	240,0
Годовая прибыль, млн долл.	48,0	180,0	237,5	166,4	93,0	166,7
Окупаемость капитальных вложений, лет	16,0	3,5	2,9	4,4	18,9	5,6



с производительностью 20 т корок в сутки. По заключению специалистов (1991 г.), возможно осуществлять промышленную добычу 100 тыс. т корок в год с незначительным риском и большой выгодой. Аналогичные исследования выполняются КНР.

При экспертной оценке капитальных вложений и эксплуатационных затрат рассмотрены два варианта выемочно-транспортных комплексов [2]. В первом случае включается судно для выемки и подъема полезного ископаемого со дна до поверхности океана и транспортные суда, доставляющие рудную массу от месторождения до берегового пункта приема. Во втором случае в одном судне совмещаются функции выемки, подъема и транспортировки КМК в береговой пункт приема. Разубоживание корок 5 и 10 %; за базовый вариант принималось 5 %. В связи с большими прогнозными ресурсами можно допустить высокий уровень потерь (40—60 %) в интересах снижения процента разубоживания корок.

В стоимости товарной продукции учитывались кобальт, марганец, никель. Медь, при среднем содержании 0,12 %, молибден — 0,04 %, золото — 0,06 г/т, серебро — 2,07 г/т и платина — 0,40 г/т во внимание не принимались из-за отсутствия экономически целесообразной технологии извлечения. Показатели сквозного извлечения кобальта, марганца и никеля приняты по результатам исследований ЦНИГРИ и ЦНИИчермета. Металлургическая переработка корок предусмотрена в районе Петропавловска-Камчатского. Вторым вариантом расположения завода является район г. Братска (корки будут доставляться из порта Находка). В капитальных вложениях и эксплуатационных затратах предусмотрены средства на охрану окружающей среды и взносы МОДу. В частности, капитальные вложения приняты в размере 25 % от капитальных вложений на добычу, транспортировку и металлургическую переработку, а эксплуатационные затраты — соответственно 10 %. Срок разработки заявочного участка не может быть более 20 лет и складывается из первого десятилетнего и второго десятилетнего периодов промышленного производства, которые различаются финансовыми сборами и пла-

тежами. В первые 10 лет финансовые сборы составляют 5 % от стоимости товарной продукции (в долларах США), во вторые 10 лет — 12 %.

Экспертные технико-экономические расчеты (в долларах, по мировым ценам) показывают, что срок окупаемости капитальных вложений на промышленное освоение КМК гайота МА—15 равен 16 годам. Это подтверждает целесообразность постановки поисково-разведочных работ на гайоте МА—15 поля КМК Магеллановы горы Тихого океана. Уверенность в правильности такого важного вывода дает сравнение основных показателей оценки с результатами геолого-экономической оценки, выполненной специалистами Гавайского университета (1989 г.), Японской ассоциации минеральных ресурсов (1988 г.) и Центра геологических исследований КНР (1991 г.), приведенное в таблице 3.

Промышленное освоение месторождений КМК позволит решить ряд задач, имеющих в настоящее время для России важное значение:

экономических, связанных с надежным обеспечением ведущих подотраслей металлургии ресурсами дефицитных видов сырья, прежде всего кобальтом и марганцем, и сохранением невосполняемых ресурсов недр для будущих поколений;

социальных, связанных с возможностью сохранения производственных мощностей и трудовых ресурсов действующих предприятий, недостаточно обеспеченных сырьем;

экологических, обеспечивающих значительное снижение негативного воздействия на природную среду в районах интенсивной деятельности горно-металлургических предприятий;

политических и правовых, связанных с закреплением приоритета России в решении глобальной проблемы изучения минеральных ресурсов Мирового океана, и правом нашей страны, как суверенного государства, осуществлять разведку и разработку месторождений КМК в Международном районе морского дна.

Материалы ТЭС показывают, что имеется возможность перехода на объектах КМК Магеллановых гор с поисковых к поисково-разведочным работам и создания технических средств для опытной добычи.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотов Л.А., Ильина Л.Ю., Мирчинк И.М., Терентьев В.Б. Составление проекта оценочных (браковочных) кондиций на кобальтоносные железомарганцевые корки для нормализованных условий. — М.: ЦНИГРИ, 1991.
2. Болотов Л.А., Максимова Н.Ф. Разработка разделов Техничко-экономических соображений о целесообразности постановки поисково-разведочных работ на кобальтомарганцевые корки в западном секторе Северной приэкваториальной зоны Тихого океана с проектом оценочных кондиций. — М.: ЦНИГРИ, 1993.
3. Мирчинк И.М., Терентьев В.Б., Болотов Л.А. Геолого-экономическая оценка железомарганцевых конкреций в Мировом океане при поисково-оценочных работах // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1987. № 12.
4. Оценочные (браковочные) кондиции для месторождений вольфрама, молибдена, меди, олова, свинца, цинка и ртути / Н.А.Хрущов, Ю.И.Королев, И.Б.Стеркина, В.В.Поспеев, Л.А.Болотов. — М.: ВИЭМС, 1979.
5. Хрущов Н.А. Основные принципы разработки оценочных (браковочных) кондиций для рудных месторождений на стадиях поисковых и поисково-разведочных работ // Сов.геология. 1969. № 6. С. 125—130.

Bolotov L. A.

PRE-FEASIBILITY GEOLOGY EVALUATION OF COBALT-MANGANESE CRUSTS OF MAGELLAN MOUNTAINS, PACIFIC OCEAN

*Probable reserves of cobalt-manganese crusts in near-equatorial zone of the Pacific Ocean are substantiated; the possibility of exploration and prospecting for this type of mineral product is demonstrated.*



**ЦНИГРИ**

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

## МНОГОФАКТОРНЫЕ МОДЕЛИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА И ПЛАТИНОИДОВ

Атлас содержит многофакторные модели 14 россыпей золота и модель россыпи платиноидов. Каждая модель россыпи или ее участка включает: геологический блок — карты, планы, разрезы, краткое описание; концентрационный блок — структуру внутреннего строения характерного участка россыпи, гистограммы распределения мощности пласта, содержаний и вертикальных запасов металла; разведочный блок — оценку сложности внутреннего строения при различных способах разведки. Приведены статистические параметры, характеризующие изменчивость и структуру россыпи, морфологию пласта и др. Рассмотрены классификационные признаки неоднородности строения аллювиальных россыпей золота и платиноидов. На основе концентрационных моделей и морфологических признаков приведена классификация россыпей для оптимизации разведочных работ.

Атлас предназначен для геологов, специализирующихся в области оценки и разведки россыпных месторождений. Его использование полезно как на ранних стадиях оценки, так и на конечных этапах разведки россыпных месторождений золота и платиноидов.

Адрес: 113545, Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ,  
Телефон: (095) 313-18-18,  
Телетайп: 114142 АДУЛЯР,  
Факс: (095) 315-27-01



# КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ



УДК 622.775:622.342

© Н. Д. Ключева, 1995

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЦИАНИРОВАНИЯ УПОРНЫХ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКИСЛИТЕЛЕЙ И КОМПЛЕКСООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Н. Д. КЛЮЕВА (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*На основе изучения процесса цианидного выщелачивания серебра из наиболее распространенных минералов серебра (синтетических и природных) предложен метод интенсификации цианирования упорных серебряносодержащих руд и концентратов с использованием реагентов-окислителей (перекиси) и комплексообразователей (алифатические амины).*

На современном этапе горнодобывающей промышленности основным способом гидрометаллургической переработки руд благородных металлов является метод цианирования. Он постоянно совершенствуется и до настоящего времени находится вне конкуренции среди других методов извлечения золота и серебра [1]. Для серебряносодержащих руд традиционные режимы цианирования, как правило, не обеспечивают требуемой полноты извлечения серебра, характеризуются малой скоростью процесса и повышенными расходами цианида, что обусловлено как особенностями вещественного состава руд в целом, так и, главным образом, многообразием минеральных форм серебра. В отличие от золота, присутствующего в рудах преимущественно в виде металла, серебро в природе представлено более чем 110 минералами, промышленное значение из которых имеют около 20 [5]. Недостаточная изученность их поведения в цианистом процессе затрудняет разработку рациональной гидрометаллургической технологии переработки серебряносодержащих руд. Поэтому при выборе условий цианирования серебряносодержащей руды прежде всего необходимо решить основную задачу — определить параметры процесса, способствующие эффективному растворению присутствующих в ней минералов серебра. Исследования в этом направлении немногочисленны и ограничиваются практически только самород-

ным серебром и акантитом, а также синтетическими образцами пираргирита, прустита, кераргирита. Это вызвано трудностями выделения достаточного количества их мономинеральных фракций в связи с невысокими абсолютными содержаниями серебра в рудах, а также взаимным сростанием серебряных минералов друг с другом и с сульфидными минералами [2—4].

В качестве объектов исследования использованы мономинеральные фракции синтетических и природных серебряных минералов, отобранные из руд наиболее типичных серебряных и золото-серебряных месторождений, а также серебряносодержащие руды Дуката, Приморья и Памира. Всего было исследовано порядка 10 синтетических и столько же природных образцов простых и сложных сульфидов серебра (акантит, пираргирит, стефанит, полибазит, самородное серебро, амальгама), а также 3 образца блеклых руд, включая теннантит и тетраэдрит.

Детальное изучение химического состава природных минералов комплексом методов (рентгеноструктурным, спектральным, нейтронно-активационным, рентгеноспектральным микронзондовым) показало их неоднородность по содержанию как основных элементов, так и примесей, что, как правило, приводило к изменению технологических свойств минералов по сравнению с эталонными (синтетическими) образцами.



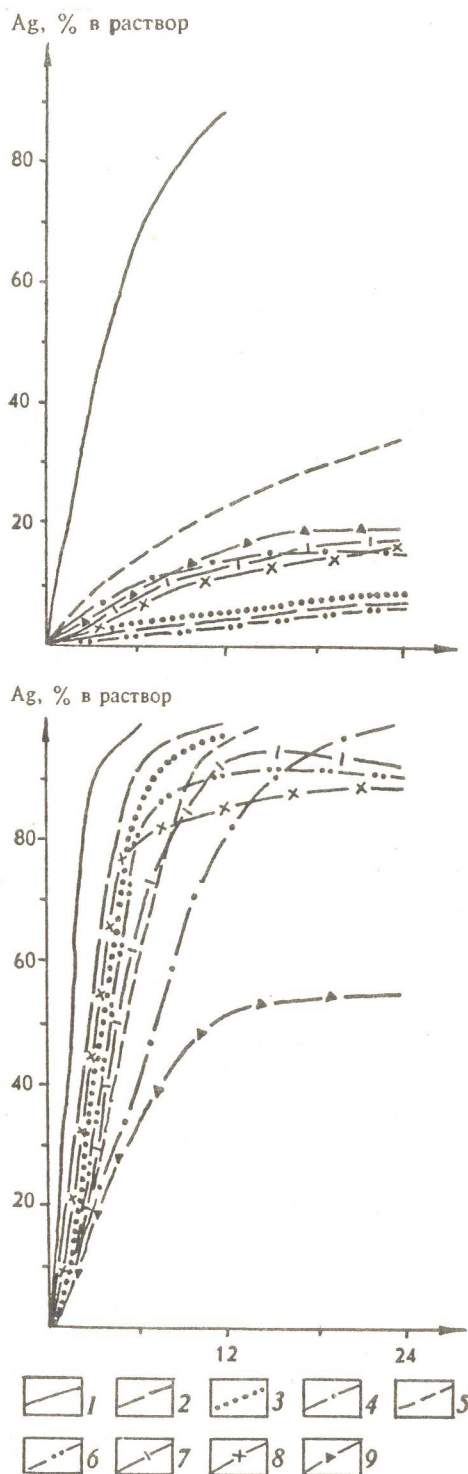


Рис. 1. Кинетика цианирования синтетических минералов серебра в присутствии кислорода воздуха (а) и перекиси бария (б):

1 — серебро, 2 — смитит, 3 — прустит, 4 — биллингслеит, 5 — акантит, 6 — пираргирит, 7 — полибазит, 8 — стефанит, 9 — тетраэдрит

При исследовании влияния химической структуры минералов на кинетику цианидного выщелачивания в стандартных условиях установлено, что как для природных, так и для синтетических серебряных минералов, скорость цианирования невелика (извлечение в раствор за 48 ч не превышает 50 %). Тенденция к ее понижению наблюдается с уменьшением содержания серебра в молекуле и усложнением структуры минерала (наличие мышьяка, сурьмы). Растворение природных минералов протекает обычно более активно, чем синтетических, что обусловлено, вероятнее всего, активирующим действием примесей (рис. 1, 2).

Исходя из анализа полученных результатов, а также литературных данных по структуре и свойствам химических аналогов серебряных минералов и методам интенсификации процесса цианирования, в основу разработки положен метод интенсифицирующих добавок, который позволяет с наименьшими затратами получить удовлетворительные результаты. Такими добавками могут быть реагенты, влияющие на структуру минерала, — окислители и комплексообразователи, в качестве которых использовались перекиси бария и натрия и амины. Была изучена кинетика выщелачивания серебра из синтетических и природных серебряных минералов в цианистых растворах при введении указанных соединений и показано, что в присутствии перекисей растворение минералов резко ускоряется. Установлено, что расход перекиси бария находится в прямой зависимости от содержания серебра в молекуле минерала: наибольшие расходы требуются для выщелачивания металла из металлического серебра и акантита (рис. 3). Мышьяк-содержащие сульфосоли серебра (смитит, прустит, биллингслеит) растворяются более интенсивно, чем изоструктурные сурьмяные (миаргирит, пираргирит, полибазит, стефанит). Закономерности, выявленные при исследовании синтетических разновидностей, полностью подтверждаются на природных минералах (см. рис. 1, 2). Следует отметить почти полное отсутствие ускоряющего действия перекисей на переход серебра в раствор из серебросодержащих блеклых руд теннантит-тетраэдритового ряда. Извлечение серебра из таких минералов является одной из наиболее трудных и важных



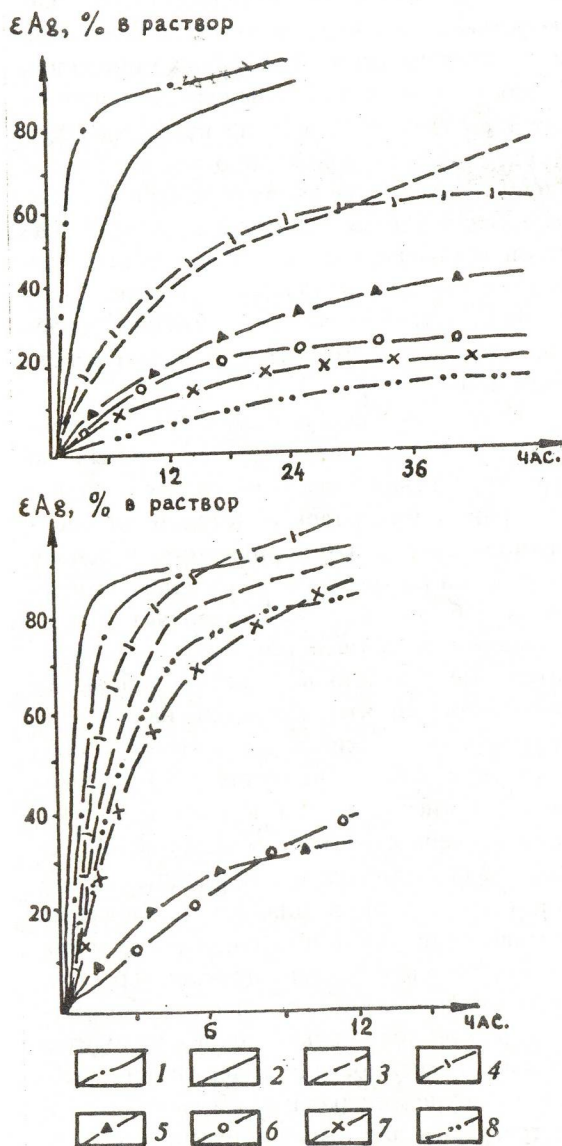


Рис. 2. Кинетика цианирования природных минералов серебра в присутствии кислорода воздуха (а) и перекиси бария (б):

1 — амальгама серебра (Ночное), 2 — самородное серебро (Дукат), 3 — теннантит (Березовое), 4 — акантит (Хаканджа), 5 — пираргирит (Таежное), 6 — полибазит (Дукат), 7 — стефанит (Дукат), 8 — тетраэдрит (Акджилга)

проблем, поскольку часто серебро, заключенное в них, составляет значительную часть от общего содержания его в перерабатываемой руде.

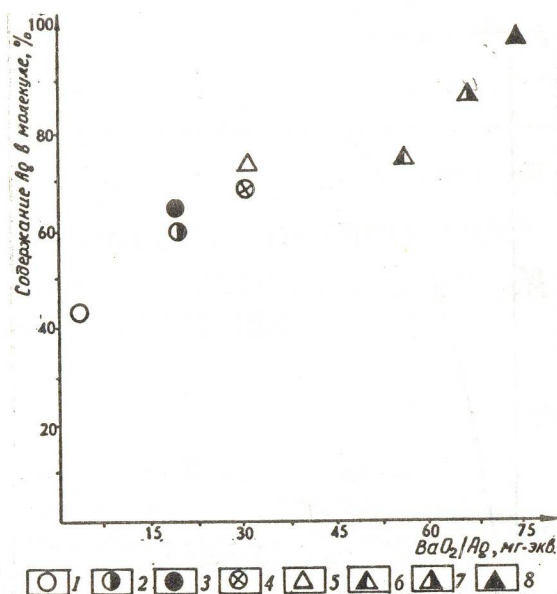


Рис. 3. Зависимость оптимальных расходов перекиси бария от содержания серебра в молекуле серебряного минерала:

1 — смитит, 2 — пираргирит, 3 — прустит, 4 — стефанит, 5 — биллингслеит, 6 — полибазит, 7 — акантит, 8 — серебро металлическое

При изучении влияния вещественного состава, проведенном на смесях, составленных из природных разностей серебряных и других рудных минералов (сульфидных и окисленных), было установлено, что в их присутствии интенсифицирующее действие добавок окислителя на переход серебра в раствор значительно снижается. Этот факт следует учитывать при выполнении фазового анализа серебра в рудах, где перекись бария добавляется в качестве источника кислорода при цианировании.

Таким образом, исследование поведения серебряных минералов в цианистых растворах показало, что существенная интенсификация процесса растворения как синтетических, так и природных минералов достигается добавками перекиси бария, что обусловлено высокой окислительной активностью атомарного кислорода, выделяющегося при разложении перекисей и способствующего переводу сульфосолей в более растворимые окисоединения серебра и сурьмы (мышьяка). Однако при этом требуются большие расходы перекиси (10—20 кг/т). Кроме того, большое влияние на этот процесс оказывает присутствие других рудных



минералов, особенно галенита, 5—10-кратный избыток которого может свести к минимуму положительный эффект от перекиси.

В связи с этим был продолжен поиск более универсальных реагентов-добавок, на эффективность действия которых не будет столь существенно влиять вещественный состав руды. В качестве таких реагентов нами предложены соединения из класса алифатических аминов, проявляющие склонность к образованию комплексов с серебром, но не способные оказывать столь «жесткого» (как окислители) действия на сульфидные компоненты руды. Исследованиями, проведенными на монофракциях аргентита, прустита, пираргирита и тетраэдрита, было установлено, что, во-первых, цианирование в присутствии амина способствует повышению перехода серебра в раствор на 5—12 %, и, во-вторых, этот эффект практически не зависит от наличия других сульфидов. Эксперименты по изучению механизма действия аминов позволили сделать выводы о характере их интенсифицирующего влияния на процесс цианирования серебра. Оно обусловлено, главным образом, высвобождением серебра, структурно связанного с железом или покрытого железистыми пленками, в результате образования смешанного цианистого комплекса железа и амина. Значительно меньшую роль играет образование аминокцианистых комплексов серебра.

