

**РУДЫ**

**И**

**МЕТАЛЛЫ**



**4/1998**

ISSN 0869-5997



## **ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Мировая минерально-сырьевая база алмазов,  
благородных и цветных металлов на рубеже веков  
— перспективы использования и воспроизводства**

**ЦНИГРИ  
21—22 октября 1998 г.  
г. Москва**

### **Т е м а т и к а   к о н ф е р е н ц и и**

1. Глобализация минерально-сырьевых ресурсов и сбалансированное развитие цивилизации — геополитические и социально-экономические аспекты и последствия для РФ.
2. Прогнозы использования МСБ до 2025—2050 гг. и задачи ее опережающего воспроизводства геолого-разведочными работами (мир, СНГ, Россия).
3. Проблемы исчерпаемости минерально-сырьевых баз районов, стран и регионов мира.
4. Экономические и правовые факторы стимулирования и сдерживания использования и воспроизводства МСБ (мир, СНГ, Россия).
5. Добыча топливно-энергетического сырья и твердых полезных ископаемых — технологические и экономические взаимозависимости.
6. Оптимизация пропорций в системе добыча — запасы: методология, ретроспектива и прогнозы.
7. Структура состояния и использования МСБ по масштабам и типам месторождений и технологиям переработки руд — ретроспектива и прогнозы.
8. Российский фонд объектов недропользования — состояние, динамика и тенденции развития.
9. Новые нетрадиционные типы месторождений и источников металлов, их роль в металлообеспечении — ретроспектива и прогнозы.
10. Металлогеническое картографирование как основа оценки потенциала рудоносности.
11. Геоинформационные технологии мониторинга минерально-сырьевых баз — методология, системы, эффективность.

*(продолжение на 3-ей странице обложки)*

# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



Научно-технический журнал

Выходит 6 раз в год

Основан в 1992 году

## 4/1998

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  
Г. А. МАШКОВЦЕВ  
В. М. МИНАКОВ  
Н. И. НАЗАРОВА (зам. главного редактора)  
Г. В. ОСТРОУМОВ  
В. М. ПИТЕРСКИЙ  
В. И. ПЯТНИЦКИЙ  
Г. В. РУЧКИН  
Ю. Г. САФОНОВ  
А. Э. СЕДЕЛЬНИКОВА (отв. секретарь)  
Г. В. СЕДЕЛЬНИКОВА  
В. И. СТАРОСТИН  
И. А. ЧИЖОВА  
Ю. М. ЩЕПОТЬЕВ

Учредитель

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

Издается при участии

Международной Академии минеральных ресурсов,  
фонда им. академика В.И.Смирнова

Москва ЦНИГРИ 1998



Технический редактор Н. П. Кудрявцева  
Редакция: Н. И. Назарова, А.Э.Седельникова, Е.В.Розова

Сдано в набор 25.06.98  
Подписано в печать 20.07.98  
Тираж 350 экз.

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

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

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## Прикладная металлогения

*Дунаев В.А.* 5  
Метаморфические месторождения магнетитовых руд Тунгусской провинции

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

*Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Смирнова Л.С.* 9  
Структурный контроль кимберлитов в Среднемархинском алмазоносном районе Якутии (по материалам космического зондирования)

*Лобач В.И.* 17  
Количественная оценка сложности строения рудных объектов

## Строение рудных месторождений

*Косовец Т.Н., Варгунина Н.П., Мачильский В.А., Орлова Г.Ю., Никифоров М.Ю., Осипов Л.Г., Сутормин В.Е.* 29  
Месторождение Коммунар в Кузнецком Алатау — геология и перспективы после столетней отработки

## Геолого-экономическая оценка рудных месторождений

*Вартанян С.С., Мызенкова Л.Ф.* 47  
Факторы интенсификации развития горно-рудной промышленности Перу

## Комплексное использование минерального сырья

*Добровольская М.Г., Дистлер В.В.* 56  
Платиновые металлы в рудах медноколчеданных месторождений Южного Урала

## Applied Metallogeny

*Dunaev V.A.*  
Metamorphic magnetite ore deposits in the Tunguskaya province

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

*Serokurov Yu.N., Kalmykov V.D., Smirnova L.S.*  
Structural control of kimberlites in the Srednemarkhinsky diamondiferous region in Yakutia as estimated from spacecraft-borne surveying data

*Lobach V.I.*  
Quantitative estimation of structural complexity of ore deposits

## Structure of Ore Deposits

*Kosovets T.N., Vargunina N.P., Machil'sky V.A., Orlova G.Yu., Nikiforov M.Yu., Osipov L.G., Sutormin V.Ye.*  
The Kommunar deposit in the Kuznetsky Alatau: geology and prospects after a hundred-year mining

## Economy Evaluation of Ore Deposits

*Vartanyan S.S., Myzenkova L.F.*  
Factors promoting the intensification of the development of mining industry in Peru

## All-round Utilization of Mineral Products

*Dobrovolskaya M.G., Distler V.V.*  
PGM in ores of massive sulfide copper deposits of the Southern Urals

### Аппаратурно-технические средства и технологии геолого-разведочных работ

*Минаков В.М., Орьеv В.А., Бровкин В.И., Новиков В.Н., Морозов И.В.* 65  
Объекты скважинной гидродобычи и инженерно-геофизический мониторинг отработки экзогенных месторождений золота

*Щегольков Ю.В., Амосов Р.А.* 74  
Островковые пленки оксида золота на россыпном золоте — первая находка

### Рецензии

*Воробьев В.И.* 81  
Актуальная монография

*Константиновский А.А.*  
Новый трехтомник "Литология"

### Поздравляем с юбилеем

Л.А.Болотову 80 лет 84

П.Я.Шабаршову 70 лет 85

### Equipment and Technologies for Geological Prospecting

*Minakov V.M., Oryev V.A., Brovkin V.I., Novikov V.N., Morozov I.V.*  
Targets for borehole hydraulic mining and engineering-geophysical monitoring of the mining of exogenic gold deposits

*Schegol'kov Yu.V., Amosov R.A.*  
Insular films of gold oxide on gold from placers: the first find

### Book reviews

Vorobyev V.I.  
A topical monograph

Konstantinovskiy A.A.  
"Lithology" : a new monograph in three volumes

### Congratulations

80th anniversary L.A.Bolotov

70th anniversary P.Ya.Shabarshov



## МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАГНЕТИТОВЫХ РУД ТУНГУССКОЙ ПРОВИНЦИИ

**В.А.Дунаев (НИИ ВИОГЕМ)**

*Установлен новый для Тунгусской провинции генетический тип магнетитовых месторождений — метаморфический. К нему относятся месторождения, образованные под контактово-термальным воздействием трапповых силлов на осадочные залежи гидроксидных железных руд в карбонатно-терригенных породах среднего ордовика (криволучский ярус). Дополнительно к уже известным (Хакдасис, Чернореченское) возможны находки других месторождений этого типа.*

Тунгусская железорудная провинция объединяет многочисленные месторождения магнетитовых руд, расположенных по периферии и в непосредственном обрамлении одноименной синеклизы. Они имеют гидротермальный генезис и связаны с пермь-нижнетриасовым циклом тектоно-магматической активизации Сибирской платформы. Характерные особенности этих месторождений — четко выраженный структурный контроль оруденения зонами тектонических нарушений и диатремами, участие в строении рудных тел трещинно-жилых и метасоматических руд, существенно пониженное относительно нормативного содержание железа в магнетите. Последнее обстоятельство обусловлено наличием микровключений порообразующих минералов и продуктов распада твердого раствора, повышенным содержанием изоморфной примеси магния. Автор, долгое время изучавший магнетитовые месторождения Тунгусской провинции, обратил внимание на два из них — Хакдасис и Чернореченское, которые по ряду признаков существенно отличаются от остальных, хотя по минеральному составу руд являются их аналогами.

Оба названные месторождения расположены в западном борту Тунгусской синеклизы (нижнее течение р. Подкамен-

ная Тунгуска) на расстоянии около 75 км друг от друга. Они исследованы в 50—60-х годах Л.П.Хряниной [6] и Н.В.Павловым [3]. По данным этих авторов, а также коллективной работы специалистов ВСЕГЕИ [2], указанный район сложен преимущественно морскими карбонатно-терригенными породами ордовика общей мощностью до 350 м, которые подстилаются терригенными отложениями верхнего кембрия (эвенкийская свита), а перекрываются терригенно-карбонатными породами силура (кочумдекская свита) и, возможно, девона. Местами эти породы перекрываются с размывом континентальными угленосными терригенными отложениями карбона и перми.

В основании разреза ордовика находятся породы нижнего отдела, представленные усть-кутским ярусом (пролетарская свита мощностью до 100 м, существенно карбонатная) и вышележащим чуньским ярусом в составе чуньской и перекрывающей ее байкитской свит. Чуньская свита мощностью 30—120 м сложена водорослевыми и песчанистыми известняками, доломитами с прослоями алевролитов и аргиллитов. Байкитская свита существенно песчаниковая. Мощность ее достигает 100 м. Выше залегает толща кварцевых фосфоритоносных песчаников, алевролитов, аргиллитов и из-

Сравнение признаков рудных залежей различных генетических групп магнетитовых месторождений Тунгусской синеклизы

Признаки рудных залежей	Группы месторождений	
	А	Б
Характер контактов	волнистые нечеткие	ровные резкие
Выдержанность по мощности	плохая	хорошая
Изменчивость внутреннего строения	сильная	слабая
Среднее содержание магнезиоферрита в магнетите, %	6—49 [1, 3, 5]	0
Последовательность процесса минералообразования	пироксен, гранат—магнетит, апатит—эпидот, хлорит, кальцит	магнетит—пироксен; плагиоклаз; гранат—эпидот, хлорит, кальцит

вестняков столбовой свиты (криволучский ярус среднего отдела) мощностью 15—25 м [2]. Н.В.Павлов [3] и Л.П.Хрянина [6] оценивают мощность столбовой свиты соответственно в 40 и 150 м. Видимо, в ее состав эти исследователи включили терригенно-карбонатные породы долборского яруса (верхний отдел ордовика) мощностью 15—80 м.

Слои пород залегают почти горизонтально со слабым наклоном на северо-восток и расчленены разрывными нарушениями типа сбросов и взбросов северо-западной, реже субширотной ориентировки. В районе широко развиты дайки и многоэтажные силлы траппов мощностью до 200 м.

На месторождениях Хакдасис и Чернореченском установлено по одному рудному телу пластового типа мощностью 0,8—1 м, которые прослежены на расстояние 2—2,5 км. Рудные пласты имеют резкие границы и залегают согласно со слоистостью в породах столбовой свиты, подвергшихся контактово-термальному метаморфизму со стороны трапповых силлов. На месторождении Хакдасис рудное тело залегает в пироксен-плагиоклазовых роговиках и развитых по ним кварц-хлорит-альбитовых и пироксен-эпидот-хлоритовых породах. В зальбандах рудного тела прослеживается ореол интенсивной вкрапленности граната, пироксена, хлорита, кальцита и амфибола шириной до нескольких дециметров. Аналогичная картина наблюдается в лежачем боку рудного тела Чернореченско-

го месторождения. В всячем боку рудной залежи размещаются мраморизованные известняки с зернами граната, магнетита, серпентина и хлорита. Запасы месторождений небольшие (5—7 млн. т), но руды богатые (44—60 % железа), довольно однородные. Текстура их мелкооолитовая (Хакдасис) или полосчатая (Чернореченское). По минеральному составу руды Хакдасиса плагиоклаз-пироксен-магнетитовые с примесью апатита и более поздних эпидота, кальцита и цеолита. На Чернореченском месторождении руды хлорит-кальцит-магнетитовые с апатитом и реликтовым пироксеном, который был, видимо, основным первичным сорудным минералом.

Н.В.Павлов [3] считал месторождения Хакдасис и Чернореченское аналогами и связывал их образование с метасоматическим замещением при участии железоносных гидротермальных растворов карбонатных пород соответственно оолитового и слоистого строения. При этом он установил, что магнетит этих месторождений практически нормативный, а последовательность процесса минералообразования следующая: магнетит—плагиоклаз, пироксен—гранат—гидросиликаты, хлорит, кальцит. Явно аномальное на фоне остальных месторождений Тунгусской провинции отсутствие примеси магния в магнетите месторождений Хакдасис и Чернореченского Н.В.Павлов объяснял высокой температурой формирования последних.

Проведем сравнительный анализ бес-



спорно эндогенных магнетитовых месторождений Тунгусской провинции, имеющих пластовую форму и согласное со слоистостью залегание (группа А), с месторождениями Хакдасис и Чернореченское (группа Б) (таблица). В группу А можно включить Оллонокон, Камышевский Байкитик, подсилловую залежь Нерюндинского месторождения, субпластовые апофизы стволковых рудных залежей Капаевского и Коршуновского месторождений.

Как следует из таблицы, обобщенный "портрет" рудной залежи группы А резко отличается от сравниваемой группы. С привлечением дополнительного материала он выглядит следующим образом: субпластовая залежь с волнистыми нечеткими границами, сильно изменчивая по мощности (обычно — градиентно с уменьшением от крутопадающего рудоподводящего канала) и внутреннему строению (наблюдается частая перемежаемость руд, в том числе жильных и метасоматических, различающихся текстурой и средним содержанием железа), сложенная магнезиальным магнетитом. Надо отметить, что даже в самых высокотемпературных сорудных парагенезисах с пироксеном и форстеритом магнетит не является нормативным и содержит примесь магнезита. В рудах месторождений группы А последовательность минералогенеза является типичной для метасоматических магнетитовых руд, образованных с участием железосодержащих гидротермальных растворов при регрессивном температурном режиме в зоне рудообразования: вначале возникают высокотемпературные силикаты, а затем магнетит и обычно ассоциирующий с ним апатит.

Более раннее образование магнетита относительно высокотемпературных силикатов свидетельствует о том, что он возник в условиях прогрессивного прогрева минерального вещества, уже содержащего достаточное количество железа, например, первичного осадочного в гидроксидной форме. Кстати, плагиоклаз-пироксеновый состав породообразующей части руд, установленный на месторождении Хакдасис, характерен

при замещении или изохимическом преобразовании не карбонатных, а алюмосиликатных пород, о чем свидетельствует, в частности, состав рудовмещающих роговиков, развитых по терригенным породам. Известно также, что алюмосиликатная примесь в виде песчано-глинистого материала является характерной для железосодержащих осадков [4].

Таким образом, для месторождений группы Б вырисовывается альтернативная генетическая концепция — метаморфическая, согласно которой пластовые залежи магнетитовых руд являются продуктом контактово-термального метаморфизма осадочных гидроксидных руд под влиянием тепла трапповых силлов. В рамках этой концепции находят удовлетворительное объяснение описанные выше особенности морфологии и внутреннего строения рудных залежей, а также нормативный состав магнетита и его более раннее, чем пироксена и граната, образование. Термальный метаморфизм сопровождался активизацией воды (седиментационной и извлеченной из первичных минералов осадочных отложений), благодаря которой осуществлялся изохимический метасоматоз с образованием типичных скарновых минералов, а на регрессивной стадии — гидросиликатов, хлорита и кальцита, которые на Чернореченском месторождении почти полностью заместили ранний пироксен.

О больших продуктивных возможностях термального метаморфизма свидетельствует наличие на территории, расположенной несколько севернее района размещения магнетитовых месторождений Хакдасис и Чернореченского, графитовых месторождений Фатьяниховского и Ногинского, образованных вблизи трапповых силлов по угольным пластам, залегающим в карбоново-пермских континентальных отложениях. Есть также прямые доказательства наличия в породах криволуцкого яруса первично осадочного гидротермального железного оруденения. Например, в бассейне верхнего течения р. Нижняя Тунгуска (юго-восточный борт Тунгусской синеклизы, за пределами зоны массового развития интрузивных траппов) в разрезе этого

яруса установлен рудный горизонт мощностью 20—25,5 м, содержащий от 4 до 16 прослоев оолитовых гематит-лимонитовых руд мощностью от 3—10 см до 20 м со средним содержанием железа 20—42 % [2]. Присутствие осадочных железных руд в разрезе криволицкого яруса (средний ордовик) не случайно. К этому же ярусу в Тунгусской синеклизе повсеместно приурочены фосфоритоносные органогенно-терригенные отложения, образующие местами небольшие месторождения. Вообще средний ордовик является одной из главных эпох осадочного железо- и фосфорогенеза на земном шаре [4].

Таким образом, в Тунгусской железорудной провинции наряду с гидротермальными магнетитовыми месторождениями есть похожие на них по составу руд и околорудных пород метаморфические месторождения, образованные вследствие контактово-термального воздействия трапповых силлов на осадоч-

ные залежи гидроксидных железных руд в карбонатно-терригенных породах среднего ордовика (криволицкий ярус). Это обстоятельство необходимо учитывать при проведении поисковых работ на железо в указанной провинции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахрушев В.А., Воронцов А.Е. Минералогия и геохимия железорудных месторождений юга Сибирской платформы. — Новосибирск: Наука, 1976.
2. Минералогия Сибирской платформы. — М.: Недра, 1970.
3. Павлов Н.В. Магнетитовые месторождения района Тунгусской синеклизы Сибирской платформы. — М.: Изд-во АН СССР, 1961.
4. Сняков В.И. Основы теории рудогенеза. — Л.: Недра, 1987.
5. Страхов Л.Г. Рудоносные вулканические аппараты юга Сибирской платформы. — Новосибирск: Наука, 1978.
6. Хрянина Л.П. Трапповый магматизм бассейна р.Вахты и низовьев Подкаменной Тунгуски и связь с ним магнетитового оруденения. — М.: Изд-во АН СССР, 1962.

Dunaev V.A.

Metamorphic magnetite ore deposits in the Tunguskaya province

*A new genetic type of magnetite deposits, called metamorphic, has been established in the Tunguskaya province. It includes deposits that have been formed under the contact-thermal action of trappean sills on sedimentary iron hydroxide ore deposits hosted in Middle Ordovician carbonate-terrirogenous rocks of the Krivolutsky stage. Other deposits of this type could be found here in the future, in addition to the already known ones, like the Khakdasis and Chernorechenskoye.*

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



УДК 552.323.6:553.81(571.56)

© Ю.Н.Серокуров, В.Д.Калмыков,  
Л.С.Смирнова, 1998

## СТРУКТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ КИМБЕРЛИТОВ В СРЕДНЕМАРХИНСКОМ АЛМАЗОНОСНОМ РАЙОНЕ ЯКУТИИ (ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ)

Ю.Н.Серокуров, В.Д.Калмыков, Л.С.Смирнова (ЮНЕГЕО)

*Рассмотрены формы структурного контроля кимберлитов в Средне-мархинском районе Якутии на основе анализа материалов космического зондирования. Намечен соподчиненный ряд структур, которые, возможно, контролируют пространственное размещение проявлений кимберлитового магматизма в этом участке Сибирской платформы.*

В последние годы в Якутии в среднем течении р. Марха геологами Ботуобинской экспедиции АК «АЛРОСА» были открыты два месторождения алмазов, связанных с кимберлитовыми трубками Ботуобинская и Нюрбинская. Трубки локализованы в терригенно-карбонатных породах позднекембрийского и раннеордовикского возраста, которые перекрыты терригенными отложениями юры мощностью 60—80 м. Последнее обстоятельство значительно осложняет анализ структурной позиции выявленных тел. Очевидно, что правильное понимание роли конкретных структур или их определенных сочетаний в контроле отдельных тел кимберлитов, а также их кустов и полей может значительно сократить временные и материальные затраты при оценке потенциала нового алмазоносного района.

К наиболее распространенным факторам структурного контроля кимберлитов обычно относят различные разрывные нарушения и их определенные сочетания. Как правило, в закрытых районах они выделяются геофизическими методами, причем надежно картируются чаще всего межблоковые разломы со значительной амплитудой или разломы, трассирующиеся магнитными породами,

то есть те, которые выражены контрастными аномалиями в геофизических полях. Малоамплитудные разломы распознаются с трудом, чаще всего при направленном поиске, требующем специальной обработки первичных данных крупномасштабных и высокоточных съемок. Часто, в силу ряда объективных причин (слабая дифференциация пород по физическим свойствам, неравномерная сеть наблюдений, незначительная протяженность отдельных трещин и т.д.), недостаточно эффективно выделяются узкие зоны повышенной трещиноватости и криволинейные разломы, выраженные небольшими изгибами изаномал или изодинам, которые можно идентифицировать как отражение разрывных нарушений лишь при наличии дополнительной информации о присутствии здесь разрывов. Из-за этих ограничений геофизических методов на большинстве создаваемых на их основе карт слабо представлены секущие нарушения и отсутствуют кольцевые разломы, хотя в их присутствии и значении для контроля оруденения в настоящее время мало кто сомневается. Эти нарушения обычно выделяются лишь при крупномасштабных детальных высокоточных магнитометрических и гравиметрических съемках, бурении

скважин по достаточно плотной сети. Однако по экономическим соображениям такого рода работы не могут охватывать большие площади. Восполнить этот пробел способны космические съемки, эффективность использования которых при выделении разломов доказана в различных ландшафтных и геологических обстановках планеты. В совокупности же с традиционными геолого-геофизическими методами возникает возможность наиболее полно изучить все геологические и тектонические элементы в пределах оцениваемых участков и точно отразить их на картах. При этом закрываются и «пустые» пространства, существующие из-за информационной дискретности большинства других традиционных методов.

Космические съемки в Среднемархинском районе проведены до открытия алмазонасных кимберлитовых трубок, что дает уникальную возможность проанализировать ландшафты, которые еще не подверглись антропогенным изменениям, возникшим в процессе поисковых и разведочных работ. Существуют снимки детального, среднего и малого разрешения, что позволяет оценить степень выраженности разноранговых структур земной коры на этом участке Сибирской платформы, выявить их взаимосвязи и возможную роль в процессе локализации кимберлитов.

В связи с тем, что целью работы является оценка структурной позиции конкретных тел кимберлитов, изложение результатов приводится в последовательности от наиболее детального ранга космических снимков, имеющих в нашем распоряжении, до региональных снимков, позволяющих охватить всю Среднемархинскую площадь.

Визуальный анализ (рис. 1) увеличенного фрагмента космического изображения (масштаб исходной съемки близок к 1:200 000) показывает, что отчетливых тоновых и текстурных аномалий непосредственно над кимберлитовыми трубками не отмечается. Также не отмечено и сколь угодно хорошо проявленной единой структуры, которую можно было бы рассматривать однозначно в качестве кимберлитоконтролирующей для уже выявлен-

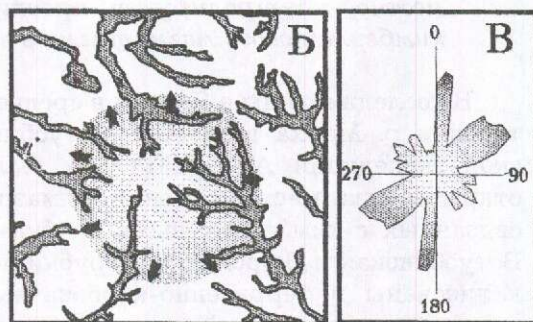
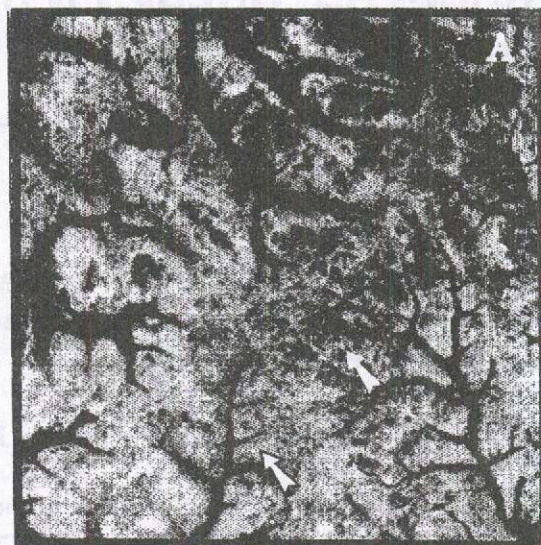


Рис. 1. Фрагмент космического снимка (МК-4) в окрестностях трубок Ботубинская и Нюрбинская (А); позиция Нюрбинской купольной структуры (Б); роза-диаграмма отдешифрованных линейментов (В).

Положение трубок указано стрелками.

ных трубок Ботубинской и Нюрбинской. По тоновым и текстурным границам ландшафта, ориентировке долин ручьев и линейментов можно говорить о присутствии здесь фрагментов тектонических структур разного класса и масштаба. Роза-диаграмма позволяет выделить системы нарушений в основном трех направлений. Наиболее распространенную группу составляют структуры северо-восточного простирания ( $50-70^\circ$ ). Субмеридиональные нарушения ( $0-10^\circ$ ) формируют узкий пучок, а северо-западные отмечены тремя небольшими лучами. Расположение долин ручьев на площади свидетельствует о существовании здесь

малоамплитудного куполовидного поднятия диаметром в несколько километров.

Буровые работы, проведенные в ближайших окрестностях трубок в последние годы и вскрывшие вмещающие их палеозойские толщи, также свидетельствуют о развитии здесь лишь локальных разноориентированных тектонических нарушений, проявленных микробрекчиями, незначительными изменениями субгоризонтального залегания пластов, микросбросами, кливажом, зеркалами скольжения. Прожилки кальцита, пирита, реже доломита свидетельствуют о слабых процессах вторичного изменения вмещающих пород. В качестве главной рудоконтролирующей структуры здесь рассматривается [2] разлом север-северо-восточного простирания ( $30^\circ$ ) с падением от субвертикального до наклонного северо-западного ( $70-80^\circ$ ). Он прослежен на несколько километров и по значимости относится авторами к нарушениям четвертого порядка. Трубки Ботубинская и Нюрбинская расположены в пределах юго-восточного шва этого разлома, в узлах его пересечения с зонами небольших северо-восточных ( $60^\circ$ ) нарушений. Слабая проявленность в геофизических полях и отсутствие отражения в породах мезозойского покрова дает авторам основание отнести выделяемый разлом к категории «скрытых».

Таким образом, ни традиционный геолого-геофизический, ни космический (дистанционный) анализ небольшого участка территории (десятки квадратных километров) не позволяют получить надежный набор признаков, дающих возможность уверенно выделять новые благоприятные для поисков трубок участки в пределах более обширных территорий. В первом случае фиксируются структуры и их особенности, которые можно картировать лишь в процессе поисково-разведочных работ с применением значительных объемов бурения. Во втором случае выделяется множество второстепенных разноориентированных нарушений, которые широко распространены в любом участке Сибирской платформы, и отмечается присутствие такого оригинального структурного фактора как небольшое куполовидное поднятие, про-

странственно совмещенное с уже обнаруженными трубками. Возможно, что это — энергетическое отражение небольшого внутрикорового очага активизации, связанного с общей системой эволюции структурного пространства земной коры в пределах площади проявления кимберлитового магматизма. Кстати, на связь с мантией этого участка указывает и изотопный состав углекислого газа, выделенного из кальцита прожилков [3].

При анализе более обширной площади по тому же космическому снимку (рис. 2) на первый план выступают структуры более низкого ранга. Становится очевидным, что малое куполовидное поднятие расположено на восточной периферии более крупной (диаметр 20—30 км) кольцевой структуры, центральная часть которой подчеркивается с юга руслом р.Накын, а с севера — серией дугообразно расположенных долин малых ручьев. Фиксируется также множество прямолинейных и дугообразных элементов, образующих по всей площади в целом достаточно густую и сложную сеть, обусловленную общей тектонической «трещиноватостью» верхней части земной коры и сформировавшуюся в результате всей геологической истории развития региона. Наиболее рельефна сеть трещин в пределах развития юрских терригенных образований, граница распространения которых на западе фиксируется очень отчетливо.

На структурную схему нами вынесены лишь наиболее четко проявленные и протяженные линеаменты, а также достаточно крупные кольцевые структуры, ясно выраженные в ландшафте. Преобладающие простирания нарушений — северо-восточное ( $30^\circ$  и  $60^\circ$ ), северо-западное ( $280^\circ$  и  $320^\circ$ ) и субмеридиональное ( $10^\circ$ ). Большинство структур прямолинейны, пересекают всю площадь и являются фрагментами более протяженных тектонических образований. Намечается несколько сложных узлов пересечения разнонаправленных структур, один из которых в общем совпадает с участком локализации трубок. Уверенно отдать приоритет какой-либо из зон в контроле кимберлитов вряд ли возможно.

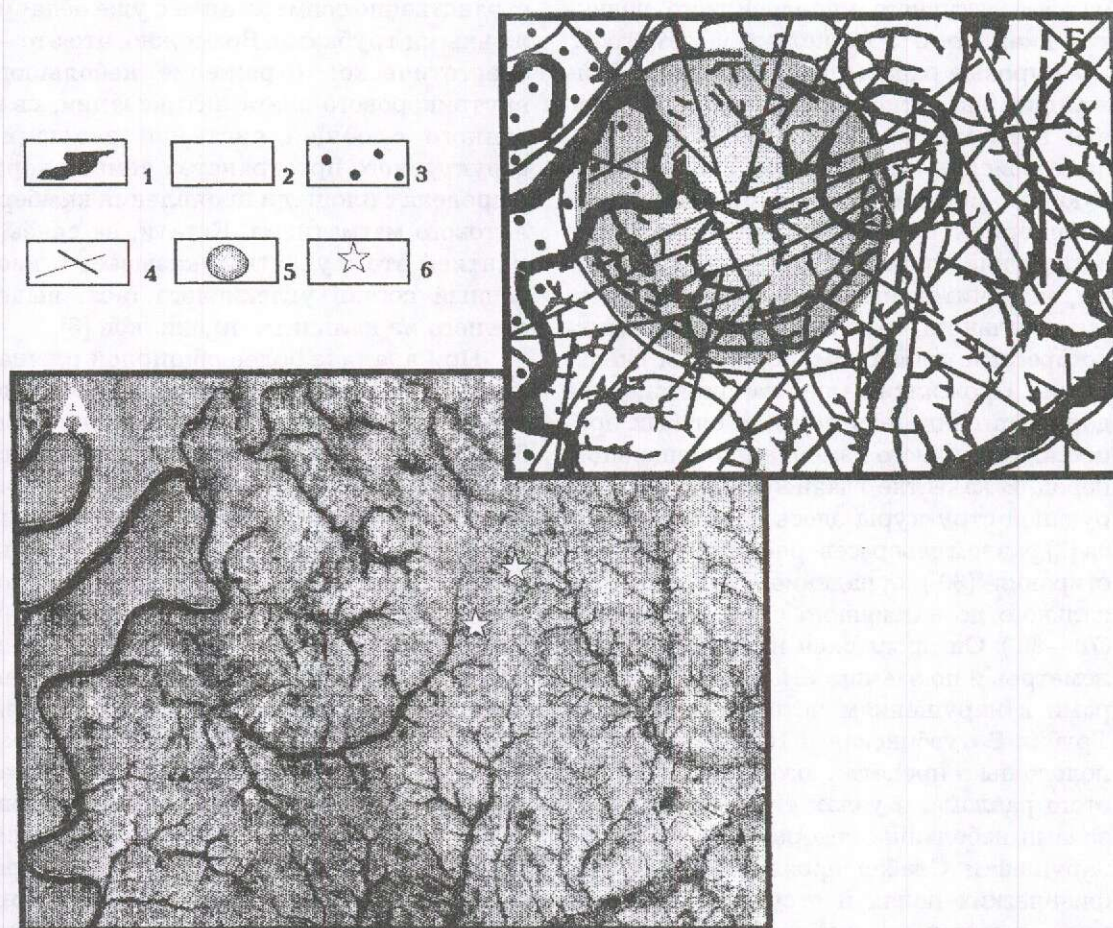


Рис. 2. Фрагмент космического снимка в окрестностях кимберлитового поля (А), позиция Накынской кольцевой структуры на схеме основных линеаментов (В).