В основу разработки методов интенсификации цианирования упорных и сложных по вещественному составу серебряных и серебросодержащих руд, характеризующихся наличием большого многообразия серебряных минералов, положены результаты теоретических исследований поведения основных минералов серебра в процессе цианирования. Это прежде всего руды Дукатского месторождения (участки Смелый, Лунный, пробы 9П и 16П), Приморья (Таежное), Памира (Акджилга). Данные химического и минералогического изучения руд (табл. 1, 2) отражают их сложный вещественный состав, характеризующийся: а) присутствием основной массы серебра в виде минералов, трудно поддающихся цианированию (акантита, пираргирита, полибазита, стефанита, тетраэдрита); б) взаимным тонким прорастанием минералов серебра друг с другом, а также с рудными и порообразующими минералами; в) наличием покрытий из окис-

ных и гидроокисных пленок, затрудняющих проникновение цианида к поверхности минерала серебра.

На близких по технологическому типу серебряных рудах месторождений Таежное и Дукат (участки Смелый, Лунный) изучена кинетика процесса цианирования, влияние природы и расхода добавок, количества защитной щелочи, концентрации цианида и отношения твердой фазы к жидкой (Т:Ж). В таблице 3 приведены основные результаты цианирования руд, достигнутые при оптимальных расходах добавок. Как видим, все использованные добавки дают положительный эффект, в том числе и повышенная концентрация извести. Однако наилучшие результаты по кинетике и извлечению серебра в раствор достигаются при введении аминов, добавка которых снизила за 24 часа содержание серебра в хвостах цианирования руд на Таежном до 12 г/т, Смелом — до 27 г/т, Лунном — до 43,1 г/т. Причем для первых двух руд оно гораздо ниже того количества серебра, которое, по данным рационального анализа, не подвергается прямому цианированию (33,0 и 63,7 г/т соответственно).

Как уже упоминалось, значительную трудность представляет выщелачивание серебра из блеклых руд. В связи с этим представляло интерес испытать действие аминов на процесс цианирования серебросодержащей руды месторождения Акджилга, в которой тетраэдрит является основным (около 70 %) концентратом серебра. При стандартных условиях цианирования руды (KCN—0,2 %, Т:Ж = 1 : 3, время 48 ч) в раствор переходит всего 30,6 % серебра; при KCN—0,4 % — 40,2 % и лишь при высоких концентрациях цианида (1—2 %, расход 200—400 кг/т) и продолжительности 60—72 часа извлечение металла достигает 92 %. Из результатов испытания различных режимов цианирования этой руды (см. табл. 3) следует, что положительный эффект от введения перекиси отсутствует, а добавка нитрата свинца лишь незначительно (на 3—6 %) повышает извлечение серебра в раствор. Введение же аминов (1 кг/т) позволило значительно ускорить растворение серебра: даже при концентрации цианида 0,2 % и времени цианирования 48 ч удалось вдвое повысить извлечение серебра (до 63 % про-



## 1. Химический состав серебряносодержащих руд

Элемент, соединение	Содержание, %						
	Таежное	Смелый	Лунный	Акджилга	16П	9П	Концентрат (Лунный)
Оксид кремния	78,0	80,17	45,2	47,20	64,3	80,4	14,60
Оксид алюминия	7,1	8,11	2,0	4,55	6,25	7,3	1,50
Оксид железа II	1,42	—	0,03	18,12	—	2,32	7,62
Оксид железа III	1,92	1,86	0,60	9,42	4,1	2,1	—
Оксид марганца	1,74	0,20	0,31	0,64	13,75	0,25	0,39
Оксид магния	1,17	0,10	0,20	0,25	0,15	0,32	4,71
Оксид кальция	1,09	0,36	27,18	1,45	1,09	0,2	22,40
Оксид натрия	0,06	0,10	0,15	0,12	0,78	0,12	0,18
Оксид калия	2,12	6,0	0,25	1,37	4,44	3,47	0,15
Сера общая	1,23	0,54	0,34	0,6	0,04	0,33	7,09
Сера сульфидная	1,18	0,22	0,15	0,6	—	0,19	6,14
Свинец	0,09	0,08	0,64	0,015	0,5	0,27	20,40
Цинк	0,1	0,07	0,06	0,09	0,48	0,31	0,06
Медь	0,025	0,04	0,015	0,77	0,06	0,075	0,09
Углерод	0,10	—	0,19	—	0,19	—	—
Золото, г/т	0,7	1,1	2,6	сл.	0,43	13,8	40,1
Серебро, г/т	396	463	490	996	1092	3187	7440

## 2. Минералы серебра в типичных серебряносодержащих рудах

Собственно серебряные руды		Золото-серебряные руды		Серебросодержащие руды
Смелый	Таежное	Лунный	9П (Дукат)	Акджилга
*Самородное серебро *Пираргирит *Полибазит	*Пираргирит *Акантит *Полибазит	*Акантит *Полибазит *Тетраэдрит	*Акантит *Пираргирит *Полибазит	*Тетраэдрит Пираргирит Самородное серебро
Макинстриит Акантит	Стефанит Самородное серебро		*Электрум Самородное серебро	

\*Главные серебряные минералы в руде.

тив 30 % без добавки). Применение двухстадиального цианирования и сорбционного выщелачивания в присутствии амина привело к 93,7 % извлечения серебра против 71,2 % без амина. В целом, результаты исследования этой руды свидетельствуют, что при более тщательной отработке режимов процесса полученные технологические показатели могут быть еще улучшены. Значитель-

ный эффект, достигнутый для цианирования данной руды в присутствии амина, вполне закономерен, если принять во внимание механизм действия амина.

Как можно было ожидать, малоэффективным оказалось применение добавок для извлечения серебра из марганцевой руды 16П, в которой, по данным фазового анализа, 67 % серебра заключено в гидроокислах



3. Влияние реагентов-добавок на результаты цианирования различных технологических типов серебросодержащих руд

Реагент-добавка (расход, кг/т)	Таежное				Смелый				Лунный		Акджилга			
	12 ч		24 ч		12 ч		24 ч		24 ч		24 ч		48 ч	
	Хвосты Ag, г/т	Извлечение Ag в раствор, %	Хвосты Ag, г/т	Извлечение Ag в раствор, %	Хвосты Ag, г/т	Извлечение Ag в раствор, %	Хвосты Ag, г/т	Извлечение Ag в раствор, %	Хвосты Ag, г/т	Извлечение Ag в раствор, %	Хвосты Ag, г/т	Извлечение Ag в раствор, %	Хвосты Ag, г/т	Извлечение Ag в раствор, %
—	75,2	81,2	37,3	90,7	128,0	71,6	71,43	84,1	82,8	83,1	598,0	40,2	694,5	30,6
CaO (0,08 %)	59,2	85,7	—	—	68,1	85,0	—	—	68,8	86,0	—	—	—	—
Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (20)	—	—	—	—	124,4	72,4	—	—	—	—	—	—	—	—
BaO <sub>2</sub> (10)	44,8	88,8	29,5	92,6	85,8	81,0	57,2	87,3	57,2	87,3	573,14	42,7	—	—
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (0,5)	60,4	85,0	27,0	93,2	—	—	53,8	88,0	—	—	98,2	50,2	—	—
Амины	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ПА (1,0)	38,4	90,5	9,2	97,7	76,4	83,0	45,5	90,0	53,1	89,8	374,43	62,6	465,6	53,4
ПЭА (1,0)	—	—	12,3	97,0	—	—	27,2	94,1	47,4	90,3	17,4	68,3	425,8	57,4
(0,75 x 2)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	325,1**	67,5
ВМПА (1,0)	—	—	15,9	96,0	—	—	32,9	92,7	—	—	—	—	—	—
Смола АМ-2Б (7,5 %)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АМ-2Б + ПЭА (0,75 x 2)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	108,1	89,2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	62,7	93,7

\*\* Цианирование со сменной растворов через 16 и 48 ч



марганца, а цианируемая часть составляет 21,2 %. При введении амина наблюдается лишь улучшение в кинетике процесса.

Представляло интерес оценить влияние реагентов-добавок, в том числе и наиболее эффективного из них — амина, на процесс цианирования богатых серебряных и золото-серебряных руд и концентратов. В качестве таких объектов были использованы две пробы Дукатского месторождения: убогосульфидная малоокисленная руда 9П (Ag — 3187 г/т, Au — 13,8 г/т) и гравито-флото-концентрат, полученный при обогащении руды участка Лунного (Ag — 7440 г/т, Au — 40,3 г/т). Химический и минеральный состав руд см. табл. 1 и 2.

Более подробные исследования с изучением влияния различных факторов (добавок реагентов, концентрации цианида и продолжительности цианирования) на извлечение серебра и золота в раствор были проведены на пробе 9П. Руда достаточно легко цианируется: в стандартных условиях за 24 часа в раствор переходит основное количество благородных металлов — 91,7—92,8 % серебра и более 96 % золота. Однако при этом содержание металлов в хвостах цианирования остается высоким: 264,5 г/т серебра и 0,85 г/т золота при концентрации цианида 0,2 % и соответственно 229,0 и 0,24 г/т при — 0,4 %. Оно несколько снижается при добавке нитрата свинца, однако не ниже 146,4 г/т серебра и 0,12 г/т золота. При цианировании этой руды особенно наглядно проявляется интенсифицирующее действие амина: уже при введении его в количестве 400 г/т содержание серебра за 24 часа снижается почти в 3 раза (до 79,4 г/т) по сравнению с базовым опытом без добавок, а при оптимальном расходе (1 кг/т) — в 4 раза (до 52,6 г/т); за 48 ч — до 23,6 г/т серебра и менее 0,01 г/т золота.

Введение амина при цианировании гра-

вио-флотоконцентрата снижает содержание серебра в хвостах на 100—120 г/т по сравнению с базовым опытом, при этом скорость процесса — в 2—2,5 раза выше. Из этого следует, что интенсифицирующие свойства амина сохраняются и при цианировании материала, подвергнутого ранее реагентной обработке.

Таким образом, в результате проведенных исследований по цианированию серебряно-содержащих руд различного вещественного состава установлено, что для собственно серебряных руд интенсификации процесса способствуют: ведение его при повышенных концентрациях извести (до 0,08 %), добавки солей свинца (0,5—1,0 кг/т), перекиси бария (10—20 кг/т) и амина (0,5—1,0 кг/т). Показано, что амины оказывают наиболее эффективное интенсифицирующее действие как на кинетику процесса, так и на повышение показателей извлечения благородных металлов при цианировании большинства типов серебряно-содержащих руд, особенно включающих трудноцианируемые минералы серебра (в том числе блеклые руды).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белявский М.А., Мейерович А.С., Меретуков М.А. Перспективные способы гидрометаллургической переработки золото- и серебряно-содержащего сырья за рубежом. — М.: Цветметинформация, 1985. № 3.
2. Лодейщиков В.В., Игнатьева К.Д. Рациональное использование серебряно-содержащих руд. — М.: Недра, 1973.
3. Пласкин И.Н. Металлургия благородных металлов. — М.: Металлургиздат, 1958.
4. Фридман И.Д., Шепелева К.А., Берман Ю.С. Влияние вещественного состава золото-серебряных руд на поведение серебра в процессе цианирования // Цветные металлы. 1976. № 10. С. 70—72.
5. Gasparini K. The metallurgy of precious metals as affected by their ores. Precious Metals: Mining Extr. and Process: Proc. Int. Symp. AIME, L-A. 1984. P. 101—109.

Klyueva N. D.

#### ENHANCEMENT OF CYANIDE PROCESS EFFICIENCY FOR TREATMENT OF REBELLIOUS ARGENTIFEROUS ORES USING OXIDANTS AND COMPLEXING AGENTS

*On the basis of analysis of cyanide silver leaching from the most abundant silver minerals (synthetic and natural ones), a technique is proposed which provides intensification of cyanide process for treatment of rebellious argentiferous ores and concentrates using oxidants (peroxides) and complexing agents (aliphatic amines).*



# АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 622.233

© В. А. Хорев, 1995

## ЭФФЕКТИВНЫЙ БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

В. А. ХОРЕВ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Изложены условия и результаты испытаний различных типов коронок, предназначенных для бурения шпуров при проведении подземных выработок. Даны рекомендации по применению наиболее эффективных типов перфораторных коронок и коронок-расширителей для разных типов пород и условий бурения.*

ЦНИГРИ длительное время проводил испытания бурового инструмента, в частности, перфораторных коронок и коронок-расширителей. Основным объемом испытаний осуществлялся в условиях Тырныаузской экспериментальной базы института, оснащенной опытными забоями и аттестованными испытательными стендами. На стадии создания новых образцов бурового инструмента, а также при сравнительной оценке его различных типов особое значение приобретают экспериментальные исследования, позволяющие выявить производительность, эксплуатационные показатели и экономическую эффективность отдельных типов инструмента. Проведение таких экспериментальных работ и качественная всесторонняя оценка их результатов требуют жесткого соблюдения постоянства условий эксперимента, сопоставимости параметров и режимов бурения. Осуществить это в производственных условиях практически невозможно.

С целью определения наиболее эффективных перфораторных коронок в ЦНИГРИ проведены сравнительные испытания коронок диаметром 40 и 43—46 мм, выпускаемых Кузнецким машиностроительным заводом (КМЗ) и Самаркандским заводом бурового инструмента (СОЗБИ).

Испытания проведены при бурении шпуров глубиной 2,0—2,2 м в среднезернистых гранитах с коэффициентом крепости по шкале М.М.Протодяконова  $f = 12—14$

и объемной массой 2,50—2,55 г/см<sup>3</sup> по методике, разработанной институтом ВНИИТС ПО «Союзтвердосплав» и согласованной с СКБ СГО.

В процессе испытаний устанавливали: величину проходки коронки на период стойкости;

число периодов стойкости;  
общий ресурс работы коронки;  
величину износа коронки по диаметру;  
характер поломок.

Осмотр коронок производили после бурения каждого шпура.

Коронки диаметром 40 мм испытаны с использованием бурильной установки, оснащенной колонковым перфоратором с энергией удара — 100 Дж. Параметры коронок и результаты их испытаний приведены в табл. 1. Наилучшие результаты показали лезвийные долотчатые коронки типа БКПМ-40, армированные твердыми сплавами марок ВК-КС и штыревые коронки БКПМ-40-25Ш5 Самаркандского завода.

Испытания коронок диаметром 43—46 мм с резьбовым соединением проведены в тех же условиях с использованием бурильной установки, оснащенной гидроперфоратором с регулируемой энергией удара до 285 Дж. Параметры испытанных коронок с резьбовым соединением со штангой и результаты их испытаний приведены в табл. 2. Лучшие показатели зафиксированы у коронок БКР-



1. Результаты испытаний перфораторных коронок с конусным соединением

Показатели	БКПМ-40-25*	БКПМ-40-25**	БКПМ-40-25Ф	БКПМ-40-25КМ	БКПМ-40-25-Ш5	КТШ-40-25М	КСТ-40
Диаметр коронок, мм	40	40	40	40	40	40	40
Форма рабочей части коронки	Долотчатая	Долотчатая	Долотчатая	Крестовая	Прямоугольная	Трехперая	Трехперая
Оснащение твердосплавными вставками — число пластин, марка	1, Г1104, Г1106	1, Г1104, Г1106	1, фасонная 2121/1, 2121/6	4, 2218/14, Г1203, Г1204, Г1205	5, цилиндрические Ш9х1203	3, лезвийно-цилиндрические 15х20	4, цилиндрические 10х18, 12х18
Масса коронок, кг	0,45	0,45	0,45	0,48	0,48	0,55	0,45
Завод-изготовитель	СОЗБИ	СОЗБИ	СОЗБИ	СОЗБИ	СОЗБИ	КМЗ	КМЗ
Количество испытанных коронок	12	7	5	8	8	4	4
Объем проходки на 1 коронку до затупления, м	6,96	11,6	20,0	8,89	37,5	13,4	20,5
Механическая скорость бурения, мм/мин	450	510	530	—	370	350	280
Удельный износ коронки по диаметру, мм/м	0,045	0,019	0,0116	0,024	0,051	0,097	0,128

\* Твердый сплав марки ВК 8В

\*\* Твердый сплав марки ВК 10КС



2. Параметры коронок с резьбовым соединением и результаты их испытаний

Показатели	БКР-45	БКР-Ш	БКР-43Ш	КТШ-46-31КМ	КСП-46-31КМ
Диаметр коронки, мм	45	45	43	46	46
Форма рабочей части коронки	Крестовая	Шестиугольная	Прямоугольная	Трехперая	Прямоугольная
Оснащение твердосплавными вставками — число пластин, марка	4, Г1206, 2171/1, 2171/2, 2171/3, 2171/5, 2171/9	8, цилиндрические Ш9х1304, Ш10х1507, Ш13х1813	6, цилиндрические Ш10х1507, Ш9х1203	3, лезвийно-цилиндрические 14х20	6, цилиндрические 10х14, 12х14
Масса коронки, кг	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
Завод-изготовитель	СОЗБИ	СОЗБИ	СОЗБИ	КМЗ	КМЗ
Количество испытанных коронок	10	4	3	4	4
Объем проходки на 1 коронку до затупления, м	31,2	28,1	57,4	31,75	21,13
Механическая скорость бурения, мм/мин	700	520	630	850	760
Удельный износ коронки по диаметру, мм/м	—	0,099	0,054	0,063	0,156



43Ш Самаркандского завода и КТШ-46-31КМ Кузнецкого завода.

После испытаний на стендах и в опытных забоях Тырныаузской экспериментальной базы ЦНИГРИ была проведена опытная проверка эффективности лучших образцов бурового инструмента при проходческих работах в ряде геологических организаций Камчатки, Красноярского края, Северного Кавказа и Средней Азии, отличающихся условиями эксплуатации инструмента. Были подтверждены высокие результаты лезвийных долотчатых коронок типа БКПМ-40, армированных пластинами твердого сплава ВК-КС. Эти коронки по сравнению с коронками, оснащенными сплавами марки ВК-В, характеризуются лучшей износостойкостью. При испытаниях они имели большую проходку на период стойкости и выдерживали большее число заточек. Количество заточек составляло 8—12, максимальное значение достигало 13—15. Общий ресурс составил свыше 86—100 м бурения, а отдельные образцы коронок имели ресурс, равный 146—157 м шпуров. По этому показателю они достигают уровня лучших образцов зарубежных коронок.

При бурении шпуров ручными перфораторами на пневмоподдержках или установках типа УПБ и ЛКР в подземных разведочных выработках рекомендуется применять лезвийные долотчатые коронки БКПМ-40-25 и БКПМ-40-25Ф, армированные пластинами твердого сплава ВК 8КС и ВК 10КС, а также штыревые коронки БКПМ-40-25Ш5. Коронки БКПМ-40-25Ш5 с пятью цилиндрическими вставками показали себя более эффективными по сравнению с серийно выпускаемыми Кузнецким и Самаркандским заводами коронками КДП-40, КТШ-40, ККП-43, БКПМ-40КМ, а также с коронками ГРПМ-40, выпускаемыми Ташкентским заводом «Геологоразведка».

На стадиях приемочных испытаний и опытной проверки в породах с коэффициентом крепости  $f = 12—16$  их средний ресурс без перезаточек составлял от 52,5 до 80,5 м шпуров. Для сравнения уместно отметить, что в гранитах с  $f = 12—14$  ресурс лезвийных коронок БКПМ-40 с маркой твердого сплава ВК 8В и ВК 11В на период стойкости составляет в среднем 8,5—9,5 м шпуров, а

коронок типа КДП-40 и того меньше — 6,5—8 м.

Штыревые коронки БКР-43Ш с шестью цилиндрическими вставками диаметром 9 и 10 мм превосходят крестовые лезвийные коронки БКР-45 и штыревые БКР-Ш с восемью вставками диаметром 9 мм. Ресурс их на период стойкости без перезаточки в породах с  $f = 12—15$  составлял от 66 до 112 м шпуров, в то время как ресурс БКР-45 и БКР-Ш не превышал 28—70 м, причем 70 м были достигнуты с двумя перезаточками.

Корпуса коронок БКПМ-40-25, БКПМ-40-25Ф и БКПМ-40-25Ш5 изготавливаются из конструкционной стали марки 18Х2Н4ЧМА или 38ХНЗМФА. Коронки после пайки и термообработки подвергаются также виброобъемной упрочняющей антикоррозийной обработке. Они комплектуются латунными втулками. Завод-изготовитель гарантирует среднюю проходку на коронку (ресурс до списания) в породах с  $f = 12—14$ :

БКПМ-40-25 и БКПМ-40-25Ф — не менее 30 м шпуров;

БКПМ-40-25Ш5 — не менее 50 м шпуров.