1 — четвертичные отложения по долинам ручьев; 2 — мезозойские (юрские) терригенные формации, перекрывающие трубки; 3 — выходы на поверхность палеозойских терригенно-карбонатных формаций; 4 — линеаменты; 5 — центральная часть Накынской кольцевой структуры; 6 — кимберлитовые трубки.

Полоса сгущения линеаментов северо-восточного простирания ( $60^\circ$ ), проходящая через центр площади в районе трубок, состоит из серии нарушений, из которых у одних наблюдается слабый изгиб к югу, а у других к северу, что указывает на их принадлежность к разным региональным структурам. Наиболее крупной среди кольцевых на площади является Накынская структура. Можно предположить, что и ее формирование тоже обусловлено внутрикоровым очагом активизации, но расположенным ниже первого. Кимберлитовые трубки находятся в пределах влияния хорошо выраженной зоны, ограничивающей цент-

ральную часть Накынской структуры, а следовательно, вполне вероятно участие в контроле кимберлитового магматизма нарушений, формировавшихся при становлении этой структуры.

Результаты интерпретации материалов геофизических съемок в пределах этой площади, приведенные в работе [2], подтвердили основные черты структурного плана, выделенные по снимкам. Наиболее отчетливо проявились разломы север-северо-восточного ( $30^\circ$ ) простирания, часто вмещающие дайки долеритов среднепалеозойского (докимберлитового) возраста. Они входят в состав широкой, протягивающейся на сотни километров

полосы, известной в литературе [1, 7] как Виллюй-Мархинская зона разломов. Фрагментарно выражены структуры северо-восточного ( $60^\circ$ ) простирания, прослеженные по широким, часто кулисообразно расположенным магнитным аномалиям. Узкие нарушения субмеридионального и северо-западного простирания слабо проявлены в магнитном поле, имеют сложную морфологию и прерывистый характер трассирования. В качестве рудоконтролирующих рассматриваются разломы северо-восточного простирания, фрагментарно проявляющиеся в геофизических полях и отнесенные к категории «скрытых». Кольцевые и дуговые разломы практически не выделяются.

Таким образом, данные дистанционного зондирования в этом случае позволяют выделять разломы всех основных направлений, которые фиксируются по результатам интерпретации аэромагнитных и наземных геофизических съемок, а также дают дополнительную информацию о местах возможного развития очаговых структур. Без учета последнего фактора выделять новые перспективные площади практически невозможно из-за весьма широкого распространения линейных образований перечисленных выше типов на территории всей Сибирской платформы. В качестве структуры, контролирующей локализацию кимберлитового поля (в совокупности с другими факторами), мы предлагаем рассматривать кольцевую структуру диаметром до 30 км, возникновение которой предположительно обусловлено эволюцией внутрикорового магматического очага.

Космический снимок среднего разрешения дает возможность проанализировать положение интересующего нас участка проявления алмазоносных кимберлитов на площади в тысячи квадратных километров (рис. 3). Качественный и количественный анализ результатов формального выделения линеаментов позволил выявить в среднем течении р. Мархи следы радиально-кольцевой структуры, которую мы рассматриваем как обязательный признак всех известных алмазоносных площадей мира [4—6]. Элементы, фиксирующие Среднемар-

хинскую радиально-кольцевую структуру, проявляются как при статистическом анализе данных первичного дешифрирования (см. рис. 3, а, б, в, г), так и в современной сети водотоков (см. рис. 3, д). Ядро структуры приурочено к участку слияния рек Марха и Моркока. На геологической карте ему соответствует выход на современную поверхность наиболее древних в этом районе пород верхнекембрийского возраста (см. рис. 3, е). В гравитационном и магнитном полях здесь же отмечаются пространственно совмещенные изометричные минимумы, окруженные кольцом из положительных высокочастотных аномалий поля силы тяжести и положительных аномалий магнитного поля (см. рис. 3, ж, з). Несколько кольцевых зон сгущения линеаментов подчеркивают границы ядра, средней и внешней зон структуры, а радиальные зоны ограничивают аномалии различного знака в пределах средней и внешней зон.

Упрощенная структурная схема Среднемархинской площади, построенная на основании обработки результатов дешифрирования космических снимков среднего разрешения, показана на рис. 4. На ней изображены лишь те структуры, которые, по нашему мнению, в наибольшей степени влияют на место локализации района кимберлитового магматизма в верхних частях земной коры. Наиболее важной среди них является Среднемархинская радиально-кольцевая структура, аналогичная по размерам и морфологии структурам того же типа, установленным нами ранее в Мало-Ботубинском и Далдыно-Алакитском алмазоносных районах. Накынское кимберлитовое поле пространственно приурочено к юго-восточной части этой структуры и расположено в узле пересечения одной из слагающих ее радиальных зон северо-западного простирания с полосой дуговых линеаментов, ограничивающих среднюю зону. Последние имеют здесь северо-восточное (близкое к  $60^\circ$ ) простирание, выгнуты к югу и, вероятно, им соответствуют Дяхтырский, Ботубинский, Дюлюнгинский и Усть-Дяхтырский разломы, выявленные по комплексу гео-

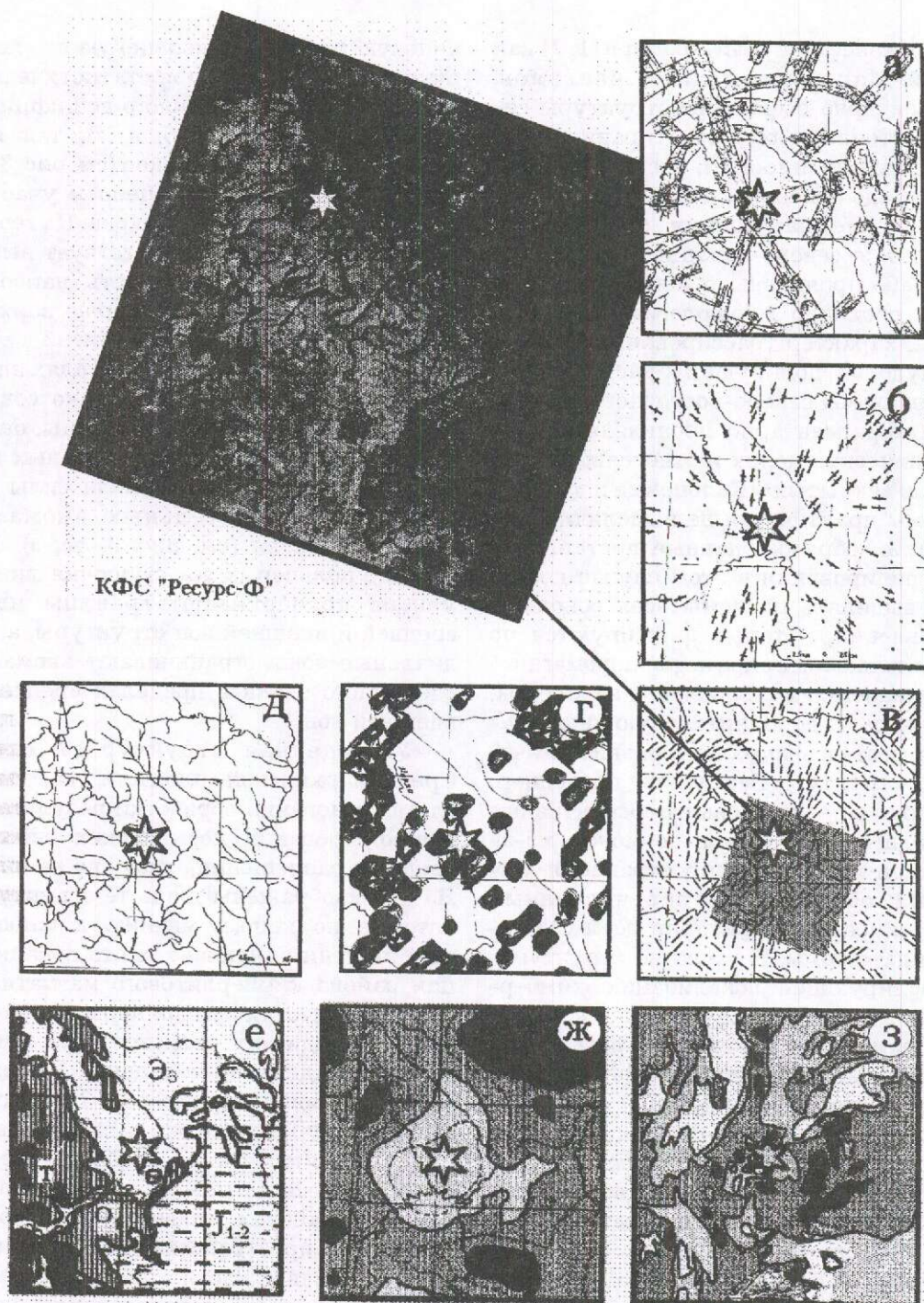


Рис. 3. Формы отражения Среднемархинской кольцевой структуры на исходном космическом снимке и в материалах обработки схем визуального дешифрирования (а, б, в, г), на схеме водотоков (д), на геологической карте (е), в поле силы тяжести (ж), в магнитном поле (з).

а — зоны мелких кольцевых структур; б — узлы пересечения взаимноперпендикулярных линеаментов; в — микророзы-диаграммы линеаментов в ячейках; г — аномалии плотности однонаправленных (СВ) линеаментов; д — современные водотоки; е — терригенно-карбонатные формации кембрия ( $E_3$ ) и ордовика ( $O_1$ ); терригенные формации юры ( $J_{1-2}$ ); траппы триаса (Т); ж и з — значения гравитационного и магнитного полей (светлое — отрицательные, темное — положительные). Звездочкой обозначен предполагаемый центр Среднемархинской радиально-кольцевой структуры.



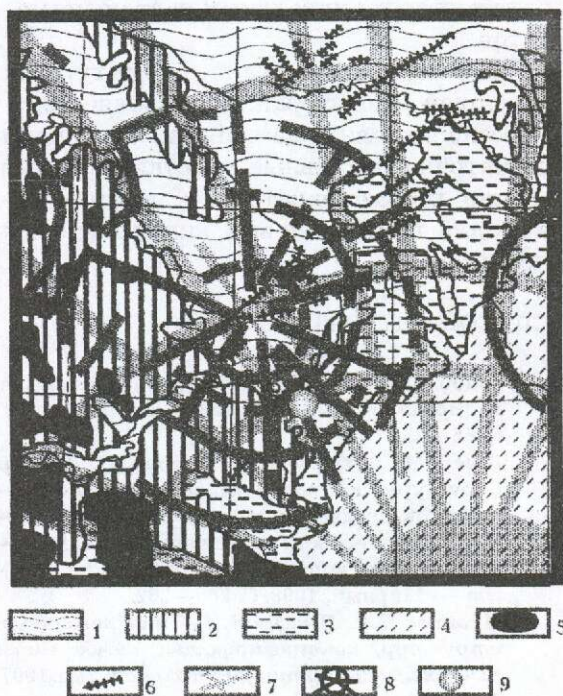


Рис. 4. Структурная схема Среднемархинской площади по данным депифрирования космических снимков среднего разрешения.

Осадочные образования: 1 — кембрийские, 2 — нижнеордовикские, 3 — нижнеюрские, 4 — среднеюрские; 5 — покровы триасовых траппов; 6 — дайки долеритов; 7 — обобщенные структурные элементы Вилуйской овоидно-радиальной структуры; 8 — обобщенные структурные элементы Среднемархинской радиально-кольцевой структуры; 9 — позиция Накынского кимберлитового поля.

лого-геофизических признаков геологами Вotuобинской ГРЭ.

Второй по значимости является Вилуйская овоидно-радиальная структура, выявленная нами при работах со снимками более мелкого масштаба [4, 6]. Анализ показывает, что позиция известных нам радиально-кольцевых структур, контролирующих алмазонасные районы в пределах как Сибирской, так и других платформ мира, определяется взаимодействием элементов более крупных тектонических образований. В частности, позиция Среднемархинского мантийного диапира, вызвавшего, вероятно, формирование радиально-кольцевой структуры в коре и обеспечившего таким образом транспортировку кимберлитов к поверхности сквозь многокилометровые толщ

различных по составу пород, обусловлена наличием здесь узла пересечения радиального и дугового элементов Вилуйской структуры. Они представляют собой зоны нарушения сплошности всей толщи земной коры. В связи с этим становится очевидной принадлежность к такого рода структурам и многих других сквозных зон линеаментов, фиксируемых при изучении любого участка поверхности. Так, часть линеаментов (см. рис. 2) зоны северо-восточного простирания ( $60^\circ$ ), слабо выпнутых к северу, вероятно, проявляют одну из кольцевых зон Вилуйской структуры, а линеаменты северо-западного, перпендикулярного к зоне простирания ( $325^\circ$ ), относятся к ее радиальной составляющей. Структуры субмеридионального ( $10^\circ$ ) и северо-восточного ( $30^\circ$ ) простирания обусловлены эволюцией еще более крупной Восточно-Сибирской радиально-концентрической системы. Ее заложение относится к архею — нижнему протерозою, но последняя интенсивная активизация, обусловленная формированием Вилуйского рифта и генетически связанного с ним Вилуй-Мархинского дайкового пояса, имела место в палеозое. Примечательно, что ориентировка части даек долеритов отличается от генерального для них север-северо-восточного ( $30^\circ$ ) направления в пределах Среднемархинской структуры и хорошо согласуется с некоторыми радиальными зонами последней, что свидетельствует о ее более раннем заложении. В то же время, относительно слабая выраженность разломов Вилуй-Мархинской зоны в современных ландшафтах (по сравнению с нарушениями, составляющими Среднемархинскую структуру) доказывает большую активность последней в постпалеозойский период.

Таким образом, позиция Накынского кимберлитового поля на данной структурной схеме характеризуется размещением его в узле пересечения радиального и дугового элементов Среднемархинской радиально-кольцевой структуры и, вместе с тем, в пределах дугового ограничения средней зоны Вилуйской радиально-овоидной структуры, в области влияния узлов, образованных пересекающимися ее

радиальными структурами северо-западного простирания, а также внутри Виллой-Мархинской зоны разломов, захватывающей всю юго-восточную часть Среднемархинской радиально-кольцевой структуры. Само поле, как уже отмечалось, маркируется, вероятно, кольцевой структурой диаметром около 30 км, а куст проявлений кимберлитового магматизма — купольной структурой диаметром несколько километров, расположенной на границе ядра этой структуры.

Проявление в современном ландшафте Среднемархинской радиально-кольцевой структуры указывает на существование мантийного диапира, обеспечивающего процессы активизации в данном участке земной коры, а составляющие ее элементы являются каналами транспортировки глубинных газов, флюидов и магматитов к поверхности. Проницаемость последних существенным образом зависит от степени наследования ими древних разломов, принадлежащих более масштабным тектоническим сооружениям. Присутствие кольцевых структур диаметром в 20—30 км в пределах района можно рассматривать как следы функционирования внутрикоровых магматических очагов на сопоставимых глубинах, а еще более мелких кольцевых структур в центре и по их периферии — как следы подъема отдельных порций магмы в приповерхностные слои земной коры. Дайки и трубки кимберлитов рас-

полагаются в апикальных частях магматитов.

Совокупный анализ структурных факторов разных рангов позволяет экспрессно выделять на обширной площади достаточно локальные участки, которые можно рассматривать как перспективные для поисков новых кимберлитовых полей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайдук В.В. Виллойская среднепалеозойская рифтовая система // Геотектоника. 1987. № 3. С. 56—65.
2. Зуев В.М., Безбородов С.М., Черный С.Д. и др. Структуры, контролирующие положение кимберлитов Среднемархинского района / Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. — Мирный, 1998. С. 260—262.
3. Игнатов П.А., Штейн Я.И. Типы локальных структур, контролирующих кимберлиты центральной Якутии // Руды и металлы. 1997. № 6. С. 61—66.
4. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д. Структурная позиция кимберлитов на Сибирской платформе по данным изучения космических материалов // Геология и разведка. 1994. № 5. С. 74—81.
5. Серокуров Ю.Н. Использование материалов космического зондирования при прогнозе и поисках коренных месторождений алмазов // Руды и металлы. 1995. № 6. С. 30—38.
6. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д. Алмазность и кольцевые структуры Земли // Отечественная геология. 1996. № 11. С. 10—18.
7. Фельдман А.А. Роль глубинного строения восточной части Сибирской платформы в размещении кимберлитового магматизма // Геология и разведка. 1989. № 7. С. 44—51.

Serokurov Yu.N., Kalmykov V.D., Smirnova L.S.

Structural control of kimberlites in the Srednemarkhinsky diamondiferous region in Yakutia as estimated from spacecraft-borne surveying data

*The forms of structural control of kimberlites in the Srednemarkhinsky region of Yakutia have been analysed based on space surveying data. A hierarchical series of structures probably controlling the distribution of kimberlites in this zone of the Siberian platform has been indentified.*

УДК 553.411.07:551.1

© В.И. Лобач, 1998

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ СТРОЕНИЯ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ

**В.И. Лобач (ЦНИГРИ МПР России)**

*Предложена методика количественной оценки сложности строения рудных объектов, базирующаяся на концепции концентрационной неоднородности. В основу формулы количественной оценки, объединяющей морфологическую и концентрационную сложность, положены взаимосвязи трех основных свойств концентрационной неоднородности — прерывистость, компактность и контрастность.*

Проблема количественной оценки сложности месторождений твердых полезных ископаемых всегда привлекала пристальное внимание многих исследователей, занимающихся их изучением и разведкой. Об этом свидетельствуют проведенные в свое время обзоры опубликованных работ по данной проблеме [1, 9, 10], из которых следует, что количественная оценка сложности геологического строения месторождений и типизация их по признакам, определяющим сложность, остается крупной научной проблемой. В первую очередь это касается промышленной типизации месторождений ввиду ее большого значения для применения метода аналогии в разведке и при отработке месторождений. Современные классификации не могут считаться удовлетворительными, так как построены исключительно на словесных определениях признаков, в связи с чем очевидна необходимость улучшения промышленной и разведочной классификаций, а также их увязки путем количественной характеристики основных природных свойств рудных объектов, наиболее устойчивые из которых и должны служить классификационными признаками [1].

На наш взгляд, подход к изучению и оценке сложности внутреннего строения рудных образований требует прежде всего выбора основополагающих терминов, понятий и характеристик. Некоторые моменты этого подхода уже намечены в публикациях автора [4, 5], и в данной статье им будет дано более широкое освещение.

Объектом разведки и оценки может быть месторождение, отдельный его участок или рудное тело, так что назовем его условно **рудным объектом**. Рудный объект рассматривается как поле концентраций (ПК) или область пространства (части недр), в каждой точке опробования которого определено содержание полезного компонента. ПК, как правило, неоднородно в силу различия геологических образований, вмещающих концентрации полезного компонента, поэтому можно говорить о концентрационной неоднородности рудного объекта. Элементами концентрационной неоднородности являются рудные скопления, определенным образом размещенные в пространстве рудного объекта. Особенности размещения рудных скоплений определяют *структуру концентрационной неоднородности (СКН)* рудного объекта.

Пространственно-дискретный характер размещения рудных скоплений весьма отчетливо проявляется, если ввести такой параметр как условно бортовое, или граничное ( $C_g$ ), содержание полезного компонента. Тогда рудный объект будет представлен как бы множеством рудных и нерудных обособлений. К подобным обособлениям может быть применена и такая терминология [8] как ПЭН (положительные элементы неоднородности) для рудных и ОЭН (отрицательные элементы неоднородности) для нерудных обособлений. Форма, размеры, ориентировка и степень пространственной разобщенности или сближенности ПЭН и ОЭН определяют характер рас-

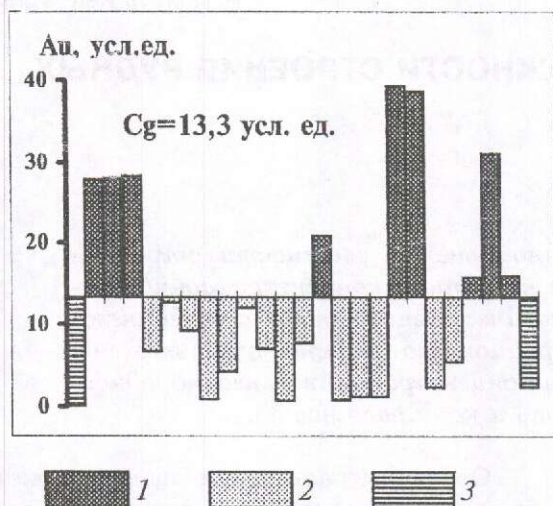


Рис. 1. Пример выделения ПЭН и ОЭН в пределах концентрационного интервала по реализации 13 модели с БТК.

1 — наблюдения составляют ПЭН, 2 — наблюдения составляют ОЭН, 3 — наблюдения за пределами концентрационного интервала.

пределения концентраций, а уровни содержания полезного компонента в ПЭН и ОЭН — концентрационную изменчивость рудного объекта.

На рис. 1 приведен пример выделения ПЭН и ОЭН в пределах концентрационного интервала по одной из реализаций [4] модели бонанцевого типа концентрирования (БТК). Среднее содержание по реализации составляет 13,3 усл.ед., т.е. наблюдения с содержанием выше среднего формируются в ПЭН, а ниже среднего — в ОЭН.

На любом из рудных объектов можно определить граничное значение содержания полезного компонента [4], по уровню которого возможно выделить скопления концентрационного уровня (или ПЭН), размещение, ориентировка, форма и размеры которых находятся в соответствии с геолого-структурными особенностями рудовмещающей среды. С этих позиций данный концентрационный уровень является *структуроопределяющим* (СУ) и обуславливающим *тип концентрирования* (ТК) полезного компонента (например, бонанцевый, бонанцево-столбовой и столбовой на золоторудных объектах). Вместе с тем, тип кон-

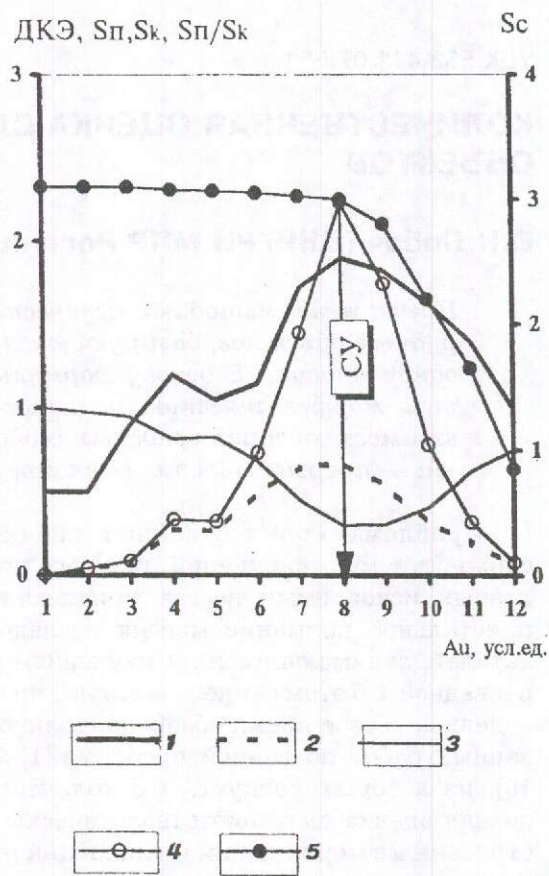


Рис. 2. Поведение характеристик на динамической модели золоторудного объекта с БТК.

1 — диаграмма концентрационного эффекта (ДКЭ), 2 — прерывистость ( $S_n$ ), 3 — компактность ( $S_k$ ), 4 — отношение: прерывистость/компактность ( $S_2$ ), 5 — контрастность ( $S_c$ ), СУ — структуроопределяющий уровень.

центрирования отражает особенности проявления таких важнейших свойств концентрирования как прерывистость, компактность и контрастность.

Анализ морфоструктурных преобразований на примере динамических моделей рудных объектов показал [6], что в изменении указанных свойств намечаются так называемые критические точки с экстремальными значениями их параметров, приходящиеся на один из критических диапазонов, включающий структуроопределяющий концентрационный уровень. В качестве примера на рис. 2 показано изменение параметров таких свойств для модели золоторудного объекта жильного типа с бонанцевым типом концентрирования, где в критическом диапазоне изменения  $F$  — численной ха-

рактические характеристики концентрационного эффекта [5], включающем СУ, намечаются критические точки в изменении контрастности, прерывистости, компактности, а также показателя соотношения двух последних. Динамическая взаимосвязанность указанных свойств и сближенность экстремальных значений их параметров в указанном критическом диапазоне позволяет говорить о структуре сложности внутреннего строения данного объекта, присущей только этому объекту. Именно в критическом диапазоне СУ прерывистость и компактность характеризуются соответственно максимальным и минимальным значениями, а в значениях контрастности намечается переход из стабильного в неустойчивое (изменчивое) состояние. На этот же диапазон обычно приходится среднее содержание по объекту, поэтому, в первом приближении, можно считать, что среднее содержание по объекту соответствует граничному значению СУ.

Каждое из указанных трех свойств может рассматриваться самостоятельно, но в действительности они определенным образом связаны. Характер и теснота этих связей меняются как на различных уровнях концентрации одного и того же объекта, так и на различных по типу концентрирования объектах. Придание этим свойствам количественного выражения вводит их в разряд количественных показателей сложности строения рудных объектов. При этом количественные оценки прерывистости, компактности и контрастности, если их рассматривать вне связей между ними, выделяются в группу показателей первого уровня сложности строения рудных объектов. Показатели более высокого уровня сложности являются производными, а их внутреннее содержание полностью отражает особенность взаимосвязей первых.

Очевидно, что весьма важным направлением исследований для вывода количественной оценки сложности строения рудных объектов является изучение зависимостей между показателями как первого, так и более высоких уровней сложности.

Рассмотрим количественные оценки показателей первого уровня сложности.

#### 1. Показатель прерывистости ( $S_{п}$ )

$$S_{п} = (N_{п} + N_{о} - 1) / M, \quad (1)$$

где  $N_{п}$  — количество ПЭН по реализации,

$N_{о}$  — количество ОЭН по реализации,

$M$  — мощность или длина концентрационного интервала по реализации, в метрах.

В числителе формулы (1) выражение  $N_{п} + N_{о} - 1$  характеризует абсолютную прерывистость, или количество переходов или границ ( $k$ ) между ПЭН и ОЭН внутри отдельного концентрационного интервала. Если прерывистость оценивается по системе реализаций (разведочных пересечений или сечений), то в числителе формула (1) имеет выражение  $N_{п} + N_{о} - N$  (где  $N$  — количество реализаций), а в знаменателе — суммарная мощность или длина концентрационных интервалов по реализациям.

Из формулы (1) следует, что при  $N_{о} = 0$  (отсутствие ОЭН)  $N_{п} = 1$ ,  $S_{п} = 0$ , т.е. с позиции прерывистости концентрационное поле объекта рассматривается в этом случае как однородное или компактное.  $S_{п} = 0$  и в том случае, когда  $N_{п} = 0$ , но это рассматривается в чисто теоретическом плане и подтверждается исследованиями динамических моделей, когда граничное содержание на очередном концентрационном уровне окажется выше максимального содержания полезного компонента по ПЭН концентрационного интервала, т.е. концентрационный интервал по реализации как бы исчезает.

Границы концентрационного интервала устанавливаются по крайним ПЭН, и его размерность (обычно в метрах) определяется как сумма размеров ПЭН и ОЭН:

$$M = M_{п} + M_{о}, \quad (2)$$

где  $M_{п}$  — суммарная мощность (или длина) ПЭН,

$M_{о}$  — суммарная мощность (или длина) ОЭН.

Если в пределах одной реализации на концентрационном интервале наблюда-

ется чередование соразмерных ПЭН и ОЭН (при условии равnoseкционного опробования или равномерной сети наблюдений), то  $(N_{п} + N_{о})L = (N_{п}L + N_{о}L) = M_{п} + M_{о}$  ( $L$  — размер секции опробования или ячейки разведочной сети). При этом очевидно, что прерывистость приближается к единице, но не равна ей в силу наличия в числителе формулы (1) компенсирующего числа 1.

Так как в формуле (1) размерность  $S_{п}$  выражается количеством переходов между ПЭН и ОЭН на метровый интервал, то, чтобы сделать  $S_{п}$  безразмерным, следует в числитель формулы (1) ввести  $L$ , тогда формула прерывистости примет вид:

$$S_{п} = (N_{п} + N_{о} - 1)L/M = kL/M \quad (3)$$

При неравномерной сети наблюдений или равnoseкционном опробовании берется осредненная величина  $L$ .

### 2. Показатель компактности ( $S_k$ )

Компактность отражает степень сплошности концентрирования полезного компонента, а главное назначение показателя компактности — показать степень сближенности или разобщенности ПЭН в пределах концентрационного интервала. В первом приближении этот показатель сопоставим с коэффициентом рудоносности, применяемым в подсчетах запасов весьма прерывистых залежей, когда практически невозможно увязать рудные интервалы между соседними разведочными пересечениями. Использование при этом кондиционного лимита — максимальной мощности некондиционных или безрудных прослоев — приводит к включению в единый рудный интервал нескольких ПЭН и ОЭН. По этой причине коэффициент рудоносности всегда оказывается несколько завышенным по отношению к показателю компактности.

Формула показателя компактности имеет вид:

$$S_k = M_{п} / (M_{п} + M_{о}) = M_{п} / M \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что при  $M_{о} = 0$   $S_k = 1$ , а при  $M_{п} = 0$   $S_k = 0$ . В случае соразмерности ПЭН и ОЭН  $S_k$  приближается к 0,5.

### 3. Показатель контрастности ( $S_c$ )

Контрастность отражает изменчивость содержаний полезного компонента, но, в отличие от коэффициента вариации содержаний ( $V_c$ ), показатель контрастности характеризует относительный размах содержаний полезного компонента между наблюдениями в соседних пробах или пересечениях. Данный показатель по сравнению с коэффициентом вариации в меньшей мере зависит от закона распределения содержаний полезного компонента на исследуемых рудных объектах. Его величина имеет более широкий размах значений, нежели коэффициент вариации, что весьма важно в классификационном отношении. Наконец, коэффициент вариации является показателем статистической изменчивости и практически неприменим в случаях, когда концентрационный интервал представлен единичным ПЭН, т. е. когда  $M_{п} = M$ .

Формула показателя контрастности имеет вид:

$$S_c = \{ \sqrt{\sum (C_1 - C_2)^2 / N} \} / C_m, \quad (5)$$

где  $C_1$  — содержания по ряду проб или наблюдений от  $i - 1$  до  $n$ ,

$C_2$  — содержания по ряду проб или наблюдений от  $i$  до  $n + 1$ ,

$i, n$  — крайние пробы или наблюдения соответственно в начале и в конце концентрационного интервала,

$N$  — количество пар проб или наблюдений по концентрационному интервалу ( $N = i \dots n$ ),

$C_m$  — среднее содержание по концентрационному интервалу.

Из формулы (5) следует, что при допустимом равенстве содержаний полезного компонента в соседних пробах (наблюдениях)  $S_c = 0$ . В реальных рудных объектах практически нет равенства содержаний в соседних пробах (наблюдениях), однако положение о «допустимом равенстве» весьма важно с математической точки зрения, что станет понятным при выводе общей формулы сложности. Величина показателя контрастности больше нуля и может достигать нескольких единиц. По существу данный показатель отражает концентрационную сторону сложности строения рудных объектов.

Таким образом, количественные

оценки показателей первого уровня сложности в формулах (3), (4) и (5) характеризуются безразмерностью, что является основанием к проведению дальнейших исследований по выводу количественных оценок более высоких уровней сложности строения рудных объектов.

Рассмотрим показатели высоких уровней сложности строения.

4. Показатель второго уровня сложности

$$S_2 = (N_{\text{п}} + N_0 - 1)L / M_{\text{п}} = kL / M_{\text{п}} \quad (6)$$

Данный показатель отражает степень прерывистости в пределах концентрационного интервала и, по П.П.Ясковскому [11], является **мерой прерывистости**. Величина этого показателя рассчитывается как количество переходов или границ ( $k$ ) между ПЭН и ОЭН на суммарную мощность (длину) ПЭН на концентрационном интервале, но введение в формулу поправки на размер ячейки сети наблюдений делает эту величину безразмерной. Величина показателя обычно колеблется от 0 до 2, вернее, асимптотически приближается к 2 при увеличении  $k$ .

5. Показатель третьего уровня сложности.

$$S_3 = S_2 / S_k \quad (7)$$

Данный показатель, как количественная оценка морфологической сложности, практически не ограничен верхним пределом. В теоретическом отношении, когда  $S_k$  приближается к 0, а  $S_2$  к 2, показатель  $S_3$  может достигать достаточно большой величины (до нескольких десятков единиц), хотя в действительности на реальных моделях величина этого показателя редко превышает первый десяток единиц.

6. Показатель четвертого уровня сложности или *общей сложности* ( $S_{\text{cm}}$ ) строения рудных объектов ( $S_4$ ) является количественной оценкой концентрационно-морфологической сложности, так как объединяет показатель контрастности содержаний или концентрационной сложности ( $S_c$ ) с показателем третьего уровня сложности ( $S_3$ ) или морфологической сложности ( $S_m$ ). Оба показателя характеризуются безразмерными вели-

чинами, не ограниченными верхними пределами. Принадлежность каждого из этих показателей к разным сторонам сложности строения рудных объектов позволяет рассматривать их в качестве самостоятельных членов уравнения формулы общей сложности строения рудных объектов, в силу чего формула количественной оценки общей сложности имеет вид:

$$\begin{aligned} S_{\text{cm}} = S_4 &= S_c + S_3 = S_c + S_2 / S_k = \\ &= S_c + S_m \end{aligned} \quad (8)$$

Из формулы (8) следует, что  $S_{\text{cm}} = S_c$  в тех случаях, когда  $M = M_{\text{п}}$  ( $S_{\text{п}} = 0$ ,  $S_k = 1$ ), т. е. общая сложность может быть охарактеризована только сложностью концентрационной. Такие случаи характерны для объектов весьма простого строения.

Количественная оценка сложности строения исследована на моделях рудных объектов с различным типом концентрирования, для которых принята единая статистическая основа: логнормальное распределение содержаний полезного компонента со следующими параметрами: количество наблюдений (проб) — 560, число реализаций (сечений) — 24; нормализованные оценки: среднего содержания — 15 услед., коэффициента вариации — 84 %, асимметрии — 0,04 и эксцесса — 0,15. Их статистическая основа весьма приближена к наиболее изменчивым по содержанию золота реальным объектам, а собственно выбор моделей, различных по типу концентрирования, но статистически подобных по распределению полезного компонента, способствует устранению влияния статистической неоднородности на результаты исследований сложности строения рудных объектов.

Если исходить из всего возможного разнообразия концентрирования золота, то можно представить следующий ряд моделей с типами концентрирования (рис. 3): центрально-столбовой (ЦС), столбовой (С), бананцево-столбовой (БС), бананцевый (Б), ленточный (Л) и струйчато-гнездовый (СТ). Представление моделей в такой последовательности пред-

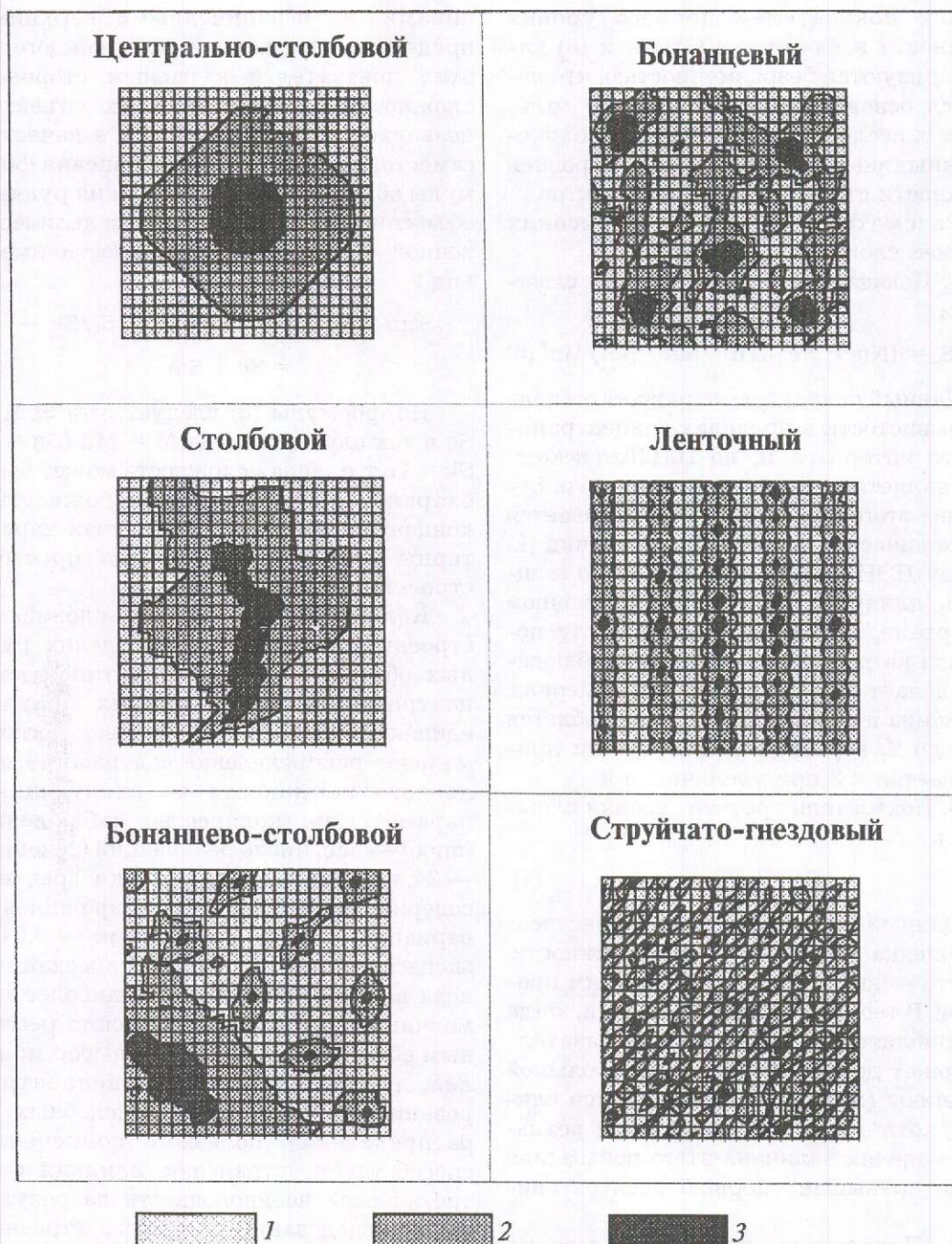


Рис. 3. Типы концентрирования моделей рудных объектов.

Области концентрирования с содержаниями полезного компонента (услед.) 1 — 0—1, 2 — 1—2, 3 — более 2.

полагает соответствующее усложнение структуры концентрационной неоднородности от модели к модели, о чем и свидетельствует увеличение числа критических (концентрационных) уровней

[6], и что полностью согласуется с результатами ранее проведенных исследований по ряду золоторудных месторождений [2, 3, 5, 7].

Модель ЦС отвечает рудным объек-



там с единым центром концентрирования, от которого во всех направлениях к периферии концентрация полезного компонента закономерно снижается, т.е. модель характеризуется изотропным распределением полезного компонента.

Модель СГ соответствует рудным объектам с разобщенными в объеме недр высококонцентрированными скоплениями полезного компонента, размеры которых соотносятся с зоной распространения локального замера или элементарного наблюдения. Диагональное по отношению к координатам пространства расположение струй приближает объект к изотропному по распределению полезного компонента ряду.

Модель Л представляется объектом с весьма резкой анизотропией, когда по одному из направлений он характеризуется отчетливой перемежаемостью бедных и богатых скоплений, а по другому — равномерным распределением в концентрационном поле относительно богатых скоплений полезного компонента в виде гнезд.

Модели С, ВС и Б в наибольшей мере отражают особенности концентрирования полезного компонента на реальных золоторудных объектах, что, в конечном итоге, и определяет многообразие их концентрационной анизотропии.

В представленных моделях основная информация (содержания полезного компонента) заложена по равномерной сети наблюдений. В зависимости от соотношения трех основных размеров внешней формы рудных объектов (L, H и M) эти наблюдения могут рассматриваться или как пробы для жильных и пластообразных тел, или как пересечения для минерализованных зон и прочих морфологических типов [4]. Очевидно, что в тех или иных случаях можно по определенным направлениям сформировать из проб или пересечений реализации (сечения).

На данном этапе исследований представленные модели рассматриваются как условные жильные тела. С позиции же разведки наблюдения, применительно к данному морфологическому типу, приравниваются к пробам по штрекам или

восстающим (при разведке горными выработками) или пробам по скважинам (при разведке бурением). По пробам формировались реализации или сечения в двух основных направлениях (по L и H). По каждой реализации и осуществлялась количественная оценка сложности строения рудных объектов.

Таким образом, каждая из моделей охарактеризована 48 реализациями, т.е. 24 реализациями по каждому из двух направлений, чем обеспечен достаточно представительный объем данных для проведения анализа как по каждой из моделей, так и по сгруппированным по тому или иному признаку данным (288 реализаций).

Данные по средним оценкам параметров моделей сведены в таблицу 1, где модели размещены в порядке возрастания показателя общей сложности. Отчетливая взаимозависимость прерывистости, компактности и контрастности подтверждается взаимообусловленностью типа концентрирования и принятых характеристик строения рудных объектов. К примеру, к объектам с высокой компактностью и слабой контрастностью принадлежат рудные тела со столбовым типом концентрирования, при котором размеры ПЭН соразмерны с размерами рудных тел. Объектам с высокой прерывистостью, низкой компактностью и высокой контрастностью свойственны типы концентрирования с размерами ПЭН, близкими к размерам принятой сети наблюдений. Обращает на себя внимание изменчивость показателя анизотропии по рассматриваемым параметрам в пределах отдельной модели. Очевидно, что данный показатель, используемый обычно при обосновании геометрии разведочной сети, требует к себе более пристального внимания, когда встает вопрос о выборе реальной анизотропии исследуемого рудного объекта.

Анализ результатов по совокупности реализаций, ранжированных по показателю общей сложности (Scm), показал сохранение отчетливых зависимостей между показателями первого уровня сложности (рис. 4, а), которые с переходом на более высокие уровни сложности

1. Средние оценки параметров строения моделей рудных объектов с различными типами концентрирования

Параметры	Типы концентрирования											
	ЦС		С		БС		Б		Л		СГ	
	Ориентировка реализаций											
	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H
По реализациям												
С, услед.	33,4	33,5	33,6	33,5	33,6	34,6	33,3	34,1	33,1	34,4	34,0	33,3
Vc	1,039	1,016	1,830	0,995	1,736	1,607	1,713	1,627	1,861	0,503	2,094	1,948
По концентрационным интервалам												
См, услед.	102,3	94,1	146,1	57,1	91,9	84,0	87,6	66,3	39,8	37,1	36,6	40,8
Nп	1	1	1	2	2	2	3	3	5	7	5	5
No	0	0	0	1	1	1	2	2	4	6	4	4
Mп, м	8,4	8,7	5,4	9,0	6,2	6,1	5,8	5,3	5,3	11,3	5,2	5,2
Mo, м	0	0	0,6	3,1	7,0	7,3	9,4	10,0	14,9	7,1	14,7	15,0
M, м	8,4	8,7	6,9	12,1	13,3	13,4	15,2	15,3	20,2	18,3	19,9	20,2
Sп	0,000	0,000	0,030	0,096	0,108	0,118	0,126	0,213	0,322	0,521	0,417	0,401
Sk	1,000	1,000	0,944	0,808	0,587	0,569	0,453	0,417	0,260	0,665	0,261	0,263
S <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,046	0,181	0,393	0,297	0,567	0,652	1,270	1,110	1,569	1,518
Sm (S <sub>3</sub> )	0,000	0,000	0,071	0,418	1,605	0,959	1,738	2,118	5,122	2,507	6,275	6,431
Sc	0,352	0,327	0,856	0,662	1,503	1,435	1,632	1,621	2,499	0,767	2,877	2,457
Scm (S <sub>4</sub> )	0,352	0,327	0,927	1,080	3,041	2,462	3,371	3,739	7,622	3,275	9,152	8,888
Sm/Scm, %	0	0	7	19	33	31	47	53	66	49	69	71
Анизотропия:												
по реализациям												
С, услед.	1,00		1,00		0,99		0,98		0,97		1,02	
Vc	1,02		1,84		1,08		1,05		3,70		1,08	
по концентрационным интервалам												
См, услед.	1,09		2,56		1,09		1,32		1,07		0,90	
Mп, м	0,97		0,60		1,02		1,09		0,47		1,00	
Mo, м	1,00		0,19		0,96		0,94		2,10		0,98	
M, м	0,97		0,57		0,99		0,99		1,10		0,99	
Sп	1,00		0,31		0,92		0,99		0,62		1,04	
Sk	1,00		1,17		1,03		1,09		0,39		0,99	
S <sub>2</sub>	1,00		0,25		1,32		0,87		1,14		1,03	
Sm (S <sub>3</sub> )	1,00		0,17		1,67		0,82		2,04		0,98	
Sc	1,08		1,29		1,05		1,01		3,26		1,17	
Scm (S <sub>4</sub> )	1,08		0,86		1,24		0,90		2,33		1,03	

(при преобразовании второго члена формулы (8)) приобретают более тесные корреляционные связи (см. рис. 4, б). Наконец, форма графиков Sc, Sm и Scm (см. рис. 4, в) дает достаточно полное представление о характере зависимостей между указанными показателями. Для сопоставления (рис. 4, в) приведен график коэффициента вариации (Vc), т.е. показателя, наиболее часто используемого в практике разведки месторождений для оценки степени неравномерности распределения содержаний полезного

компонента. График Vc характеризуется явно выраженной пологостью, хотя и близок к графику Sc. В интервале первой половины групп (1—13) значения Vc несколько выше Sc, а для последующих групп (14—24) соотношение этих показателей меняется на обратное. Анализ свидетельствует, что в первую половину групп входят в основном реализации по моделям рудных объектов с простым строением (ЦС и С), а во вторую — в основном реализации по моделям со сложным строением (Л и СГ).

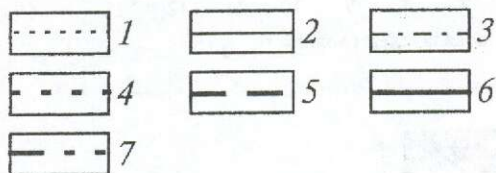
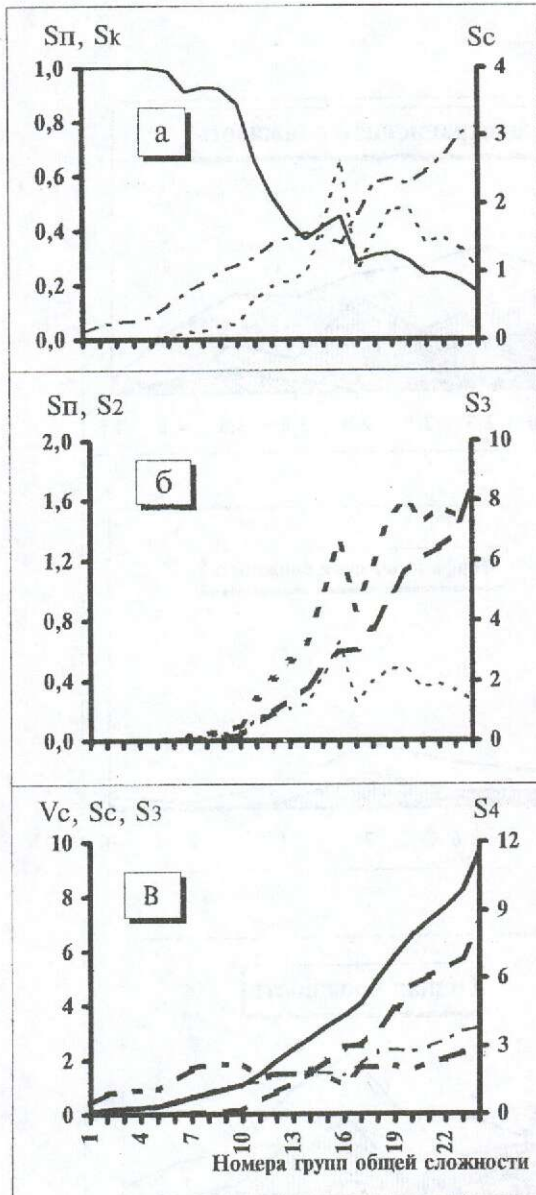


Рис. 4. Зависимости между основными параметрами строения рудных объектов.

Показатели сложности первого порядка: 1 —  $S_p$  (прерывистость), 2 —  $S_k$  (компактность), 3 —  $S_c$  (контрастность), 4 —  $S_2$  (показатель сложности второго порядка —  $S_p/M$ ), 5 —  $S_3$  (показатель сложности третьего порядка —  $S_2/S_k$ ), 6 —  $S_4$  (показатель сложности четвертого порядка —  $S_3+S_c$ ), 7 — коэффициент вариации содержаний.

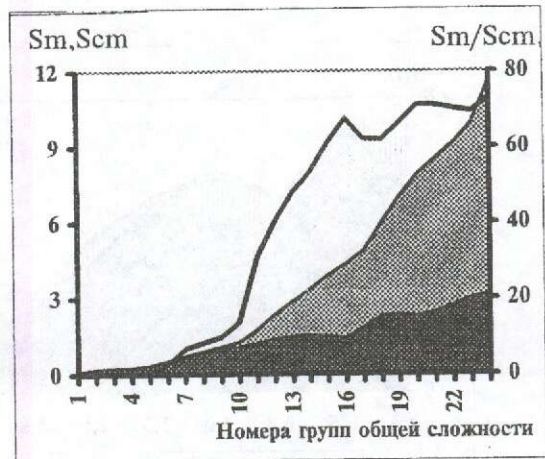


Рис. 5. Соотношение составляющих морфологической и концентрационной сложности.

1 — морфологическая сложность, 2 — концентрационная сложность, 3 — доля морфологической сложности в общей сложности строения рудных объектов.

Если  $S_c$  является отражением так называемой концентрационной сложности, то, как уже отмечалось, составляющая  $S_m$  в значительной мере является морфологической, так как по своей сути отражает размеры, количество и степень сближенности ПЭН. На этом основании можно говорить о соотношении концентрационной и морфологической составляющих сложности в формуле (8), которое не остается постоянным, а меняется на объектах с различным типом концентрирования. Так, на моделях ЦС и С это соотношение может быть полностью в пользу концентрационной составляющей, а на моделях СГ и Л — в пользу морфологической составляющей (рис. 5, см. табл. 1).

Показатели сложности строения рудных объектов определенно могут выполнять роль классификационных признаков, в чем можно убедиться из результатов анализа распределения реализаций моделей по классам показателей сложности  $S_c$ ,  $S_m$  и  $S_{cm}$  (рис. 6). Так, если задаться доверительным интервалом с 68 % уровнем вероятности, то объекты ЦС—С, БС—Б и СГ—Л по-

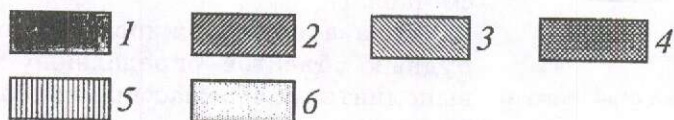
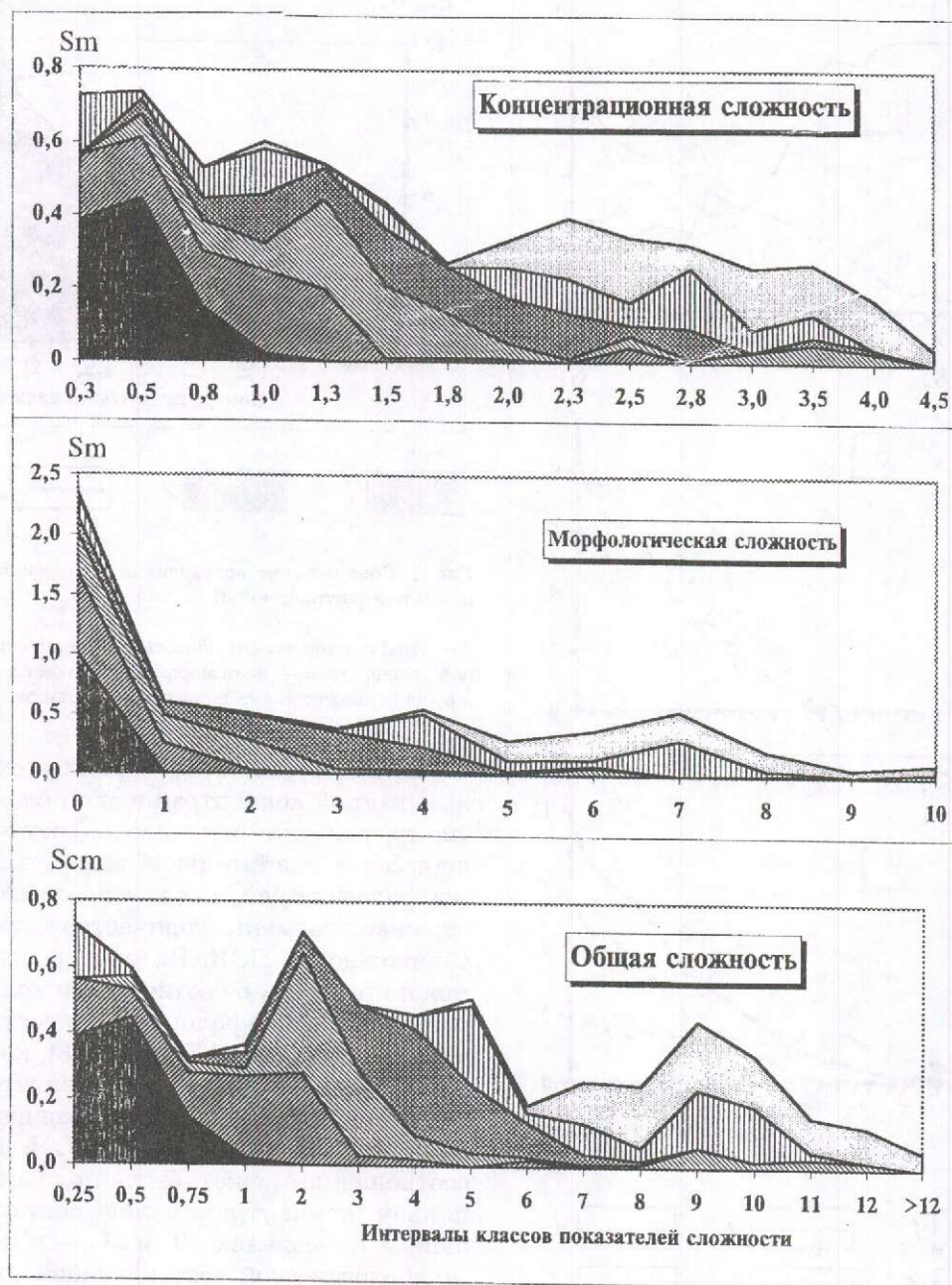


Рис. 6. Распределение показателей сложности по моделям с различными типами концентрирования.

Типы концентрирования: 1 — центрально-столбовой, 2 — столбовой, 3 — бананцево-столбовой, 4 — бананцевый, 5 — ленточный, 6 — струйчато-гнездовой.

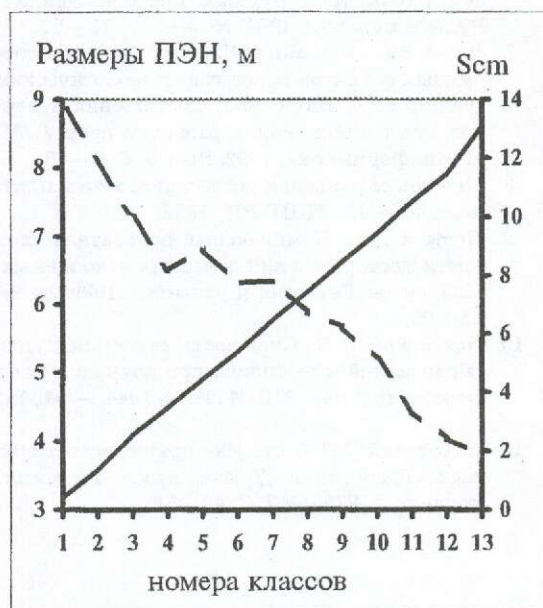


Рис. 7. Зависимость размеров ПЭН от сложности строения рудных объектов.

1 — сложность строения рудных объектов, 2 — размеры ПЭН, в метрах.

падают преимущественно и соответственно в диапазоны: 0—1, 1—2 и более 2 по Sc; 0—2, 2—4 и более 4 по Sm; 0—2, 2—6 и более 6 по Scm. Понятно, что это весьма приближенное обобщение, и применительно к реальным условиям оно потребует в дальнейшем некоторых уточнений. Даже в отношении рассматриваемых моделей такое обобщение не учитывает исключительных случаев, к которым можно отнести модель Л, но все же возможность использования предложенной количественной оценки сложности в классификационных целях вполне допускается.

Результаты исследований предложенной оценки сложности строения рудных объектов показывают, что чем сложнее объект, тем меньше размеры ПЭН (см. табл. 1). Это подтверждают и результаты распределения размеров ПЭН, дифференцированных по показателю общей сложности строения рудных объектов. С учетом того, что зависимость

## 2. Соотношение запасов руды и металла в ПЭН для концентрационных интервалов рудных объектов

Тип концент-	Доля, %	
	руды	металла
СГ	0,267	0,948
Л	0,329	0,925
Б	0,362	0,832
БС	0,447	0,786
С	0,817	0,920
ЦС	1,000	1,000

между указанными параметрами почти функциональная (рис. 7) и что ПЭН как скопления с высокими концентрациями полезного компонента включают высокую долю запасов металла (табл. 2), имеется реальная возможность с достаточно высокой вероятностью прогнозировать сеть разведочных наблюдений уже на ранних стадиях геологоразведочных работ.

Предложенная количественная оценка сложности строения рудных объектов исходит из концепции их концентрационной неоднородности. Сложность строения определяется как концентрационно-морфологическая, так как объединяет размеры и особенности размещения скоплений (ПЭН), а также уровень и соотношение концентраций полезного компонента в соседних ПЭН и ОЭН в пределах концентрационного интервала. Базовыми составляющими концентрационно-морфологической сложности являются такие свойства концентрирования как прерывистость, компактность и контрастность, количественное выражение и взаимосвязанность которых отражены в общей формуле сложности внутреннего строения рудных объектов.

Сложность строения может рассматриваться, с одной стороны, как важнейший классификационный и диагностический признак для разграничения рудных объектов с целью их изучения, разведки и оценки, а с другой стороны, может быть использована в практических целях для прогнозирования качества оруденения и выбора плотности сети наблюдений уже на ранних стадиях геологоразведочных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюков В.И. О типизации месторождений полезных ископаемых для целей разведки и разработки. — М.: ВИЭМС, 1968.
2. Гарбуз А.А., Лобач В.И. Распределение золота на месторождении Зун-Холба // Руды и металлы. 1993. № 5. С. 85—92.
3. Дзялошинский В.Г., Лобач В.И. Принципы выделения структурно-концентрационных уровней минерализованных участков недр на примере золото-сульфидных месторождений // Руды и металлы. 1993. № 1—2. С. 54—49.
4. Лобач В.И. Введение в концентрационную модель объектов разведки (применительно к месторождениям золота) // Тр. ЦНИГРИ. Вып. 244. С. 100—107.
5. Лобач В.И. Методические рекомендации по изучению концентрационной неоднородности золоторудных месторождений. — М.: ЦНИГРИ, 1991.
6. Лобач В.И. Моделирование критических уровней параметров рудных месторождений // Руды и металлы. 1994. № 3—5. С. 73—80.
7. Лобач В.И., Цетлин В.П. Опыт оконтуривания рудных объектов с нечеткими геологическими границами // Науч.-техн. достижения и передов. опыт в обл. геол. и разведки недр / МГП «Геоинформмарк», 1992. Вып. 5. С. 3—13.
8. Методика разведки россыпей золота и платиноидов. — М.: ЦНИГРИ, 1992.
9. Петров М.П. Комплексный показатель сложности месторождений полезных ископаемых // Изв. вузов. Геология и разведка. 1989. № 9. С. 85—90.
10. Ясковский П.П. Сложность строения рудных образований и ее оценка при изучении месторождений / Деп. ВИНТИ. № 1844. — М., 1985.
11. Ясковский П.П. О степени прерывистости рудных образований // Изв. вузов. Геология и разведка. 1975. № 7. С. 48—51.

Lobach V.I.

Quantitative estimation of structural complexity of ore deposits

*The new methodology of quantitative estimation of structural complexity of ore depositional features is based on the conception of concentrational inhomogeneity. The equation meant for qualitative estimation accounting for both morphological and concentrational complexity is based on the interrelation of the three main characteristics of concentrational inhomogeneity, namely, discreteness, compactness and contrast.*

# СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.411.041.(571.17)

© Коллектив авторов, 1998

## МЕСТОРОЖДЕНИЕ КОММУНАР В КУЗНЕЦКОМ АЛАТАУ — ГЕОЛОГИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОСЛЕ СТОЛЕТНЕЙ ОТРАБОТКИ

**Т.Н.Косовец, Н.П.Варгунина, В.А.Мачильский, Г.Ю.Орлова (ЦНИГРИ МПР России), М.Ю.Никифоров, Л.Г.Осипов, В.Е.Сутормин (Рудник Коммунар)**

*Основные особенности геологического строения Коммунарского рудного поля обусловлены парагенетической связью золотого оруденения со становлением крупного гранитоидного плутона. Золотосодержащие кварцевые жилы, крупные штокверки и системы лестничных прожилков локализируются в пределах околоинтрузивного ореола, занимая благоприятные структурно-литолого-метаморфические позиции во вмещающих плутон древних вулканогенно-осадочных толщах. Методы локального прогноза оруденения основаны на выявлении закономерностей зональности минерализации, морфоструктурных особенностей рельефа, комплекса геолого-поисковых критериев и признаков. Перспективы связаны с возможностью выявления небольших рудных тел различных морфологических типов на средних и нижних горизонтах действующего рудника и в разрезе западной и восточной периферии рудного поля.*

Несмотря на почти вековую историю добычи и изучения месторождение Коммунар остается объектом, далеко не до конца познанным и оцененным. Ряд особенностей его геологического строения и генезиса остается спорным, в т.ч. вопросы формационного членения и принадлежности магматических образований, связи оруденения с тем или иным интрузивным комплексом и даже последовательности отложения минеральных парагенезисов руд. По поводу его дальнейшей судьбы тоже существуют разные взгляды: по мнению одних, его ресурсы исчерпаны, другие считают рациональной реконструкцию рудника и переход на технологии переработки «новых» типов руд, включая использование отвалов.