Эти коронки имеют конусное соединение со штангой из шестигранной буровой стали диаметром 25 мм. При бурении ими рекомендуется использовать переносные перфораторы марок ПП-54В, ПП-54ВБ и ПП-63В. Предпочтение следует отдавать перфоратору ПП-63В, имеющему энергию удара 63,7 Дж. Коронки БКПМ-40-25 и БКПМ-40-25Ф рекомендуется применять в монолитных породах: первые — в породах средней абразивности, вторые — в породах высшей степени абразивности.

При бурении штыревыми коронками БКПМ-40-25Ш5 следует использовать перфоратор марки ПП-63В и колонковый перфоратор с энергией удара 90—100 Дж, например, ПК-60. Наибольший эффект от применения этих коронок достигается в породах с абразивностью не выше средней.

При проходке выработок с использованием бурильных установок, оснащенных колонковыми пневматическими или гидравлическими перфораторами с энергией удара до 180 Дж, рекомендуется применять штыревые коронки диаметром 43—46 мм марки БКР-43Ш и КТШ-46-31КМ. Эти коронки



имеют резьбовое соединение с буровой штангой круглого поперечного сечения диаметром 32 мм.

При применении технологии буровзрывных работ с незаряжаемыми (компенсационными) шпурами или скважинами рекомендуется использовать коронки-расширители типа КРР диаметром 65 и 70 мм. Они имеют конусное соединение со штангой и предназначены для бурения ручными, телескопными и колонковыми перфораторами с энергией удара от 64 до 197 Дж. Завод-изготовитель гарантирует средний ресурс до

списания коронок-расширителей в зависимости от крепости пород в пределах 12—28 м.

Коронки-расширители марки КРР диаметром 85 и 105 мм целесообразно применять только в тех случаях, когда проходка выработок в очень крепких породах осуществляется с использованием бурильных пневматических или гидравлических самоходных бурильных установок, оснащенных перфораторами или бурильными головками с энергией удара 150—400 Дж.

Khorev V. A.

#### AN EFFICIENT DRILLING TOOL FOR PROSPECTION MINING

*Conditions and results of tests of different-type crowns designed for blast hole drilling in underground mining are presented. Recommendations are given concerning the use of the most efficient drill and reamer crowns for different types of rocks and drilling conditions.*

УДК 550.837.75:551.34.552

© А. Т. Бондаренко, А. Б. Пыстин, 1995

## ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАРБОНАТНЫХ И МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК

А. Т. БОНДАРЕНКО, А. Б. ПЫСТИН (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Освещаются в широком диапазоне радиочастот электрические свойства мерзлых карбонатных пород и кимберлитов Западной Якутии. В пределах Малоботубинского кимберлитового поля в околотрубочном, около- и межразломном пространстве обнаружена изменчивость удельного электрического сопротивления и других петрофизических характеристик пород, которая может служить поисковым признаком при проведении геолого-геофизических работ на месторождениях алмазов.*

В поисковой и разведочной геофизике на месторождениях алмазов, золота и других твердых полезных ископаемых применяются различные модификации высокочастотных радиоволновых и других электроразведочных методов, использующих при интерпретации результатов измерений петрофизические характеристики горных пород. Авторы провели в

диапазоне частот радиогеоразведки лабораторные и экспрессные измерения на образцах и кернах горных пород значений удельного электрического сопротивления  $\rho$ , относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , позволяющих по ним вычислять значения радиоволновых параметров: мнимой части волнового числа коэффициента поглощения энергии электромаг-



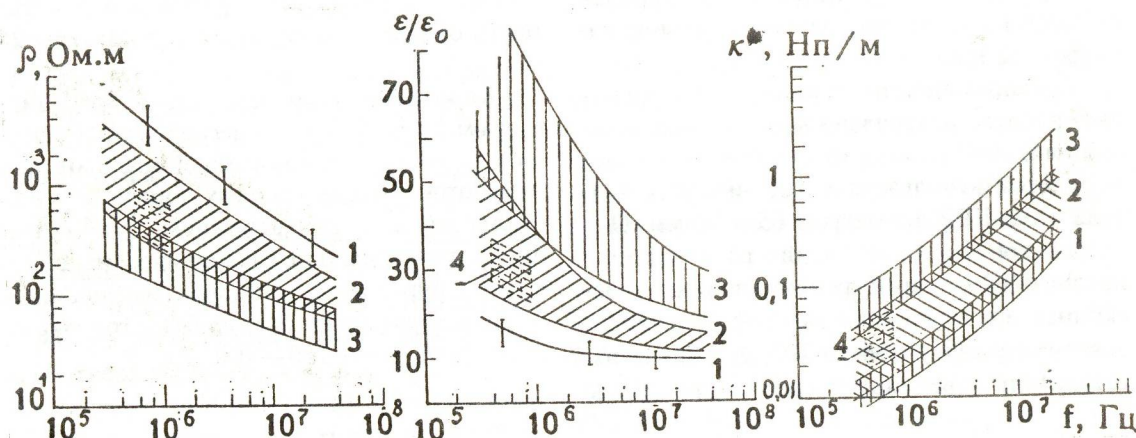


Рис. 1. Значения электрических параметров карбонатных пород и кимберлитов Малоботубинского района в диапазоне частот 0,312—36 МГц:

1 — доломиты,  $\epsilon_{3il}$ ; 2 — глинистые и доломитистые карбонатные породы устькутской и илгинской свит; 3 — кимберлиты; 4 — глинистые карбонатные породы илгинской свиты

нитных волн —  $\kappa''$ . В анизотропных геологических средах по данным измерений  $\rho_n$ ,  $\epsilon_n$ ,  $\rho_t$ ,  $\epsilon_t$  где  $t$  — вдоль,  $n$  — поперек элементов напластования, определялись коэффициент анизотропии электросопротивления  $\lambda_\rho$  ( $\lambda_\rho = \frac{\rho_n}{\rho_t}$ ), диэлектрической проницаемости  $\lambda_\epsilon$  ( $\lambda_\epsilon = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_n}$ ). Измерялись также петрофизические характеристики — объемная плотность  $\delta$ , г/см<sup>3</sup>, эффективная пористость  $n$ , % и водонасыщенность (льдистость)  $W$ , %.

В Малоботубинском кимберлитовом поле на базе измерений 1,5 тысячи образцов выявлены изменения значений петрофизических характеристик кимберлитовмещающих карбонатных пород в околотрубочном, околоразломном и межразломном пространстве, которые могут служить поисковыми признаками при проведении геолого-геофизических работ.

Измерения петрофизических параметров проводились на мерзлых терригенно-карбонатных породах устькутской,  $O_{1us}$ , и илгинской,  $\epsilon_{3il}$ , свит нижнего палеозоя и кимберлитах при температуре, соответствующей криолитозоне, в связи с использованием метода радиоволнового просвечивания [5]. Методика измерений и вычислений физических характеристик приведена в рабо-

тах [1, 4]. Измерения показали, что при отрицательных температурах — (2—3)°С на частоте 0,625 МГц (далее в тексте величины электрических параметров приведены для этой частоты) значения удельного электрического сопротивления  $\rho$  перпендикулярно напластованию глинистых и доломитистых карбонатных пород, вмещающих кимберлитовые трубки Малоботубинского района, находятся в пределах 600—2400 Ом.м, величины диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  — (20—25) $\epsilon_0$ , коэффициента поглощения  $\kappa''$  — 0,04—0,016 Нп/м. Области, в которых находятся предельные и средние значения электрических параметров глинистых терригенно-карбонатных пород  $O_{1us}$  и  $\epsilon_{3il}$ , кимберлитов и других типов пород в диапазоне частот 0,312 — 36 МГц показаны на рис. 1 и в табл. 1. Глинистые карбонатные породы илгинской свиты, расположенные за пределами внедрения кимберлитовых трубок и развития региональных разломов, характеризуются более низкими и изменчивыми средними значениями  $\rho$ , чем значения  $\rho$  этих же пород, непосредственно находящихся в указанных зонах влияния. Например, величины  $\rho$  глинистых и доломитистых известняков илгинской свиты составляют здесь (200—600) 450 Ом.м,  $\epsilon$  — (43—68) $\epsilon_0$ ,  $\kappa''$  — 0,13—0,08 Нп/м. На участке Левобережный, в 75 км северо-западнее кимберлитовой трубки Мир (бассейн



1. Значения электрических и радиоволновых параметров мерзлых горных пород по лабораторным измерениям на частоте 0,625 МГц (перпендикулярно напластованию)

Горные породы, возраст	$\rho$ , Ом.м	$\varepsilon/\varepsilon_0$	$\kappa''$ , Нп/м
Терригенно-осадочные отложения	120—400	60—80	0,09—0,18
Терригенно-карбонатные породы, Огус	350—2400*	20—38	0,02—0,07
	1200	25	0,03
Терригенно-карбонатные породы, Огус, вдоль слоистости	250—1200	31—80	0,034—0,11
	600	55	0,069
Доломитистые известняки, доломиты, Єzil, участок Новый	2000—6800	11—18	0,02—0,009
	200—1100	25—130	0,03—0,83
Доломито-известковистые и песчано-алевролитовые породы, Єzil, трубка Мир	600	58	0,045
	500—1000	32—89	0,03—0,04
Терригенно-карбонатные породы, Єzil, Солурский участок	560	52	0,04
	50—400	50—160	0,06—0,18
Кимберлиты, трубка Мир	150	88	0,088
	150—500	40—100	0,06—0,1
Кимберлиты, трубка Таежная	350	90	0,052
	80—700	48—80	0,06—0,096
Кимберлиты, трубка Амакинская	300—800	32—110	0,05—0,08
	500	80	0,046
Кимберлиты, трубка Дачная	90—310	67—88	0,06—0,13
	6000—21000	9—39	0,006—0,009
Долериты неизмененные, Т	15000	25	0,007
	1000—4200	30—66	0,015—0,09
Долериты выветрелые, Т2—3	2600	38	0,07
	80—600	58—80	0,017—0,16
Долериты афанитовые	80—480	23—85	0,14—0,19
Туфы			

\* в числителе — разброс измеренных значений, в знаменателе — среднее

нижнего течения р. Большая Ботубия), эти разности пород имеют такие же низкие значения  $\rho$ , равные 300—700 Ом.м, и соответственно высокие величины  $\varepsilon$  — (30—70) $\varepsilon_0$  и  $\kappa''$  — 0,12—0,24 Нп/м. В то же время глинистые и доломитистые известняки илгинской свиты участка Мезозойский, в 9 км от трубки Мир в зоне Восточного разлома, характеризуются весьма высокими значениями  $\rho$ , равными 2000—6000 Ом.м,  $\varepsilon$  (12—18) $\varepsilon_0$ ,  $\kappa''$  — 0,03—0,01 Нп/м.

Породы устькутской свиты (в интервале

глубин 35—60 м от дневной поверхности) в пространстве двухфазной кимберлитовой трубки Амакинская характеризуются высокими значениями  $\rho$ . При этом выявлено четкое увеличение этих значений при переходе с севера на юг и юго-запад от нее к зоне Западного разлома, соответственно от 800 до 1600 Ом.м. Высокими предельными и средними значениями  $\rho$  — (500—1000)800 Ом.м характеризуются также плотные кальцитсодержащие кимберлитовые брекчии Южного тела (вторая фаза) трубки Амакинская. В брекчиях Северного



2. Значения поперечного  $\rho_n$  и продольного  $\rho_l$  электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и коэффициента анизотропии  $\lambda_\rho$  и  $\lambda_\epsilon$  в известняках различного состава юго-западной части трубки Амакинская

Глубина, м	Частота 0,625 МГц					
	$\rho_n$ , Ом.м	$\rho_l$ , Ом.м	$\epsilon_n$	$\epsilon_l$	$\lambda_\rho$	$\lambda_\epsilon$
40	1800	750	11	20	2,4	1,8
55	1200	800	10	16	1,5	1,6
61	2700	1800	9	12	1,5	1,3
50	1900	800	16	23	2,4	1,4

тела величины  $\rho$  составляют только (160—500)330 Ом.м. А по скважинам 7, 16, 18, находящимся в 300 м от юго-западной и восточной стороны кимберлитовой трубки Амакинская,  $\rho$  карбонатных пород на глубинах 40—60 м достигают значений 1800—2700 Ом.м (табл. 2).

С удалением от трубки Амакинская на 5,5 км северо-восточнее, в сторону сейсмопрофиля 03, проложенного между Кюеляхским, Западным разломами и кимберлитовой трубкой, значения  $\rho$  терригенно-карбонатных пород понижаются до (500—850)670 Ом.м. Латеральное прослеживание петрофизических свойств этих пород в интервале глубин 30—60 м по профилю показывает с приближением к разломам и кимберлитовой трубке (рис. 2) отчетливое увеличение значений плотности, удельного электрического сопротивления и уменьшение величин пористости, льдистости, диэлектрической проницаемости и коэффициента поглощения энергии радиоволн. На этих же глубинах повышенными значениями  $\delta$  и  $\rho$  характеризуются также породы в скважинах 52 и 53, находящиеся вблизи кимберлитовой трубки Интернациональная и Кюеляхского разлома. Здесь средние значения плотности колеблются в пределах 2,46—2,56 г/см<sup>3</sup>, величины  $\rho$  в среднем составляют 600—800 Ом.м, а в отдельных случаях достигают 1000 Ом.м.

Терригенно-карбонатные породы на участках профиля 03 и в пространстве трубки Амакинская, характеризующиеся повышенной трещиноватостью, высокими значениями  $\rho$  и  $\delta$ , приурочены к разлому и купольному поднятию второго порядка. В них, по геологическим данным, развиты процес-

сы метасоматической сульфидизации, кальцитизации и доломитизации и отмечена слабая низкотемпературная пирит-кварц-кальцитовая прожилково-вкрапленная минерализация [3]. Эта вторичная минерализация, а также последующие гипергенные процессы сnivelировали повышенную трещиноватость пород. Тем не менее она подтверждается более низким коэффициентом анизотропии удельного электрического сопротивления  $\lambda_\rho$ , равным 1,7—2,4 (см. табл. 2), что значительно ниже, чем в анизотропных глинистых терригенно-карбонатных породах на значительном удалении от кимберлитовых трубок, где  $\lambda_\rho$  достигает 4—8 и более [4]. Полученные результаты по изменению значений  $\lambda_\rho$  карбонатных пород на исследованных участках могут служить дополнительным поисковым признаком.

Таким образом, нижнепалеозойские терригенно-карбонатные породы, вмещающие кимберлитовые трубки Малоботуобинского района характеризуются более высокими значениями  $\rho$  по сравнению с такими же породами, находящимися за пределами кимберлитового поля. Участки же вмещающих пород вблизи непосредственного внедрения трубок имеют пониженные значения  $\rho$  вследствие повышенной пористости, открытой макро- и микротрещиноватости и присутствия незамерзшей связанной воды. Поэтому контрастность по значениям  $\rho$  терригенно-карбонатных и кимберлитовых пород значительно возрастает с приближением к трубкам, что успешно используется при поисках. Аналогичным образом в мерзлых породах околотрубочного пространства распределяются и значения скорости продоль-



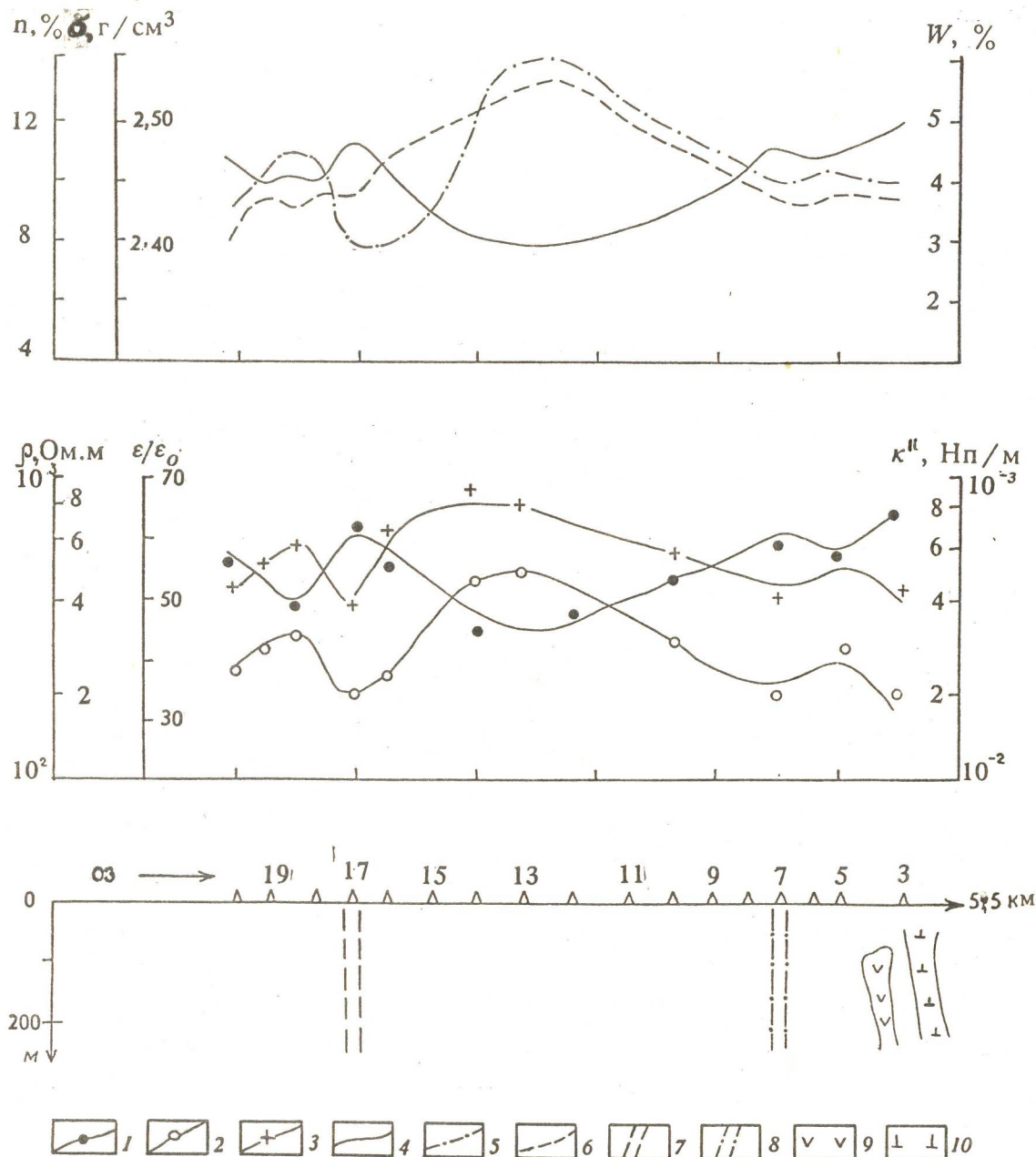


Рис. 2. Изменение осредненных значений электрических характеристик мерзлых терригенно-карбонатных пород по сейсмическому профилю 03 на глубинах 30—60 м:

1 — удельного электрического сопротивления,  $\rho$ ; 2 — относительной диэлектрической проницаемости,  $\epsilon/\epsilon_0$ ; 3 — мнимой части волнового числа коэффициента поглощения электромагнитных волн,  $\kappa''$ ; 4 — плотности,  $\delta$ ; 5 — пористости,  $n$ ; 6 — льдистости,  $W$ ; 7 — Кюеляхский разлом; 8 — Западный разлом; 9 — дайка долеритов; 10 — кимберлитовая трубка имени XXII съезда КПСС

ных упругих волн  $V_p$ . Например, величины  $V_p$  на глубинах 35—60 м в мерзлых трещиноватых терригенно-карбонатных породах устькутской свиты на контакте с кимберлитовой трубкой по лабораторным данным составляют 2,8—2,95 км/с, а в монолитных

породах, находящихся на участках удаленных от трубки Амакинская до 200 м, достигают значений 4,0 км/с.