Различные вопросы геологии и оценки оруденения Коммунарского рудного поля рассматривались в работах большого круга исследователей, начиная с

П.К.Яворского и затем В.А.Обручева, выполнявшего экспертизу этого объекта в 1911 г. Условия локализации оруденения, трещинная тектоника, морфология рудных тел, типы окolorудных изменений, рудно-метасоматическая зональность, условия отложения золота и т.д. освещены в многочисленных работах А.Ф.Коробейникова, В.И.Баженова, Н.А.Фогельман, А.Е.Шабаловского, А.М.Кузьмина, Д.А.Лобанова, Д.И.Калинникова, А.Я.Булыньникова, П.Ф.Иванкина, Б.Д.Васильева, К.Р.Рабиновича, Л.В.Пешехонова, В.Е.Номоконова, Г.М.Гундобина, С.А.Савицкого, Ю.П.Ивенсена, С.С.Ильенка и многих других. В настоящей статье, помимо работ перечисленных исследователей, использованы также материалы многолетнего изучения Коммунара рудничными геологами — Л.Ф.Козедубовой, Ю.В.Беспаловым, М.В.Денисовой, А.А.Зуколом, Ю.П.Денисовым и другими, а

также наблюдения авторов, выполнявших на месторождении различные виды исследований.

Настоящая статья посвящена анализу предыдущих работ и новых фактических данных, позволяющих охарактеризовать различные подходы к прогнозу и оценке месторождения.

Коммунарское месторождение расположено на восточном склоне хребта Кузнецкий Алатау, на левобережье р.Б.Сыя — левого притока р.Белый Июс, входящего в систему верховьев р.Оби.

Золотодобыча в Коммунарском районе началась более 150 лет тому назад, с разработок богатых аллювиальных россыпных месторождений. На горно-промышленной и заводской карте Азиатской России, изданной в 1909 г., рудник Коммунар фигурирует как прииск Преображенский. В 1896 г. был найден первый коренной источник россыпей — жила Богомдарованная, а в 1899 г. добыто первое рудное золото. Всего эта жила дала 9 тонн золота. С тех пор и по настоящее время в Коммунарском рудном поле проводится разведка и эксплуатация коренных месторождений золота. За этот почти вековой срок Коммунарский рудник не один раз оказывался на грани истощения, но снова возрождался.

Уже к 1911 г. две известные жилы — Богомдарованная (впоследствии переименованная в Масловскую) и Подоблачная — были в основном выработаны. После временной консервации рудника с 1923 по 1928 г. в последующие 20 лет под руководством Д.И.Калинникова были открыты месторождения штокверкового типа Подлунный Голец и Северная зона, золотоносные скарны месторождения Калиостровского, новые жилы — Встречная, Штурмовая, Пятилетка, Новая. Все они имели выходы на дневную поверхность и были обнаружены в процессе детального картирования. Перечисленные объекты широко освещены в многочисленных публикациях [1, 5, 6, 9, 12].

К началу 50-х годов в рудном поле выявлены почти все выходящие на поверхность известные рудные тела. В 1950—1952 гг. при поисково-разведочных работах на участке Подлунный

Голец установлен новый тип рудных тел — золотоносные дайки диоритовых порфиритов и микродиоритов с лестнично-штокверковой золото-кварцевой минерализацией.

Следующий этап истории рудного поля ознаменован открытием в 1960—1973 гг. ряда слепых месторождений, таких как Декабрьское, Апрельское, Масловское-2 (в дайках), жил — Октябрьской, Январской, Спорной, Юбилейной и других.

Наивысшие показатели в эксплуатации были достигнуты в конце 50-х и на протяжении 70-х годов. В конце последних наметился спад в золотодобыче в связи с закончившейся отработкой наиболее крупных и богатых рудных тел. В последние годы отрабатываются в основном небольшие, часто слепые рудные тела в интервале глубин 800—1200 м: лестничные штокверки и контактовые жилы по дайкам; штокверки в порфиритах нижней толщи, в вулканогенно-осадочном разрезе верхней толщи, в субвулканических телах на средних и верхних горизонтах. Однако не оставлены и попытки разведать новые небольшие штокверки на поверхности (участок Подзвездный) и на верхних горизонтах Масловского месторождения. Но, несмотря на многочисленные открытия мелких рудных тел различного морфологического типа в уже освоенном горном пространстве, рудник вновь близок к критическому состоянию.

**Геологическое строение рудного поля.** Коммунарское золоторудное поле расположено на восточном крыле антиклинория Кузнецкого Алатау, который является составной частью Алтае-Саянской складчатой области. В строении этой территории принимают участие сложно дислоцированные эффузивно-осадочные образования верхнепротерозойского — верхнекембрийского возраста, прорванные интрузивными породами различного состава и возраста. На складчатые структуры северной части антиклинория (нижний структурный этаж, верхний протерозой—нижний карбон) наложены образования Чебаковской депрессии Минусинской межгорной котловины (верхний структурный этаж, девон). Нижний



этаж характеризуется напряженной линейной складчатостью, выделяются Коммунарская горст-антиклиналь, Сыйская и Знаменитинская синклинали. Складчатость осложнена многочисленными разрывными нарушениями. Верхний этаж отличается относительно спокойным залеганием красноцветных терригенных толщ с прослоями лав. Все золоторудные проявления и месторождения локализованы в породах нижнего структурного этажа.

Геологическая позиция рудных узлов и полей в Кузнецком Алатау, как это показано К.Р.Рабиновичем, определяется связью с проторогенными гранитоидами пестрого состава и скрытыми глубинными разломами фундамента, причем наиболее крупные объекты (Коммунар, Центральное и др.) располагаются на пересечении трех—четырех систем разломов [10]. Для Коммунарского рудного узла к числу таких разломов относятся в первую очередь Кельбесско-Саксырский северо-западного простирания шириной 15—20 км, в границах которого система рудных тел и рудовмещающих геологических образований располагается по «лестничному» принципу, а также Коммунар-Балахчинский субмеридиональной ориентировки шириной 5—7 км, в пределах которого рудный узел заключен между пересекающимися этот разлом более молодыми северо-восточными структурами — Собакинским разломом на севере и Сыйской зоной смятия на юге.

В современном понимании Коммунарский рудный узел включает Коммунарское золоторудное поле, Таисыинское месторождение к западу от него и Баданское — к югу, а также золотоносные россыпи левых притоков р.Сый (рис. 1); вышеназванные объекты локализуются в обрамлении гранитоидного массива. Рудное поле представляет собой полосу северо-западного простирания длиной 2,5 км и шириной 700 м в северной экзоконтактной надапикальной зоне массива. Условные границы рудного поля — Солгонский интрузивный массив с юго-юго-запада, Сыйская зона смятия с юго-востока, Кузнецовский разлом с северо-запада, а в северо-восточном направле-

нии признаки золотого оруденения постепенно исчезают примерно в 700 м от контакта с интрузией.

Рудный узел в целом отвечает удлиненному в северо-восточном направлении ореолу коренной и связанной с ней россыпной минерализации, обрамляющему плутон с севера. Рудное поле представляет собой внутреннюю узкую зону этого ореола, непосредственно облегающую северо-восточную оконечность плутона.

Коммунарское рудное поле приурочено к осевой части и восточному крылу одноименной горст-антиклинали, имеющей почти меридиональное простирание; она осложнена складками более высоких порядков и сложена породами двух толщ верхнего протерозоя: нижней — белоиусской и верхней — полуденной свитами. Углы падения крыльев антиклинали колеблются от 15 до 70°. В породах полуденной свиты, слагающих крылья структуры, развиты дополнительные складки, имеющие отчетливо выраженное северо-восточное направление. Шарнир антиклинали погружается в северо-восточном направлении под углом 27°. Контакт нижней и верхней толщ на западном крыле горст-антиклинали проходит по разрыву субмеридионального простирания с падением на запад, на восточном крыле контакт согласный, вдоль него локализуется силлообразное тело порфиридных диоритов, многократно блокированное тектоническими нарушениями (рис. 2, 3).

Нижняя толща — белоиусская (или каратгская) вулканогенная свита — видимой мощностью 1000 м представлена монотонными вулканитами преимущественно средне-основного состава (диабазы, диабазовыми порфиридами, спилитами, лавобрекчиями и агломератами), тяготеющими к верхам разреза, с маломощными прослоями и пачками сланцев, туфопесчаников, известняков и кислых эффузивов. Характерна насыщенность толщи субвулканическими и субинтрузивными телами диабазов, микрогаббро, микродиоритов, слагающих силлы, штоки, дайки. Повсеместно проявлен зеленокаменный метаморфизм.

Верхняя толща — полуденная вулканогенно-осадочная свита — локализова-

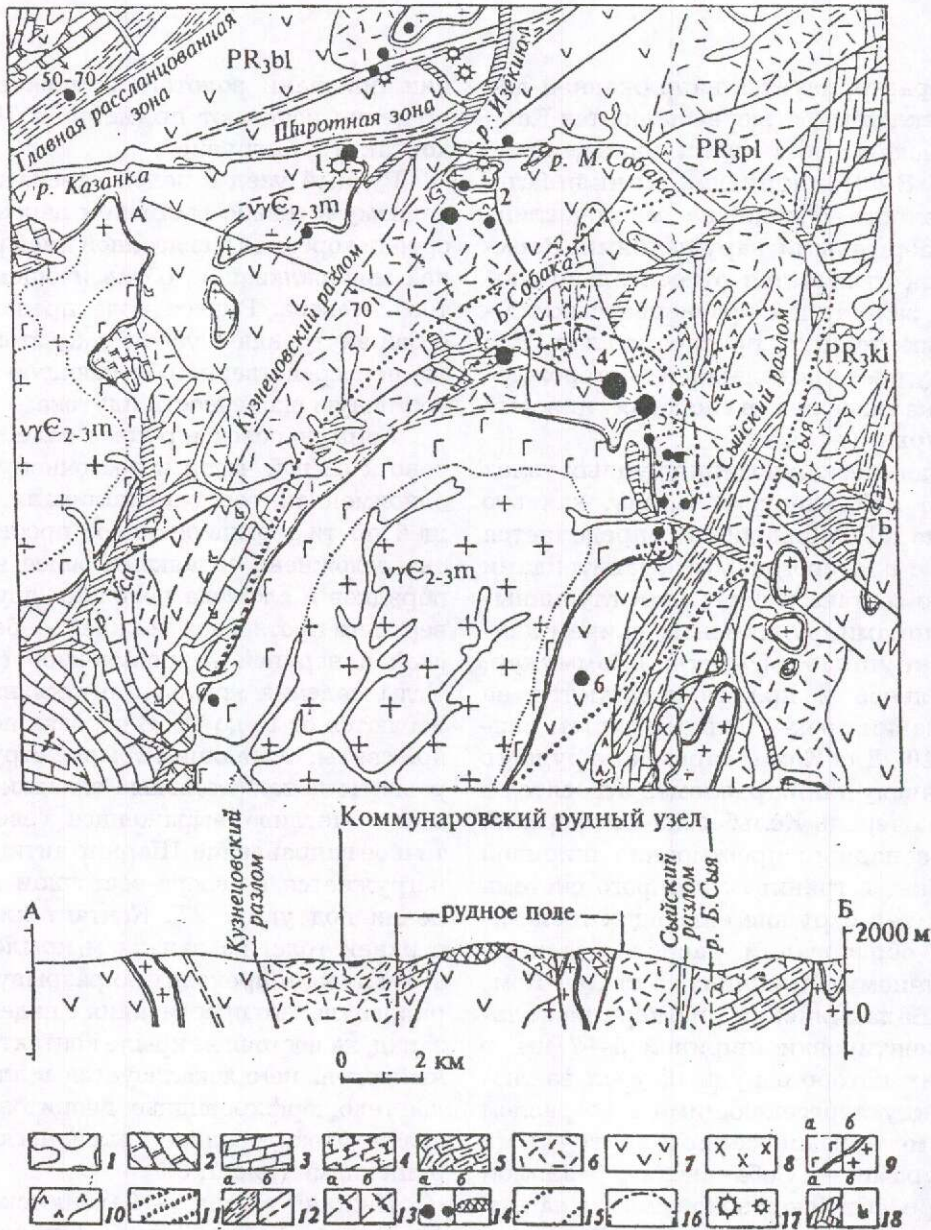


Рис. 1. Геолого-структурная позиция Коммунарского рудного узла (по Козедубовой Л.Ф. и Осипову Л.Г., 1984).

1—аллювиальные четвертичные отложения; 2 — мраморы, глинистые, кремнистые сланцы, песчаники, конгломерато-брекчии усинской свиты ( $C_{1us}$ ); верхнепротерозойские отложения: 3 — доломиты мартохинской свиты ( $mr$ ); 4 — основные эффузивы и их туфы, известняки, песчаники кульбюрстюгской свиты ( $kl$ ); 5 — антраксолитовые известняки, основные эффузивы и их туфы тюримской свиты ( $tr$ ); 6 — мраморизованные известняки, сланцы, туфопесчаники, андезитовые порфириды, фельзиты полуденной свиты ( $pl$ ); 7 — зеленокаменные основные и средние эффузивы и их туфы, прослои известняков, сланцев, песчаников белоюсской свиты ( $bl$ ); 8 — дайки и мелкие штоки габбро, сиенитов, адамеллитов саганахгольского габбро-сиенитового комплекса ( $vsS_2-D_1sg$ ); 9 — мартайгинский габбро-плагиигранитный комплекс ( $v\gamma E_{2-3m}$ ): а — габбро, диориты, кварцевые диориты, б — гранодиориты, монзониты, сиенито-диориты; 10 — малые интрузии и дайки габбро, диоритов, диорит-порфиридов коммунарского зеленокаменного комплекса ( $v\delta R_3-E_2km$ ); 11 — дайки кварцевых диорит-порфиридов, сиенито-диоритов, лампрофиров; 12 — тектонические нарушения: а — зоны смятия и рассланцевания; б — установленные и предполагаемые разрывы; 13 — осевые линии складок: а — антиклинальных, б — синклинальных; 14 — золоторудные месторождения: а—1. Спасское, 2. Кузнецовское, 3. Таисыинское, 4. Коммунар, 5. Калиостровское, 6. Баданское, б — месторождение Коммунар на разрезе; 15 — границы Коммунарского рудного узла; 16 — границы Коммунарского рудного поля; 17 — вольфрамовые месторождения и проявления; 18 — проявления золота: а — россыпи, б — свалы золотоносного кварца.

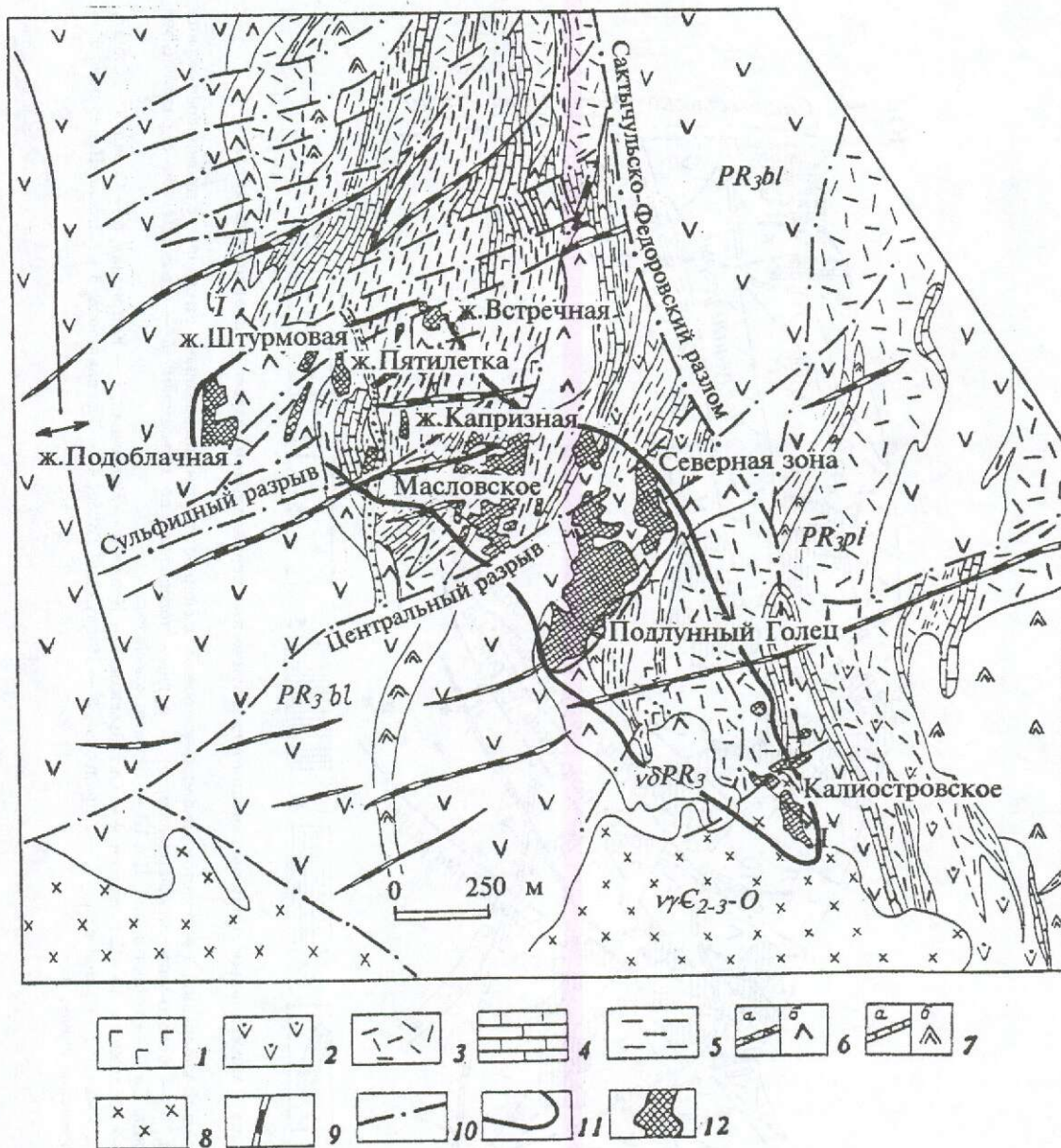


Рис. 2. Схема геологического строения Коммунарского рудного поля.

Полуденная свита: 1 — спилитовый диабаз; 2 — туфы диабазового порфирита; 3 — туфы, туфопесчаники, туфоконгломераты; 4 — известняки; 5 — кремнистые сланцы. Коммунарский комплекс малых интрузий: 6 — ранние фазы: а — диорит-порфирит-1, б — порфириновый диорит-1; 7 — поздние фазы: а — диорит-порфирит-2, б — порфириновый диорит-2; 8 — габбро-плаггиогранитный интрузивный комплекс пород Солгонского массива; 9 — постзолоторудные дайки; 10 — тектонические нарушения; 11 — граница Коммунарского месторождения; 12 — проекции рудных тел на поверхности.

на в опущенных блоках рудного поля. В ее составе установлены мраморизованные известняки, углеродисто-кремнистые, кремнистые, известковистые сланцы, туфосланцы, туфоалевролиты, туфопесчаники, туффиты, туфогравелиты,

туфы альбитофиров, кератофиров, порфиритов, кислых эффузивов, роговообманковые и пироксеновые порфириты, спилиты и спилитовые диабазы. Характерны ритмичное переслаивание туфогенных и осадочных карбонатных пород

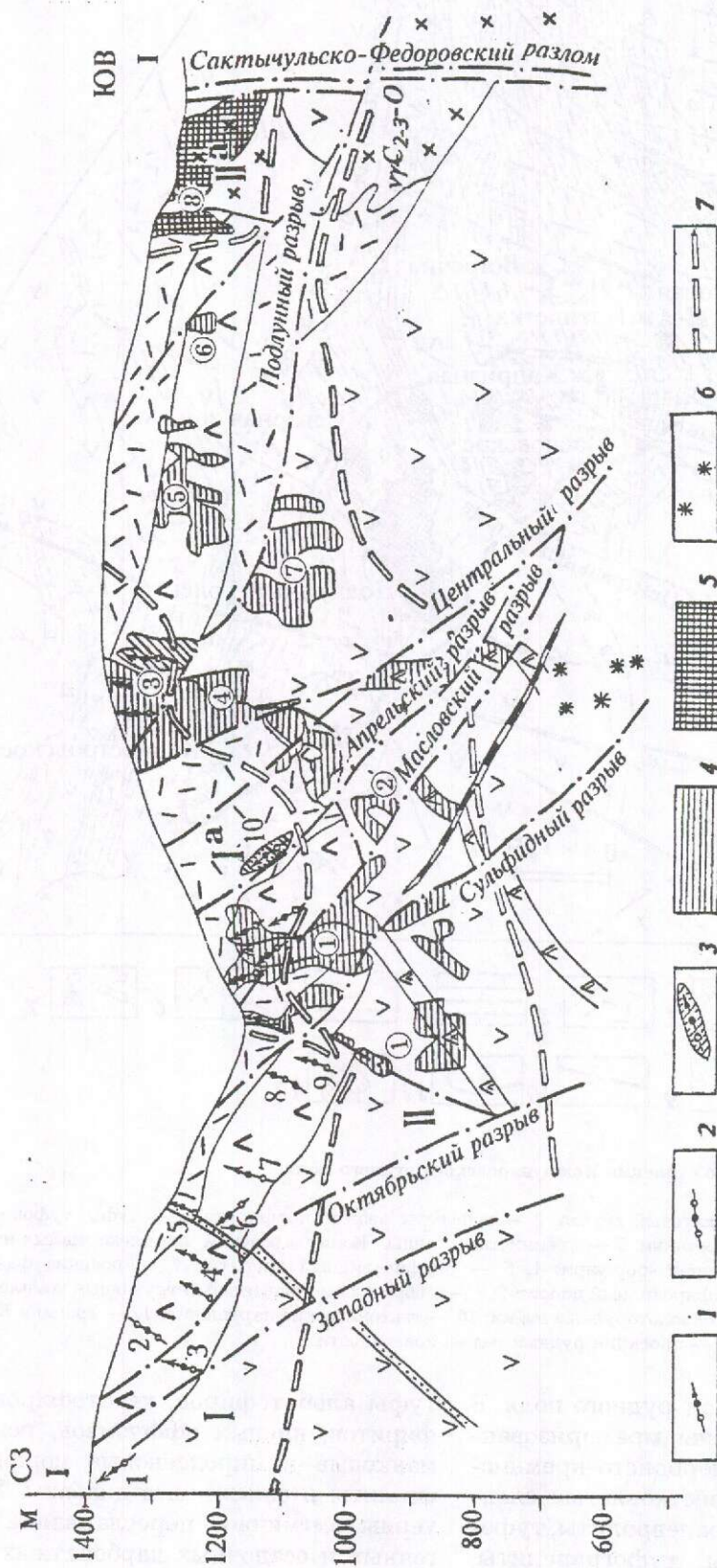


Рис. 3. Зональность структурно-морфологических и минеральных типов оруденения в схематическом вертикальном разрезе — проекция по линии I—I.

Жилы: 1 — золото-сульфидно-кварцевые, 2 — золото-кварцевые, 3 — золото-сульфидно-кварцевые с оперяющим прожилкованием; штокерки с прожилково-вкрапленными оруденениями: 4 — золото-кварцевым, 5 — золото-магнетит-кварцевым; 6 — рудные подсечения по скважинам; 7 — границы зон с различными структурно-морфологическими типами оруденения: I и I<sup>a</sup> — жильный тип, II и II<sup>a</sup> — штокерковый тип.  
 Цифры на рисунке. Жилы: 1 — Подблочная, 2 — Юбилейная, 3 — Штурмова, 4 — Октябрьская, 5 — Новая, 6 — Встречная, 7 — Капризная, 8 — Серая, 9 — Сияная, 10 — Январская; штокерковые тела (цифры в кружках): 1 — Масловское, 2 — Апрельское, 3 — Подлунный Голец, 4 — Северная зона, 5 — Нижне-Подлунное, 6 — Декабрьское, 7 — Дайка Северная, 8 — Калиостровские линзы.  
 Остальные условные обозначения см. на рис. 2.

и фациальная неустойчивость разреза. Мощность свиты в районе достигает 2500 м, в рудном поле — первые сотни метров. Породы свиты местами весьма интенсивно карбонатизированы, серицитизированы и окварцованы.

Интрузивные образования, занимающие в рудном поле значительные площади, по объему, вещественному составу и возрасту расчленены на ряд комплексов. Выделены комплексы, относящиеся к завершающему этапу геосинклинального развития: 1) субвулканический габбро-диабазовый,  $PR_3$  (?), 2) многофазный габбро-диоритовый,  $PR_3$ — $E_1$  (древние габброиды); и орогенные: 3) габбро-плагиогранитный,  $E_2$ — $E_3$  (т.н. додевонские гранитоиды, 4) габбро-сиенитовый,  $S_2$ — $D_1$ , распространенный в основном восточнее площади рудного поля.

Субвулканический габбро-диабазовый комплекс, включавшийся ранее в состав древних габброидов, представлен дайками и силлами спилитовых диабазов и силлами пироксеновых порфиритов. Он развит среди обеих вулканогенно-осадочных толщ и в их приконтактной зоне. Его образование связывается с заключительными фазами рифейского вулканизма. Дайки диабазов и порфиритов нередко минерализованы, особенно при пересечении с тектоническими разрывами.

Породы габбро-диоритового комплекса, известного как коммунаровский или буйский, образуют сравнительно небольшие по протяженности тела — силлы, штоки, дайки. Начальные фазы пород этого комплекса представлены мощными субпластовыми телами — силлами уралитизированных порфиридных диоритов-1, а также дайками диорит-порфиритов-1, секущими отложения обеих толщ; силлы приурочены преимущественно к контактовой зоне белоюсской и полуденной свит, либо (на флангах рудного поля) проявлены внутри последней по слоистости. Поздние фазы представлены дайками порфиридных диоритов-2 и диоритовых порфиритов-2. В габбро-диоритах, порфиридных диоритах и микродиоритах концентрируется основное золотое оруденение. Близкие параметры распределения золота в вышеперечис-

ленных породах, одинаковая степень метаморфизма и структурно-геологические взаимоотношения дали основание А.Ф.Коробейникову [7] говорить об их генетическом родстве и комагматичности.

Габбро-плагиогранитный комплекс, широко известный в литературе как мартайгинский, представлен Солгонским батолитом зонального строения, являющимся северной частью Тигертышского плутона. Внешняя оторочка шириной от 0,1 до 1,5 км сложена кварцевыми и кварцсодержащими диоритами; промежуточная зона (100—250 м) — биотит-авгит-гиперстеновыми сиенитами и монцонитами, реже сиенито-диоритами, а центральная представлена овальным телом шириной более 5 км и протяженностью свыше 10 км оливинного габбро, габбро-диоритов, диоритов, монцонитов. Далее на юг эти породы сменяются порфиридными гранодиоритами и адаметлитами. Эндоконтактовая зона и северо-восточная часть Солгонского интрузива, известная как Калиостровский выступ, сложены преимущественно гибридными образованиями повышенной основности и меланократовости — диорито-сиенитами, габбро-сиенитами, монцонитами и монцодиоритами с признаками контаминации и ассимиляции базальтоидов белоюсской толщи. В направлении к центру гибридные породы последовательно переходят в магматические монцодиориты и монцониты батолита. Ширина эндоконтактовой гибридной зоны достигает 1 км.

Дайковая серия мартайгинского комплекса проявлена в экзоконтактовой зоне Солгонской интрузии и подразделяется на до- и постбатолитовые, а последние — на дорудные и пострудные образования. К дорудным относятся дайки микродиоритов-1, амфиболовых и плагиоклазовых порфиритов, габбро-порфиритов и др. субмеридионального и северо-восточного простирания. В них отмечаются новообразования биотита и амфибола по пироксену, золото-кварцевые и магнетитовые прожилки. Эти дайки развиты в центральной части рудного поля и на Калиостровском месторождении. На месторождении Подлунный Голец распространены дайки диоритовых порфиритов и микродиоритов лампрофирового ряда этого же

комплекса, содержащие золото-кварцевые прожилки.

Согласно петрохимическим исследованиям, выполненным Б.А.Вербицким, Т.И.Щукиной и Е.Г.Поляковой, все породы, слагающие Солгонский массив, принадлежат к калиево-натриевой серии и подразделяются на высоко- и весьма высокоглиноземистые разности с повышенным коэффициентом аптаитности. По совокупности петрохимических, минералогических и структурных характеристик они относятся к габбро-диорит-гранодиоритовой плутонической формации, сформированной в  $E_2$ — $E_3$ , возможно и  $O_1$ .

Внедрение гранитоидного комплекса сопровождалось контактово-метасоматическими и гидротермальными преобразованиями вмещающих пород и возникновением магнезиальных и известковых скарнов, скаполитовых, альбитовых, актинолит-эпидот-хлорит-магнетитовых метасоматитов, березит-лиственитов, кварцевых жил и штокверков.

**Строение рудного поля** характеризуется развитием разрывных нарушений двух четко выраженных направлений — субмеридионального и восток-северо-восточного. Первая система представлена разломами Веселовским, Солгонским и Сактычуль-Федоровским, оперяющими крупный региональный разлом северо-восточного простирания — Сыйскую зону смятия. Крутопадающие субмеридиональные разрывы, с перемещениями сбросового типа, вертикальная амплитуда которых достигает 600 м (по наиболее крупному Сактычуль-Федоровскому разрыву), контролировали внедрение субвулканических тел коммунаровского комплекса и наиболее древних даек — диоритовых порфиритов-1 и -2, а позже выполняли рудоподводящую и рудолокализирующую роль (см. рис. 1, 2).

Ко второй системе восток-северо-восточного простирания относятся: 1) разрывы с падением в северных румбах под углом  $40$ — $70^\circ$ , контролирующие внедрение силлов габбро-диоритов, порфириформных диоритов и их смещения при подновлении разрывов и частично выполняющие рудовмещающую роль (жильная зона Серая и др.); 2) разрывы

с падением в южных румбах под углом  $20$ — $80^\circ$  (Центральный, Октябрьский, Сульфидный, Западный и др.), играющие главную роль при формировании поздней слабозолотоносной кварц-полиметаллической минерализации; 3) продольные субпослойные северо-восточные разрывы, сопряженные с субмеридиональными, с относительно пологим падением в восточных румбах (Масловский, Подоблачный, Апрельский, Меридиональный), часть из которых являются рудовмещающими (Масловский и др.).

Дизъюнктивные нарушения разбивают рудное поле на блоки различных размеров. Одни нарушения связаны со складчатостью, другие формировались в условиях блоковой деформации. Для большинства разрывов устанавливается дорудный (и додайковый) возраст с неоднократным подновлением вплоть до пострудного периода деформаций. Пострудные дайки контролируются диагональными разрывами северо-восточного простирания. В результате в разных тектонических блоках на современную поверхность выведена контактовая зона двух толщ — белоюсской и полуденной, к которой приурочены силлы порфириформных диоритов-2 и размещающееся в них основное промышленное оруденение штокверкового типа.