Для карбонатных пород илгинской свиты на участке Новый, охватывающем зону Восточного разлома, также выявлены высо-



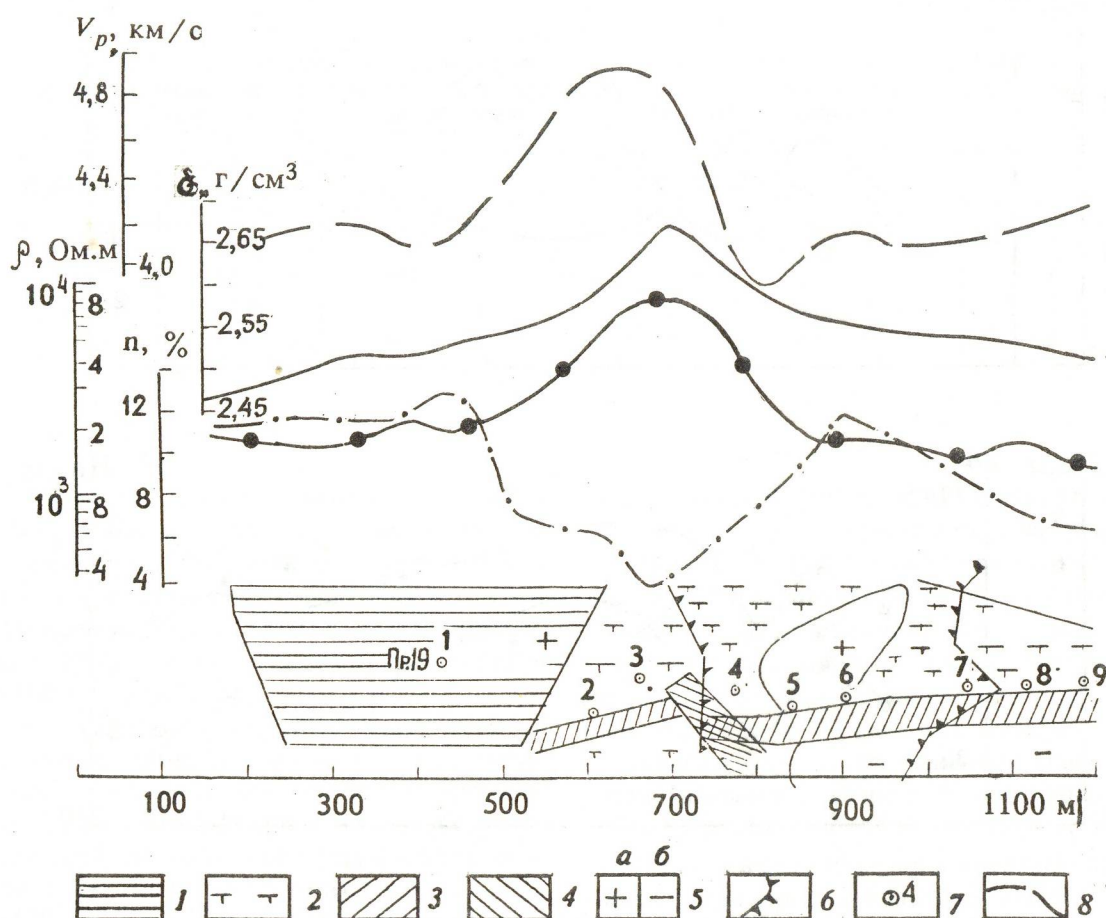


Рис. 3. Изменение петрофизических характеристик карбонатных пород  $\mathcal{E}_3 u$ , вкост пересечения Восточного разлома на участке Новый:

залегание пород: 1 — горизонтальное и субгоризонтальное; 2 — моноклиальное с малыми градиентами; 3 — моноклиальное с большими градиентами; 4 — предполагаемые разломы; 5 — локальные пликативные структуры: а — положительные, б — отрицательные; 6 — зона влияния Восточного разлома; 7 — скважины структурного и поискового бурения, профиль 19; 8 — скорость распространения продольных волн,  $V_p$ ; остальные усл.обозн. см.рис. 2

кие значения  $\rho$ ,  $V_p$ ,  $\delta$ , низкие — пористости и прослежены изменения этих параметров по 19 профилю длиной 1100 м, пересекающему разлом (рис. 3). Весьма высокие значения  $\rho$  (см. рис. 3) в пределах 2000—7800 Ом.м, а в некоторых случаях 9000—10000 Ом.м, и anomальное изменение других петрофизических параметров по геологическим данным, приурочены к зонам разрывных нарушений. На этом участке значения  $\rho$  доломитовых разностей пород на глубинах 90—93 м в скважине 1 (аномалия шесть) достигали значений 25300—40300 Ом.м,  $\epsilon$  — 13—15 $\epsilon_0$ ,  $\kappa''$  — 0,0017—0,019 Нп/м.

Отметим также, что уровень высоких  $\rho$  доломитизированных пород со средними значениями — 1800—3000 Ом.м, характерен для всего поискового участка Новый. Мергели и песчано-глинистые породы имеют значения  $\rho$  от 400 до 1000 Ом.м, что значительно выше, чем в аналогичных породах кимберлитового поля (200—350 Ом.м) за пределами влияния зон разлома. Зависимость значения удельного электрического сопротивления терригенно-карбонатных пород в зоне Восточного разлома от степени их тектонической переработки прослеживается также и по скважинам линии 120, пересекающей зону разлома южнее профиля 19. Так,



3. Значения электрических параметров терригенно-карбонатных пород,  $\epsilon_{311}$ , Малоботубинского кимберлитового поля в околотрубном, околоразломном и межразломном пространствах

Разломы, участки	Частота 0,625 МГц		
	$\rho$ , Ом.м	$\epsilon$	$\kappa''$ , Нп/м
Кюеляхский разлом, центральная часть	450—700	35—40	0,038—0,05
Зона Кюеляхского разлома	400—500	37—45	0,05—0,06
Участки по сейсмопрофилю 03 между Кюеляхским и Западным разломами	280—400	50—55	0,07—0,08
Западный разлом, центральная часть	600	38	0,046
Солурский участок, за пределами зоны влияния Западного разлома	450—900	30—40	0,032—0,037
Параллельный разлом, Кюелях-Бестяхский участок	400—700	35—42	0,037—0,056
Параллельный разлом, участки трубки Мир	300—950	30—60	0,033—0,08
Зона Параллельного разлома, участок Хататский	600—1800	25—33	0,02—0,041
Восточный разлом, центральная часть (скв. 101, 103, 104, 105)	1800—2800	15—20	0,015—0,018
Зона Восточного разлома, участок Новый	1800—3000	12—20	0,014—0,013
Центральная часть Восточного разлома на участке Новый	2000—7000	10—15	0,012—0,008

в скважине 80 на глубине 149 м была встречена весьма прочная со следами температурной закалки и зеркал скольжения светло-серая с тонкой полосчатой волнистой текстурой доломитизированная порода, значение  $\rho$  которой достигло 6440 Ом.м,  $\epsilon$  — 9,6 $\epsilon_0$ . Аналогичное явление отчетливо прослеживалось по линии 135, буровые скважины которой в разломе вскрыли смещения пород илгинской свиты до 50 м. Здесь же, в осевой части Восточного разлома, терригенно-карбонатные породы характеризуются значениями  $\rho$  порядка 1000—2600 Ом.м, а за его пределами, на расстоянии 500 м, величины  $\rho$  этих пород понижаются до 400—600 Ом.м.

В результате обработки измерений выявлена также дифференциация электрических параметров мерзлых карбонатных пород по тридцатикилометровому профилю, пересекающему вкосте простирания глубинные разломы Вилуйско-Мархинской зоны в Малоботубинском кимберлитовом поле (табл. 3, см. рис. 2). Из приведенных данных следует, что наблюдается направленное увеличение удельного электрического сопротивления и изменение других физических характеристик с запада на восток при переходе от Кюеляхского через Западный, Параллельный и Центральный к Восточному разломам. Не останавливаясь на детальной

характеристике приведенных данных (см. табл. 3 и рис. 2), отметим, что самые низкие значения  $\rho$  карбонатных пород характерны для слабо проработанного тектоническими и магматическими процессами Кюеляхского разлома, в пределах которого при бурении скважин не обнаружено трапповых интрузий, а весьма высокие значения  $\rho$  выявлены в пределах Восточного разлома насыщенного магматическими образованиями, обнажающимися на Хататской площади. К западу и к востоку от Восточного разлома интенсивность проявления трещинных трапповых интрузий по другим разломам Вилуйско-Мархинской зоны ослабевает [2]. Наблюдаемые изменения электрических и других петрофизических свойств вмещающих кимберлиты терригенно-карбонатных пород в околотрубном и околоразломном пространстве, а также в геосреде между разломами, вероятно, обусловлены воздействием на них тектонических и магматических процессов. Поэтому при поисках кимберлитовых трубок с применением межскважинного радиоволнового просвечивания и других электроразведочных методов необходимо оптимально учитывать аномальные изменения значений удельного электрического сопротивления и других петрофизических характеристик кимберлитовмещающих пород.



Из анализа результатов проведенных измерений следует, что кимберлитовые трубки Малоботубинского района находятся в окружении зональных блоков карбонатных пород, характеризующихся высокими значениями электросопротивления. Однако эти блоки в околотрубном пространстве могут прерываться, образуя участки пород, имеющие пониженные значения удельного электрического сопротивления:

в Якутской кимберлитовой провинции в широком диапазоне частот наблюдается контрастная дифференциация кимберлитов и вмещающих карбонатных пород по электрическим свойствам и выраженная их дисперсия, что является поисковым критерием при геофизических работах;

выявлено отчетливое изменение петрофизических характеристик терригенно-карбонатных пород в пределах Малоботубинского кимберлитового поля в околотрубном, около- и межразломном пространстве на уровне глубин внедрения трубок взрыва;

установлено, что значения коэффициента анизотропии электрического сопротивления отражают степень трещиноватости, глинистости и метасоматоза карбонатных пород, вмещающих кимберлитовые тела. Его значения в геологической среде трубки Амакинская резко уменьшаются по сравнению с таковыми для этих пород, находящихся за пределами внедрения трубок, что может служить поисковым и интерпретационным признаком при геофизических работах;

использование выявленных изменений петрофизических свойств кимберлитовмещающих пород в околотрубном-разломном и межразломном пространстве Малоботубинского района может существенно оптимизировать поиски кимберлитовых трубок геолого-геофизическими методами.

Авторы выражают благодарность А.Д.Петровскому, Н.Н.Зинчуку, Е.И.Борису, И.Л.Голощапову, И.И.Микоеву за помощь и внимание к работе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко А.Т., Ковалев Ю.Д., Стогова В.А. Устройство и методика экспрессных измерений электрических параметров и горных пород на естественно-мерзлом керне //Тр. ЦНИГРИ. — М., 1988. Вып. 222. С. 53—58.
2. Борис Е.И., Молчанов Ю.Д., Судаков В.М. Глубинные разломы и трещинные трапповые интрузии Малоботубинского района. — М.: ВИНТИ. 3135—79. 1979.
3. Варламов В.А. Структуры кимберлитовых полей как разновидность вулканических построек центрального типа //Тр. ЦНИГРИ. — М., 1989. Вып. 237. С. 16—25.
4. Изучение петрофизических свойств вмещающих карбонатных пород и магматических образований Западной Якутии применительно к задачам радиопросвечивания / А.Т.Бондаренко, Д.И.Саврасов, Е.И.Борис, А.С.Фролов, В.А.Стогова // Тр. ЦНИГРИ. — М., 1989. Вып. 237. С. 90—97.
5. Руководство по радиоволновым методам скважинной и шахтной геофизики / Под ред. А.Д.Петровского, А.А.Попова. — М.: Недра, 1977.

Bondarenko A. T., Pystin A. B.

#### PETROPHYSICAL PROPERTIES OF CARBONATE AND IGNEOUS ROCKS AND THEIR USE IN PROSPECTING OF KIMBERLITE PIPES

*Electric properties of frozen carbonate rocks and kimberlites of Western Yakutia are analyzed over a wide range of radio frequencies. Within the boundaries of Malobotuobinskoye kimberlite field, variations of electric resistivity and other petrophysical characteristics of rocks in near-pipe, near- and interfault space are noted; this variability could be used as an indicator when performing geological-geophysical works at diamond deposits.*



# ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.411

© Г. П. Волярович, 1995

## 120000 ТОНН ЗОЛОТА, ДОБЫТОГО ЧЕЛОВЕЧЕСТВОМ. ГДЕ ОНИ?

Г. П. ВОЛЯРОВИЧ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Проанализировано общее количество золота, добытое человечеством, начиная с Древнего мира. Показаны соотношения во времени золотых накоплений в странах-производителях; формы хранения и использования золота.*

Считается, что от древнейших времен до наших дней добыто на Земле около 120 тысяч тонн золота. При этом на XX век приходится примерно 70 % от общего его количества, что обусловлено разработкой уникальных золотоносных конгломератов Витватерсранд в Южной Африке. Из них ежегодно добывается примерно 50 % мирового золота. Количество добываемого в год металла стремительно возрастает на протяжении истории человечества. Особенно большой скачок по этому показателю сделан в последнем столетии. В настоящее время добыча стабилизировалась на уровне около 2000 тонн и едва ли будет существенно расти в будущем.

Встает вопрос, как же используется человеком этот особый металл, который привлекает внимание людей уже многие тысячелетия. И где же находится это огромное количество золота, которое извлечено из

недр (табл. 1), непрерывно накапливается и тщательно сохраняется?

Чем же людей привлекает золото? Во-первых, своим красивым внешним видом, цветом и блеском, а также тем, что оно не тускнеет, не окисляется, не бьется, не горит, сохраняясь на века в первоначальном виде, не меняясь от долгого лежания в земле, в воде, на воздухе. Второго такого химического элемента в природе нет и подобное вещество не создано человеком. Во-вторых, золото тяжелое, относительно мягкое и очень ковкое. Из него можно легко делать любые вещи, в том числе красивые украшения — ювелирные изделия.

В природе его мало, и с давних пор оно стало предметом накопления, превратившись в символ могущества. Египтяне изготавливали из золота не только украшения и сосуды, но и знаменитые ритуальные погребальные маски фараонов. В древней Индии

1. Количество золота, добытого во всем мире

Периоды	Главные страны-производители	Золото, т
Древний мир (до 500 года), 3000—4000 лет	Египет, Судан, Испания, Индия	10000
Средние века (501—1500 годы), 1000 лет	Судан, Индия, Перу, Центр Америки	5000
Новое время (1500—1800 годы), 300 лет	Гана, ЮАР, Колумбия, Бразилия	5000
XIX век, 100 лет	Россия, США, Австралия, ЮАР	15000
XX век, 95 лет	ЮАР, Россия (СССР), США, Австралия, Канада	85000
	Всего:	120000



из золота делали статуи богов, алтари храмов, а также различные украшения. Народы Южной и Центральной Америки таким же образом использовали свое золото. В погребальных курганах скифских вождей широко известны захороненные золотые предметы — оружие, шлемы, ожерелья, конская сбруя и другие. Количеством золота определялись значимость, величие человека или божества. Золотые короны монархов, скипетры, расшитая золотом одежда, а также покрытые золотом купола христианских соборов, золоченые оклады икон, церковная утварь являются, по-существу, отражением этой же стороны жизни человеческого общества.

Длительное время золото в виде монет служило всеобщим эквивалентом при торгово-рыночных отношениях. Однако в связи с тяжелым весом оно оказалось неудобным при больших торговых сделках и было постепенно вытеснено бумажными деньгами, а теперь и вовсе заменено кредитно-банковскими операциями. Вместе с тем оно сохранило свое значение как ценный предмет накопления, стабильный при различных экономических коллизиях. Это привело к тому, что стали создаваться государственные золотые запасы, предназначавшиеся сначала для обеспечения выпускаемых бумажных денег, а затем получившие значение стратегических правительственных резервов.

Золото обладает одной главной геохимической особенностью, обусловленной его химической инертностью, а именно способностью к широчайшему рассеянию и чрезвычайной концентрации. Как известно, золото встречается в рассеянном состоянии во всех горных породах, в воде, в растениях, в крови и т.д. С другой стороны, образуются большие самородки чистого золота весом в десятки килограмм, а также уникальные месторождения, содержащие тысячи тонн металла. Такое распространение золота в природе повторяется и в человеческом обществе. Известны значительные скопления золота в хранилищах банков. Например, в государственном фонде США в Форт-Ноксе в 1940-х годах находилось более 22000 т золота. С другой стороны, в Индии с ее почти миллиардным населением распространен обычай, по которому у каждого человека должно иметься несколько грамм золо-

та. Неравномерность распространения золота среди людей может быть охарактеризована и другими примерами. При общей бедности населения республики Гвинея на годовом празднике 1963 года на одной негритянской женщине были надеты золотые украшения — кольца, браслеты, серьги, ожерелье, диадема, пояс и т.д. общим весом более 1 килограмма, а свергнутый диктатор Филиппин Маркос, бежав из своей страны, оставил на хранение в специальном подвале одного из аэропортов Швейцарии около 1200 т золота.

Стратегические резервные запасы золота имеются у большинства капиталистических и развивающихся стран. Наибольшее количество золота продолжает оставаться в США — около 8,5 тыс. т. Однако его количество почти в три раза меньше, чем было в 1940—50-ых годах. Правительство США испугалось, что если их золотой запас будет так стремительно возрастать, как в конце 1930-х годов, то они станут монопольными держателями золота и оно потеряет свое значение. Вследствие этого США направили поток золота в другую сторону и остановились на цифре около 8 тыс. т, в какой-то мере близкой государственным золотым запасам других стран (ФРГ около 3 тыс. т, Франция — 2,5 тыс. т). В последующем (в 1975 г.) в США было разрешено скупать и хранить золото как металл частным лицам. И уже через 15 лет у американцев в частном владении значилось более 3,5 тыс. т. К настоящему времени эта цифра значительно больше (в 2 или даже в 3 раза).

В целом количество наличного золота в той или иной стране меняется с течением времени. В частности, золотой запас Франции благодаря дальновидной политике Де Голля, возрос за 10 лет после окончания войны до 4,5 тыс. т, а за следующие 15 лет сократился и составил всего 2,5 тыс. т. Считается, что в Великобритании за тот же период, в связи с отделением большинства колоний, государственный золотой запас уменьшился вдвое с 1,1 до 0,5 тыс. т.

Вообще золото в результате деятельности человека со временем мигрирует (перемещается) на большие расстояния по Земному шару. Это можно проследить начиная с Египта, где золото собирали фараоны еще за 3—4 тысячи лет до нашей эры. Потом



египетское золото в значительной мере переместилось в Южную Европу (Грецию и Рим). В средние века благороднейший металл инков, ацтеков, майя и других народов Центральной и Южной Америки переплыл через Атлантический океан на испанских и португальских каравеллах. В последующем с Пиренейского полуострова, а также из Индии, Австралии и Африки золото перекочевало во Францию, Германию и особенно в Великобританию. В середине XX века оно скопилось в США, а также начало концентрироваться в нефтепроизводящих странах Аравийского полуострова. А к концу столетия золото стало оседать в Индии, на Филиппинах, Тайване, в Японии, — не столько в государственных запасах, сколько у частных лиц.

Судьба золота России (и Советского Союза) также не проста. Если не считать золотых богатств скифов, то первое золото в России в количестве нескольких десятков килограмм было добыто на Воицком руднике в Карелии в середине XVIII столетия. Начало же отечественной золотой промышленности отсчитывается с находки рудного золота в Березовске, хотя расцвет добычи произошел только после открытия и освоения россыпных месторождений Урала. Золотые россыпи постепенно стали находить и отрабатывать во многих районах Западной и Восточной Сибири и Дальнего Востока. Энергичное освоение многочисленных россыпей позволило России во второй половине XIX века даже занять первое место в мире по добыче золота. По россыпному золоту наша страна продолжает и сейчас решительно главенствовать. Однако открытие и интенсивная разработка золотоносных конгломератов Южной Африки быстро обеспечили ей лидирующее место. До сих пор, как указывалось, отсюда поставляется почти 50 % мирового золота. По производству золота до распада на отдельные республики СССР прочно занимал второе место в мире. Теперь Россия отодвинулась на четвертое — пятое место при значительном росте золотодобычи в США, Канаде, Австралии.

Примерно в соответствии с уровнем добычи изменялось и количество государственного золотого запаса России. В конце прошлого и в начале нынешнего века государственный золотой запас обеспечивал кре-

дитно-денежную систему; в то время, наряду с бумажными деньгами, имели обращение золотые монеты достоинством 5 и 10 рублей. После революции, как известно, адмирал Колчак вывез на восток (Пермь, Омск, Иркутск) большую часть государственного золотого запаса в количестве нескольких сотен тонн, примерно половину которого большевики вернули в Минфин. Огромные расходы на приведение в порядок народного хозяйства, разрушенного революцией и гражданской войной, привели Советское правительство к необходимости пополнять государственный золотой запас путем разграбления церквей и реквизиции золота, оставшегося у частных лиц. Кроме того, в середине 1920-х годов были приняты срочные меры к восстановлению добычи золота, практически прекратившейся в период гражданской войны, и созданию мощной золотой промышленности. В результате по добыче золота Россия (Советский Союз) опять занял второе место в мире, а государственный золотой запас возрос до 1,5—2,0 тыс.т. В 1943—45 годах из этого количества около 1500 т СССР пришлось передать США по ленд-лизу в качестве платы за поставленные во время войны снаряжение, оборудование, материалы, продовольствие. И нашей стране пришлось срочно пополнять свой золотой запас, который в первой половине 1950-х годов достиг максимального уровня и составлял 2,5—3,0 тыс.т. Потом он снова стал сокращаться и в настоящее время оценивается цифрой менее 500 т.

Так все же, где находятся добытые человечеством 120000 т золота?

Прежде всего часть его безвозвратно утрачена:

- потоплено в морях и океанах при перевозке Испанией и Португалией из Америки в Европу и до сих пор в своей большей части не найдено;

- захоронено в еще не отысканных кладах;

- потеряно на морских пляжах при купании;

- истерто в процессе обращения золотых монет, на зубных коронках и при пользовании золоченой посудой и ювелирными изделиями;

- использовано промышленностью и не восстановлено.



В целом утраченное золото оценивается в количестве 7—10 % от всего добытого, т.е. ориентировочно 10 тыс.т.

Значительная его доля — 40—50 тыс.т — находится в государственных стратегических запасах и резервных запасах центральных банков капиталистических и развивающихся стран. Общее количество этого золота за последние 20—25 лет стабилизировалось. Оно уменьшается или увеличивается в отдельных странах по различным экономическим и политическим причинам, как, например, изменения и перестройка в социалистических странах (Советский Союз, Китай, страны Восточной Европы), перевороты и смены властей (Алжир, Эфиопия, Нигерия, Филиппины, Гаити и т.д.). Стабилизация государственных золотых запасов обусловлена тем, что золото в последней четверти XX века перестало служить всеобщим экономическим эквивалентом. Общее достояние государств стало значительно выше стоимости всего имеющегося у человечества золота. Однако за отдельные дефицитные материалы и продукты, уникальное оборудование, военную технику, а также некоторые услуги одни государства у других требуют уплаты только золотом. Так широко известно, что США и Канада продавали хлеб России (Советскому Союзу) только за золото.

Усиливающаяся дифференциация общества, его расслоение на богатых и бедных, привела к возникновению особо богатых людей. В числе их часто приводятся нефтяной магнат — правитель государства Бруней на острове Борнео Зондского архипелага и королева Великобритании Елизавета II. Кроме этих исключительно богатых людей в каждом государстве существует 5, 10, 20 богатейших семей, которые, располагая свободными капиталами, скупают на них золото. Такое накопление золота в частном владении отдельными лицами или семьями получило специальное название — тезаврация. По сравнительным данным за 1970-ые годы количество тезаврированного золота увеличилось с 14 до 20 тыс. т. При этом, как уже говорилось, в США только 20 лет тому назад после официального разрешения началась интенсивная тезаврация. В целом данный процесс непрерывно и быстро развивается. Объясняется это тем, что свободные боль-

шие капиталы надо куда-то вкладывать, особенно при часто возникающей в последние 20—25 лет инфляции т.н. твердых валют и обесценивании многих ценных бумаг. Увеличивать производство при жесточайшей конкурентной борьбе монополий не всегда целесообразно. Без конца вкладывать деньги в земли, дворцы и прочую недвижимость опасно в связи с неустойчивой во многих странах политической обстановкой. Ценные произведения искусств сложно охранять и при необходимости трудно быстро реализовать. Скупать бриллианты и хранить их также рискованно; во-первых, они могут сгореть и, во-вторых, есть вероятность, что скоро будут изготавливать искусственные высококачественные алмазы. В то же время золото не горит, искусственно его не сделаешь и даже хранить его большие массы значительно проще. При этом оно всегда в цене, и его легко можно превратить в любые деньги или в другие формы ценностей.

Наибольшее число людей, обладающих значительным количеством золота — от ювелирных изделий, монет, посуды, статуэток до слитков, проживает в самой богатой стране мира — США. Золото этих людей в большей части хранится в нескольких местах страны. Государственный золотой запас США уже многие годы размещается в упоминавшемся ранее специальном хранилище Форт-Нокс в штате Кентукки. Основное количество золотых запасов американских центральных банков находится в Нью-Йорке, в подвалах банков Манхэттена. В США содержатся на хранении также золотые запасы ряда других стран. Считается, что в США сосредоточено в настоящее время всего около 25000 т благородного металла.

Однако большая часть тезаврированного золота размещается в банках Швейцарии. Примером этого служит трудоемкая и длительная специальная работа по выяснению местонахождения золотого сокровища Маркоса, о котором уже говорилось и которое в конце концов было обнаружено в Швейцарии. В Швейцарии золото стало скапливаться на рубеже XIX и XX столетий, когда в полной мере оформился капитализм, возникли монополии и появились крупные финансовые магнаты, такие как Морганы, Ротшильды, Оппенгеймеры, Рябушинские и другие. Владея большими средствами, такие



магнаты часть своих капиталов превращали в золото, которое удобнее и безопаснее было хранить в Швейцарских банках.

Рассчитывая по современной стоимости по 10—12 долларов США за 1 грамм золота, 1 тонна его стоит около 10—12 млн долларов, 1000 т — 10—12 млрд долларов. Следовательно, иметь одну тонну золота богатой семье вполне реально. Совершенно очевидно, что не один Маркос в мире смог накопить более 1000 т золота. Существует безусловно несколько десятков семей, которые обладают таким же количеством благородного металла. Накапливали они это золото в течение десятилетий многими поколениями и хранить его в банках Швейцарии начали, естественно, гораздо раньше Маркоса. Золото в швейцарские банки поступало, конечно, не сразу большими массами, а постепенно. Если взять среднюю цифру 250 т в год, то за сто лет XX века скопилось 25000 т. Цифра 250 т вполне корреспондируется с 300—400 т золота, которые Советский Союз в течение нескольких лет во времена Хрущева и Брежнева выплачивал Канаде и США за поставку хлеба.

Кроме 15—25 наиболее богатых семей, сохраняющих примерно по 1000 т драгоценного металла в банках Швейцарии, существует в мире еще минимум 200—250 человек, имеющих по 100—200 т золота и пользующихся хранилищами тех же банков. Таким образом, можно считать, что не меньше половины тезаврированного золота сконцентрировано в Швейцарии. Швейцарские банки с давних пор славятся тем, что в строжайшей тайне держат имена своих вкладчиков и количество ценностей, которые там хранятся. Это маленькое по площади независимое государство в центре Западной Европы представляет своеобразную золотую шкатулку — уникальное золотое «поле», созданное деятельностью богатейших людей разных стран и народов. Этим и объясняется, почему ни в первую, ни во вторую империалистические войны — время накопления золотых капиталов — Швейцария не была оккупирована другими странами и не подвергалась бомбежке, хотя американцы сбросили бомбы на ценнейшее собрание произведений искусств — Дрезденскую галерею.

Во все времена, начиная с Древнего

Рима, около 1/5 или 1/4 части добываемого золота шло на чеканку монет. Они всегда были предметом накопления в различных хранилищах или в форме разнообразных кладов. Сейчас монеты подвергаются тезаврированию, а также в какой-то небольшой части являются объектами коллекционирования.

Кроме США значительное количество тезаврированного металла числится за Францией, Италией, Канадой, арабскими странами Ближнего и Среднего Востока. Оно быстро увеличивается в Тайване, Японии, Южной Корее, Малайзии, Индонезии, а также в Китае. Есть предположение, что Китай, Тайвань и Гонконг к 2000 году будут ввозить ежегодно более 1000 т золота. При этом остается не ясным, где хранит свое золото брунейский миллиардер, а также богатые люди Тайваня, Цейлона, Пакистана, Ливии, Алжира, Нигерии и других стран Африки и Азии. Вообще все, что связано с добычей, путями накопления и хранения больших масс золота, окутано такой глубокой тайной, что можно делать только самые ориентировочные подсчеты на основании далеко неполных и недостоверных публикуемых сведений.

Даже официальные статистические данные о добыче золота в разных странах мира нельзя принимать за истинные, хотя в различных справочниках приводятся цифры с точностью до одной тонны, а иногда до нескольких десятков килограмм полученного металла. За пример можно взять царскую Россию. В ней всегда существовала золотая монополия, но минимум 20—25 % металла миновало контроль государственных золото-сплавочных лабораторий. Поэтому официальная статистика не могла учесть полностью добычу русского золота, также как и во многих других странах.

Одновременно с концентрацией в руках отдельных лиц (семей) больших масс золота примерно от 100 кг до 1000 т, значительное его количество рассредоточено у огромного числа людей. Каждый 3—4-ый человек в мире имеет немного золота (в среднем порядка 5—6 г) в виде колец, сережек, брошек, цепочек, запонок, часов, крестиков, орденов, монет, зубных коронок и т.д. Общий вес этих золотых изделий, находящихся ориентировочно у двух миллиардов людей



## 2. Распределение добытого на Земле золота, т

Правительственные резервы и запасы центральных банков	50000
Тезаврировано крупными массами	35000
Распредоточено у большого числа людей	20000
Использовано промышленностью	3000
Находится в работе у ювелиров	1000
Затрачено на предметы культа и регалии монархов	1000
Итого:	120000

(всего на Земле живет около 5 миллиардов), составляет 15—20 тыс. т золота. В целом количество золота в течение времени на душу населения в среднем увеличивается. За последние сто лет оно повысилось примерно в полтора раза и составляет сейчас 24—25 г на человека. Несомненно, существенно возросли крупные накопления у отдельных семей. Увеличилось также число людей, владеющих всего несколькими ювелирными изделиями, особенно в странах Юго-Восточной и Южной Азии, Ближнего и Среднего Востока.

Кроме того, у ювелиров более чем в 150 странах находится в работе порядка 800—1000 т золота, если считать, что в каждой стране изготавливают драгоценности в среднем 75—100 человек и каждый из них имеет по 50 кг золота. При этом в ювелирном деле главенствующую роль играет Италия, являющаяся основным изготовителем, а также поставщиком на мировой рынок золотых драгоценностей. Однако эта ее промышленность не создает конкуренции кустарному ювелирному производству Индии, Таиланда, Эфиопии, Гвинеи и других многочисленных развивающихся и слаборазвитых стран.

В последние четверть века золото все больше и больше стало использоваться в промышленности, особенно при создании электронного оборудования в таких странах как Япония, США, Германия, Тайвань и пр. Оно применяется в оборонной и космической технике, главным образом в СССР (России), США, Великобритании, во многих странах Западной Европы, а также в Индии и в последние годы в Китае. Количество

такого золота особо засекречено и только сугубо приблизительно может быть оценено в 2500—3000 т, причем какая-то часть его восстанавливается и вторично используется.

Не меньшее количество золота сохраняется в форме предметов культа — золоченых куполов церквей, пагод, мечетей, обрядовой утвари, крестов, окладов икон, статуй, а также в виде регалий правящих монархов — корон, скипетров, шапок, мантий, тронов и т.д. В сумме оно, вероятно, приближается к 1000 т.

Этими соображениями можно закончить баланс всего количества добытого золота, его использования и нахождения (табл. 2).

Из проведенного анализа следует, что основная часть 120000 т золота, полученного людьми за несколько тысячелетий, в настоящее время находится в состоянии покоя — в виде сокровищ. Оно обратно попало в землю (в подземные хранилища), правда, на меньшую глубину, чем в природе, но зато в гораздо более концентрированном состоянии. Примерно 70 % его содержится в государственных запасах и запасах центральных банков, а также в тезаврированной форме; тезаврация все возрастает при относительном сокращении государственных резервов. При этом увеличиваются массы золота у отдельных богатых семей и растет число людей, владеющих его малыми количествами. Кроме того, возрастает применение золота в промышленности, хотя оно в некоторой степени уже заменяется синтетическими материалами.

Однако далеко не все золотые богатства извлечены из недр Земли. В настоящее вре-



мя разведаны запасы и оценены вероятные резервы золота в количестве 180—200 тыс. т, значительная часть которых сосредоточена в месторождениях ЮАР, России, Австралии, Бразилии, США и Канады. Этими масштабами не ограничивается золото, возможное для добычи. В последние 10—15 лет обнаружены новые богатые объекты и даже целые новые золотоносные районы, как, например, в джунглях Амазонки, в пустынях Западной Австралии, в районах Северного Китая, на территории бывшего Советского Союза. На площадях этих стран и ряда других в труднодоступных и слабо заселенных местах таятся еще не раскрытые и даже приблизительно не оцененные залежи благородного металла, которые в последующем будут отработаны людьми. Это золото будет захоронено и использовано примерно так же, как и сегодня. Изменяются только пути его перемещения и крупные центры концен-

трации, одним из которых несомненно явится Китай.

Остается еще раз подчеркнуть, что приведенные цифры сугубо ориентировочные, начиная с количества золота, полученного как в древние века, так и позднее, а также утраченного с течением времени. В то же время общая обрисованная здесь картина нахождения золота, добытого из недр Земли человечеством, безусловно отражает действительность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникин А.В. Золото. Международный экономический аспект. — М.: Международные отношения, 1984.
2. Афанасьев А. Золотодобывающая промышленность капиталистических стран // Экономический обзор. — М.: Госфиниздат, 1963.
3. Потемкин С.В. Благородный 79-й. — М.: Недра, 1978.

Volarovich G. P.

#### WHERE ARE NOW THE 120,000 TONS OF GOLD PRODUCED BY THE MANKIND?

*The total amount of gold produced by the mankind during the period beginning from the times of the ancient world is analyzed. The time-varying shares of producer countries in the stored gold amount are shown; essential forms of gold storage and utilization are outlined.*



# ДИСКУССИИ

Неоднозначность и многовариантность трактовки многих геологических явлений порождают многочисленные, порой диаметрально противоположные теоретические и концептуальные подходы к одной и той же проблеме. Столкновение и борьба мнений всегда были мощным двигателем развития фундаментальной и прикладной науки. Примеров тому множество.

Поэтому появление в рубрике нашего журнала раздела «Дискуссии» не только позволит читателю познакомиться с существующими мнениями по различным проблемам геологии, но и даст возможность оценить их доказательность, надежность и оригинальность, а также определить наиболее оптимальные подходы для решения практических задач по той или иной проблеме.

Так, одной из актуальных задач геологии и металлогении золота является создание надежной и взаимоприемлемой рудно-формационной и геолого-промышленной систематики золоторудных месторождений для целей прогноза, поисков и оценки. Несомненно, что разработанные 10—20 лет назад типизации золоторудных объектов не вполне отражают современное состояние проблемы. Появились новые типы месторождений; принципиально новые методы изучения рудного вещества, условий его переноса и отложения; модели строения месторождений и процессов их формирования; прогрессивные технологии обогащения руд; достигнуты значительные успехи в области геолого-формационного и рудно-формационного анализа; резко изменились требования к результатам проведения поисковых и оценочных работ. Все это диктует необходимость разработки новых принципов систематики месторождений золота, их широкого обсуждения и выработки современных подходов к этой проблеме. На базе проведенной дискуссии предполагается проведение общероссийского симпозиума.

Несомненно, что в новый раздел могут входить требующие дискуссионного обсуждения материалы по другим направлениям нашего журнала.

Надеемся на успех «Дискуссии».

Редколлегия

УДК 553.3/4:551.31

©А. А. Сидоров, И. Н. Томсон, 1995

## РУДНОФОРМАЦИОННЫЕ РЯДЫ И НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРУПНЫХ И УНИКАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А. А. СИДОРОВ, И. Н. ТОМСОН (ИГЕМ РАН)

*Показано, что по составу жильных формаций рудного района можно представить состав руд базовой формации (порфировой, колчеданной, сульфидной вкрапленных руд) и, напротив, по минералого-геохимическим ассоциациям руд базовых формаций можно судить о составе жильного ареала рудных формаций района. Важнейшие базовые рудные формации соответствуют большеобъемным месторождениям и развиваются унаследованно нередко с момента зарождения земной коры.*

К рудноформационному ряду отнесены группы парагенетически или генетически связанных рудных формаций. Связи опреде-

ляются на основе структурных, петрологических, литологических, минералого-геохимических, геохимических (в т.ч. изотопных)



взаимоотношений рудных формаций. Латеральные (горизонтальные) ряды в самом общем виде по своему строению обычно соответствуют основным элементам рудной зональности Эммонса. Однако и т.н. вертикальные ряды подчинены тем же элементам зональности, хотя фации глубинности рудоотложения в них выражены более четко. Ярусное оруденение в пределах одного месторождения так или иначе обнаруживает генетические или парагенетические связи. Можно, конечно, как это и принято большинством геологов, именовать подобные месторождения полиформационными. Однако в понятие «рудная формация» безусловно входит геолого-структурная самостоятельность месторождений, образующих формацию. Более того, опыт построения рудноформационных рядов показал, что ряды всегда «открываются» месторождениями, которые можно было бы отнести к полиформационным, если пренебречь геолого-структурной самостоятельностью в понятии «рудная формация». Таковыми являются месторождения порфировых, колчеданных, сульфидно-вкрапленных и других сложных полиметалльных формаций. Завершаются ряды, напротив, простыми нередко монометалльными формациями (сурьмяными, ртутными, флюоритовыми). Нетрудно обнаружить, что минеральные ассоциации месторождений, завершающих формационный ряд, в определенных количествах присутствуют в рудах месторождений, его открывающих. Этот элемент минералого-геохимического родства руд эффективно используется при построении рудноформационных рядов. Естественно также, что ряды удобно именовать по наиболее полиметалльным месторождениям, несущим в своих рудах минералого-геохимические ассоциации («зародыши») месторождений других более простых рудных формаций ряда. Таким образом сравнительно легко в большинстве рудных районов выделяются медно-порфировые, олово-порфировые, колчеданные ряды. Сложнее выделяются рудноформационные ряды сульфидно-вкрапленных месторождений, хотя именно они определяют металлогению большинства регионов.