**Морфологические типы рудных тел.** Золоторудные тела относятся к трем основным морфологическим типам: жильному, штокверковому, линзовидному (см. рис. 3).

Среди жил выделяются: секущие одиночные плитообразные золото-кварцевые и золото-сульфидно-кварцевые жилы в порфириформных диоритах, согласные сложные жилы, сопровождаемые кварцевым прожилкованием; золото-сульфидно-кварцевые и золото-кварцевые линзообразные жилы в контактах пород и тектонических швах.

Штокверки представлены линейным и лестничным типами. Линейные штокверки развиты в силлах порфириформных диоритов (золото-, золото-актинолит-, золото-сульфидно-, золото-карбонат-кварцевые); в андезито-базальтовых порфиритах, скарнах, скарнированных и

окварцованных породах Солгонской интрузии локализуются штокверки с золото-кварцевым составом прожилков. Лестничные штокверки развиты в дайках различного состава и возраста.

Сульфидные линзы и участки гнездо-во-прожилково-вкрапленной сульфидизации в виде согласных залежей развиты в контактах порфиroidных диоритов и андезито-базальтовых порфиритов и секущих тел — в диорит-порфиритах, андезито-базальтовых порфиритах, известняках.

Для золото-кварцевых жил характерна плитообразная форма, небольшая мощность (0,2—0,5 м), длина по простиранию от 25—50 м до 140—165 м, средние значения содержаний золота; по падению они выклиниваются на глубине 50—60 м.

Выработанные золото-сульфидно-кварцевые жилы отличались более высокими содержаниями золота и размерами (мощность до 1,5 м, протяженность до 220 м, длина по падению 80—90 м). Содержание сульфидов достигало 3—5 %; наряду с золото-кварцевым развиты также кварц-пирротинный и кварц-халькопирит-теллур-висмутный парагенезисы.

Жила Масловская-1, для которой характерно сочетание стволовой жилы и зон прожилкового окварцевания, имеет крайне изменчивую морфологию: раздувы до нескольких метров сменяются пережимами до 0,25 м, либо плитообразными участками. Общая форма рудного тела — уплощенный конус.

Месторождение Масловское-2 расположено большей частью в лежачем боку Масловского разрыва и силла порфиroidных диоритов и рассматривается как продолжение на глубину жилы Масловская-1. Оно включает 18 рудных тел и приурочено к узлу сопряжения дайки порфиroidных диоритов северо-западного падения и серии продольных и диагональных разрывов юго-восточного падения (см. рис. 3). Все рудные тела слепые, форма их неправильная, близкая к линзовидной, иногда изометричная. Минеральный состав руд — золото-кварцевый, с небольшим количеством сульфидов (пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит). Золото свободное, ассоциирует с кварцем, распределение его неравномерное.

Штокверк Подлунный Голец — наиболее крупный объект рудного поля. Он расположен в центральной его части и приурочен к подковообразному изгибу Подлунного массива порфиroidных диоритов. По мощной зоне межпластового скольжения (Подлунный разрыв) последние контактируют с андезито-базальтовыми порфиритами белоюсской толщи в лежачем боку, а с висячего бока перекрываются углисто-кремнистыми сланцами, кислыми эффузивами и их туфами полуденной свиты. Залежь порфиroidных диоритов пересекает мощное (до 50 м) субсогласное тело спилитовых диабазов и дайку диорит-порфиритов-1. Все перечисленные образования рассеяны многочисленными дайками габбро-плагиигранитного комплекса. Обогащенные участки штокверков обычно тяготеют к верхней части рудных тел, где проявляется экранирующая роль сланцев, известняков или крупных тектонических трещин. Особый интерес представляют участки, где дайки диорит-порфиритов срезаются силлами порфиroidных диоритов-1. В последних развивается густое кварцевое прожилкование с высоким содержанием золота (месторождения Северная зона, Подлунный Голец, Апрельское — рудное тело 10).

Золото-кварцевые прожилки наблюдаются почти во всех породах, но наиболее обогащена ими центральная часть силла диоритов. Форма штокверка — уплощенный конус с вершиной, направленной вниз.

Сульфидов в прожилках не более 1 %, преобладает пирит, реже пирротин и халькопирит, спорадически присутствуют арсенопирит, сфалерит, галенит и теннантит. Золото в виде самостоятельных выделений образует редкую рассеянную вкрапленность, реже — небольшие гнезда, связано преимущественно с кварцем, но концентрируется не только в нем, но и в тонких актинолитовых, карбонатных, сульфидных и даже неминерализованных трещинах. Характерно отсутствие видимой гидротермальной проработки залежандов кварцевых жил и прожилков.

Линзовидные залежи минерализованных скарнов контролируются разломами северо-западного простирания, вдоль которых происходило дробление

интрузивных и вмещающих их пород. На магнетитовые скарны после повторного их дробления по проницаемым зонам накладывалось золотое оруденение.

Калиостровский участок представлен серией скарново-магнетитовых линз (Южная, Северная, Центральная, Промежуточная, Западная, Восточная) с наложенным золото-кварцевым оруденением. Линзообразные магнетитовые тела тяготеют к контакту известняков с кислыми эффузивами, порфиритами средне-основного состава, редко отмечаются магнетитовые прожилки среди интрузивных пород. Протяженность тел до 150 м. По составу выделяются диопсидовые, скаполит-гранат-диопсидовые, геденбергит-андрадитовые, волластонитовые скарны, по ним развиваются эпидот, хлорит, серицит, кальцит.

В последние годы разрабатываются слепые рудные тела, представленные штокверками лестничного типа в дайках диорит-порфиритов. Они отличаются жестким структурным контролем — ориентированы почти вкрест простирания даек и не выходят за их пределы. Золото свободное и связано с кварцем, содержание неравномерное и составляет 4,4—9,6 г/т.

В целом разнообразие морфологических типов оруденения месторождения Коммунар и условия их локализации обусловлены в основном двумя факторами:

1 — анизотропией вмещающей среды: оруденение локализуется практически в любых согласных и рвущих вулканогенно-осадочных разрезах субвулканических и субинтрузивных образованиях, отличающихся относительной хрупкостью и другими физико-химическими свойствами от вмещающих образований и являющихся в связи с этим коллекторами трещиноватости, — силлах, сериях даек, штоках; при этом важным дополнительным фактором, благоприятным для формирования наиболее обогащенных участков, является экранирующая роль прослоев углисто-кремнистых сланцев и известняков верхней толщи, тектоническая глинка;

2 — геометрией рудовмещающего пространства, каркасом тектонических нарушений.

**Метаморфические и гидротермаль-**

**но-метасоматические образования.** Рудное поле контролируется метаморфическими ореолами сложного строения, обусловленными совокупным проявлением метаморфизма различной природы — регионального, контактового и гидротермально-метасоматического.

В процессе регионального метаморфизма зеленокаменному перерождению подверглись не только габбро-диориты коммунаровского комплекса (называемого часто зеленокаменным), но и вмещающие их породы. Изменения при этом состоят в деанортитизации плагиоклазов до олигоклаз-альбита и альбита, замещении авгита уралитовой роговой обманкой (ее волокнистой разновидностью, близкой к актинолиту), хлоритом, эпидотом; из первичных минералов устанавливаются оливин, апатит, магнетит. Эти изменения служили фоном для контактово-метаморфических и гидротермально-метасоматических изменений — актинолитизации, березитизации, карбонатизации.

С влиянием теплового фронта Солгонской интрузии связано формирование зонального ореола термального метаморфизма. Во внешней зоне ореола за пределами и на флангах рудного поля «неизменные» габбро-диориты и порфировидные диориты представляют собой породы, претерпевшие низкотемпературный регрессивный метаморфизм. В центральной части рудного поля, т.е. промежуточной зоне ореола, исходные темноцветные минералы не сохраняются, кроме ядер пироксена. Постериорные темноцветные минералы представлены желто-зеленым актинолитом-1 или роговиковым пироксеном (до 20 м от контакта с Калиостровской интрузией), мелкочешуйчатым биотитом и сине-зеленым лучистым актинолитом-2. В участках развития золотого оруденения количество последнего достигает 30—50 %, за границами рудной полосы в СВ направлении количество актинолита резко падает, с одновременным увеличением роли хлорита, эпидота, и далее — хлорита и карбоната. В контактовой зоне с Калиостровской интрузией (во внутренней зоне ореола) актинолит-1 уничтожается ороговикованием, появляется роговикового



облика пироксен, амфибол и биотит блас-тозного облика. Мелкочешуйчатые биотит и актинолит-2 развиваются по амфиболлизированным породам.

По А.Ф.Коробейникову [5,6], актинолитизация боковых пород, сопровождающая штокверковую золото-кварцевую минерализацию высокотемпературной стадии (380—250°), — это своеобразный, предшествующий периоду жильного выполнения, метасоматоз пород, наблюдающийся в породах зеленокаменного комплекса. Актинолит-2 образует околожильные линейные ореолы вблизи золотоносных кварцевых жил и прожилков, линзовидные, прожилковые обособления и вкрапленность, примазки вдоль «сухих» трещин, развивается на продолжении кварцевых прожилков. Постоянно отмечается пересечение амфиболовых обособлений кварцевыми прожилками. Золото размещается в кварцевых и актинолитовых прожилках и на контактах с амфиболлизированными породами.

Околожильные изменения в лестничных штокверках даек на верхних горизонтах визуально не фиксируются, на нижних вдоль отдельных прожилков наблюдаются зонки осветления. Микроскопически у экзоконтактов золото-кварцевых жилок отмечаются новообразования кварца, сульфидов, хлорита, кальцита, эпидота.

Березитизация сопровождается кварцево-шеелитовую и кварцево-сульфидную минерализацию среднетемпературной стадии (280—200°), карбонатизация — кальцит-кварц-хлоритовую низкотемпературной стадии (220—90°).

В целом в результате суммарного проявления комплекса метаморфических преобразований главными новообразованными минералами во вмещающих породах рудного поля являются: 1) актинолит-1 или уралитовая роговая обманка, образованные под влиянием теплового потока, предшествовавшего внедрению Солгонской интрузии; 2) мелкочешуйчатый биотит; 3) лучистый актинолит-2, образование которого непосредственно предшествовало золотому оруденению. Внутри этого сложного ореола золотое оруденение занимает узлокальные зоны, «струи» и участки, которые контролируются геолого-струк-

турными и физико-химическими факторами и фиксируются интенсивным развитием актинолита-2, на чем основан один из методов локального прогноза.

**Минеральный состав руд и зональность оруденения.** По минеральному составу месторождения Коммунарковского рудного поля относятся к золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формациям и характеризуются общностью минерального состава жил и прожилков, небольшим количеством рудных и жильных минералов.

Из жильных минералов в рудах отмечаются: кварц, актинолит, карбонат, хлорит, эпидот, мусковит, реже — альбит; из рудных присутствуют золото, ильменит, магнетит, пирит, халькопирит, пирротин, арсенопирит, висмутин, теллуrowисмутит, гематит, сфалерит и другие.

По минеральному составу Г.П.Кругловым [9] выделяются золото-кварцевые, золото-сульфидно-кварцевые, золото-кварц-магнетитовые и золото-сульфидные типы руд, отличающиеся количеством кварца и сульфидов, составом продуктивных парагенезисов, степенью золотоносности и другими характеристиками.

**Золото-кварцевые** руды содержат примерно 97 % кварца, 0,5—1 % сульфидов, представленных пиритом, пирротин, халькопиритом, арсенопиритом. Золото локализуется в основном в кварце, в единичных сростаниях наблюдается с пиритом и халькопиритом (до 2,5 %). Этот тип характерен для штокверковых руд месторождения Подлунный Голец.

**Золото-сульфидно-кварцевые** руды содержат от 5 до 20 % сульфидов. Их промышленная ценность связана с золото-кварцевой и золото-халькопирит-теллуrowисмутовой минерализацией в кварце. Типоморфными минералами являются халькопирит и теллуrowисмутит. В кварце локализуется 75 % золота, в ассоциации с рудными минералами около 25 %. Оно образует в сульфидных мельчайшие каплевидные выделения размером 0,1—0,8 мм, проба 750. Подобный тип руд наблюдается в жилах северо-западного участка рудного поля.

**Золото-кварц-магнетитовые** руды содержат золото в трещинках, выполнен-

ных кварцем или в виде вкрапленности в скарных минералах и в магнетите. Золото здесь крупнее, чем в первом типе руд. На золотины размером более 1 мм приходится 65 % всего золота, 1—5 мм — 15 %. Этот тип руд присутствует в Калиостровском месторождении.

*Золото-сульфидные* руды, в основном пирротинового состава, с незначительным количеством пирита, реже — халькопирита, не имеют промышленного значения в связи с низкими содержаниями золота.

Выделяется два структурно-обособленных и лишь локально совмещенных минеральных комплекса, соответствующих двум этапам минералообразования. В I этап — промышленного оруденения — формируется ранний минеральный комплекс, слагающий жилы, штокверки и наложенный на магнетитовые скарны золото-(сульфидно)-альбит-актинолит-кварцевый. Он включает золото-(альбит)-актинолит-кварцевую, золото-кварцевую, золото-сульфидно-кварцевую и золото-хлорит-кальцит-кварцевую минеральные ассоциации. Во II этап — непромышленного оруденения — вдоль тектонических нарушений северо-восточного простирания и по дайкам, секущим золоторудные тела, развивается серебро-галенит-сфалерит-кварцевый слабо золотоносный минеральный комплекс, представленный минеральными ассоциациями: золото-шеелит-кварцевой, галенит-сфалерит-кварцевой с низкими содержаниями золота и повышенными концентрациями серебра. При наложении на руды I этапа эта минерализация попадает в контур промышленного оруденения.

Пострудные ассоциации третьего этапа представлены кварц-карбонатными и кварц-карбонат-пренитовым парагенезисами.

Как показали исследования А.Ф.Коробейникова, свободное высокопробное золото присутствует в четырех ассоциациях раннего комплекса, размещается преимущественно в кварце, актинолите и боковых породах, пространственно чаще всего обособляясь от сульфидов. В сростаниях золота наблюдается только с пиритом, пирротинном, арсенопиритом и теллуру-висмутитом. В единичных случаях обнаружи-

ваются выделения низкопробного золота в пирите, пирротине, галените и сфалерите. По размерности выделяется пять классов золота (мм): 1) 0,005—0,01; 2) 0,01—0,05; 3) 0,05—0,1; 4) 0,1—1,0; 5) 1—5. Основная масса золотин принадлежит к третьему и четвертому классам. По морфологии в штокверковых рудах преобладают золотины пластинчатой и листовато-дендритовых форм, в жилах с друзовидной текстурой кварцевого агрегата — комковидной, толстотаблитчатой, столбчатой форм, а также кристаллической; в скарно-магнетитовых линзах золотины имеют толстотаблитчатую, короткостолбчатые комковидные и кристаллические формы. По особенностям состава золото штокверковых и жильных месторождений идентично, средние содержания золота, серебра и меди соответственно составляют (%): 97,04, 2,87, 0,08 и 96,82, 3,21, 0,08. Вариации пробы золота сравнительно невелики: от 920 до 990. Золото кристаллизовалось из раствора последним — мелкие золотины иногда включены в кальцит и приурочены к плоскостям спайности или к двойниковым швам минерала.

В золото-серебряном минеральном комплексе золото устанавливается только в протолочках. По пробе выделено две его разновидности — высоко- и низкопробное; вторая разновидность (содержание золота — 73,05 %, серебра — 25,93 %) встречается только в жиле Каменистой на северо-западе рудного поля. Н.А.Фогельман отмечает присутствие в галенитсодержащем кварце алтаита и гессита.

В этап метасоматоза, предшествовавшего золотому оруденению, растворы характеризовались хлоридно-магнезиально-натриевым составом и имели температуру от 630 до 270°, а в кварцево-золоторудный этап — сероводородно-гидрокарбонатно-натриевым при температуре 360—80°C.

В размещении рудных тел различного состава и морфологического типа наблюдается латеральная и вертикальная зональность. Латеральная зональность выражена по отношению к Солгонскому массиву. В юго-восточной части рудного поля развиты золотосодержащие скарные линзы с наложенным окварцеванием

и золотым оруденением, которые тяготеют к эндо- и экзоконтактной зоне Калиостровского интрузива. Западнее, в центральной части рудного поля, доминируют штокверковые кварцево-прожилковые руды, при этом ближе к интрузиву в них широко развит актинолит и меньше сульфидов, тогда как еще западнее, на Масловском участке, актинолита меньше, но больше сульфидов и хлорита. В северо-западной части рудного поля преобладают кварцево-жилвные рудные тела с заметным содержанием сульфидов.

В вертикальном разрезе золото-сульфидно-кварцевый жилвный тип оруденения сменяется с глубиной золото-кварцевыми штокверково-жилвными рудными телами в силлах порфировидных диоритов, приуроченными к контакту двух толщ. Ниже этой границы золото-кварцевое оруденение концентрируется в основном в виде лестничных штокверков в дайках диорит-порфировидных, спилитовых диабазов и порфировидных диоритов-2. По аналогии с другими объектами на глубине предполагается возможность появления зон смятия с прожилково-вкрапленным кварцево-сульфидным оруденением. Масштаб оруденения с глубиной резко падает, снижаются и качественные характеристики рудных тел. Общий реальный размах оруденения 500 м в интервале глубин 1300—800 м, вертикальный размах минерализации составляет 800 м в интервале глубин 1300—500 м, а с учетом эродированной части — 900—1000 м, в интервале 1400—500 м. В случае продолжения оруденения на глубину на 100—150 м перспективы его невелики в связи с общим сокращением площади его развития, мелким масштабом рудных тел и снижением содержания золота.

**Генезис золотого оруденения.** Коммунар относится к категории объектов, для которых характерна сконцентрированность в сравнительно небольшом пространстве процессов многоактного магматизма, контактового метаморфизма, постинтрузивного-предрудного метасоматоза и полиэтапного оруденения. По вопросу связи оруденения с тем или иным магматическим комплексом существуют разные точки зрения. Еще В.А.Обручев и

П.П.Гудков, а позже Д.И.Калинников, Н.А.Фогельман и другие высказывались за связь оруденения с Солгонским гранитоидным батолитом. А.Я.Булынников и П.Ф.Иванкин обосновывали парагенетическую связь оруденения с коммунаровским комплексом малых интрузий порфировидных диоритов, Д.А.Лобанов — с Калиостровской интрузией — добатолитовой, по его мнению, относительно Солгонского массива, что само по себе также является спорным вопросом. Существуют и иные генетические схемы.

В настоящее время господствует точка зрения о парагенетической связи золотого оруденения с мартайгинским габбро-диорит-плагиогранитным интрузивным комплексом, представленным на площади месторождения Солгонским интрузивным массивом сложного состава и строения. Аргументы в пользу этой гипотезы детально рассмотрены А.Ф.Коробейниковым [6—8].

Характер распределения золота и халькофильных элементов в породах и минералах Солгонской интрузии, близкие содержания в базальтоидах региона привели к выводу о формировании мартайгинского габбро-диорит-плагиогранитного комплекса из гранитоидной магмы, возникающей в результате дифференциации селективных базальтоидных выплавов из мантийного вещества.

На основе анализа статистических параметров распределения золота в метасоматитах А.Ф.Коробейниковым высказано предположение, что при щелочном метасоматозе происходит перераспределение и частичный вынос металла, в результате чего могли возникнуть убого-золотоносные вкрапленно-прожилковые руды в зонах альбитизации.

Результаты геохимических съемок Ю.П.Трошина и др. показали, что наибольшее распространение в районе имеют ореолы золота, приуроченные в основном к околинтрузивному пространству гранитоидных батолитов и крупным тектоническим нарушениям. Наиболее крупное по размерам на рассматриваемой площади аномальное поле золота контролируется Солгонской интрузией. Наиболее высокие концентрации (свыше 10 мг/т) обра-

зуют разобщенные мелкие участки. Все объекты Коммунарковского рудного узла расположены во внутренней зоне околоинтрузивного ореола золота.

Вблизи контакта с батолитом в полосе шириной 0,5—1 км находится отрицательная аномалия золота. Положительные аномалии связаны с телами пород коммунарковского комплекса, контролирующими месторождения и рудопроявления золота. Сочетание отрицательных и положительных аномалий золота, т.е. участков его выщелачивания и сегрегации, подтверждает идею о перераспределении золота в процессах постинтрузивного метаморфизма и метасоматоза, а также позволяет ряду исследователей выдвинуть гипотезу об источнике золота для рудных объектов в виде вмещающих пород метабазальтового состава.

Последовательность формирования геологических комплексов и процессов преобразования пород, по мнению авторов, выстраивается следующая:

комплекс субвулканических тел и даек диабазовых порфиритов, спилитовых диабазов, пироксеновых порфиритов;

коммунарковский «зеленокаменный» габбро-диоритовый комплекс, представленный дайками диорит-порфиритов-1, силлами порфиридных диоритов-1, дайками порфиридных диоритов-2, силлами габбро-диоритов и диоритов-2;

региональный постмагматический низкотемпературный метаморфизм регрессивного типа;

ореол амфиболитизации-1 в поле действия теплового потока, предшествующего внедрению Солгонского гранитоидного массива мартайгинского интрузивного комплекса;

мартайгинский габбро-диорит-плагιοгранитный комплекс, с формированием гибридных пород повышенной основности в краевой части массива и в тектонически ослабленных зонах (Калиостровский выступ Солгонской интрузии), с контактовым ореолом роговиков, известковых скарнов и метасоматитов;

дайки амфибол-плагноклазового монцонит-порфиривого ряда, связанные с мартайгинским интрузивным комплексом; магнезиальные скарны и магнетитовые

линзы в контакте с Калиостровским выступом Солгонской интрузии;

предрудный хлоридно-магнезиально-натриевый метасоматоз с формированием ореола актинолита-2;

первый золоторудный этап промышленного оруденения, формирующий жильные и штокверковые руды, а также наложенную на магнетитовые линзы золоторудную минерализацию;

дайки ряда кварцевого диорита, малхита, сиенито-диорита;

второй золото-серебряный этап непромышленной минерализации, парагенетически связываемый предположительно с предшествующим ему внедрением даек;

постзолоторудный этап прожилковой кварц-карбонат-пренитовой и цеолитовой минерализации.

В целом пространственно-временные соотношения процессов магматизма, метаморфизма и оруденения, их многократная перемежаемость, петрогеохимические характеристики и другие факторы свидетельствуют в пользу парагенетической связи оруденения с многофазным формированием плутона и его дайковых серий, длительного развития рудно-магматической системы и ее принадлежности к внутривулканскому ряду, в типизации РМС П.Ф.Иванкина [2].

**Прогнозная оценка перспектив Коммунарковского рудного поля.** Коммунарковское месторождение в известных экономических границах и упомянутых выше геологических границах занимает площадь всего  $2,5 \times 0,7 = 1,75 \text{ км}^2$ ; площадь же распространения признаков оруденения коммунарковского типа, по мнению Б.Д.Васильева, составляет не менее  $30 \text{ км}^2$ . Несмотря на кажущиеся площадные перспективы, за пределами известной части месторождения до настоящего времени не выявлено ни одного рудного тела с промышленными параметрами, хотя поисковые работы в этом направлении проводились неоднократно.

К прогнозной оценке перспектив Коммунарковского рудного поля подходили разными способами.

Один из ранних (50-х годов) прогнозов Н.А.Фогельман и А.Е.Шабаловского [12] основан на том, что силлы габбро-диоритов рассматривались как диоритизированные

«продуктивные горизонты» стратиграфического разреза вулканогенно-осадочных толщ, потенциально перспективные на многоярусное оруденение. *Идея о ярусном строении* рудного поля позволяла расширить перспективы оруденения, но в то время она не нашла подтверждения, однако, на наш взгляд, эта идея не потеряла актуальности и заслуживает «реабилитации».

*Морфогенетический метод* изучения и прогнозной оценки рудных полей и месторождений, разработанный в СНИИГИМСе под руководством П.Ф.Иванкина и проиллюстрированный на примере отдельных залежей Коммунара [3], применен в восьмидесятые годы Ю.Г.Бородой и Т.А.Ананьевой. Месторождения рудного поля рассмотрены в единой совокупной рудно-магматической системе: фронтальная зона объединяет жилы Подоблачного Гольца; прифронтальная наиболее расширенная часть фигуры рудного поля — штокверковые рудные тела в интервале 1100—900 м; прикорневая — в отметках 700—650 м — суженная часть фигуры рудного поля включает оруденелые дайки с лестнично-штокверковым типом оруденения. На основе отстроенного контура золотого оруденения, продолжающегося ниже отметки 800 м, был дан прогноз продолжения на глубину не менее чем на 100 м месторождений Масловское, Апрельское, Центральное (что было подтверждено результатами эксплуатационных работ 90-х годов).

Л.А.Сазонов подошел к оценке перспектив Коммунарского рудного поля с позиций *топоморфоструктурного анализа*, в его модификации, основанной на дешифрировании рельефа топокарт, выявлении и интерпретации линейных и площадных рудоконтролирующих и рудокализирующих структур [11]. Согласно примененной методике анализа топорельефа, Коммунар представляет собой секториальный фрагмент купольной структуры, диаметром до 20 км. Этот фрагмент выдвинут за контуры купола (за счет флюидорасширяющего эффекта рудно-магматической системы). В общей структуре купола выделяется по аналогии еще два таких фрагмента, представляющих собой, по

мнению Л.А.Сазонова, не вскрытые денудационными процессами рудные поля. Прогнозируемые площади, где оруденение предполагается на глубинах от 200 до 1000 м, отличаются также благоприятными фациями метасоматитов и геохимическими аномалиями.

Способ *узколокального прогноза* оруденения, примененный Б.Д.Васильевым, основан на выявленном им закономерном характере распределения предрудного актинолита-2 в дорудных дайках в виде струй мощностью 15—35 м, расположенных с шагом 60—70 м и прослеживающихся через все горизонты. Степень «проработки» даек от 15 до 40 %. Совмещение рудных тел с этими «струями» амфиболизации при выдержанности последних на глубину позволяет рекомендовать разведку даек на более глубоких горизонтах для оценки их золотосодержания. Выявленная на примере Масловских силла и дайки закономерность нашла подтверждение в дайках Северная-2 и Центральная.

Использованный нами для анализа перспектив *метод геолого-структурного анализа* основан на палеорекострукции разреза и применении критериев, описывающих геолого-поисковую модель оруденения Коммунара. Основные критерии и признаки, благоприятные для локализации оруденения, состоят в следующем:

экзоконтактовая зона батолита, в пределах которой оруденение сосредоточено во внутренней зоне геохимического ореола золота;

горст-антиклинальная структура, разбитая дополнительно на блоки, в результате перемещения которых на поверхность выводится контактовая зона двух толщ;

связь оруденения с телами габбро-диоритового комплекса и приуроченность ряда этих тел к контакту толщ;

интенсивное развитие разновозрастных даек;

узлы сопряжения разрывных нарушений северо-западного, северо-восточного, субмеридионального направлений с дайками, силлами и контактом толщ;

ореолы предзолоторудного актинолита-2;

экранирование оруденения уместо-кремнистыми и известняковыми прослоями верхней толщи;

локализация оруденения на определенном гипсометрическом уровне (1400—500 м), обусловленном, очевидно, параметрами развития рудно-магматической системы;

геохимические ореолы зонального строения, сопровождающие рудное поле, отдельные месторождения и рудные тела.

На западном и восточном флангах рудного поля присутствуют по крайней мере три благоприятных фактора: наличие в разрезе участков коммунаровского габбро-диоритового рудовмещающего комплекса, размещение участков внутри ореолов актинолита-1 и -2 и в благоприятном гипсометрическом интервале.

На западном фланге размещается Таисыйнский участок с выходящими на поверхность кварц-золоторудными жилами в силле габбро-диоритов, который залегает здесь в разрезе верхней толщи. Помимо вероятности нахождения слепых рудных тел в погружающейся его части, возможно присутствие на этом участке и контактового силла; кроме того, на Таисыйнский участок протягивается пояс даек с площади Коммунарского рудного поля. Таисыйнский участок вписывается во фронтальную зону рудно-магматической системы (рис. 4).

Восточный фланг, прилегающий с востока к Сактычуль-Федоровскому разлому, отвечает одному из перспективных участков, выделенных Л.А.Сазоновым.

При анализе перспектив месторождения на глубину всегда вставал вопрос о возможности обнаружения оруденения висячем боку Центрального разрыва (см. рис. 4). В лежащем боку последнего, в западном блоке, имеются золоторудные подсечения скважинами в интервале отметок 750—500 м. В восточном же блоке, заключенном между пологим Подлунным и более крутым Центральным разрывом ниже горизонта шт. 15 (900 м) не зафиксировано ни одного рудного подсечения. Анализ возможных перемещений по названным разрывам позволяет предположить величину амплитуды взброса восточного блока по Центральному разрыву не менее 200—

250 м. В этом случае можно полагать, что в целом «средние» горизонты восточного блока соответствуют по геологическому положению «нижним» горизонтам западного, но тем не менее не перекрывают всего вертикального интервала минерализации западного блока. Второй вопрос, возникающий при сравнении этих двух блоков месторождения, касается обилия в западном и отсутствия (необнаружения?) в восточном блоке системы минерализованных даек — одного из видов рудных тел на глубоких горизонтах месторождения Коммунар. Наличие хорошо выраженного «яруса» с оруденением штокверкового типа в восточном блоке как будто не дает оснований предполагать меньшую степень его тектонической проработки и подготовки для минерализации. Однако этот факт не нашел пока достоверного объяснения (кроме меньшей степени разведанности и изученности). На сегодняшний день этот вопрос остается открытым.

По длительной и сложной истории формирования структуры, сближенности в пространстве процессов магматизма, метаморфизма и оруденения, сконцентрированности их на сравнительно небольшой площади, Коммунарское рудное поле сопоставимо с такими объектами как Многовершинное месторождение на северном окончании Восточно-Сихотэ-Алиньского вулканоплутонического пояса и Чадакское рудное поле — в Восточно-Кураминском вулканоплутоническом поясе. Их объединяет размещение в экзоконтактовой зоне крупного плутона, проявленная относительно последнего минеральная и метасоматическая зональность, наличие минерализованных даек, определенный структурный шаг в расположении рудных объектов и ряд других особенностей. Общим являются и сложные временные соотношения магматизма и оруденения, и положение последнего в вилке различных фаз интрузий и их дайковых дериватов. Своеобразие метасоматических преобразований, их магнезиально-кальциево-щелочной характер обусловлены очевидно «гибридным» составом гранитоидной магмы, вероятной ее связью с базальтоидным очагом.