В 1989 году мы предложили называть сложные (полиметалльные) рудные формации, возглавляющие рудноформационные

ряды, базовыми. Это основано на большом опыте изучения эволюции отложения минерального вещества в рудных районах — от сложных полиметалльных месторождений, несущих в себе «зародыши» руд (минеральных ассоциаций) всего рудноформационного ряда, к простейшим монометалльным жильным месторождениям. «Полиформационность» (полиметалльность) руд является следовательно одним из важных критериев выделения месторождений базовых формаций. В развитии рудноформационного ряда фактор времени (продолжительность) при многократности рудоотложения (и переотложения) прежде всего означает, что каждое последующее переотложение рудного вещества в общем увеличивает его дифференциацию (фракционирование) и неравномерность распределения в рудовмещающих структурах, даже если при этом происходит обеднение минеральных парагенезисов и частичное рассеивание рудного вещества [7]. В результате полихронный рудноформационный ряд может быть упрощен (редуцирован) или, напротив, усложнен, особенно в случае совмещенного развития нескольких рядов. Одноэтапные рудноформационные ряды, в частности, порфировые, хорошо выражены в молодых (мезокайнозойских) геологических провинциях. В древних провинциях и особенно в докембрии обычно преобладают полихронные базовые формации и рудноформационные ряды, время развития которых определяется в 200—300 млн лет. Однако и в них обнаруживаются существенные элементы сходства с одноэтапными рядами, сформировавшимися в пределах 5—15 млн лет. Это, по-видимому, объясняется, во-первых, устойчивостью базовой формации и ее ряда и, во-вторых, развитием рассматриваемых таксонов в молодых геологических провинциях также унаследованно (полихронно), хотя доказательства металлогенической унаследованности здесь не всегда очевидны. Если все же признать принцип металлогенической унаследованности в развитии важнейших рудных районов определяющим, то полихронность или одноэтапность базовых формаций и их рудноформационных рядов могут быть учтены при создании региональных и общих рудноформационных систематик. В одноэтапных рудноформационных рядах развитие место-



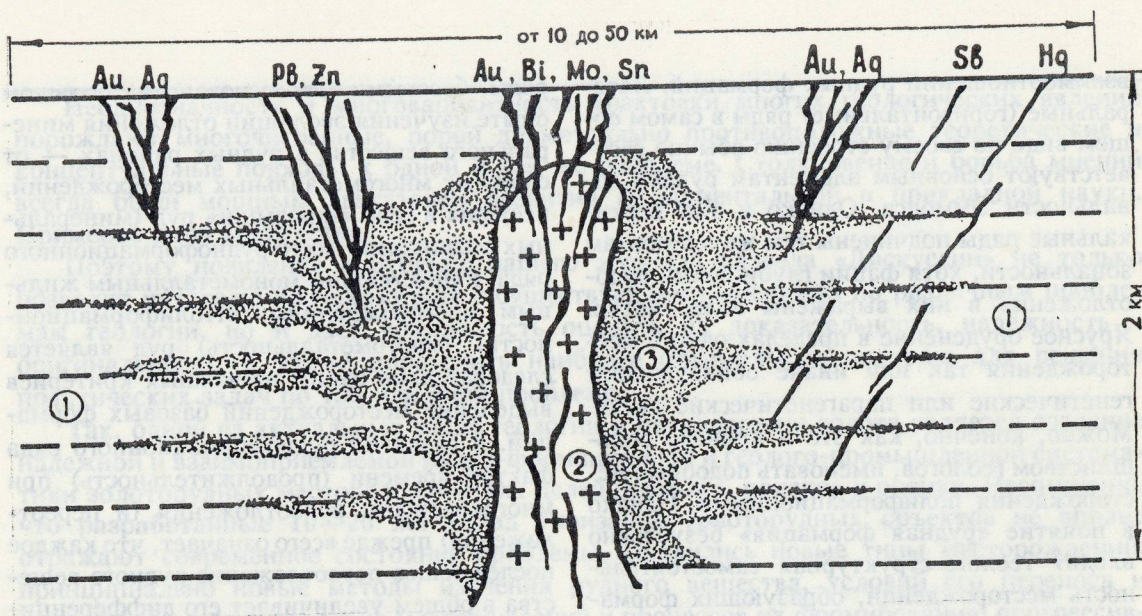


Рис. 1. Схема развития золото-сульфидного ряда рудных формаций (Майский рудный район, Чукотка):

Цифры в кружках: 1 — глинистые, песчано-глинистые толщи мезозойского возраста в основании Охотско-Чукотского вулканогенного пояса; 2 — гранитоиды, субвулканические дайки; 3 — зоны золотоносной сульфидизации. Рудные формации: Au, Bi, Mo, Sn — золото-редкометаллическая; Pb, Zn — полиметаллическая; Au, Ag — золото-серебряная; Sb — сурьмяная; Hg — ртутная

рождений разных формаций представляется парагенетическим из единых или весьма подобных рудообразующих флюидов (растворов) по мере их дифференциации (от многокомпонентных до монометаллических). В полихронных образованиях более отчетливо проявлено многократное переотложение руд, а месторождения базовых формаций обычно представляются в качестве источников рудного вещества для поздних жильных формаций.

Порфировые месторождения в большинстве районов несомненно представляют базовые формации, их ряды занимают околоинтрузивную позицию. Однако в ряде районов (Фреснильо, Мексика; Дукат, Северо-Восток России) выявлены допорфиновые руды, состав которых близок к рудам порфировых месторождений. Не исключено, что в этом случае мы имеем два вещественно близких ряда рудных формаций, которые могут быть объединены при высокой степени родства в один полихронный. При построении ряда рудных формаций в иерархическом порядке (от многометаллической к монометаллической) каждая предыдущая формация обладает определенными элементами «базовости» по отношению к последующей. Ранжи-

рование рудных формаций и выделение соответствующих рядов еще не получили должного развития по следующим причинам: 1. Многие рудные формации представляется невозможным объединить в рудноформационные ряды. 2. Большинство крупных месторождений, которые мы относим к базовым формациям, многими геологами считаются полиформационными. Первая причина заключается в том, что многочисленные и весьма крупные зоны осадочной, гидротермально-осадочной или метаморфогенной сульфидизации не включались в рудноформационные ряды и рассматривались в качестве «маловажных» зон рассеянной минерализации, а нередко трактовались как околорудные (околожильные) ореолы. На примере детально изученных золотоносных зон сульфидизации Тянь-Шаня, Чукотки, провинции Бассейнов и Хребтов Северной Америки можно показать, что они представляют собой важнейшие базовые формации, объединяющие в единые ряды многообразие жильных месторождений (рис. 1, 2). Вторая причина связана с неверным истолкованием полиформационности базовой формации. В рудах месторождений базовых формаций, как уже отмечалось, развиты минералогичес-



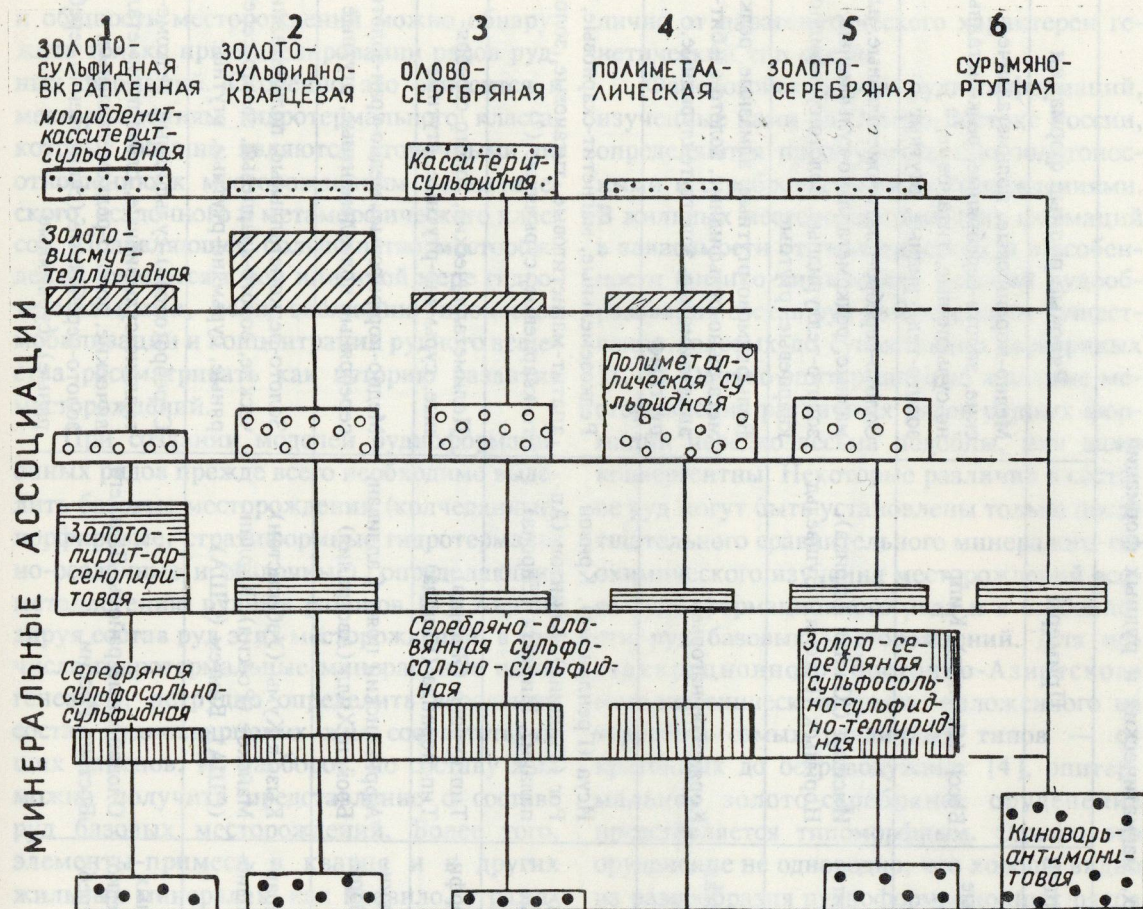


Рис. 2. Рудноформационный ряд золото-сульфидной базовой формации:

Цифры на рисунке: 1 — базовая рудная формация, 2—6 — рудные формации ряда

геохимические ассоциации (или их зарождения) всех месторождений соответствующего ряда. Жильные месторождения на рудном поле базовой формации утрачивают свою формационную самостоятельность, т. к. становятся органичной частью месторождения этой базовой формации. Именно такая «полиформационность» (физико-химическая, но не генетическая) является важным критерием базовой рудной формации. Противопоставления магматических месторождений пневматолитовым и гидротермальным или гидротермальных осадочным оказались в значительной мере формальными, поскольку генетически «чистое» месторождение является скорее исключением, нежели правилом. Форма рудного процесса, как правило, не раскрывает источников руд-

ного вещества, а также связей рудных и геологических формаций, тогда как базовые рудные формации определяют именно эти соотношения (табл. 1).

Моделирование рудных месторождений — необходимый элемент рудноформационного анализа. У англоязычных геологов модели по-существу заменяют его. Поэтому хотелось бы обратить внимание на необходимость моделирования именно рудноформационных рядов (или рудных комплексов — ore assemblage).

Количество моделей рудных месторождений по весьма популярной методике Кокса и Сингера (Cox and Singer, 1986) может быть неопределенным, если пойти по пути развития индивидуальных характеристик каждого месторождения. Генетическую сущность



## 1. Соотношения осадочных, магматических и рудных формаций

Осадочные и магматические формации	Базовые рудные формации	Примеры	Рядовые рудные формации
Офиолитовая (общая):	Хромитовые, колчеданные (медные) кипрского типа	Бесси (Япония), Кипр	Медно-порфировые, полиметаллические, золото-серебряные, редкометалльно-сульфидные, титановые, золото-теллуридные, ртутные
Расслоенных интрузивных комплексов	Медно-никелевые, хромитовые	Инсизва (Южная Африка), Норильск (Россия), Бушвельд	Золото-серебро-платинометалльные, алмазные, редкометалльно-сульфидные, золото-теллуридные, золото-сульфидно-кварцевые, ртутные
Альпийотипных комплексов	Хромитовые, платинометалльные	Корякское нагорье	Вольфрамово-ртутные, алмазные, редкометалльно-сульфидные, золото-альбит-анальцимовые, золото-теллуридные, ртутные
Железистых кварцитов (вулканогенные свиты зеленокаменных поясов), внутриконтинентальных морских бассейнов (железняковые хемогенно-осадочные и вулканогенно-осадочные толщи)	Железистых кварцитов, марганцевые, железнюк-марганцевые, железо-марганцевые	Исуа (Гренландия), Кривой Рог (Украина), Клинтон (Аппалачи), Минетта (Европа)	Редкоземельные, магнетит-скарновые, апатит-магнетитовые, титановые, золото-кварцевые, сурьмяные (?)
Зеленогудовая (Green Tuff), андезит-риолитовая (контрастная)	Колчеданные, медно-порфировые	Тип куроко (Япония), Тип норанда (Канада)	Полиметаллические, золото-серебряные, сурьмяно-ртутные, ртутные
Мелководных песчаников; терригенно-карбонатные; гранитоидные	Медистые песчаники, свинцово-цинковые стратиформные	Африканский пояс, Салливан, Брокен-Хилл (Австралия)	Медно-порфировые, медно-уран-золото-серебряные полиэлементные, ртутные
Флишиотидные глинистые, песчано-глинистые, известково-глинистые (черносланцевые); гранитоидные, в т.ч. субвулканические	Золото-сульфидные (вкрапленных руд), медно-(молибден)-порфировые	Кызыл-Кумы (Узбекистан), Майское (Россия), Карлин (США), Бингем (США)	Золото-редкометалльные, полиметаллические, золото-кварцевые, золото-серебряные, сурьмяно-ртутные, ртутные
Флишевые и флишиотидные песчано-глинистые и глинистые (черносланцевые); гранитоидные, в т.ч. субвулканические	Сульфидные вкрапленных руд (олово-вольфрамо-редкометалльные), олово-(серебро)-порфировые	Оловоносные районы Дальнего Востока России	Серебро(олово)-сульфидные, редкометалльно-сульфидные, олово-полиметаллические, золото-редкометалльные, золото-серебряные (существенно серебряные), сурьмяные



и общность месторождений можно обнаружить только при моделировании рядов рудных формаций. Особенно это относится к месторождениям гидротермального класса, которые обычно являются вторичными по отношению к месторождениям магматического, осадочного и метаморфического классов. Подавляющее большинство месторождений являются в той или иной мере гидротермальными, если эволюцию процессов мобилизации и концентрации рудного вещества рассматривать как историю развития месторождений.

При создании моделей рудноформационных рядов прежде всего необходимо выделить базовые месторождения (колчеданные, порфировые, стратиформные гидротермально-осадочные и осадочные), определяющие металлогению рудных районов [5]. Анализируя состав руд этих месторождений, в том числе гидротермальные минеральные парагенезисы, нетрудно определить вероятный состав руднокварцевых жил соответствующих районов. И, наоборот, по составу жил можно получить представление о составе руд базовых месторождений. Более того, элементы-примеси в кварце и в других жильных минералах, как правило, отражают состав руд базовых месторождений.

На основе рудноформационного анализа месторождений Северо-Востока России и других рудных провинций в таблице дана геолого-генетическая характеристика важнейших рудных формаций Тихоокеанского рудного пояса (табл. 2). Показано, что жильные месторождения генетически или парагенетически принадлежат к соответствующим рядам рудных формаций, состав которых определяется комплексными рудами конкретных месторождений базовых формаций. Генетический тип связи жильных и базовых месторождений (рис. 3) означает, что главным источником рудного вещества жильных месторождений являлись руды базовых месторождений: стратиформных вкрапленных руд, колчеданных, порфировых. Парагенетический тип связи (см. рис. 3) означает, что базовые и жильные месторождения имели общий источник рудного вещества. В рудных районах наиболее распространён смешанный — генетически-парагенетический тип связей (см. рис. 3). Для полихронных рядов рудных формаций в от-

личие от парагенетического характерен генетический тип связи.

Фанерозойские ряды рудных формаций, изученные нами на Северо-Востоке России, определяются преимущественно золотоносными и сереброносными месторождениями. В жильных месторождениях этих формаций в зависимости от геологических и в особенности физико-химических условий рудообразования состав руд изменяется от существенно золотых до существенно серебряных [1, 3]. Однако эпитермальные жильные месторождения различных рядов рудных формаций нередко весьма подобны, или даже конвергентны. Некоторые различия в составе руд могут быть установлены только после тщательного сравнительного минералого-геохимического изучения месторождений всего рудноформационного ряда и в особенности руд базовых месторождений. Для постаккреционного Восточно-Азиатского металлогенического пояса, наложенного на террейны самых различных типов — от кратонных до островодужных [4], эпитермальное золото-серебряное оруденение представляется типоморфным. Однако это оруденение не однородно, что хорошо видно из разнообразия рудноформационных рядов (рис. 4). Например, золото-серебряные месторождения сульфидных рядов отличаются более интенсивным развитием сульфидных минеральных ассоциаций; эти же месторождения, входящие в олово-порфировый ряд, являются обычно существенно серебряными и менее сульфидными. Содержание золота и серебра в рудах месторождений в сущности обусловлено степенью золотоносности и сереброносности руд базовых месторождений. Имеются и другие еще слабо изученные геохимические различия между золото-серебряными, золотыми, оловянными и полиметаллическими месторождениями различных рядов рудных формаций. Высшей степенью конвергентности обладают жильные месторождения, формирующиеся в более стабильной физико-химической обстановке.

На примере месторождений Северо-Востока России и других тихоокеанских рудных провинций хорошо видны не только общие элементы конвергенции жильных месторождений генетически различных рядов рудных формаций, но и резкое ее возраста-



2. Геолого-генетическая характеристика рядов рудных формаций

	Типы тектоно-стратиграфических территорий	Типы связи рудоносных жил с базовыми месторождениями	Жильные месторождения		
			Больших и средних глубин	Малых глубин	
				Высокотемпературные	Среднетемпературные
Наименование рядов (примеры рудных районов)	Генезис базовых месторождений (состав руд)				Низкотемпературные
Свинцово-цинковый стратиформный (Омутский, Северо-Восток России; Пайнт-Пойнт, Канада)	Осадочный, осадочно-гидротермальный (галенит-сфалеритовый с примесью других сульфидов)	Пассивных и перемещенных континентальных окраин	Парагенетический, генетический полихронный	Скарновая, серебро-свинцово-цинковая	Золото-серебряное (?)
Колчеданно-полиметаллический (Провинция «зеленых туфов», Япония)	Вулканогенный гидротермально-осадочный (полиметаллический сульфидный с баритовыми залежами)	Островодужный	Генетический, парагенетический	Полиметаллические	Золото-серебряные
					Сурьмяные, сурьмяно-ртутные







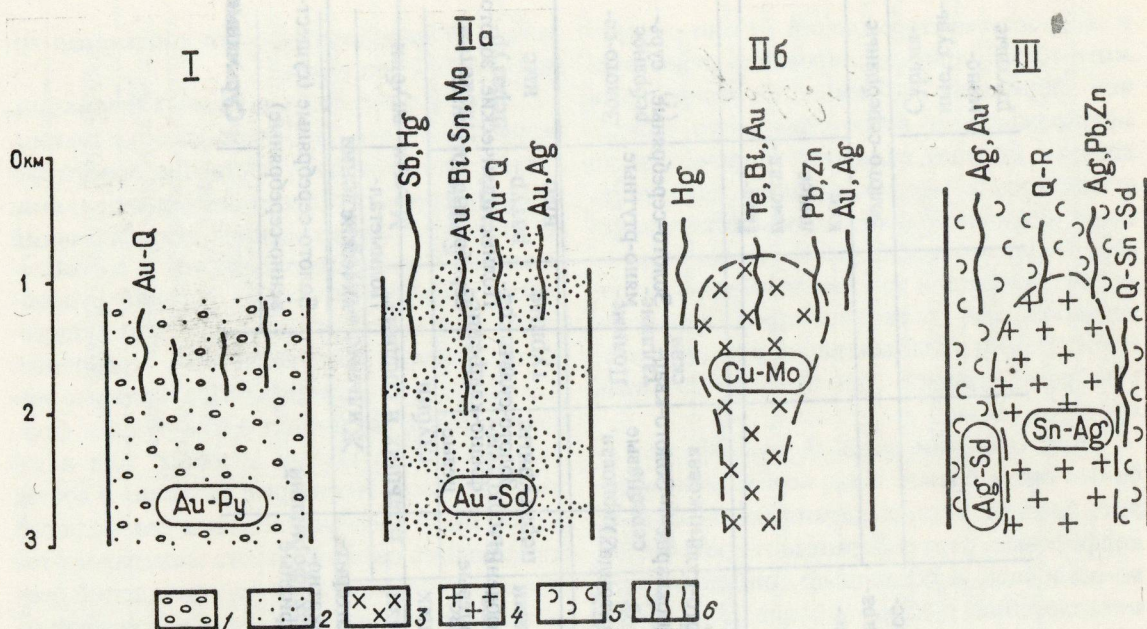


Рис. 3. Схема типовых связей жильных месторождений с месторождениями базовых рудных формаций (на примере рудных районов Дальнего Востока России):

базовые месторождения: 1 — Дегдекан-Токичанские золото-пиритовые вкрапленные руды (Au-Py), 2 — Майские золото-сульфидные тонкодисперсные вкрапленные руды (Au-Sd), 3 — Баимские медно (молибден)-порфировые руды (Cu-Mo), 4 — Омсукчанские олово (серебро)-порфировые руды (Sn-Ag), 5 — Дукатские серебро-сульфидные жильно-вкрапленные руды (Ag-Sd); 6 — жильные рудные формации: Au-Q — золото-кварцевая, Au-Ag — золото-серебряная, Au, Bi, Sn, Mo — золото-редкометалльная, Au, Ag, Te, Bi — золото-редкометалльная (золото-сульфидно-кварцевая), Q-R — редкометалльно-кварцевая, Ag, Pb, Zn — серебро-полиметаллическая, Q-Sn-Sd — кварц-касситерит-сульфидная. Типы связей: I — генетический (черносланцевый), II — парагенетический (а — черносланцевый, б — порфировый), III — смешанный

ние в низкотемпературных членах рядов. Как известно, глобальное распространение конвергентных эпитермальных месторождений в структурах Тихоокеанского и Средиземноморского поясов является главным аргументом в пользу глубинных (подкорковых, нижнекорковых) источников рудного вещества. Но эпитермальные месторождения почти непрерывно прослеживаются во всех вулканогенных структурах этих рудных поясов только потому, что они в той или иной мере свойственны всем рядам рудных формаций. То есть элементы металлогенической однородности тихоокеанских и средиземноморских вулканогенных структур связаны отнюдь не с однотипностью источников рудного вещества, а с весьма подобными (эпитермальными) физико-химическими условиями отложения руд. Источники рудного вещества могут быть обнаружены толь-

ко при детальном изучении базовых месторождений и рядов рудных формаций в целом, моделирование которых должно всегда сочетаться с построением моделей отдельных месторождений.

Проблема базовых рудных формаций теснейшим образом связана с проблемой большеобъемных рудных месторождений. Крупными, уникальными или большеобъемными месторождениями, как известно, называются гигантские природные скопления руд золота и урана, золота и серебра, меди и молибдена, свинца и цинка, а также железа, алюминия и других металлов и неметаллов. По объемам рудной массы они превосходят обычные месторождения на несколько порядков. Месторождение — понятие геолого-экономическое, а выделение группы крупных и уникальных месторождений носит всегда условный характер.



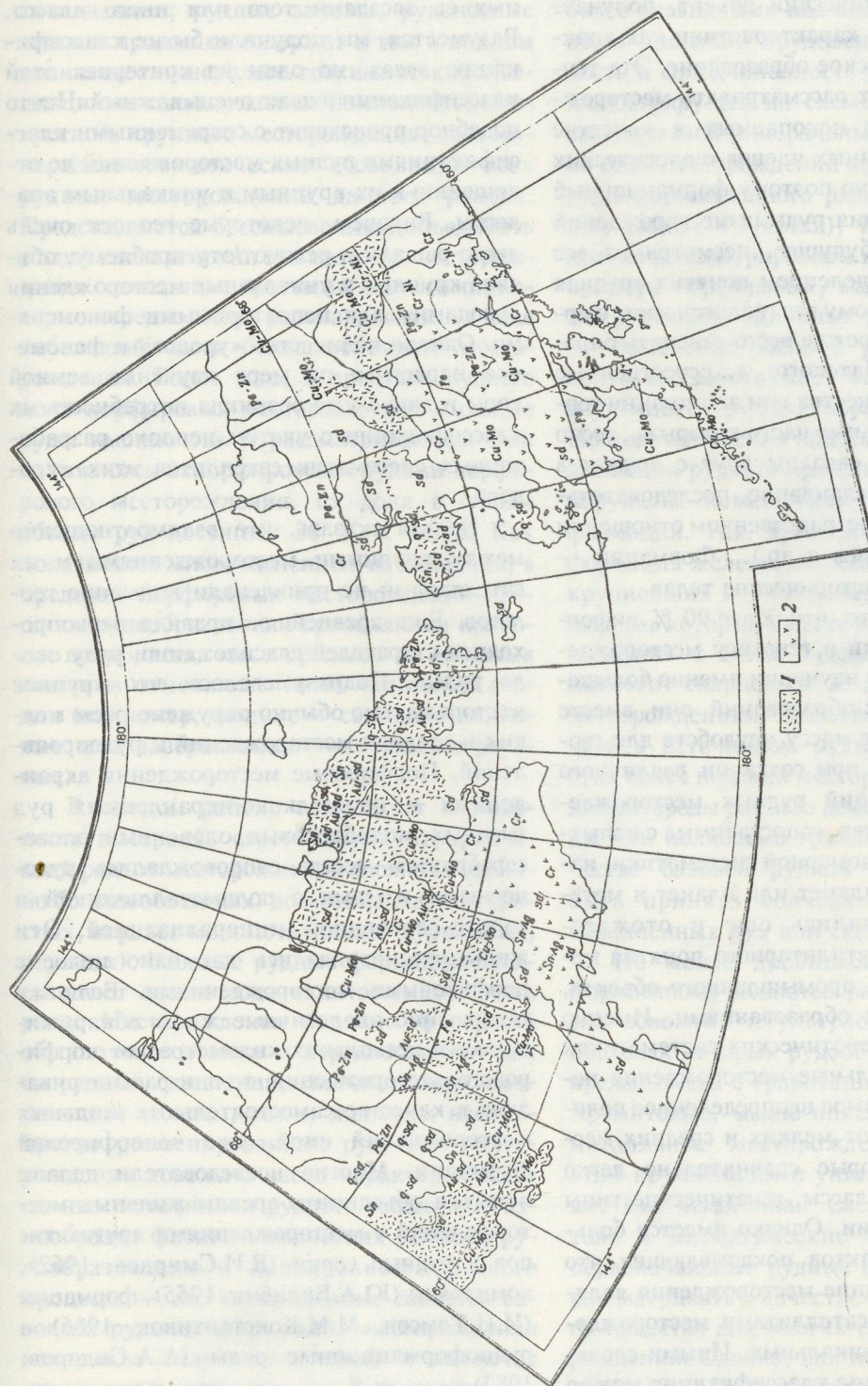


Рис. 4. Схема размещения базовых рудных формаций в постагрегационных металлогенических поясах Северо-Востока России и Аляски (по А.А.Сидорову, Р.А.Еремину, У.Ноксбергу, 1993):

1 — Северо-Восточно-Азиатский постагрегационный металлогенический пояс и его продолжение на Аляске; 2 — кайнозойские постагрегационные металлогенические пояса. Рудноформационные ряды, поименованные по базовым рудным формациям: sd — сульфидный вкрапленный, реже — массивных руд, нерасчлененный; q-sd — кварц-сульфидный вкрапленный руд с золото-кварцевой рудной формацией; q-sd — кварц-сульфидный с оловянными, вольфрамовыми и урановыми рудными формациями; Au-sd — золото-сульфидная вкрапленная руд; Sn-Ag — сопряженные серебро-сульфидный и олово-порфировый; Sn — олово- (серебро)-порфировый; Cu-Mo — медно- (молибден)-порфировый; Pb-Zn — свинцово-цинковый стратиформный; Fe — железорудный; Cr — хромитовый и платинометалльный акцессорно-магматический



Однако мнения специалистов разных лет заметно эволюционировали в одну сторону: параметры крупных и уникальных месторождений заметно возросли. Месторождение, как экономический объект, получает все более четкие характеристики как конкретное геологическое образование. Эта тенденция позволяет рассматривать месторождения полезных ископаемых в качестве вполне определенных членов геологических формаций. Именно поэтому формационный метод исследования рудных месторождений имеет хорошее будущее, несмотря на все трудности с определением понятия «рудная формация». Поэтому все геологические формации должны прежде всего отвечать определению Н.С.Шатского: «...естественные комплексы, сообщества или ассоциации горных пород, отдельные части которых... тесно парагенетически связаны друг с другом в возрастном (переслаивание, последовательность), так и в пространственном отношении (фациальные смены и др.)... Формации — есть естественноисторические тела».

Несмотря на то, что более 90 % информации по геологии и генезису месторождений получено при изучении именно большеобъемных рудных образований, они, вместе с тем, доставляют массу неудобств для геологов-теоретиков при создании различного рода классификаций рудных месторождений. Эти неудобства, сопоставимые с попытками создания одномерной систематики, например, звезд и планет или планет и метеоритов, усугублялись еще и отождествлением сугубо утилитарного понятия месторождения, как промышленного объекта, с геологическими образованиями. Именно поэтому во всех генетических систематиках крупные и уникальные месторождения нередко занимают самое неопределенное положение в отличие от мелких и средних месторождений, которые сравнительно легко объединяются в классы, генетические типы и рудные формации. Однако имеется большое количество фактов, показывающих, что эти мелкие и средние месторождения являются всего лишь сателлитами месторождений крупных и уникальных. Иными словами, все генетические классификации можно было бы назвать квазинаучными, если бы не одно обстоятельство, разъяснить которое легче всего через те же аналогии с небесны-

ми телами. Представим себе, что мы имели бы возможность создать классификацию звезд с помощью тщательной систематики планет и других небесных тел, тесно связанных со звездами того или иного класса. Разумеется, мы получили бы не классификацию звезд, но один из критериев этой классификации и даже очень важный. Нечто подобное происходит с современными классификациями рудных месторождений по отношению к их крупным и уникальным аналогам. Впрочем, некоторые геологи очень легко решали и решают эту проблему, объявив крупные и уникальные месторождения «уродами» или неповторимыми феноменами. Однако количество «уродов» и феноменов нарастало по мере изучения земной коры и давно уже возникла потребность их классификации с учетом неплохо разработанных систематик сателлитов этих «уродов».

Нельзя сказать, что взаимоотношения между крупными месторождениями и их сателлитами не привлекали внимание геологов. Еще древнейшее правило первопроходцев-старателей гласило: «ищи руду около руды». Подразумевалось, что крупное месторождение обычно окружено роем мелких и средних месторождений и рудопроявлений. Порфировые месторождения вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд (медных, молибденовых, оловянных, олово-серебряных) всегда сопровождалась рудоносными жилами с полиметаллической и золото-серебряной минерализацией. Эти жилы рассматривались как одно целое с порфировыми месторождениями. Если же совершенно аналогичные жилы обнаруживались в нескольких километрах от порфирового месторождения, то они рассматривались в качестве самостоятельных жильных месторождений иной, уже непорфировой формации. Многие исследователи делали попытки объединить ареалы жильных месторождений с месторождениями других типов в рудные серии (В.И.Смирнов, 1962), комплексы (Ю.А.Билибин, 1955), формации (И.Н.Томсон, М.М.Константинов, 1966) и рудноформационные ряды (А.А.Сидоров, 1987).

При изучении крупных месторождений золота, серебра, олова и других металлов хорошо просматриваются следующие их осо-



бенности: оруденение во вмещающих породах развивается обычно унаследованно, начиная с эпох осадконакопления и кончая поздними эпохами тектоно-магматической активизации; рудные залежи, рудоносные жилы и прожилки содержат в том или ином количестве минералого-геохимические ассоциации не только главных компонентов конкретного крупного месторождения, но и минералого-геохимические ассоциации всех рудных месторождений данного района. Представляется бессмысленным объединять в один класс или тип эти сложные месторождения совместно с простыми жильными, которые нередко могут рассматриваться в виде небольшой части большеобъемного месторождения. Более того, в пределах рудного поля порфировых месторождений жильные руды именно так и рассматриваются. Они называются непорфировыми рудами порфирового месторождения, их доля в общем объеме руд достигает 30 % и более. Как показывают многочисленные наблюдения, в пределах порфировых месторождений процессы рудообразования проявляются наиболее полно, тогда как в пределах их жильных аналогов отмечаются лишь отдельные стадии (например, поздние — свинцово-цинковые или завершающие — сурьмяно-ртутные).

В каждом районе существует возможность выстроить своеобразный иерархический ряд: от месторождений сложных (обычно большеобъемных) до месторождений простых, нередко монометалльных (сурьмяных, ртутных). Базовые рудные формации представляют своего рода квинтэссенцию всего ряда. Месторождения базовых формаций обычно многоэтапны и нередко состоят как из рудных скоплений, сингенетичных вмещающим толщам, так и жильных неоднократно реювенированных руд. Эти месторождения довольно часто характеризуются единым источником рудного вещества. Разнообразие физико-химических условий рудообразования и полихронность рудного процесса — это закономерные свойства базовых рудных формаций, месторождения которых в силу этих свойств и являются крупными и уникальными. В частности, все еще слабо изученные зоны вкрапленного (тонковкрапленного) оруденения представляются нам примерами неисчерпаемых ме-

сторождений нынешней и будущих постиндустриальных эпох. Что же касается жильных месторождений, то, по мере изучения этих зон вкрапленных руд, становятся все более очевидными подчиненность и вторичность жильного оруденения. Неравнозначность и соподчиненность рудных формаций иллюстрируется на схеме (см. рис. 1 и 2) взаимосвязей минеральных ассоциаций различных месторождений золото-сульфидного рудноформационного ряда в Майском рудном районе (Чукотка). Ранее мы неоднократно демонстрировали подобные связи на примере порфировых, колчеданных и других рудноформационных рядов [5, 3].

Выделение базовых рудных формаций почти всегда отражает всего лишь степень изученности рудных образований региона. По мере изменения наших представлений об эволюции рудного процесса, могут быть обнаружены новые более древние базовые формации. Так, древнейшая геологическая формация железистых кварцитов состоит из крупнейших и уникальных месторождений железа, которые являются базовыми по отношению к более поздним колчеданным, магнетит-скарновым и золото-кварцевым месторождениям. Железистые кварциты являлись источником рудного вещества для этих более поздних месторождений. Однако, когда породы раннего докембрия не обнажены или полностью гранитизированы, в качестве базовой рудной формации может быть принята колчеданная, сульфидная вкрапленных руд или скарновая формации.

Не менее древними геологическими формациями являются расслоенные интрузии основных и ультраосновных пород, в пределах которых рудообразование связано прежде всего с гравитационным эффектом. Хромитовые, медно-никелевые и платинометалльные месторождения относятся к этим крупнейшим и уникальным формациям. Био-хемогенная (железистых кварцитов) и магматические (гравитационные) первоначальные рудные формации логично рассматривать в качестве источников рудного вещества для многих сульфидных месторождений. Однако, как показали наши исследования [5], важнейшим источником рудного вещества жильных месторождений являются также рудные формации вкрапленных сульфидных руд, в особенности тон-



## 3. Эволюционные линии образования рядов рудных формаций

Железистые кварциты (эпиконтинентальная линия)		Сульфидизированные и гематизированные вулканогенно-осадочные толщи, медистые песчаники и сланцы (линия раннего рифтогенеза)		Расслоенные ультрамафитовые комплексы (мантийная линия)	
Базовые формации	Рудные формации рядов	Базовые формации	Рудные формации рядов	Базовые формации	Рудные формации рядов
Железо-марганцевые (железистых кварцитов, железняков)	Скарново-магнетитовые, марганцевые, гематитовые, бокситовые, золото-редкометаллные, золото-кварцевые	Медно-колчеданные	Медно-порфировые, полиметаллические, золото-редкометаллные, золото-серебряные	Медно-никелевые	Золото (серебро)-платинометаллные, золото-серебро-теллуридные
Колчеданные	Редкометаллные, полиметаллические, золото-серебряные, сурьмяно-ртутные	Пятиэлементные (ураново-многометаллные)	Магнетитовые, гематитовые, никель-урановые, серебряные (золотые), золото-серебряные, медно-уран-золото-серебряные, ртутные	Хромитовые	Ильменит-гематитовые, титано-магнетитовые, вольфрамовые, золото-серебро-теллуридные, ртутные
Сульфидные вкрапленных руд	Редкометаллные, золото-кварцевые, золото-серебряные, сурьмяно-ртутные	Олово-порфиоровые	Олово-полиметаллические, золото-серебряные (существенно серебряные), сурьмяные	Медно-колчеданные	Золото-теллуридные, сурьмяно-ртутные, ртутные
		Колчеданно-полиметаллические	Полиметаллические, золото-серебряные, сурьмяно-ртутные	Медно-порфиоровые	Золото-редкометаллные, полиметаллические, золото-серебро-теллуридные, сурьмяно-ртутные
		Сульфидные вкрапленных руд	Редкометаллные, полиметаллические, оловянные, вольфрамовые, золото-кварцевые, золото-серебряные, сурьмяно-ртутные		
		Медно (молибден)-порфиоровые	Золото-редкометаллные, полиметаллические, золото-серебряные, сурьмяные, ртутные		



ковкрапленные их разновидности (сульфиды, окислы, самородные элементы). Зоны с повышенными концентрациями рудного вещества получили широкое развитие в пределах осадочных и вулканогенно-осадочных толщ уже в среднем протерозое при раннем (первоначальном) рифтогенезе. Метаморфизм и гранитизация этих толщ сопровождалась образованием весьма разнообразных рудноформационных рядов с повышенной ураноносностью, что позволило нам назвать эту линию эволюционного рудообразования уран-многометалльной [3].

Из геохимических ассоциаций, присущих трем рудным праформациям (железистым кварцитам, медно-никелевым и хромитовым залежам, уран-многометалльным стратиформным образованиям), представляется возможным получить все разнообразие ныне существующих магматических, осадочных, метаморфических и гидротермальных рудных формаций (табл. 3). Это подтверждается многочисленными наблюдениями явлений устойчивой металлогенической унаследованности геологических структур от докембрия до позднего фанерозоя. Крупные и уникальные месторождения, как правило, формируются унаследованно и в чрезвычайно длительные промежутки времени. Так, железо-редкоземельное медно-уран-золото-серебряное месторождение Олимпик Дам формировалось в результате разнообразных экзогенно-эндогенных процессов на протяжении более чем 200 млн лет. В докембрийском месторождении Хомстейк отмечены эпитепральные золото-серебряные руды миоценового возраста. Крупнейшие месторождения развивались в стабильных тектонических условиях щитов и платформ. В пределах континентальных окраин и других мобильных зон такие месторождения более интенсивно реювенировались и нередко, по-видимому, служили главными источниками рудного вещества многочисленных жильных месторождений с высокодифференцированными рудами.

Таким образом, большеобъемные месторождения развиваются унаследованно и нередко с момента зарождения земной коры. Эти естественноисторические тела (по Н.С.Шатскому) представляют собой важнейшие базовые рудные формации. Ареалы генетически или парагенетически связан-

ных с ними сателлитных месторождений образуют ряды рудных формаций. При реювениции земной коры базовые формации обычно «расщепляются», создавая ряды все более дифференцированных рудных формаций, вплоть до монометалльных. По составу жильных формаций рудного района можно представить состав руд базовой формации. И, напротив, по минералого-геохимическим ассоциациям руд базовых формаций можно судить о составе жильного ареала рудных формаций этого района. Региональные систематики, составленные с использованием новых принципов рудноформационного анализа, имеют важное прогностическое значение. Основы изложенной концепции открывают также новые возможности развития генетической классификации рудных месторождений, учитывающие не только условия рудообразования, но и геологическую однородность источников рудного вещества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов М.М. Золотое и серебряное оруденение вулканогенных поясов мира. — М.: Недра, 1984.
2. Радкевич Е.А. Металлогенические провинции Тихоокеанского рудного пояса. — М.: Наука, 1977.
3. Сидоров А.А. О формационном разнообразии золото-серебряных месторождений // Докл. РАН. 1992. Т.323. № 1. С. 129—132.
4. Сидоров А.А., Еремин Р.А., Бялобжеский С.Г. Северо-Восточно-Азиатский постагрегационный металлогенический пояс // Докл. РАН. 1993. Т. 329. № 2. С. 199—202.
5. Сидоров А.А., Томсон И.Н. Базовые рудные формации и новый подход к систематике месторождений // Тихоокеанская геология. 1989. № 6. С. 97—102.
6. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. — М.: Недра, 1976.
7. Шнейдерхён Г. Успехи в познании вторично-гидротермальных и регенерированных месторождений // Рудные регенерированные месторождения. — М., 1957. С. 63—82.
8. Эммонс В. О механизме образования некоторых систем металлоносных рудных жил, связанных с гранитными батолитами // Геология рудных месторождений западных штатов США. — М., 1937. С. 311—335.
9. Cox D.P., Singer D.A. Mineral Deposit Models. U.S. Geological Survey Bulletin 1693. Washington, 1986. P. 379.
10. Metallogenesis of Mainland Alaska and Russian North-East. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. Openfile Report 93-339, 1993. P. 222.



Sidorov A. A., Tomson I. N.