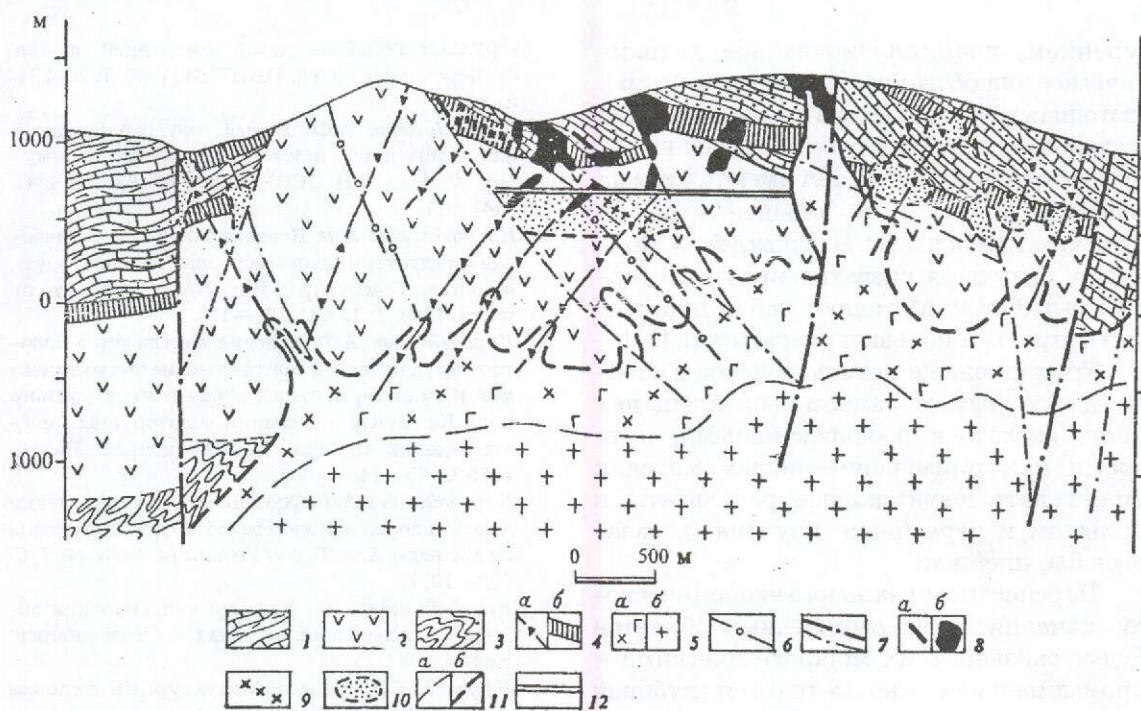


Рис. 4. Прогнозно-поисковая схема Kommunarskoye рудного поля (составлена на геологической основе Kommunarskoye ГРЭ).

Орогенный комплекс: 1 — полуденная свита; 2 — белоюсская свита; 3 — геосинклинальный комплекс, рифей—н.кембрий; 4 — коммунаровский комплекс: а — дайки нескольких генераций, б — силлы порфиридного диорита, габбро-диорита; 5 — мартайгинский интрузивный комплекс: а — породы краевых фаций Солгонского плутона — диориты, габбро-диориты, б — породы ядерной части плутона — гранодиориты, граниты; 6 — пострудные дайки; 7 — тектонические нарушения разных порядков; 8 — рудные тела: а — жилы, б — штокверки; 9 — рудные подсечения по скважинам; 10 — прогнозируемые участки; 11 — условные границы: а — краевой и ядерной части плутона, б — Солгонского плутона с вмещающей толщей; 12 — нижние горизонты горных выработок.

Объемная модель оруденения рудного поля в ее настоящем виде обусловлена не только закономерностями развития флюидно-гидротермальной системы, но и ее «приспособляемостью», т.е. взаимодействием с блоковой структурой рудного поля и структурно-литологической решеткой, или геометрией процессов разных этапов, по П.Ф.Иванкину [3].

Перспективы дальнейшего существования рудника Коммунар можно условно разделить на реальные и теоретически возможные. Первые связаны с небольшими рудными телами разных морфологических типов, которые могут быть обнаружены в процессе разведки в западном блоке на средних и глубоких горизонтах, а в восточном — на верхних и поверхности. Структурные же построения и разнообразные предпосылки оруденения свиде-

тельствуют о теоретически возможных перспективах западной и восточной периферии рудного поля.

Уместно напомнить, что на территориях исторической добычи золота степень изученности закрытых периферийных площадей, как правило, несоизмеримо ниже таковой основного объекта, особенно на скрытое оруденение. Проверка и реализация перспектив таких участков возможна как традиционными методиками, сочетающими различные виды картирования и структурных построений с бурением скважин, проходкой поверхностных и подземных выработок, так и в процессе осуществления специализированных видов работ, как, например, картирование геохимических и минералогических ореолов переотложенного вещества в пострудных дайках, жилах, нарушениях, также с заверкой подземным

бурением, специализированное литохимическое опробование (иодометрия и др.), изотопная геохимия и т.д. Предпосылки для постановки подобных работ с целью выявления скрытых рудных тел имеются как на поверхности, так и, в большей мере, на глубоких горизонтах месторождения Коммунар, благодаря разветвленной сети горных выработок. Методики работ детально рассмотрены в целевых разработках [11].

Традиционные методы поисков и оценки на закрытых залесенных площадях могут оказаться неэффективными, в то время как применение новых методик может дать неожиданные результаты и привести к переоценке изученной, казалось бы, площади.

Перспективы реального экономического значения вновь выявленных объектов будут связаны с их морфологическими и промышленными параметрами и глубиной их залегания.

Коллектив авторов признателен доктору г.-м. наук М.М.Константинову за замечания и рекомендации, полученные в процессе подготовки статьи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас морфоструктур рудных полей. Под ред. проф. П.Ф.Иванкина. — Л.: Изд-во «Недра», 1973.
2. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. О типах рудообразующих систем // Геол. рудн. м-ний. 1991. № 5. С. 3—12.
3. Иванкин П.Ф. Морфоструктурный анализ золоторудных полей — метод ускоренной оценки их перспектив // Тр. ЦНИГРИ. 1987. Вып. 221. С. 3—8.
4. Коробейников А.Ф. Новый тип околорудного изменения пород в золоторудном поле Коммунар // Докл. АН СССР. 1968. Т. 182. № 4. С. 914—917.
5. Коробейников А.Ф. Контактново-метасоматические и гидротермальные образования золоторудного поля Коммунар // Изв. Томского политехн. ин-та. 1968. Т. 134. С. 128—135.
6. Коробейников А.Ф. Условия локализации золоторудения в контактно-метасоматических и гидротермальных образованиях рудного поля Коммунар / Геология золоторудных месторождений Сибири. — Новосибирск: Наука, 1970. С. 65—74.
7. Коробейников А.Ф. Особенности распределения золота в породах и минералах восточного склона Кузнецкого Ала-Тау // Геохимия. 1980. № 7. С. 999—1017.
8. Коробейников А.Ф. Условия концентрации золота в палеозойских орогенах. — Новосибирск: Наука, 1987.
9. Круглов Г.П. Геолого-структурные условия формирования и перспективы промышленного золоторудения Коммунарского рудного поля. Автореферат канд. дис. — М.: ЦНИГРИ, 1981.
10. Методические рекомендации по поискам и оценке месторождений благородных металлов в районах с недостаточно обеспеченной сырьевой базой. — М.: ЦНИГРИ, 1991.
11. Сазонов Л.А. Морфоструктурный анализ при локальном прогнозировании слепого рудения // Сов. геология. 1989. № 5. С. 15—25.
12. Фогельман Н.А., Шабаловский А.Е. Условия локализации штокверковых месторождений в пределах Коммунарского рудного поля на восточном склоне Кузнецкого Ала-Тау // Тр. Ин-та НИГРИЗолото. 1956. Вып. 21. С. 189—200.

Kosovets T.N., Vargunina N.P., Machil'sky V.A., Orlova G.Yu., Nikiforov M.Yu., Osipov L.G., Sutormin V.Ye.

The Kommunar deposit in the Kuznetsky Alatau: geology and prospects after a hundred-year mining

*The main specific features of the Kommunar ore field are due to the genetic relation of gold ores to the formation of a large granitoid pluton. Gold-bearing quartz veins, large stockworks and stepped veinlet systems occur within the circum-intrusion aureole, thus occupying favourable structural-lithological-metamorphic positions in the volcanosedimentary strata hosting the pluton. The methodology of local prediction of ore mineralization is based on the identification of regularities in mineralization zoning, morphostructural features of the study area, and a set of geology-exploration criteria and indicators. The prospects of the deposits are associated with the probability of finding new small orebodies of variable morphology in middle and deep horizons of the producing mine and in the section of the western and eastern marginal zones of the ore field.*



# ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 622.34(85)

© С.С.Вартанян, Л.Ф.Мызенкова, 1998

## ФАКТОРЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАЗВИТИЯ ГОРНО-РУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПЕРУ

С.С.Вартанян, Л.Ф.Мызенкова (ЦНИГРИ МПР России)

*Представлены результаты анализа состояния минерально-сырьевой базы цветных и благородных металлов Перу, тенденции развития горно-рудной промышленности страны. Показана связь развития горного производства с ростом инвестиций крупнейших горно-рудных компаний мира в геолого-разведочные работы и проекты освоения месторождений полезных ископаемых Перу. Формирование активного интереса зарубежных инвесторов обусловлено, кроме высокого потенциала минерально-сырьевой базы, созданием в последние годы благоприятного правового и налогового режимов для горных работ, стабильной политической и экономической обстановкой в стране.*

В последние годы стало очевидно, что крупнейшие горно-рудные компании Северной Америки и Австралии все в большей мере реализуют свои геолого-разведочные и добычные программы в самых различных регионах мира и особенно в Латинской Америке (Чили, Перу, Бразилии, Аргентине, Венесуэле и др.), юго-восточной Азии и Океании (в Индонезии, Папуа-Новой Гвинее, Филиппинах и др.). Недавний и продолжающийся еще в настоящее время бум (увеличение потока иностранных прямых инвестиций в горнодобывающий сектор) в некоторых странах Латинской Америки (в Чили, Перу и др.) говорит о том, что этот регион входит в число лидеров в глобализации деятельности крупных национальных и транснациональных компаний. Общий объем инвестиций на ГРП в страны Латинской Америки увеличился с 1992 г. до 1996 г. почти в 2 раза (рис. 1). На их долю в 1994—1996 гг. приходилось 27 % от общих расходов на геолого-разведочные работы 223 компаний мира (3,5 млрд. долл.), в том числе из них: 30 % — на золото и 36 % — на цветные металлы [5], то есть этот регион остается одним из главных, где сосредоточены в настоящее

время интересы ведущих иностранных горно-рудных компаний мира. Это обусловлено, с одной стороны, активной политикой правительств стран Латинской Америки по привлечению иностранных инвестиций в свою горно-добывающую промышленность, а с другой — введением в США, Австралии и Канаде целого ряда ограничительных мер правового и экологического характера, а также снижением качества их минерально-сырьевых баз.

За последние 15 лет, по данным Горного бюро США, в золоторудных месторождениях страны содержания золота снизились более чем на 50 %, а месторождения с низкой себестоимостью продукции стали редкостью. С 1993 года активно обсуждается возможность изменения Горного Закона от 1872 г., касающегося дополнительной выплаты роялти предприятиями, работающими на федеральных землях. Особенности минерально-сырьевой базы золота Канады обуславливают преимущественное развитие подземной добычи, что в условиях снижения содержания полезных компонентов, высоких капиталовложений и относительно низких цен на золото приводит

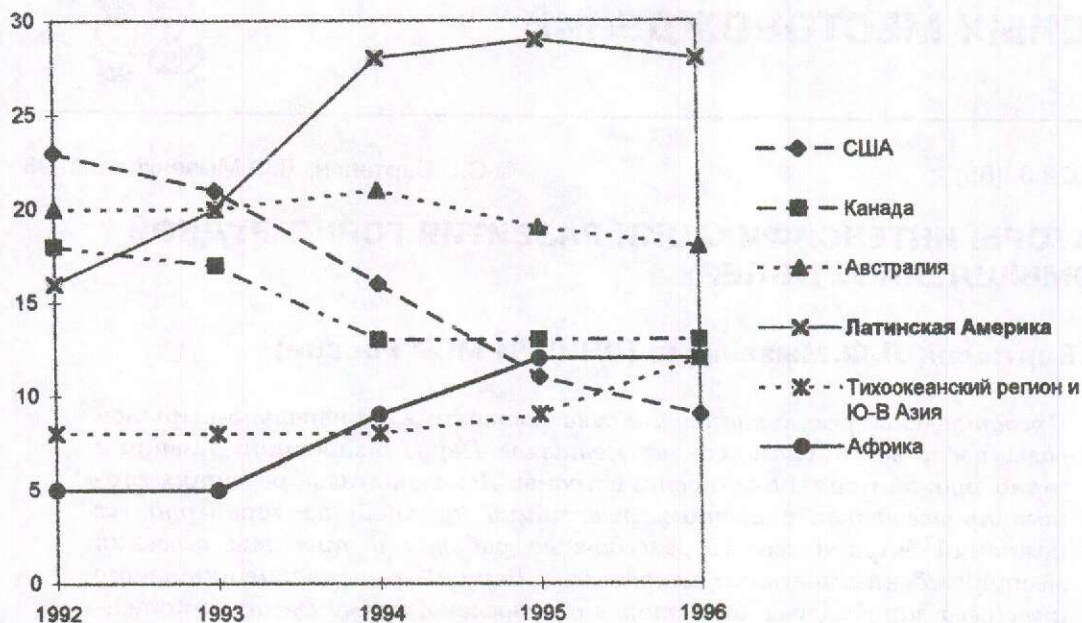


Рис. 1. Распределение затрат на ГРП (в %) в различных регионах мира за период 1992—1996 гг. [5].

к закрытию рудников с высокой стоимостью подземных разработок и сокращению ввода в эксплуатацию новых проектов. Кроме того, в 1991 г. в Канаде прекратилось действие ряда государственных программ, стимулирующих проведение геолого-разведочных работ путем обеспечения налоговых льгот для компаний, вкладывающих в ГРП часть своих прибылей. К числу серьезных проблем горно-добывающей промышленности Австралии относится проблема землевладения: принятый в конце 1993 г. закон, расширяющий права коренных жителей на землю, практически выводит около 30 % земли за пределы возможного недропользования. Кроме того, с 1991 г. отменены льготы по налогообложению золотодобычи, действовавшие с 1934 г. В результате всех перечисленных факторов многочисленные горнорудные компании Северной Америки и Австралии стали развивать геолого-разведочные и добычные работы за пределами своих стран в самых различных регионах мира.

Находящаяся в Майами *International Investment Conferences Inc.* [1, 10] в ре-

#### 1. Рейтинг инвестиционной привлекательности стран [1, 10]

Страны	1994	1995	1996	1997
Чили	2	5	2	1
Бразилия	13	2	4	2
Перу	1	4	3	3
Аргентина	9	1	1	4
Мексика			6	5
Индонезия	10	8	5	6
Гана	7	6	7	7
ЮАР	25	7	15	9
Россия	24	10	11	10

зультате проведенного опроса аналитиков горной промышленности по всему миру определила те страны, которые представляют наибольший интерес для инвестиций. Из общего количества — 140 стран — аналитики четвертый год подряд выбирают несколько стран Латинской Америки, а именно: Чили, Перу, Бразилию и Аргентину (табл. 1). Так, в 1996 году из иностранных инвестиций, направляемых на геолого-разведочные работы в латиноамериканские страны, максимальная доля принадлежала Перу и Чили (рис. 2).

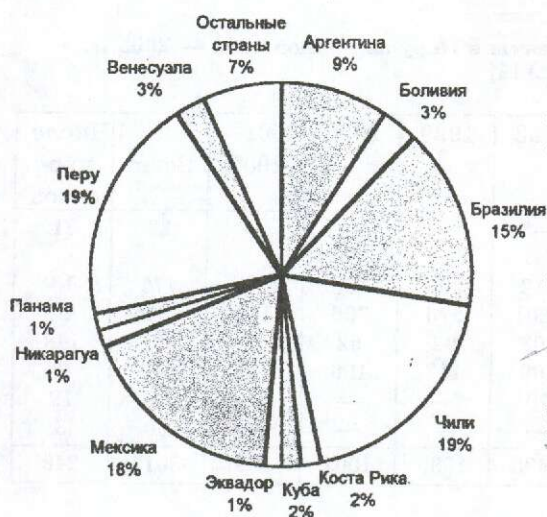


Рис. 2. Распределение инвестиций на геолого-разведочные работы в странах Латинской Америки в 1996 г. (106 компаний с суммарным бюджетом 876,9 млн. долл.) [5].

К середине XX века Перу уже располагала большим числом рудных месторождений цветных и благородных металлов и являлась одной из ведущих стран мира по их запасам. Однако в течение многих лет, вплоть до последнего десятилетия, отношение к ее горной промышленности со стороны иностранных компаний было негативным. С приходом к власти в 1990 г. правительства Фухимори, которое организовало выход страны из спада, эта ситуация резко изменилась.

В 1991 году правительством Перу был принят ряд законодательных актов и международных соглашений, позволяющих не только свободно инвестировать иностранный капитал в страну, но и обеспечить надежную гарантию иностранных капиталовложений [2, 6, 7, 9]. Важные позитивные изменения произошли в области налоговой системы. Таким образом, с точки зрения иностранных горно-рудных компаний, горное законодательство Перу выглядит достаточно привлекательно:

свободная репатриация капитала и дивидендов, свободный доступ инвестиционного капитала, инвестиционные средства освобождаются от таможенных пошлин на экспорт и импорт;

ставки прогрессивного налога на прибыль (6—37 %) уравниены для национальных и иностранных инвесторов;

не взимается роялти — налог за пользование недрами;

освобождение от налогов реинвестирования (до 80 % чистых доходов);

налоговые скидки для проектов, в которых предусмотрены работы, представляющие региональный и общегосударственный интерес общественных работ (шоссе, аэропорты, порты, электростанции, дома, школы, больницы);

освобождение от налога с основных средств на предэксплуатационной стадии;

отсрочка полной выплаты налоговых потерь (убытков) на срок до четырех лет после образования чистого дохода;

льготное налогообложение инвестиций в разработку месторождения полезных ископаемых;

налоговые скидки на предэксплуатационные расходы (в течение первого года или с учетом амортизации в течение не более трех лет);

налоговая стабилизация на предэксплуатационной стадии, допускающая ускоренную амортизацию техники, оборудования, строительных и других активов до 20 % максимального предела и бухгалтерский учет иностранной валюты;

в стране объявлены экономические зоны, где отменены практически все виды налогов;

зарубежным компаниям разрешено приобретать лицензии (в том числе с правом добычи) на концессии, расположенные вблизи государственных границ, что, по предварительным подсчетам, может увеличить общую площадь для проведения геолого-разведочных и добычных работ на несколько миллионов гектаров.

И уже в середине 1992 г. компания *Minera Yanacocha* утвердила подготовку к освоению золотого рудника *Carachugo*. Эти первые за более чем 20-летний период значительные иностранные инвестиции в горный сектор явились сигналом к началу горно-рудного бума в Перу, следствием которого был значительный их рост в последующие пять лет (табл. 2).

2. Динамика инвестиций на горно-рудные проекты в Перу за период 1993 — 2005 гг.  
(в млн. долл.) [4]

Полезные ископаемые	1993— 1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001— 2005	Всего	Число про- ектов
Серебро	3	11	9	—*	—	—	—	23	21
Комплексные: Pb, Zn, Cu, Ag, Au	11	31	222	212	200	100	—	776	10
Медь	536	552	1194	1201	976	706	160	5326	44
Золото	163	189	166	103	92	92	92	896	148
Железо	45	46	76	109	117	109	109	610	3
Цинк	53	109	99	70	—	—	—	331	19
Олово	46	3	1	—	—	—	—	50	3
Итого	857	941	1767	1695	1385	1007	361	8012	248

\* — нет данных

Суммарные инвестиции в горный сектор Перу в 1996 году составили 1600 млн. долл., в том числе на строительство новых рудников и расширение существующих предприятий — 1300 млн. долл. и на геолого-разведочные работы — 300 млн. долл. Сегодня геолого-разведочные и горно-добычные работы в Перу являются поистине многонациональными: здесь наряду (или совместно) с перуанскими компаниями (*Centromin, Buenaventura, Southern Peru Cooper Corp.* и др.) работают ведущие горно-рудные компании из Канады (*Barrick, Placer Dome, TVX, Echo Bay, Cominco, Teck, Cambior, Inmet, Rio Algom* и др.), США (*Newmont, Cyprus Amax, Phelps Dodge, Asarco*), Австралии (*BHP, MIM, Newcrest, RGC*), Великобритании (*Rio Tinto*), ЮАР (*Gencor*), Японии (*Mitsui Mining and Smelting*), Кореи (*LG Metals*), Бразилии (*Andrade Gutierrez Mineracao*), а также компании из Франции, Швейцарии, Китая, Чили, Мексики и Венесуэлы.

Широкомасштабные геолого-разведочные работы, проведенные в 90-х годах на известных ранее месторождениях и новых площадях, значительный приток иностранных инвестиций в строительство новых и расширение старых рудников позволили за 5 лет создать в Перу мощную и конкурентоспособную минерально-сырьевую базу цветных и благородных металлов и обеспечили стремительный подъем их производства в стране (табл. 3). Основу сырьевой базы составляют круп-

ные и уникальные золото-серебряные, медно-порфировые и полиметаллические (часто с серебром) месторождения, локализованные в породах вулканоплутонических поясов и их основания.

К настоящему времени Перу по уровням производства золота, серебра, цинка, свинца, меди, олова и других металлов занимает передовые позиции среди стран Латинской Америки и мира (см. табл. 3). Наибольший объем рудничного производства цветных и благородных металлов обеспечивается компаниями *Centromin, Southern Peru Cooper Corp., Cia de Minera Yanacocha, Buenaventura, Cia de Minas Arcata* и другими (табл. 4). Общая стоимость экспорта минерального сырья за период 1993—1996 гг. почти удвоилась: с 1431 млн. долл. до 2655 млн. долл., что составило 45 % от общего объема экспорта Перу. В 1996 г. главной статьей экспорта была медь (1052 млн. долл.), за ней следовали золото (579 млн. долл.), цинк (401 млн. долл.), свинец (274 млн. долл.) и серебро (120 млн. долл.). Устойчивое увеличение общей стоимости экспорта, по прогнозам *Ministerio de Energia y Minas (MEM)*, будет сохраняться и в последующие годы: 2960 млн. долл. в 1998 г., 3467 млн. долл. в 1999 г., 4950 млн. долл. в 2002 г., что обуславливается устойчивым ростом производства золота, серебра, меди, свинца, цинка и др.

Перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы Перу связы-

3. Минерально-сырьевая база и рудничное производство цветных и благородных металлов Перу [4]

Металлы	Запасы		Рудничное производство										
	На 01.01. 1997 г., тыс.т	Доля от общих мировых вых, %	Фактическое					Прогноз					
			1994	1995	1996	1997	Доля от мирового, %	Обеспеченность добычи запасами, лет	1998	1999	2000	2001	2002
Серебро	68,7	16,2	т 1730	1910	1970	1778	13	35	1835	2003	2067	2115	2363
Цинк	25 810,0	7,3	т 674 200	689 000	760 562	821 023	11	34	846 304	869 423	874 341	906 741	1 070 441
Свинец	12 000,0	2,2	т 216 700	232 000	248 788	250 964	9	48	255 672	257 753	259 835	260 835	262 235
Медь	103 000,0	14,7	т 364 000	405 000	484 231	484 231	5	213	484 231	568 659	572 159	667 159	1 302 159
Золото	1,2	1,3	кг 39 300	57 400	64 788	65 641	3	19	72 747	90 477	98 328	99 711	101 836

4. Запасы месторождений и рудничное производство золота, серебра, меди, свинца и цинка в ведущих горно-рудных компаниях в Перу в 1996 г. [4]

Компании	Полезные ископаемые	Запасы			Рудничное производство металла
		руда, млн. т	содержание металла	металл, т	
<i>Centromin</i>	Серебро	49	165,8 г/т	8 123	459 110 кг
	Цинк	49	6,89 %	3 376 000	299 551 т
	Свинец	49	2,35 %	1 140 000	92 984 т
	Медь	34	1,12 %	379 680	39 376 т
<i>Southern Peru Cooper Corp.</i>	Медь Серебро	1190	0,74 %	8 803 400	306 382 т 98 203 кг
<i>Cia de Minera Yanacocha</i>	Золото	122,7	1,22 г/т	150	25 183 кг
<i>Buenaventura</i>	Серебро			1208	316 630 кг
	Золото			4	2757 кг
<i>Cia de Minas Arcata</i>	Серебро	1,5	550,80 г/т	810	180 381 кг
	Золото				647 кг
<i>Soc Minera Brocal</i>	Серебро	13	117,30 г/т	1524	76 594 кг
	Цинк	13	6,34 %	825 000	30 364 т
	Свинец	13	2,63 %	342 000	16 756 т
<i>Cia de Minera Santa Luisa</i>	Серебро				50 663 кг
	Цинк	5,4	10,64 %	573 940	37 738 т
	Свинец	5,4	5,00 %	269 000	19 142 т
<i>Cia de Minera Milpo</i>	Серебро	5,5	148,40 г/т	822	94 419 кг
	Цинк	5,5	5,64 %	313 080	50 376 т
	Свинец	5,5	3,22 %	178 000	21 631 т

ваются с расширением финансирования новых горно-рудных проектов [4]. Среди наиболее значительных из них необходимо отметить следующие.

**Месторождение Yanacocha** (Сев. Анды). Владельцами являются *Newmont*, США (51,4 %), *Buenaventura*, Перу (43,4 %) и международная финансовая корпорация IFC (5 %).

Запасы золото-порфинового месторождения составляют 123 млн. т руды с содержанием золота 1,22 г/т; запасы золота — 150 т. Возможно существенное увеличение запасов золота за счет новых разведываемых площадей *Cerro Negro* и *Cerro Quillish*.

В настоящее время месторождение разрабатывается открытым способом в четырех карьерах (коэффициент вскрыши — 0,6:1). Первый из них — *Carachugo* — был введен в эксплуатацию в 1993 г. (запасы золота составляют 39,5 т), затем *Maqui-Maqui* — в 1994 г. (47,3 т золота), *San Jose* — в 1995 г. (45,1 т золота) и *Cerro Yanacocha Norte* — в 1997 г. (41,4 т золота).

К концу 1998 г. готовится ввод в строй пятого карьера *Cerro Yanacocha Sur* с запасами золота 16,8 т. Извлечение золота из растворов после кучного выщелачивания руды, не требующей предварительного дробления и окислительного обжига, осуществляется с использованием процесса *Merill-Crowe*. На руднике действует собственное плавильное производство с получением сплава доре. Рафинирование металла проводится за пределами страны.

Капиталовложения в месторождение — 240 млн. долл. — явились первыми крупными иностранными инвестициями в Перу за последние 20 лет.

*Yanacocha* — крупнейший в Южной Америке производитель золота, дающий почти половину золотодобычи Перу, характеризуется одним из самых низких уровней издержек в мире (3,1 долл./г — производственные и 5,5 долл./г — полные издержки) и стабильным ростом золотодобычи: 1994 г. — 9,5 т; 1995 г. — 17,2 т; 1996 г. — 25,2 т; 1997 г. — 31,1 т.

**Месторождение Pierina** расположено на севере центральной части Перу на высоте 4100 м над уровнем моря. Объект принадлежит канадской компании *Barrick Gold*.

Месторождение представлено прожилково-вкрапленными золото-серебряными рудами, залегающими в туфах ридацитового состава. 95 % руд являются окисленными.

Подтвержденные запасы золота составляют 202 т, серебра 1490 т. Среднее содержание золота в руде 3,2 г/т, серебра 150—300 г/т. В первые 3 года работы рудника будет обрабатываться руда со средним содержанием золота 3,89 г/т, за счет чего среднегодовая производительность рудника будет составлять 23,3 т, а в последующие годы — лишь немногим более 15,6 т/год.

В 1997 году компания *Barrick Gold* приступила к строительству рудника для открытой добычи с использованием кучного выщелачивания (капиталовложения — 260 млн. долл.). Планируемая годовая производительность переработки руды в первые годы будет составлять 6,5 млн. тонн и достигнет 9 млн. т в 2001 г. Коэффициент вскрыши — 1,4:1. Руда будет дробиться вблизи карьера, а затем транспортироваться конвейерами на 4 км к площадкам кучного выщелачивания. Проведенные опытные работы на четырех площадках кучного выщелачивания общим объемом 1000 т руды позволили достигнуть следующих показателей извлечения полезных компонентов руд: 80 % золота и 30 % серебра. Производственные издержки составят 1,61 долл./г.

**Месторождение Antamina** расположено на севере центральной части Перу, в 480 км к северо-востоку от г. Лима, на высоте более 4200 м. Права на месторождение принадлежат совместному предприятию с равным долевым участием канадских компаний *Inmet* и *Rio Algom*.

Месторождение локализовано в известняках на контакте с позднегеретичной интрузией монзонитового состава и относится к скарновому типу [8].

Общие ресурсы для открытой добы-

чи составляют 500 млн. т руды со средним содержанием меди 1,2 %, цинка — 1,0 %, серебра — 11 г/т и молибдена — 0,03 %. Подтвержденные запасы руды составляют 370 млн. т с 1,3 % меди, 0,9 % цинка и 13 г/т серебра. Коэффициент вскрыши — 2,8:1. По существующим ценам общая стоимость металлов в недрах превышает 20 млрд. долл. Планируется годовое производство 1,5 млн. т концентратов, содержащих 300 000 т меди и 270 000 т цинка, причем попутно будет извлекаться серебро и молибден. В подготовку добывающего предприятия предполагается вложить 2,5 млрд. долл.

В процессе развития проекта, на разработку ТЭО которого затрачено 17 млн. долл., предполагаются значительные средства на строительство 60 км дороги, 230 км трубопровода для транспортировки концентратов, 50 км линий электропередач, реконструкция порта для отправки концентратов и др.

**Месторождение Iscaucruz** расположено в центральной части Перу к северу от г. Лима и принадлежит канадской компании *Glencore* (45 %) и перуанским компаниям *Perubar* (30 %) и *Minero Peru* (25 %).

Запасы месторождения составляют 2,7 млн. т руды со средним содержанием цинка 21,4 % и свинца 2,2 %; запасы цинка — 540 тыс. т. Благодаря столь высоким концентрациям цинка в рудах это месторождение стоит на втором месте по богатству руд среди цинковых месторождений мира.

Эксплуатационные работы здесь начались в конце 1996 г. с производительностью фабрики 1450 т руды в сутки. В 1997 г. было переработано 460 000 т руды и произведено 145 000 т цинка и 5 000 т свинца в концентрате.

В настоящее время завершается монтаж дополнительных флотационных установок для более эффективного обогащения цинковой руды. Полученный концентрат транспортируется по трубопроводу длиной 24 км в г. Чурич для его последующей переработки. Завершена прокладка линии электропередач, что в 3,5 раза сократило энергетические затраты на участке

работ с 0,16 долл./кВт·час до всего лишь 0,045 долл./кВт·час.

**Месторождение La Granja** расположено в 800 км к северу от г. Лима и является одним из 10 крупнейших месторождений меди в мире.

Продуктивная медная минерализация локализуется в штокверке, расположенном в известняках и мраморах на контакте кварц-порфирирового штока позднемиоценового возраста [8].

При бортовом содержании меди в рудах 0,4 % разведанные запасы оцениваются в 2500 млн. т руды со средними содержаниями меди 0,61 %, золота 0,04 г/т, серебра 3,88 г/т и цинка 0,12 %; запасы меди составляют 15 250 тыс. т.

Ожидаемое годовое производство составит примерно 900 000 т медных концентратов с содержанием 27—32 % меди, а также 35 000 т катодной меди.