# ORE-FORMATION SERIES AND SOME PROBLEMS OF LARGE AND UNIQUE DEPOSITS

*It is shown that the composition of ore formations inherent in an ore region may be used to make inferences on the composition of base-formation ores (porphyry, massive sulfide, impregnated sulfide ones) and, the other way, the composition of vein areal of ore formations innate to the region may be inferred by mineralogic-geochemical associations of base-formation ores. The major base ore formations correspond to large-volume deposits, therewith evolving inheritedly, not uncommonly - beginning from the very moment of Earth's crust initiation.*

УДК 550.8.011

© Л. И. Четвериков, 1995

## О СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ ПОНЯТИЙ «ПОИСКИ» И «РАЗВЕДКА» МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Л. И. ЧЕТВЕРИКОВ (Воронежский государственный университет)

*Обсуждаются задачи и итоги поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Делается вывод о том, что «поиски» представляют собой прикладные геологические исследования, а «разведка» — нематериальное производство разведочной информации об объекте, результатом которого является месторождение.*

В настоящее время сложилась парадоксальная ситуация. До сих пор нет однозначного мнения о том, что собой представляют поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (МПИ). Что это? Часть геологии или нет? Два одинаковых вида работ, имеющих общий объект изучения, и отличающиеся только степенью детальности его изучения, или это два разных вида работ с самостоятельными объектами? К какой области они относятся — научной деятельности или материального производства? Принятые определения поисков и разведки МПИ [1] не дают ответов на эти вопросы, а они далеко не праздные, т.к. определяют целевые установки и изначальные возможности данных работ. Название того и другого вида работ включает понятие «месторождения полезных ископаемых», поэтому, не определив, какого рода объектом является МПИ, невозможно правильно ответить на поставленные вопросы.

Классическим считается определение месторождения полезных ископаемых

(МПИ) как «природного скопления полезных ископаемых, которые в качественном и количественном отношении могут быть предметом разработки при данном состоянии техники и в данных экономических условиях» [1, т. 1, с. 425]. Главным определяющим, иначе «целостным», или по-другому «эмерджентным» [10] свойством МПИ является то, что оно представляет собой «предмет промышленной разработки». Это означает, что МПИ является не естественным геологическим, а целевым экономико-техническим геологическим объектом. Экономико-техническим в первую очередь, т.к. его выделение среди других геологических объектов всецело определяется экономическими и техническими факторами [3, 4, 6]. Фактически любое достаточно крупное скопление отдельной породы, находящееся в «удачных» экономических и горно-технических условиях, может явиться предметом промышленной разработки, а следовательно и МПИ, если в этом имеется практическая необходимость. Это приводит к выводу, что



МПИ представляет собой, во-первых, сугубо «целевой», а не «естественный» [2] объект и, во-вторых, технико-экономический объект [9]. «Целевой» объект означает, что выделение МПИ как самостоятельного предмета изучения обусловлено исключительно утилитарной целью — удовлетворением потребностей человечества. Отсутствуют данные потребности, отсутствует и МПИ как особый природный объект. Среди других геологических объектов МПИ выделяется на основе целевых технико-экономических критериев, в качестве которых выступают «требования промышленности» и «кондиции на минеральное сырье», представляющие собой совокупность экономически обоснованных требований к качеству и количеству полезного ископаемого в недрах конкретного месторождения, к горно-техническим условиям его разработки и переработки [3, 4, 6]. В том, что МПИ есть целевой технико-экономический объект, и заключается принципиальное отличие его от других объектов геологии.

Из этого логически вытекает:

1. Нет «требований» и «кондиций», нет и МПИ. Открытие любого месторождения невозможно в их отсутствие.

2. Зафиксировать соответствие изучаемого объекта установленным требованиям (кондициям) промышленности возможно только по результатам достаточного количества замеров его количественных параметров (содержания, мощности и т.д.). На основе чисто геологических предпосылок, признаков и критериев или посредством геолого-геофизических методов поисков объективно сделать это невозможно. Следовательно, также практически невозможно найти и установить наличие МПИ на стадии поисков. Для этого «поиски» как стадия определенного вида геологических работ не дают и не могут дать требуемого количества и качества информации, необходимой для однозначного решения вопроса о наличии МПИ. Этим-то и объясняется ничтожная подтверждаемость найденных на стадии поисков т.н. «месторождений», когда «на каждые 100 проверенных объектов лишь первые проценты оказываются промышленными» [5, с. 57]. Таким образом, бытующее выражение «поиски месторождений полезных ископаемых» является абсурдным. На стадии

поисков можно зафиксировать на местности не наличие МПИ, а «рудопоявления» или в более широком смысле, «проявление полезного ископаемого» [9], т.е. локальное скопление полезного ископаемого, в котором лишь в одном-двух разведочных пересечениях зафиксировано присутствие промышленного содержания полезного ископаемого [3].

Принципиальное различие между «проявлением» и «месторождением» заключается в следующем. Каждое «месторождение» выступало в роли «проявления» на стадии поисков, но далеко не каждое «проявление» в дальнейшем оказывалось «месторождением». Из определения понятия МПИ совершенно ясно, что если «проявление полезного ископаемого» не является на данный момент «промышленным», т.е. не может быть «предметом промышленной разработки при данном состоянии техники и в данных экономических условиях», то оно не представляет собой «месторождение». В этой связи неудачным является и выражение «непромышленное месторождение». И это не таутология, а выражение логически строгого, принципиального подхода к МПИ, как целевому технико-экономическому природному объекту.

Таким образом, в качестве объекта поисков выступает проявление полезного ископаемого. Цель поисков — фиксация на местности проявлений полезных ископаемых, их ранжировка по степени практической значимости или, как принято говорить, по степени их перспективности. Продуктом поисков является геологическая информация как о самих промышленных полезных ископаемых, так и об условиях, в которых они находятся. В задачи поисков входит и сбор географо-экономической информации о районе поисков.

В основе поисков лежат геологические предпосылки, поисковые признаки и прогнозно-поисковые комплексы [5]. Проводятся они посредством геологических, геохимических и геофизических методов. Следовательно, поиски представляют собой прикладные геологические исследования и являются соответственно прикладной частью геологии. В определенной мере их можно рассматривать и как область научной деятельности, поскольку постановка и про-



ведение поисковых работ опирается на научный геологический прогноз [5]. Итак, поиски полезных ископаемых представляют собой прикладные геологические исследования, предназначенные для обнаружения проявлений полезных ископаемых и их перспективной оценки. На стадии поисков удается найти и зафиксировать на местности то или иное проявление полезного ископаемого. Можно произвести оценку обнаруженного рудопоявления, качественно определив степень его перспективности. Но невозможно установить, является ли данное проявление месторождением. Для подобной однозначной количественной оценки нет достаточной информации. Ее можно получить только в результате разведки.

Совершенно по-иному представляется разведка МПИ. У нее иная цель и объект. Целью разведки является установление факта наличия МПИ, определение его технико-экономических и геологических параметров, а также промышленной значимости. В качестве продукта разведки выступает геологическая, экономическая, техническая и другая информация о разведываемом объекте.

Устарело мнение о том, что конечным результатом разведки МПИ служит отчет о его геологическом строении и генезисе. ТЭС по оценке и ТЭО освоения МПИ совместно с подсчетом запасов — вот что сейчас требуется от разведки. Все это основывается на геолого-экономической, геолого-технологической, горно-технической и другой количественной геологоразведочной информации, которая имеет строго прикладную, а не научную направленность. Научная геологическая информация, например, о генезисе МПИ, нужна постольку, поскольку она позволяет прогнозировать промышленные перспективы МПИ за пределами разведанного контура. Понятие «разведка месторождений полезных ископаемых», иначе «геологоразведка», включает в себя «технику разведки» и «методику разведки».

К технике разведки относятся технические средства, используемые при проходке разведочных единиц (буровые станки, горнопромышленное оборудование и т.д.), применяемые для производства замеров геологоразведочных параметров (самое разнообразное оборудование, начиная от

геофизических приборов и кончая оборудованием аналитических лабораторий) и, в последнее время, вычислительная техника, используемая для обработки разведочной информации. Методика разведки объединяет способы и методы производства замеров, разведочных параметров, методику размещения этих замеров на объекте разведки (разведочная сеть); методику обработки разведочной информации (например, алгоритм подсчета запасов и т.д.) и методику геолого-экономической оценки МПИ по результатам разведки. Методика разведки является ничем иным как технологией разведочных работ. Научное обеспечение разведки МПИ разнопланово и в равной мере касается как технической, так и методической ее стороны. Оно включает в себя достижения технических: экономических и геологических наук, а также прикладной математики. Решение научных, чисто геологических вопросов, не является самоцелью геологоразведки. Наоборот, она сама использует достижения геологических и других наук для относительного решения конечной цели технико-экономической оценки недр [3, 4, 6].

Таким образом, разведка МПИ не является «научным исследованием», «областью науки» и тем более «науки о земной коре». Это — особая самостоятельная отрасль нематериального производства со своей особой техникой и технологией, задачей которой является получение различной информации о разведываемом МПИ для его технико-экономической оценки. Именно технико-экономической, а не геолого-экономической оценки, как это принято считать, т.к. определение геологического строения МПИ, вещественного состава руды и решение других, казалось бы, геологических вопросов нужно постольку, поскольку они позволяют объективно оценить экономическую значимость объекта разведки, выбрать оптимальную систему эксплуатации, способ обогащения и технической переработки минерального сырья [3, 4, 6]. Следовательно, «разведка месторождений полезных ископаемых» (иначе — геологоразведка), а в широком смысле — «разведка недр» [8], представляет собой не область науки, а нематериальное производство разведочной информации об объекте разведки.



Разведка «делает» месторождения полезных ископаемых. Поэтому ее можно рассматривать еще и как нематериальное производство, результатом которого является месторождение полезного ископаемого, выраженное в информационной форме.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологический словарь. — М.: Т. I и II, 1973.
2. Геологические тела. — М.: Недра, 1986.
3. Каждан А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1984.
4. Каждан А.Б., Кобахидзе Л.П. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1985.
5. Орлов В.П. Геологическое прогнозирование. — М.: Наука, 1991.
6. Сборник руководящих материалов по геолого-экономической оценке месторождений. — М.: ГКЗ СССР. 1985. Т. 1.
7. Сушон А.Г., Павлов В.К., Виноградов А.С. Стадийность геологоразведочных работ в новых экономических условиях. /Сов.геология. 1991. № 12. С. 75—76.
8. Четвериков Л.И. Теоретические основы разведки недр. — М.: Недра, 1984.
9. Четвериков Л.И. Полезное ископаемое, руда, месторождение и другие понятия. — Новосибирск: Наука, 1986.
10. Шаранов П.П. Логический анализ некоторых проблем геологии. — М.: Недра, 1977.

Chetverikov L. I.

#### ON THE ESSENTIAL MATTER OF «EXPLORATION» AND «PROSPECTING» NOTIONS APPLIED TO MINERAL DEPOSITS

*Objectives and results of mineral deposits exploration and prospecting are discussed. A conclusion is made that «exploration» is essentially an applied geological research, while «prospecting» consists substantially in somewhat non-material production of prospecting information on the deposition feature under study resulting in fixing a deposit.*



**ЦНИГРИ**

#### Многофакторные модели свинцово-цинковых месторождений стратиформного типа

**Атлас содержит** многофакторные модели 10 свинцово-цинковых месторождений стратиформного типа (16 рудных тел). Каждая модель (рудное тело) включает геологоструктурный блок, в котором приводится краткое описание объекта, дополняемое схематизированными планами, разрезами, проекциями, разведочный блок, где приведены результаты многовариантного разрежения разведочной сети, показывающие влияние сложности внутреннего строения рудных тел на уровень подсчетных параметров; концентрационный блок, где в виде проекций и планов с изолиниями содержаний мощности и метропроцента охарактеризовано пространственное распределение сортов руд, размеры однородных участков и др. Приведены статистические параметры, описывающие изменчивость и структуру оруденения, морфологию рудных тел и концентрационных неоднородностей разных уровней.

**Атлас предназначен** для широкого круга специалистов в области рудных месторождений и прежде всего для геологов, связанных с поисками разведкой и подсчетами запасов свинцово-цинковых месторождений.

Адрес: 113545, Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ,  
Телефон: (095) 313-18-18,  
Телетайп: 114142 АДУЛЯР,  
Факс: (095) 315-27-01




**ЦНИГРИ**

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОНЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

## НОВЫЙ «НЕТРАДИЦИОННЫЙ» ТИП ПАЛЕОРОССЫПЕЙ ЗОЛОТА В КОНГЛОМЕРАТАХ ОРОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Во многих разновозрастных складчатых и активизированных областях известны мощные (до 3–5 км и более) грубообломочные молассовые толщи с рассеянной (<знаковой>) золотоносностью. Палеороссыпные проявления с высокими содержаниями золота встречаются в них спорадически, и закономерности их размещения до настоящего времени не ясны.

Обобщение материалов по орогенным комплексам позволило установить, что, во-первых, локальные высокие концентрации россыпного золота приурочены к маломощным, но выдержанным на большой площади горизонтам и, во-вторых, что эти продуктивные горизонты имеют строго определенное стратиграфическое положение в разрезах мощных грубообломочных толщ.

Разработанная методика позволяет быстро и с незначительными затратами выделить локальные площади, перспективные на обнаружение россыпей внутри продуктивных горизонтов и в современных речных долинах, питающихся за счет их размыва.

Надежность методики подтверждена закономерной приуроченностью известных в настоящее время палеороссыпей к маломощным горизонтам, занимающим одинаковое стратиграфическое положение в разрезах разновозрастных молассовых формаций ряда регионов мира.

На основе методики предлагается проведение прогнозных и поисковых работ в перспективных регионах России и зарубежных стран.

Адрес: 113545, Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 313-18-18  
Телетайп: 114142 АДУЛЯР  
Факс: (095) 315-27-01

Технический редактор Н. П. Кудрявцева

Редакция: Н. И. Назарова, И. В. Крейтер, А.Э.Седельникова, Г. С. Королева

Сдано в набор  
08.02.95  
Подписано в печать  
08.02.95  
Тираж 300 экз.

Формат 185×270 1/8  
Бумага офсетная №1  
Печать офсетная  
Заказ 131

Адрес редакции: 113545 Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ  
Телефон: 315-28-47





**ЦНИГРИ**

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

## **КАРТА МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

### **MAP OF DIAMOND, PRECIOUS AND BASE METAL DEPOSITS**

**ЦНИГРИ изготовит по заказам в минимально короткие сроки карты масштаба 1:5000000 размещения на территории России и сопредельных стран месторождений:**

благородных металлов (золото, серебро, платиноиды) и алмазов;

цветных металлов (медь, свинец, цинк, никель, кобальт);

алмазов, благородных и цветных металлов (совмещенные) на геологической основе либо на основе карты полезных ископаемых (ВСЕГЕИ, 1992 г.), с показом границ субъектов Российской Федерации.

Карты сопровождаются разрезами важнейших месторождений, а также брошюрами с классификацией месторождений и краткими описаниями (текст и графика) основных их типов, представляемыми на русском либо английском языках на картах показано расположение основных месторождений алмазов, благородных и цветных металлов, а также основных россыпных районов благородных металлов и алмазов. Названия месторождений даются в русской и английской транскрипциях.

Условные знаки месторождений отражают:

- основные металлы;
- попутные металлы;
- минералого-геохимические типы руд и месторождений;
- морфологию рудных тел;
- рудноформационные типы месторождений;
- рудовмещающие комплексы пород;
- геотектоническую и палеотектоническую обстановки нахождения месторождений;
- состояние геологической изученности месторождений;
- промышленную освоенность месторождений;
- масштабы месторождений.

Адрес: 113545, Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 313-18-18  
Телетайп: 114142 АДУЛЯР  
Факс: (095) 315-27-01





**ЦНИГРИ**

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

## **ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

### **СИСТЕМА ОЦЕНОК ОБЪЕКТОВ НА РАННИХ СТАДИЯХ ИЗУЧЕНИЯ**

### **GEOCHEMICAL CRITERIA FOR EVALUATION OF GOLD ORE DEPOSITS**

### **AN ESTIMATION SYSTEM FOR USE IN EARLY STAGES OF DEPOSITIONAL FEATURES INVESTIGATION**

На основе изучения первичных, вторичных и шлихогеохимических ореолов эталонных объектов главных геолого-промышленных типов золоторудных месторождений разработаны прогнозно-поисковые геохимические критерии. Для оценки объектов используются сведения об элементном составе геохимических ореолов, их морфологии вертикальной и латеральной зональности, концентрации рудогенных элементов и эпигенетических минералах (рудных и нерудных).

Для объектов с четко выраженным литологическим контролем в качестве поисково-оценочного критерия рекомендуется использовать геохимическую характеристику, рудовмещающих толщ.

Для разных минеральных типов золото-серебряного и серебряного оруденения рассчитаны ранжированные ряды ореолообразующих элементов, мультипликативные показатели элементов типоморфной геохимической ассоциации, коэффициенты литологической принадлежности, ряды вертикальной зональности, коэффициенты зональности и интенсивности.

В сочетании с данными по геолого-структурной обстановке, метасоматическим изменением пород и минералогическим ореолам разработанные геохимические критерии нацелены на выявление месторождений и рудных тел, оценку их глубоких горизонтов и флангов.

Вид реализации — ноу-хау, инжиниринг.

Адрес: 113545, Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 313-18-18  
Телетайп: 114142 АДУЛЯР  
Факс: (095) 315-27-01





**ЦНИГРИ**

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

## **ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ СКРЫТЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА**

**Методическое руководство по локальному прогнозу скрытого оруденения** обобщает отечественный и зарубежный опыт теоретических и практических разработок по этой проблеме, учитывает эффективность применения различных методов и их сочетаний, предлагает новые методические приемы локального прогнозирования. Методика обеспечивает выявление локальных рудных участков по материалам детальных поисковых работ и оценку параметров оруденения.

**Технология работ** включает иллюстрируемые в работе разнообразные геолого-структурные методы прогноза (дистанционные морфометрические и детальные структурные исследования, специализированное геологическое картирование, литолого-фациальный и фациально-геохимический анализ рудовмещающих толщ), минералогические и минералого-геохимические (выявление разнообразных индикаторов оруденения в надрудных толщах, реконструирование эндогенной минералого-геохимической зональности на основе данных изучения поверхности и отдельных глубоких пересечений), геохимические, в том числе изотопно-геохимические, геофизические методы.

В качестве новых базовых элементов локального прогноза выдвигаются и обосновываются положения об унаследованных рудных концентраторах, морфологии рудообразующих систем, объемной асимметрии рудных полей.

**Реализация методики** осуществляется через составление прогнозно-поисковых моделей, разрабатываемых в соответствии с рудноформационной принадлежностью объектов и их конкретными свойствами. На каждом из этапов локального прогноза и поисков применяется определенная группа поисковых методов, принцип подбора которых состоит в опознании максимально контрастных критериев обстановок нахождения и признаков оруденения. Методика включает также общую оценку эродированности участка, разработку структурной системы локализации оруденения, установление вертикального интервала промышленного оруденения.

**Результаты работ** представляют собой комплект параметрических моделей, специализированных карт, разрезов, фиксирующих скрытое оруденение и его параметры, сопровождающихся пояснительной запиской.

Вид реализации — инжиниринг, ноу-хау.

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 «Б», ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 313-18-18  
Телетайп: 114142 АДУЛЯР  
Факс: (095) 315-27-01





**ЦНИГРИ**

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

**РУКОВОДИТЕЛЯМ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ  
ОРГАНИЗАЦИЙ, ГОРНОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ, НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ  
ОРГАНИЗАЦИЙ И КОММЕРЧЕСКИХ СТРУКТУР!**

Если Вы хотите разведать месторождение и добыть золото, алмазы и цветные металлы, обращайтесь в ЦНИГРИ.

Мы выполним для Вас полный комплекс исследований по геолого-технологическому картированию и разработке схем комплексной переработки руд и россыпей благородных металлов и алмазов, цветных металлов, глубоководного полиметаллического сырья, многокомпонентных промышленных отходов.

Наши специалисты в кратчайшие сроки, используя современные и эффективные методы исследований, готовы сотрудничать с Вами по следующим направлениям:

1. Кучное выщелачивание золота из руд и техногенного сырья.
2. Технологическое картирование, разработка технологий переработки руд цветных, благородных металлов, алмазов, железомарганцевого океанического сырья, утилизация хвостов, обезвреживание стоков, замкнутый водооборот.
3. Оценка и утилизация отходов производства промышленных предприятий.
4. Технологические исследования, расчет схем, выбор оборудования для создания модульных обогатительных комплексов по переработке золотосодержащих руд.
5. Разработка экологических биотехнологий переработки золото-мышьяковых концентратов.
6. Новые технологии переработки природных и искусственных алмазосодержащих материалов.

**По всем направлениям мы обеспечиваем:**

- разработку технологии с выдачей регламента на проектирование промышленных предприятий;
- экономический расчет разработанной технологии;
- инжиниринговое обеспечение внедрения технологии.

При необходимости может быть проведена стажировка Ваших специалистов.

Адрес: 113545, Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 313-18-18  
Телетайп: 114142 АДУЛЯР  
Факс: (095) 315-27-01