На первую стадию развития проекта освоения месторождения от его владельца канадской компании *Cambior* (100 % участия) потребуются инвестиции в размере 2,5 млрд. долл., в ходе освоения планируется подготовка карьера и строительство концентратора. Для транспортировки концентратов предусмотрено строительство 270-километрового трубопровода в порт Байовар, в районе которого существует завод, где будет осуществляться их плавка и рафинирование. Кучное выщелачивание планируется начать спустя два года после начала производства с использованием концентратора.

**Месторождение Cerro Verde** расположено на юге страны, в 30 км к юго-западу от г. Арекипа, на высоте 2700 м. Преимущественное право на объект (82,4 %) имеет американская компания *Cyprus Amax*. Кроме того, совладельцами месторождения являются перуанская компания *Vienaventura* (9,2 %) и сотрудники рудника (8,4 %).

Медно-порфирировое месторождение Cerro Verde представлено штокверком (3400 × 1000 × 500 м), локализованным в штоке дацитовых порфириров [8, 3]. Запасы руды составляют 782 млн. т со средним содержанием меди 0,68 %, запасы металла 5317,6 тыс. т.

Планируемые инвестиции в проект развития, начиная с 1993 г., составляют 485 млн. долл. Широкомасштабное расширение и модернизация рудника были завершены в 1996 г., и в настоящее время он производит 55 000 т меди в год. По объемам перерабатываемой руды методом кучного выщелачивания (1,2 млн. м<sup>3</sup>) рудник Cerro Verde является крупнейшим в мире.

В заключение еще раз подчеркнем несколько главных факторов, влияющих на формирование конкурентоспособного положения горно-рудной промышленности Перу (и многих стран Латинской Америки) и определяющих относительно повышенную результативность потока иностранных прямых инвестиций в ее экономику: высокий потенциал минерально-сырьевой базы цветных и благородных металлов; стабильная политическая обстановка; далеко идущая либерализация правил, касающихся иностранных инвестиций; благоприятные правовые (законодательные) режимы.

Как видно из приведенных характеристик минерально-сырьевой базы и ведущих горно-рудных проектов, их основу представляют крупные и уникальные объекты комплексных руд с низкими издержками производства полезных компонентов. Таким образом, благоприятные геологические предпосылки являются основополагающими для прямых инвестиций в горно-рудный сектор экономики Перу. Однако эти инвестиции не будут санкционированы руководством компаний, если отсутствуют два других важных фактора: «доступность» и «уверенность».

**Д о с т у п н о с т ь** — это больше, чем правовая и практическая возможность получить доступ в тот или иной регион. Этот фактор включает в себя степень «гостеприимства» со стороны органов власти и местного населения, то есть национальные законодательные нормы в целом и политика в области добычи полезных ископаемых в частности во многом определяют решение потенциального инвестора о том, вкладывать капитал в данную страну (или регион) или нет.



Уверенность определяется возможностью горно-рудной компании репатриировать прибыли в течение достаточно длительного периода времени. В связи с этим уверенность в политической стабильности страны представляет собой главный момент, на который обращается особое внимание компаниями, когда они принимают инвестиционные решения. Эта категория включает также степень уверенности в стабильности условий работы (условий налогообложения и др.) и возможности обладать свободным административным контролем без чрезмерного вмешательства государственного аппарата.

Исходя из наличия совокупности перечисленных благоприятных факторов, горно-добывающий сектор Перу, по видимому, ожидает светлое будущее, так как радикальные реформы правительства страны привели к политической стабилизации и к существенной экономической перестройке. Рост ВВП составляет ежегодно более 10 % и является наивысшим в Латинской Америке. Полезные ископаемые составляют около 50 % экспорта страны. Вместе с тем существуют возможности увеличения инвестиций по мере дальнейшей приватизации горно-рудной промышленности. К 1997 году через Комитет по содействию частным инвестициям в Перу проданы 25 горно-добывающих предприятий, благодаря чему государством было получено более 1 млрд. долл. валового дохода, а инвестиционные обязательства компаний составили более 4,5 млрд. долл. В связи с

планируемой дальнейшей приватизацией горно-рудной промышленности Перу в период 1997—2006 гг. государство ожидает получить еще 10 млрд. долл. дохода и соответствующие инвестиционные обязательства компаний, которые значительно ускорят экономическое развитие страны.

Таким образом, перуанский горно-рудный бум представляет собой яркий пример активной государственной инвестиционной политики в стране, развитие экономики которой в значительной мере определяется горно-добывающим сектором.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Americas still top* // Supplement to Mining Journal. 1997. V. 329. № 8116. P. 29—31.
2. *Barnard F.* Mining royalties // SEG Newsletter. 1998. № 32. P. 16—18.
3. *Bernstein Merwin and Ly Pedro.* Peru's precious and base metals status and future prospects // Mining Engineering. 1993. V. 45. № 7. P. 705—709.
4. *Chadwick John.* Peru booms // Mining Magazine. 1998. V. 178. № 2. P. 87—105.
5. *Corporate Exploration Strategies: A Worldwide Analysis.* Metals Economics Group, 1996. P. 36—40.
6. *Peru allows Border Mining* // Mining Journal. 1994. V. 323. № 8297. P. 15.
7. *Peru sets mining claim rules* // Mining Journal. 1995. V. 324. № 8308. P. 18.
8. *Peruvian copper* // Mining Magazine. 1993. V. 168. № 4. P. 181—185.
9. *Suttill Keith R.* Peru Privatizes // Engineering and Mining Journal. 1993. V. 199. № 2. P. 26—33.
10. *The search goes on* // Supplement to Mining Journal. 1995. V. 325. № 8346. P. 1—8.

Vartanyan S.S., Myzenkova L.F.

Factors promoting the intensification of the development of mining industry in Peru

*The results of analysis of Peruvian base and precious metal mineral base state and tendencies of mining industry development in this country are presented. The relationship between the development of mining industry and the increase in investments of the world leading mining companies into geological prospecting works and projects of development of Peruvian mineral deposits is shown. The formation of an active interest of foreign investors is, apart from the high mineral potential, caused by the creation of favourable legal and tax mining policies and stable political and economic situation.*

# КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ



УДК 553.491:553:22

© М.Г.Добровольская, В.В.Дистлер, 1998

## ПЛАТИНОВЫЕ МЕТАЛЛЫ В РУДАХ МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОГО УРАЛА

**М.Г.Добровольская, В.В.Дистлер (ИГЕМ РАН)**

*В рудах медноколчеданных месторождений Южного Урала изучено распределение платиновых металлов в различных типах руд, концентратах технологических проб и сульфидов. В отдельных образцах определялись золото и серебро. По результатам более 100 химических и химико-спектральных анализов в рудах обнаружены Pt, Pd, Rh, более 50 анализов показали наличие Au, Ag. Содержания элементов платиновой группы (ЭПГ) различные, распределение неравномерное и зависит от типа месторождения. Первые детальные исследования позволяют говорить о нахождении ЭПГ главным образом в рассеянной форме в сульфидов. Не исключено присутствие в богатых медно-цинковых рудах и минеральных форм, содержащих Pt или Pd.*

Колчеданные месторождения Урала имеют длительную историю исследования. В результате сложились современные представления об условиях формирования и локализации колчеданных месторождений, об их минералого-геохимических особенностях. Однако в абсолютном большинстве публикаций не затрагивалась проблема возможной платиноносности колчеданных руд, хотя по особенностям металлогении Урал с давних времен известен как одна из крупных платиноносных провинций. Данные по распределению элементов платиновой группы (ЭПГ) в вулканитах и колчеданных рудах крайне малочислен. Известны лишь отдельные публикации, в которых отмечается невысокое содержание ЭПГ в единичных пробах халькопирита, борнита, пирита некоторых колчеданно-полиметаллических месторождений Урала [7, 12].

Большое внимание платиновому оруденению и перспективам его освоения на Урале уделяет Ю.А.Волченко с соавторами. В статье «Платина Урала» [9] в числе данных по различным проявлениям ЭПГ приводятся содержания платиновых ме-

таллов в медно-цинковоколчеданных рудах месторождения гайского типа. Анализы руд медных, цинковых и пиритовых концентратов и хвостов показали присутствие в них Pt, Pd, Rh, Ir, Os, Ru. Наиболее значимые содержания имеют Pt и Pd: соответственно от 0,20 до 0,44 и от 0,04 до 0,2 г/т. В этих же пробах обнаружено золото от 0,5 до 7,8 г/т.

В настоящей статье на представительном фактическом материале (более 100 анализов) рассмотрены закономерности распределения ЭПГ в медно-колчеданных рудах месторождений, относящихся к уральскому (Сибай, Александринское) и баймакскому (Бакр-Тау, Таш-Тау, Балта-Тау) типам [6]. Кроме индивидуальных образцов, отобранных при минералогическом картировании рудных тел, для анализов были использованы усредненные пробы медных, цинковых и медно-цинковых руд, поступающих на обогатительную фабрику Башкирского медно-серного комбината (БМСК).

Наиболее детально минералогически и геохимически были исследованы руды месторождений Сибай, Александрин-

ское, Бакр-Тау. Изученные месторождения находятся в южной части Уральского складчатого пояса, структурно-формационная и геологическая позиции которых детально рассмотрены в ряде публикаций [3—6, 10 и др.]. Отмечено, что рудовмещающие вулканогенные образования относятся к разным формациям. Вулканогенные породы Сибайского месторождения принадлежат к контрастной липарит-базальтовой формации натриевой серии в вулканических поясах первичных эвгеосинклиналей. Месторождения баймакского типа (Бакр-Тау, Тап-Тау, Балта-Тау и др.) ассоциируют с калий-натриевой андезит-дацитовый рудоносной геологической формацией в зрелых островных дугах (блоки континентальной коры в эвгеосинклинали).

Руды Сибайского месторождения относятся к пирротин-халькопирит-сфалерит-пиритовому типу с отношениями  $Zn:Cu = 0,5:4,0$ . В них отмечается глубокая дифференциация как по составу, так и по строению агрегатов. Состав руд меняется на разных горизонтах карьера, на флангах и в центре залежей, что связано с разным количественным соотношением рудообразующих сульфидов, размерностью их зерен и содержанием нерудных минералов.

Основные рудообразующие минералы: пирит, халькопирит, сфалерит, второстепенные — галенит, пирротин, магнетит, марказит, редкие — блеклая руда, борнит. Ранее отмечались арсенопирит, гематит, энаргит, гринокит, фрейбергит, киноварь, германит, золото [8]. Из нерудных минералов распространены кварц, кальцит, присутствуют также сидерит, анкерит, барит, хлорит, серицит, тальк, гипс. Характерно, что в большинстве случаев пирит составляет от 60 до 80 % рудного вещества.

Месторождение Бакр-Тау отнесено к барит-галенит-сфалерит-халькопиритовому типу с отношениями  $Zn:Cu = 1,0:5,0$ . Главные минералы руд — сфалерит, халькопирит, борнит, галенит, пирит. К второстепенным относятся халькозин, блеклая руда, ковеллин. Редко встречаются самородное золото и серебро. В ранних работах [2] упоминались арсенопи-

рит, штрмейерит, аргентит, ялпаит, бетехтинит, пирротин, гематит, молибденит, теллуриды серебра и висмута. Из нерудных минералов присутствуют кварц, хлорит, кальцит, серицит, барит.

Руды Александринского месторождения в основном сходны с рудами месторождений Сибай и Бакр-Тау. Различия заключаются в широком развитии борнита и блеклой руды.

Текстуры и структуры руд изученных месторождений указывают на сложный и длительный процесс их формирования.

Систематическое изучение платиности медноколчеданных руд ранее не проводилось. Известны лишь единичные анализы ЭПГ в сульфидах некоторых месторождений Урала — Блявинского, Карабашского, им. III Интернационала, им. Шмидта [12]. В последнее время этой проблеме уделяется серьезное внимание, поскольку вследствие больших запасов колчеданных руд суммарное количество ЭПГ, даже при их малом содержании, может достигать значительных величин [9]. С учетом того, что наиболее значительным по масштабам выявленных ресурсов меди и цинка является Бурибай-Баймак-Сибай-Гайский район [10], нахождение платиновых металлов в этих рудах повышает их ценность.

Полученные аналитические данные сгруппированы по месторождениям (табл. 1—3). Большинство анализов характеризуют распределение платиновых металлов в сульфидных рудах и продуктах их обогащения Сибайского месторождения (см. табл. 1). Как показали анализы, практически во всех пробах обнаружен палладий, содержания которого варьируют от 0,002 до 0,12 г/т. Следует заметить, что наиболее высокие содержания палладия (0,07; 0,04; 0,12 г/т) характерны для штучных образцов, в которых главными сульфидами являются халькопирит, пирит, сфалерит, иногда пирротин. Интересен тот факт, что измененные породы с вкрапленностью и прожилками халькопирита и пирита содержат палладий в тех же количествах, что и массивная сульфидная руда. В отдельных об-

1. Содержание благородных металлов в руде и продуктах обогащения Сибайского месторождения

Продукт	Содержание элементов платиновой группы, золота и серебра, г/т				
	платина	палладий	родий	золото	серебро
Медная руда	0,008	0,03	0,002	не опр.	1
	не обн.	0,015	0,002	"	5
	"	0,012	не опр.	"	не опр.
	"	0,003	—	"	"
Медная руда, Cu—1,24 %, Zn—0,88 %	не опр.	не опр.	—	0,2*	4,0*
Медно-цинковая руда	0,009	0,02	не обн.	не опр.	10
	0,001	0,02	0,001	"	260
	0,007	не обн.	не обн.	"	не опр.
	не обн.	0,002	"	"	"
	0,004	0,04	"	"	"
Медно-цинковая руда, Cu—1,62 %, Zn—7,60 %	не опр.	не опр.	не опр.	2,0*	17,4*
Медно-цинковая руда, Cu—0,85 %, Zn—3,30 %	"	"	"	1,5*	21,0*
Медный концентрат	0,025	0,12	0,003	не опр.	17
	0,013	0,015	0,001	"	106
	0,005	не обн.	не обн.	"	не опр.
	не обн.	0,003	"	"	"
Цинковый концентрат	0,003	0,015	"	"	52
	0,01	0,05	0,003	"	50
	0,005	не обн.	не обн.	"	не опр.
Плотная пиритовая руда	не опр.	0,03	0,003	"	"
Пиритовый концентрат	0,003	0,04	0,002	"	2
	0,013	0,05	0,003	"	3,6
	0,007	не обн.	не обн.	"	"
	0,005	0,004	"	"	"
Медно-пиритовый продукт	0,004	0,07	0,004	"	36
	0,005	не обн.	не обн.	"	не опр.
Халькопирит-пиритовая руда	не обн.	0,03	0,002	"	"
	не обн.	0,03	0,004	не опр.	не опр.
	"	0,03	0,003	"	"
Пирит-пирротиновая руда	"	0,02	0,02	"	7
Халькопирит-пирит-пирротиновая руда	"	0,07	0,007	"	1
Халькопирит-пирротиновая руда, Cu—2,64 %, Zn—0,13 %	"	не опр.	не опр.	0,1*	4,2*
Халькопирит-пирротиновая руда, Cu—2,75 %, Zn—0,23 %	"	"	"	0,6*	5,0*
Халькопирит-магнетитовая руда	не обн.	0,015	0,001	не опр.	1
Магнетитовая руда	0,002	0,04	0,04	"	1
Хлоритизированная порода с пиритом	не обн.	0,02	0,004	"	не опр.
	0,007	0,05	0,004	"	"
	0,015	0,12	0,002	"	"
	0,005	0,07	0,001	"	"

Примечание. В ИГЕМ РАН выполнены анализы платины, палладия, родия Н.Н.Никольской, З.А.Ежковой, Г.Е.Белюсовым, В.А.Сычковой, серебра — И.В.Васалаевой; \* данные ЦХЛ обогатительной фабрики ВМСК.

2. Содержание благородных металлов в руде и продуктах обогащения месторождений  
Бакр-Тау, Таш-Тау, Балта-Тау, г/т

Продукт	Платина	Палладий	Родий	Золото	Серебро
Месторождение Бакр-Тау					
Медно-цинковая руда	0,006	0,04	0,001	6,3	140
	0,002	0,03	не обн.	5,9	290
	0,01	0,009	"	не опр.	не опр.
	0,02	0,007	"	"	"
Медная руда, Cu—10,10 %, Zn—6,04 %	не опр.	не опр.	не опр.	2,9*	48,0*
Цинковая руда, Cu—4,18 %, Zn—29,3 %	"	"	"	8,4*	120,2*
Медный концентрат	0,005	0,004	не обн.	не опр.	не опр.
	0,01	0,004	"	"	"
	0,003	0,03	0,004	13,0	280
Цинковый концентрат	0,009	0,08	0,004	6,8	130
	0,002	не обн.	не обн.	не опр.	не опр.
	0,005	0,01	"	"	"
	0,004	0,032	"	10,6	120
Медно-пиритовый продукт	0,005	0,015	0,003	9,8	95
	0,06	0,012	не обн.	не опр.	не опр.
Пиритовый концентрат	0,007	0,017	"	"	"
	0,005	0,001	"	"	"
	0,003	0,02	0,001	2,1	16
Медно-цинковая руда: пески II стадии измельчения пески III стадии измельчения	0,009	0,03	0,002	12,3	120
	0,008	0,08	0,003	8,9	170
Месторождение Таш-Тау					
Медно-цинковая руда	1,20	0,25	0,005	не опр.	46
	0,005	0,15	0,004	"	38
	0,002	0,03	0,002	"	41
	0,80	0,34	0,005	"	не опр.
Цинковый концентрат	0,08	0,9	0,004	"	"
Месторождение Балта-Тау					
Сфалерит-пиритовая руда	0,01	0,08—0,012	0,003	"	"

Примечание. Аналитики Н.Н.Никольская, З.А.Ежкова, Г.Е.Белюсов, В.А.Сычкова, И.В.Басалаева;  
\* данные ЦХЛ обогатительной фабрики БМСК.

разцах содержание палладия даже выше (до 0,12 г/т). В медной и медно-цинковой руде содержание палладия примерно одинаково: от 0,01 до 0,02 г/т.

Платина обнаружена в 21 из 39 анализов. Распределение ее неравномерно, содержания низкие: от 0,001 до 0,015 г/т. В медно-цинковой руде платина распределена более равномерно (см. табл. 1), чем в медной. В метасоматитах с вкрапленностью сульфидов платина присутствует примерно в тех же количествах, что и в массивных рудах. Три моноф-

ракции пирита содержат Pt — 0,24 г/т, Pd — 0,03 г/т.

Химическим методом в 21 из 39 проб определен родий, содержания которого от 0,002 до 0,007 г/т. Какая-либо закономерная связь содержаний родия с количеством платины и палладия не устанавливается. Следует заметить, что содержание родия на порядок выше в пирит-пирротиновых и магнетитовых рудах, соответственно 0,02 и 0,04 г/т.

Кроме ЭПГ, в рудах Сибайского месторождения определено золото, содержание

3. Содержание благородных металлов в руде и продуктах обогащения месторождения Александринское, г/т

Продукт	Платина	Палладий	Родий	Золото	Серебро
Медно-цинковая руда	0,008 0,06	0,02 0,22	0,001 0,002	не опр. "	58 68
Медный концентрат, Cu —15 %, Zn — 8 %	0,005	0,03	не обн.	"	не опр.
Медный концентрат	0,024	0,20	0,005	"	105
Цинковый концентрат	0,01	0,02	0,002	"	72
Пиритовый продукт	0,016	0,016	0,001	"	16
Медная «головка»	0,006	0,018	не обн.	"	130
Халькопирит-борнитовая руда	0,008	0,002	"	2,9	>90
Халькопирит-сфалерит-пиритовая руда	<0,001	0,002	"	7,3	65
Халькопиритовая руда	0,012	0,002	"	<1,5	>90
Халькопирит-пиритовая руда	0,001 0,001	0,006 0,001	" "	5,8 3,0	47 >90

П р и м е ч а н и е. Аналитики Н.Н.Никольская, З.А.Ежкова, Г.Е.Белоусов, В.А.Сычкова, И.В.Басалаева.

которого в медно-цинковой руде на порядок выше, чем в медной, соответственно 2,0 и 0,2 г/т. Количество золота в образцах типичной колчеданной руды меняется от 0,1 до 1,5 г/т.

Содержание серебра варьирует от 1 до 260 г/т. Наиболее высокое (260 г/т) содержание серебра определено в медно-цинковой руде, очень низкое содержание (около 1 г/т) — в пирротин-магнетитовых рудах. Содержание серебра в рудах с глубиной уменьшается.

В рудах и продуктах их обогащения месторождения Бакр-Тау распределение платины и палладия более равномерно, чем в рудах Сибайского месторождения. Содержание платины варьирует от 0,002 до 0,06 г/т, палладия — от 0,001 до 0,08 г/т (см. табл. 2). Медно-цинковые руды, медные и цинковые концентраты наиболее обогащены Pt и Pd. Родий обнаружен в 7 анализах из 20, содержания его — 0,001—0,004 г/т. В пяти монофракциях сульфидов (пирит, халькопирит, сфалерит) определены Pt в количестве от 0,03 до 0,34 г/т и Pd — 0,03—0,04 г/т. Пирит и сфалерит содержат Pt 0,3 г/т, что на порядок выше, чем в сульфидах других месторождений [12]. Содержание золота выше, чем в рудах Сибайского месторож-

дения, и достигает 8,4 г/т. Есть основания считать, что медно-цинковые и цинковые руды более золотоносны, чем медные. Та же закономерность обнаружена и для серебра. В медно-цинковой руде содержание серебра — 140—290 г/т.

Выявленные особенности распределения золота и серебра в продуктах обогащения медно-цинковых руд месторождения Бакр-Тау позволяют говорить о нахождении благородных металлов во всех продуктах обогащения. Наибольшую практическую ценность представляют медный и цинковый концентраты, а также руды, обогащенные сфалеритом.

Ограниченное число анализов по месторождению Таш-Тау (см. табл. 2) не позволяет сделать какие-либо окончательные выводы. Полученные данные оказались совершенно неожиданными. В целом, содержание Pt и Pd в медно-цинковых рудах выше, чем в рудах других месторождений и достигает соответственно 0,8—1,20 и 0,25—0,90 г/т. Содержания Rh варьируют в тех же пределах, а содержание Ag — низкое, количество его в трех анализах меняется незначительно. В пробе сфалерит-пиритовой руды месторождения Балта-Тау обнаружены содержания Pt 0,01 и Pd 0,08—0,12 г/т.

В медно-цинковых рудах и продуктах их обогащения Александринского месторождения платина и палладий присутствуют постоянно (см. табл. 3). Содержания Pt и Pd в сумме выше, чем в рудах Бакр-Тау. Родий установлен примерно в тех же количествах, что и в продуктах обогащения колчеданных руд Сибайского и Бакр-Тауского месторождений.

Серебро присутствует во всех пробах. Содержания его в медной «головке» и медном концентрате значительны (130 и 105 г/т), в цинковом концентрате более низкие (72 г/т) и совсем низкие в пиритовом продукте (16 г/т). В различных по минеральному составу типах руд (см. табл. 3) содержания Pt и Pd ниже, чем в технологических продуктах. Содержания Au и Ag варьируют соответственно от <1,5 до 7,3 и от 47 до 90 г/т.

В результате микроскопического и микронзондового изучения руд минералы, содержащие ЭПГ, не установлены, хотя в рудах месторождения Таш-Тау наиболее высокие содержания Pt и Pd, вероятно, могут быть связаны с минеральными формами. Так, в колчеданных рудах месторождения Елаците в Болгарии обнаружен меренскиит, а Pd-содержащий мелонит описан в медноколчеданных рудах Пышминско-Ключевского месторождения на Урале [1].

Самородные золото и серебро были обнаружены лишь в месторождениях Бакр-Тау и Александринское. Микронзондовые анализы показали, что состав золотин в рудах месторождения Бакр-Тау меняется от практически чистого золота (Au — 99,5 %) до электрума с содержанием Au от 54,4 до 77,9 % и Ag от 22,8 до 31,1 %. Содержание меди в золотилах до 0,1 %. Наряду с самородным золотом и электрумом обнаружено самородное серебро (Ag — 98,6 %). В одной пробе пирита определено золото в количестве 0,08 %.

Микронзондовыми анализами обнаружены различные содержания серебра в сфалерите, блеклых рудах и борните месторождения Бакр-Тау, а также в борните, халькозине и блеклых рудах Александринского месторождения. В блеклых рудах месторождения Бакр-Тау содер-

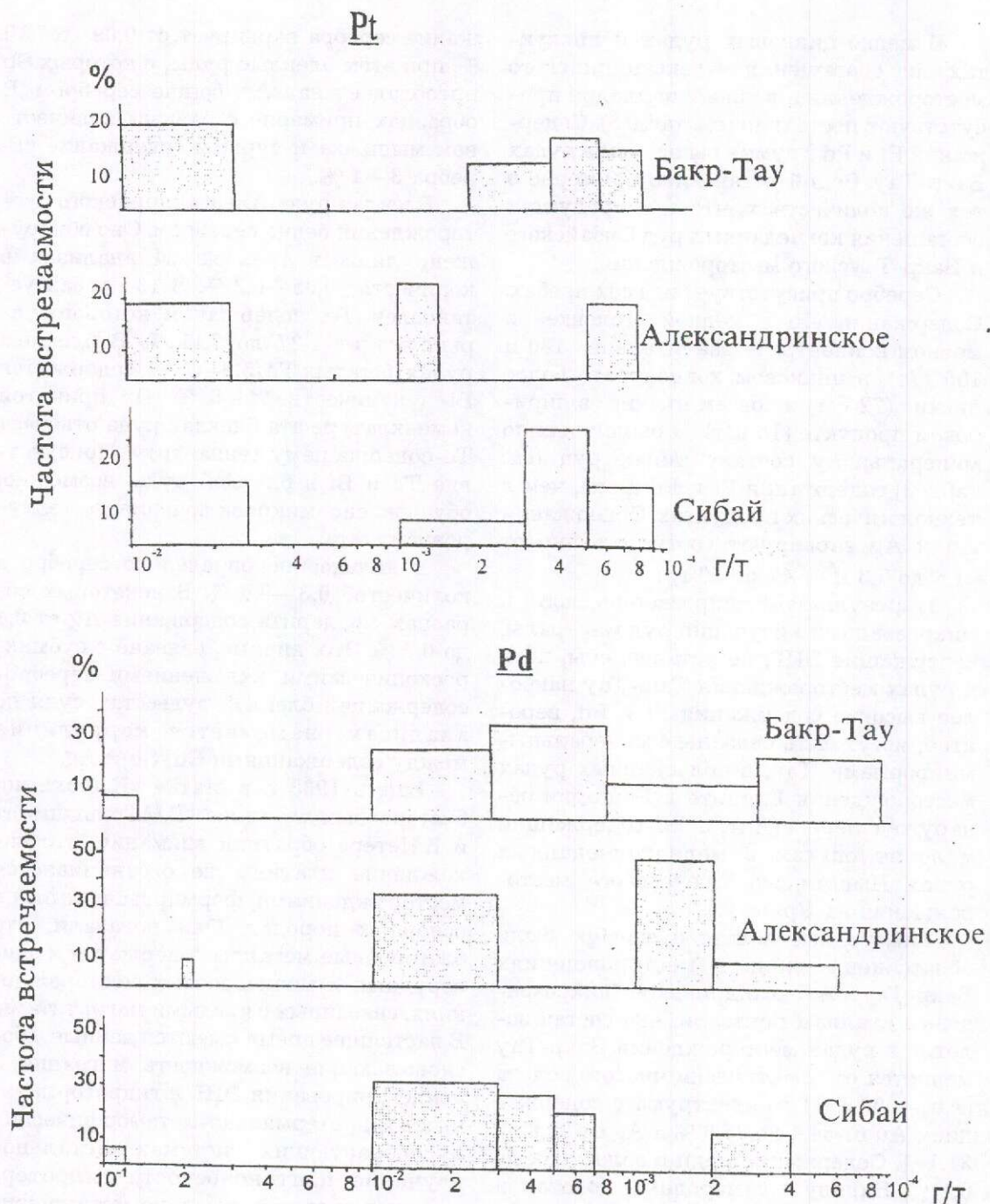
жание серебра варьирует от 0,09 до 7,10 %, при этом блеклые руды, в которых Sb преобладает над As, богаче серебром. В образцах примерно с равным количеством мышьяка и сурьмы содержание серебра 3—4 %.

Блеклая руда Александринского месторождения бедна серебром. Оно обнаружено лишь в трех из 24 анализах в количестве 0,05—0,2 %. В 13 пробах установлен Te, содержания которого варьируют от 1,27 до 7,11 %. В блеклых рудах, богатых Te (5,6—7 %), содержится Bi в количестве 4—5 %. По принятой номенклатуре эта блеклая руда отвечает Te-содержащему теннантиту. Присутствие Te и Bi в блеклой руде, возможно, обусловлено микровключениями теллуросмута.

В халькозине определено серебро в количестве 0,3—0,5 %. В некоторых образцах сфалерита содержание Ag от 0,4 до 0,7 %. Это, видимо, связано с субмикроскопическими включениями серебро-содержащей блеклой руды, т.к., судя по анализам, намечается корреляция между содержаниями Cu, Sb и Ag.

Еще в 1938 г. в статье «К геохимии благородных металлов» В.М.Гольдшмидт и К.Петерс обратили внимание, что нахождение платины не ограничивается месторождениями, формировавшимися в основных породах. Они показали, что благородные металлы содержатся в оловянных и молибденовых месторождениях, связанных с кислыми магматитами. В настоящее время имеются данные, обосновывающие возможность миграции и концентрирования ЭПГ в гидротермальных и гидротермально-метаморфических рудообразующих системах. Детальное изучение платиноносности гидротермальных и гидротермально-метаморфических месторождений, таких как Коронейшн Хилл в Австралии [13], Падма в Карелии, Сухой Лог в Сибири [11], Ник в Канаде [15], показало, что концентрирование ЭПГ в этих месторождениях осуществлялось совместно с золотом и цветными металлами.

Проведенные нами исследования дополнили список месторождений, в которых обнаружены платиновые металлы и



Гистограммы содержаний Pt и Pd в рудах месторождений Бакр-Тау, Александринское, Сибай.

выявили два принципиально важных типа распределения ЭПГ.

*Первый тип* — фоновое относительно равномерное распределение характеризуется низкими концентрациями платиновых металлов, слабо зависящими от минерального состава руд, особенно от

соотношения сульфидов Cu, Fe и Zn (см. табл. 1, 2, 3). Отмечаются лишь повышенные значения суммы платиновых металлов в зависимости от увеличения в рудах количества халькопирита и сфалерита. Этот тип распределения платиновых металлов обусловлен относительно равно-



мерным рассеянием ЭПГ в сульфидах и является доминирующим.

*Второй тип* распределения — это аномальная по сравнению с фоновой концентрация ЭПГ, которая должна быть детально изучена, поскольку сам факт существования в штучных образцах таких концентраций платины и палладия как 1,5 г/т или 1,1 г/т весьма важен (см. табл. 2). При оценке распространенности ЭПГ этого типа, по-видимому, следует исходить из того, что, подобно неравномерному обогащению золотом отдельных месторождений, существуют и месторождения с различными концентрациями ЭПГ. Наибольшее обогащение происходит именно платиной (например, на месторождении Таш-Тау соотношение Pt:Pd около 3:1, в то время как обычное соотношение для фонового распределения соответственно 1:(3—5). Повышенные концентрации платины могут быть связаны с собственными минеральными носителями. Имеются в виду не только собственные минеральные фазы платины или палладия, но, возможно, и некоторые редкие рудные минералы с высокими содержаниями платиновых металлов в виде изоморфной примеси.

Относительно высокие содержания Pt и Pd отмечены в рудах ранних периодов рудообразующего процесса. Об этом свидетельствует рассеяние ЭПГ в метасоматических породах с убогой сульфидной минерализацией и магнетитовых рудах (месторождение Сибай), а также в ранних сфалерит-халькопиритовых ассоциациях (месторождения Бакр-Тау, Таш-Тау).

Проявление двух типов распределения платиновых металлов соответствует общей закономерности поведения благородных и редких компонентов при формировании гидротермальных месторождений. Такое распределение отвечает, по-видимому, двум последовательным событиям. Первое — относительно равномерное рассеяние элементов на начальных стадиях формирования месторождений. Второе — концентрирование металлов на собственно рудных стадиях, которое происходило в том числе за счет

мобилизации и перераспределения рассеянных концентраций тех же элементов.

Аналогичные закономерности характеризуют поведение золота и серебра. Основное их концентрирование связано с поздними рудообразующими процессами, судя по присутствию минеральных форм и примесей этих элементов в пирит-борнит-сфалерит-блеклорудных ассоциациях, формировавшихся после кварц-пирит-халькопиритовых руд.

Сопоставляя данные по содержанию благородных металлов в рудах изученных месторождений, можно заметить, что наиболее обогащены Pt, Pd, Au и Ag руды месторождений Бакр-Тау (см. табл. 2, рис.) и Таш-Тау, т.е. те руды, которые связаны с калий-натриевым андезитовым вулканизмом, проявленным в остро-водужных обстановках.

В целом медноколчеданные руды изученных месторождений характеризуются палладиевой специализацией, что не противоречит экспериментальным данным М.Хайлэнда и Дж.Бэнкрофта [14] о сорбции и восстановлении палладия на поверхности сульфидных минералов, в частности, PbS и (Zn, Fe)S.

Таким образом, оба типа медноколчеданных месторождений Южного Урала содержат Pt, Pd, Au и Ag, распределения которых в рудах, продуктах обогащения и сульфидах различны. Руды месторождения Бакр-Тау более богаты Pd, Au и Ag, чем руды месторождения Сибай. Руды месторождения Таш-Тау содержат Pt + Pd — 1,5 и 1,1 г/т.

Формы нахождения ЭПГ рассеянные, Au и Ag минеральные, изоморфные и рассеянные. Основное количество Ag концентрируется в блеклой руде. Сфалерит, борнит и халькозин (месторождения Бакр-Тау, Александринское) также содержат серебро, но в меньших количествах.

Авторы выражают искреннюю благодарность Н.Н.Никольской, В.А.Сычковой, Г.Е.Белоусову за химические и химикоспектральные анализы, Н.А.Божевольной за спектральные анализы, Г.Н.Муравицкой и Д.Топа за микронзондовые анализы. Авторы признательны геологам и химикам Башкирского медно-серного

комбината за помощь в полевых работах и выполнение ряда анализов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремин Н.И., Сергеева Нат.Е., Шишаков В.Б. О находке палладийсодержащего мелонита в медноколчеданных рудах Пышминско-Ключевского месторождения на Урале // ДАН. 1997. Т. 355. № 6. С. 795—797.
2. Исмагилов М.И., Исмагилова М.З. Вещественный состав руд золото-полиметаллических месторождений Баймакского рудного района (Южный Урал) / Геология, минералогия и геохимия сульфидных месторождений Южного Урала. — Уфа, 1970. Вып. 10. С. 105—113.
3. Колчеданные месторождения Баймакского рудного района. — М.: Наука, 1973.
4. Курбанов Н.К., Ширай Е.П. Александринский рудный район. Типы рудных районов колчеданных провинций Южного Урала и Западного Казахстана // Тр. ЦНИГРИ. 1973. Вып. 105. С. 129—131.
5. Медноколчеданные месторождения Урала. Геологическое строение. — Свердловск: УО АН СССР, 1988.
6. Медноколчеданные месторождения Урала. Условия формирования. — Екатеринбург: УрО РАН, 1992.
7. Новгородова М.И. Платина, палладий и золото в медноколчеданных рудах Южного Урала // ДАН СССР. 1976. Т. 226. № 4. С. 942—944.
8. Петровская Н.В. Ассоциации рудообразующих минералов, элементы строения рудных тел и некоторые черты генезиса Сибайского медноколчеданного месторождения (Южный Урал) // Тр. ЦНИГРИ. 1961. Вып. 40. С. 56—103.
9. Платина Урала. Платиновометальное оруденение и перспективы его освоения / Авторы: Ю.А.Волченко, К.К.Золоев, В.А.Коротеев и др. // Изв. вузов. Горный журнал. Уральское горное обозрение. 1994. № 6. С. 62—85.
10. Попов В.В. Региональные факторы образования крупных концентраций колчеданных руд на Урале // Геология рудн. месторожд. 1997. Т. 39. № 5. С. 465—476.
11. Формы нахождения металлов платиновой группы и их генезис в золоторудном месторождении Сухой Лог (Россия) / Авторы: В.В.Дистлер, Г.Л.Митрофанов, В.К.Немеров и др. // Геология рудн. месторожд. 1996. Т. 38. № 6. С. 467—484.
12. Юшко-Захарова О.Е. Платиноносность рудных месторождений. — М.: Недра, 1975.
13. Chemistry of Low-Temperature Hydrothermal Gold, Platinum and Palladium(±Uranium) Mineralization at Coronation Hill, Northern Territory, Australia / Authors: T.P.Mernagh, C.A.Heinrich, J.F.Leckie, D.P.Carville, D.J.Gilbert, R.K.Valenta and H.A.I.Wyborn // Econ. Geol. 1994. V. 89. № 5. P. 1053—1073.
14. Hyland M.M., Bancroft G.M. Palladium sorption and reduction on sulphide mineral surfaces // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1990. V. 54. № 1. P. 117—130.
15. Hulbert L. J., Gregoire D. C., Pactung D., Carne R. C. Sedimentary Nickel, Zinc and PGE Mineralization in Devonian Black Shales at the Nick Property, Yukon, Canada. A New Deposit Type // Explor. Mining Geol. 1992. V. 1. № 1. P. 39—62.

Dobrovolskaya M.G., Distier V.V.

PGM in ores of massive sulfide copper deposits of the Southern Urals

*The distribution of platinum metals in various types of ores, concentrates of technological samples and sulfides in ores of massive sulfide copper deposits of the Southern Urals has been studied. Some of the samples were analyzed for gold and silver. More than 100 chemical and chemical-spectral analyses revealed the presence of Pt, Pd and Rh in ores, and more than 50 analyses confirmed the presence of Au and Ag. PGE contents of the samples vary. Their distribution is inhomogeneous, and it depends on the type of each particular deposits. The pioneer detailed studies suggest that PGE occur in these ores predominantly in a dispersed form in sulfides. It is not improbable that Pt- and Pd-containing minerals may occur in rich Cu-Zn ores.*

# АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 622.24:553.068.5

© Коллектив авторов, 1998

## ОБЪЕКТЫ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОТРАБОТКИ ЭКЗОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

**В.М.Минаков, В.А.Орьев, В.И.Бровкин, В.Н.Новиков, И.В.Морозов  
(ЦНИГРИ МПР России)**

*На основании теоретических исследований определены возможность и целесообразность применения скважинной гидродобычи (СГД) на золотоносных россыпях и корах выветривания. Составлен кадастр перспективных и первоочередных пригодных для СГД экзогенных месторождений золота, отработка которых традиционными способами нецелесообразна. Рассмотрены возможности использования методов инженерной геофизики для отслеживания формы и размеров добычной камеры.*

В России до сих пор традиционно преобладает добыча золота из россыпных месторождений, причем за последние годы доля россыпного золота составляет до 70—75 % от общего количества добытого металла. Вместе с тем качественная характеристика этих месторождений в связи с отработкой наиболее доступных объектов постоянно ухудшается: среднее содержание золота сократилось до 30 % с тенденцией к дальнейшему снижению; значительно усложнились геолого-технические условия их залегания. Тем не менее добыча из россыпей полезных ископаемых, в том числе золота, не сократилась. Это прежде всего объясняется тем, что в современных экономических условиях интерес к россыпям, отличающимся лучшими технико-экономическими показателями по сравнению с коренными месторождениями, еще более повысился. К тому же многие полезные ископаемые, добываемые из россыпей, прежде всего золото и алмазы, принадлежат к стратегическим видам сырья, пользуются стабильным спросом, мало подвержены конъюнктурным колебаниям и служат надежным источником валютных поступлений [9].

Одним из возможных путей повышения эффективности отработки месторождений твердых полезных ископаемых, залегающих в рыхлых отложениях, в том числе в россыпях и корах выветривания, является применение скважинной гидродобычи. По оценке ряда исследователей [1, 2, 10], этот способ представляется весьма перспективным, позволяющим сократить капитальные вложения в 2—3 раза и по сравнению с традиционными способами разработки снизить себестоимость в 1,5—2 раза.

Сущность скважинной гидродобычи (рис. 1) заключается в разрушении массива горных пород непосредственно в скважине, приведении породы во взвешенное состояние и транспортировке пульпы из скважины на поверхность земли для последующего извлечения полезного компонента. С применением гидродобычи в разряд промышленных в перспективе могут перейти россыпи золота с промышленными содержаниями металла, отнесенные к забалансовым по экономическим и горно-геологическим причинам. Кроме того, СГД может также

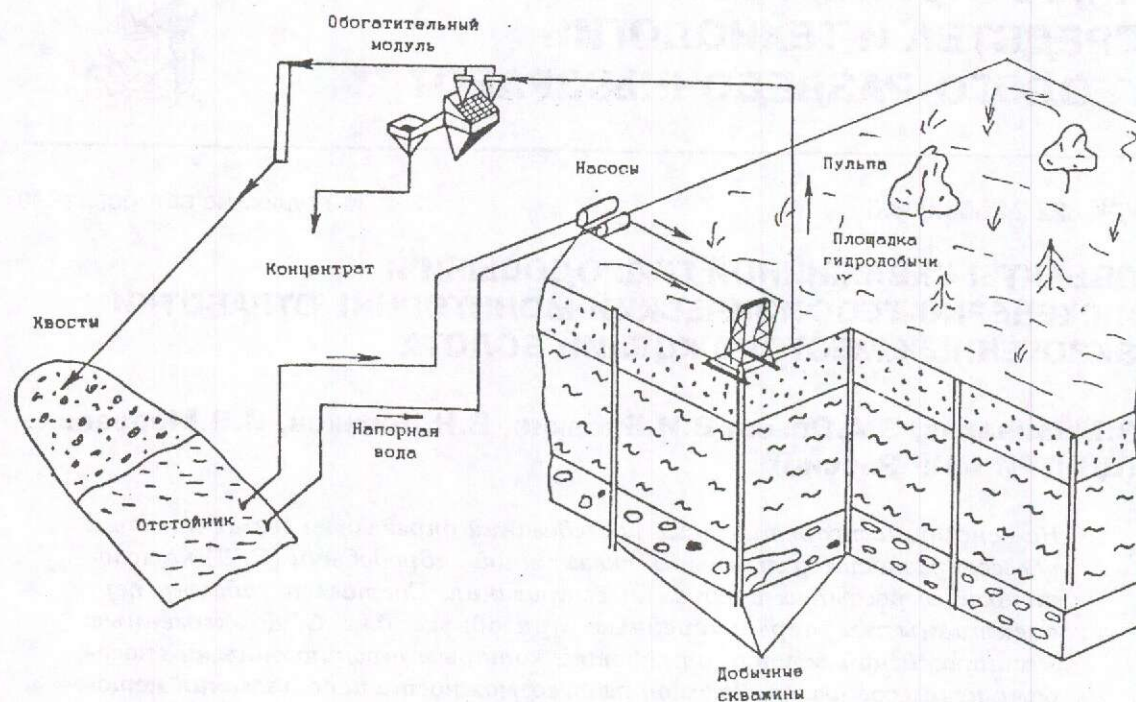


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема СГД.

решить проблему отработки глубокозалегающих погребенных россыпей.

Рассмотрение основных технологических процессов выявляет преимущества СГД в сравнении с горными способами отработки месторождений. Применение добычных работ через скважины не наносит существенного урона окружающей среде, так как при этом отсутствуют вскрышные работы, т.е. остается ненарушенным плодородный слой почвы, режим поверхностных и подземных вод. Затраты на рекультивацию сводятся к минимальным (на ликвидацию разведочных и добычных скважин), а закладка выработанного пространства отходами обогащения уменьшает объем хвостохранилищ, практически исключает загрязнение поверхностных вод, почвы и воздуха. Технология СГД позволяет использовать оборотную систему водоснабжения, что существенно снижает расход свежей воды и уменьшает загрязнение подземных вод.

Проведенный в ЦНИГРИ анализ характерных особенностей залегания основных промышленных типов золотоносных россыпей и кор выветривания [7] позволил определить основные показате-

ли, которые указывают на возможность и целесообразность применения СГД. К ним относятся: гранулометрический и литологический состав рыхлых отложений; глубина залегания и мощность продуктивного пласта, физико-механические свойства пород, которыми он представлен; крупность и равномерность распределения металла; устойчивость кровли вышележащих пород, гидрогеологические и геокриологические условия.

Возможность применения скважинной гидродобычи зависит главным образом от литологического и гранулометрического состава рыхлых отложений и их физико-механических свойств.

Целесообразность применения СГД, способ вскрытия месторождения, конструкция, количество и оптимальное расположение скважин, технология разрушения пласта и доставка гидropульпы к выдачному механизму, схема выемки породы из добычной камеры, способы подъема породы на поверхность и извлечения полезного ископаемого, а также общая организация добычных работ определяются следующими основными параметрами:

Глубина воронки провала при полной выемке пласта, м

Мощность пласта, м	Глубина залегания пласта, м								
	10	15	20	25	30	35	40	50	55
0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,0	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—
1,5	1,8	—	—	—	—	—	—	—	—
2,0	3,2	0,6	—	—	—	—	—	—	—
2,5	5,1	1,3	—	—	—	—	—	—	—
3,0	7,9	2,1	0,1	—	—	—	—	—	—
5,0	+	5,9	2,6	0,4	—	—	—	—	—
10,0	+	+	10,0	5,1	2,6	—	—	—	—
20,0	+	+	+	+	11,7	7,5	4,7	0,9	—

Примечание. Прочерк обозначает, что при полном извлечении породы пласта провала не наблюдается; плюс обозначает наличие провала. Показаны предельно допустимые величины мощностей продуктивного пласта. В случае частичного извлечения породы продуктивного пласта устойчивость верхних горизонтов увеличивается.

глубиной залегания, мощностью и размерами продуктивного пласта;

крупностью и степенью равномерности распределения металла в россыпи;

устойчивостью кровли пород;

гидрогеологическими и геокиологическими условиями в разбуриваемой толще.

Важным условием, определяющим целесообразность и возможность применения СГД, является величина допустимых объемов извлечения породы, что связано с устойчивостью кровли продуктивного пласта, зависящей, в свою очередь, от глубины его залегания и мощности, а также от физико-механических свойств рыхлых отложений. Это условие характеризует безопасность проведения работ, т.к. при гидродобыче возможно образование воронок провала и обрушения. При этом происходит значительное разбуживание пород пласта за счет обвалившейся пустой породы. Качественная оценка картины поведения пород кровли при СГД и определение максимально допустимых объемов их выемки из скважины приближенно могут быть получены расчетным путем по методу В.В.Куликова [4]. Установлено, что истечение обрушенной породы происходит из объемов, имеющих форму эллипсоида выпуска (мощности продуктивного пласта). При извлечении части породы над местом ее выемки образуется эллипсоид разрушения, высота которого зависит от объема

извлеченной породы, ее коэффициента разрыхления и показателя сыпучести. В том случае, когда высота эллипсоида разрушения не доходит до поверхности, т.е. меньше глубины скважины, провала поверхности и воронки обрушения не будет. Расчетные величины глубины воронки провала при различных глубинах залегания пласта и его мощности представлены в таблице.

По этим данным можно определить максимальные объемы выемки полезного ископаемого в зависимости от глубины залегания и мощности продуктивного пласта без нарушения дневной поверхности.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение СГД наиболее приемлемо при разработке россыпей с глубиной залегания продуктивного пласта не менее 20 м.

Перспективы использования способа скважинной гидродобычи для разработки россыпных месторождений золота и золотоносных кор выветривания в решающей степени зависят от наличия достаточно представительной и промышленно значимой группы реальных объектов — месторождений определенных геолого-промышленных и морфогенетических типов, горно-геологические параметры и особенности строения которых отвечали бы всем необходимым условиям эффективного применения данной геотехнологии. Эти условия регламентированы

ваны технико-технологическими требованиями к выбору объектов для СГД, разработанными в ЦНИГРИ, и включают целый ряд показателей.

#### Требования к выбору объектов для СГД.

1. Тип россыпи: талая.
2. Глубина залегания пласта: не менее 20 м при мощности пласта до 2,5 м; не менее 30 м при мощности пласта до 5 м; от 30 до 60 м при мощности пласта 5—10 м; более 60 м при мощности пласта от 10 до 20 м.
3. Характеристика пород продуктивной толщи в зависимости от их размываемости (с 1 по 4 категорию по шкале Главзолото соответственно) [11]: песчаные породы с содержанием мелкой гальки размером 10—25 мм до 1 %; песчано-глинистые породы с содержанием щебня и мелкой гальки до 15 %, крупной гальки размером от 50 до 100 мм — 1—2 %; песчано-глинистые, глинистые породы с содержанием щебня и мелкой гальки 15—20 %, крупной гальки — 3—5 %; глинистые породы с содержанием щебня и мелкой гальки до 25 %, крупной гальки и мелких валунов до 10 %.
4. Предельные размеры поднимаемых золотин: 8—10 мм в диаметре, масса до 5 г.
5. Желательно наличие над продуктивной толщей либо в непосредственной близости от нее устойчивых пород (глина, суглинки и др.).
6. Предпочтительна ровная поверхность плотика с уклоном более 5° без загромождения валунами и глыбами.
7. Предпочтительны месторождения небольшие по размеру, значительной глубины залегания, имеющие повышенную концентрацию металла, отработка которых традиционными способами нецелесообразна.

Для выбора объектов, пригодных и перспективных для разработки способом СГД, осуществлена типизация месторождений, причем перечисленные показатели, имеющие принципиальное значение, приняты в качестве ведущих классификационных признаков (по принципу соответствия). Кроме того, при типизации учитывались следующие положения:

определение надежных технических средств и методов контроля, в том числе геофизических, с помощью которых можно проводить погашение запасов на объектах, обрабатываемых способом СГД;

осуществление способа скважинной гидродобычи в комплексе с горно-обогательным оборудованием нового поколения, обеспечивающим высокую степень извлечения свободного золота мелких и тонких фракций;

дополнение перечня промышленных типов россыпных месторождений золота геолого-промышленными типами, которые в настоящее время по различным причинам не имеют практической ценности, но с учетом специфики и экологических преимуществ СГД в сравнении с традиционными горными способами потенциально весьма перспективны.

Из анализа требований к выбору объектов для СГД следует, что в каждой из основных генетических групп россыпей имеются промышленные типы месторождений, которые при сочетании определенных особенностей их геологического строения (глубины залегания, характера продуктивных пород, типа плотика и др.) могут быть пригодны для разработки способом скважинной гидротехнологии.

Так, в элювиальных и элювиально-склоновых россыпях большое промышленное значение имеют только *остаточные россыпи кор химического выветривания* по зонам золото-кварц-сульфидного оруденения. На территории Российской Федерации они представлены, в основном, глинистыми корами выветривания неполного профиля линейно-трещинного, контактово-карстового, карстового и линейно-площадного морфогенетических типов [5]. Глубина залегания продуктивных тел в корях любых типов может превышать несколько десятков метров, достигая в корях линейно-трещинного типа 100—400 м. В целом по ряду показателей золотоносные коры выветривания, особенно песчано-глинистые и щебнисто-глинистые с высоким содержанием гравитационного золота, могут считаться перспективными для СГД. Наиболее типичными месторождениями золота в корях вы-

ветривания являются Егорьевское (контактово-карстового типа) на Салаире, Олимпиадинское (линейно-трещинного типа) в Енисейском районе, а также Светлинское (контактово-карстового типа) и Воронцовское на Урале. Не исключено, что экономически и технологически отработка месторождений подобного типа с помощью скважинной гидротехнологии и золотоизвлекающих аппаратов нового поколения с высокой степенью извлечения тонкого и тонкодисперсного золота может дать толчок к промышленному освоению этих сложных объектов, которое сдерживается из-за необходимости параллельного использования гравитационной и рудной технологических схем обогащения.

*Аллювиальные россыпи* (россыпи речных долин низких, средних и высоких порядков) образуют наиболее важный в промышленном отношении тип россыпных месторождений золота и платиноидов. В группе глубокозалегающих аллювиальных россыпей, включая и некоторую часть залегающих на средних глубинах, к наиболее перспективным для СГД типам россыпей относятся погребенные долинные, террасовые, глубоких тальвегов и россыпи рассеяния сложного типа в долинах средних, а также высоких порядков. В число типовых объектов данной группы следует в первую очередь включить богатые глубокозалегающие долинные россыпи, отработка которых подземным способом была остановлена по горно-техническим условиям (в основном из-за обрушения кровли в связи с наличием высокотемпературных, «вялых» многолетнемерзлых пород) или оказалась нецелесообразной (в таликовых зонах). Это, в частности, Чаанайская россыпь на Чаунской низменности Центральной Чукотки, россыпи руч. Болотного и руч. Раковского в пределах Малыксийской впадины Сусуманского района Магаданской области, а также погребенная платиноносная россыпь руч. Ледяного в Корякском АО.

В россыпях смешанного происхождения (гетерогенных) по особенностям формирования, строения и условиям залегания принято выделять два основных мор-

фогенетических типа: 1) *ложково-аерные и шлейфовые зон тектонических уступов*, 2) *карстовые в днищах долин*. Объекты обоих типов при соответствующих глубинах залегания (более 20 м) и наличии других благоприятных показателей, главным образом подходящего литологического состава продуктивных толщ, весьма перспективны для применения скважинной гидродобычи. Более того, технологические преимущества СГД, связанные с более высокой полнотой извлечения мелкого и тонкого золота, могут существенно повысить промышленное значение россыпей данного типа, наиболее типичных для структурно-эрозионных депрессий Урала и ряда районов юга Сибири, Забайкалья, Южной Якутии и Приамурья.

В группе прибрежно-морских россыпей наиболее перспективным для СГД представляется промышленный тип с концентрациями аллохтонного золота и древними комплексными золотосодержащими титан-циркониевыми отложениями. Месторождения подобного генезиса достаточно широко распространены в краевых частях мезозойско-кайнозойских платформенных палеобассейнов и хорошо известны на Украине, в юго-западных и центральных частях Восточно-Европейской платформы, в Западной Сибири [3]. Продуктивные горизонты отличаются хорошей выдержанностью при мощности от 0,5—1,5 до 10—15 м. Размеры залежей самые различные, в среднем шириной до нескольких сотен метров и протяженностью до нескольких километров, глубина залегания до 50—100 м. В продуктивных отложениях комплексных россыпей установлена золотоносность с содержанием мелкого и тонкого золота порядка 50—150 мг/м<sup>3</sup>, иногда до 1,5—2,0 г/м<sup>3</sup>. Представляется, что промышленное значение месторождений золотосодержащих титан-циркониевых песков, освоение которых сдерживается из-за ценности сельскохозяйственных черноземных земель и большого экономического ущерба при карьерных разработках, может значительно возрасти при их добыче методом СГД.

Остаточно-целиковые техногенные, т.е. бортовые, внутриконтурные и охран-

ные целики россыпей основных промышленных типов при необходимых горно-геологических условиях могут представлять определенный интерес для скважинной гидродобычи.

Таким образом, перспективными для применения скважинной гидродобычи могут быть определенные морфогенетические типы и подтипы россыпных месторождений золота практически всех основных известных промышленных групп. При этом наиболее перспективны для СГД объекты, отработка которых традиционными способами по горно-техническим, технологическим, экономическим и иным соображениям нецелесообразна.

Необходимо отметить, что типизация россыпных месторождений золота и кор выветривания применительно к СГД и выделение конкретных потенциально перспективных для СГД месторождений выполнены на основе экспертных оценок и требуют более глубокого и детального геологического обоснования с учетом конкретных геологических, геоморфологических, литологических и технико-промышленных особенностей каждого месторождения.

Эффективность применения СГД золота из россыпей и кор выветривания на месторождениях, выбранных на основании геологической оценки их потенциальной перспективности, определяется надежностью средств, с помощью которых производится контроль за изменениями в массиве горных пород, связанными с разрушением и извлечением продуктивного тела. В качестве средств контроля используются, в основном, геофизические методы. Помимо традиционных для СГД задач обеспечения безаварийности и безопасности технологического процесса и экологического контроля перед геофизическими методами, составляющими элемент скважинной технологии гидродобычи золота из россыпей и кор выветривания, стоит, как считают Н.В.Милетенко, М.П.Семенова и В.Н.Одинцев [6], задача управления технологическим процессом, что требует разработки специального геофизического комплекса исследований.

Месторождения золота с небольшими размерами продуктивных пластов и их

расположением в верхней части разреза имеют ряд особенностей, определяющих специфику их изучения, в том числе и геофизических работ.

Объектом изучения является сравнительно небольших размеров добычная камера, расположенная в пределах продуктивного пласта и заполненная водно-породной взвесью продуктов его разрушения, и надкамерное пространство — рыхлые или компактные образования, пересеченные обсаженной металлическими трубами скважиной. Небольшие размеры камер обуславливают малую продолжительность технологического процесса, что приводит к необходимости непрерывного наблюдения за его особенностями и экспрессной интерпретации результатов наблюдений. В ряде случаев успех СГД может определяться возможностью управления формированием камеры. Все это требует разработки комплекса мероприятий, в которых на геофизические методы возлагается задача контроля за ходом технологического процесса и, вероятно, за его управлением. Отсутствие для верхней части разреза надежно изученных связей «физическое свойство — напряжение» требует их специального изучения на этапе опытно-промышленной эксплуатации.

Учитывая, что метод СГД ориентирован, в первую очередь, на отработку уже разведанных месторождений, геологическое строение которых изучено, **основные задачи геофизического обеспечения при их подготовке к промышленному освоению** (т.е. до начала технологического процесса) состоят в следующем:

геолого-технологическом доизучении, включающем литологическое расчленение разреза, составлении планов распространения литотипов;

изучении основных физико-механических характеристик пород разреза (пределов прочности на сжатие и сдвиг, величин коэффициента Пуассона и модуля Юнга) и контролировании геотехнологических условий залегания слоев;

изучении геофизических характеристик месторождения или отдельных его блоков и создании базовых физико-



геологических и физико-параметрических моделей месторождения, являющихся основой для проектирования рабочего комплекса и расчета физических полей для сопоставления с последующими физико-параметрическими моделями, связанными с проведением СГД.

Задачи решаются на основе изучения параметрических (наблюдательных) скважин (н.с.), обсаженных непроводящим материалом, с помощью скважинных методов: гамма-метода (ГК), плотностного гамма-гамма метода (ГГК-П), нейтрон-нейтронного метода (ННК), диэлектрического (ДК), индукционного (ИК) и акустического (АК), представляющих собой часть типового комплекса методов, используемого в инженерной геофизике для решения задачи литологического расчленения пород верхней части разреза. В случае устойчивости стенок скважин в список методов типового комплекса могут быть введены дополнительные. При невозможности бурения наблюдательных скважин основные необходимые характеристики получают при детальных наземных исследованиях.

**Применение комплекса методов на добычном этапе освоения** должно обеспечить возможность безаварийного и безопасного ведения технологического процесса, формирования добычной камеры необходимой геометрии, отслеживания процессов разрушения и обрушения надкамерного пространства. При этом до начала СГД в системе «н.с. — н.с.» рабочими методами — радиоволновым просвечиванием или межскважинным прозвучиванием — производят наблюдения, по результатам которых получают соответствующие «нулевые» модели. По данным частотного электромагнитного или радиоволнового геометрического зондирования строятся «нулевые» геоэлектрическая и радиоволновая модели. После начала СГД наблюдения за формой и размерами затопленной или частично затопленной добычной камеры ведут с помощью воздушного ультразвукового лоатора, объединенного с добычным снарядом. В приствольном пространстве технологической скважины изменение напряженного состояния «уплотнение —

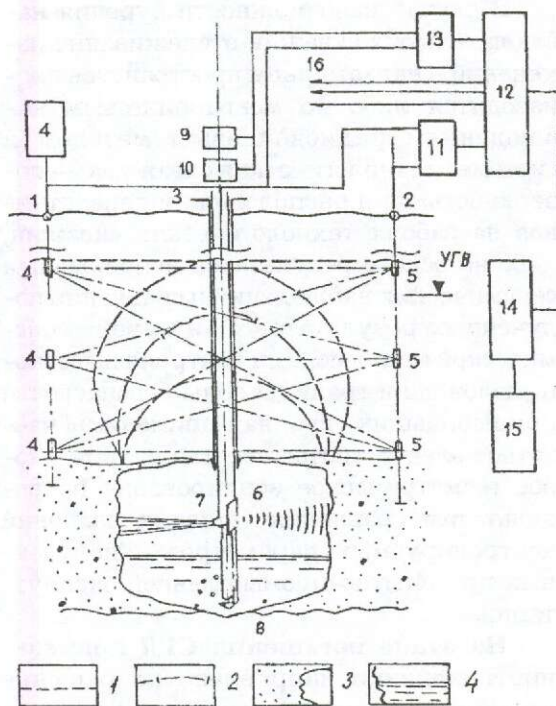


Рис. 2. Блок-схема варианта геофизического обеспечения добычного процесса.

1 — критическая глубина; 2 — эллипсоид разрушения; 3 — продуктивный пласт и добычная камера; 4 — уровень пульпы в добычной камере. Цифры на схеме: 1, 2 — наблюдательные скважины, 3 — технологическая скважина, 4 — блок передатчиков и схема управления, 5 — блок приемников РВП, 6 — скважинный блок воздушного ультразвукового лоатора, 7 — рабочая струя гидромонитора, 8 — гидролеватор, 9, 10 — датчики глубины и азимута УЗ-лоатора, 11 — наземный блок аппаратуры РВП, 12 — командно-управляющий блок, 13 — наземный блок УЗ-лоатора, 14 — ЭВМ, 15 — устройство визуализации, 16 — сигналы управления технологическим оборудованием.

разуплотнение» отслеживается либо методом радиоволнового просвечивания, либо методом прозвучивания в системе «н.с. — н.с.». При неустойчивых породах кровли добычной камеры высотные положения приемников должны соответствовать верхней границе зоны безопасности. Выбор предпочтительного в конкретных условиях метода определяется из сравнения чувствительности применяемых методов к эффектам напряженного состояния, что выясняется на стадии опытно-промышленной эксплуатации. Упрощенная блок-схема варианта геофизического обеспечения добычного комплекса работ приведена на рис. 2.

В случае невозможности бурения наблюдательных скважин отслеживание изменений в надкамерном пространстве производится либо по мониторинговым наблюдениям радиоволновым методом в системе «технологическая скважина — поверхность» при расположении передатчиков на забоях технологических скважин, либо на основе результатов непрерывных сейсмических наблюдений и сравнения полученных результатов с «нулевой» сейсмической моделью. Для контроля высотного положения границы зоны безопасности при небольших глубинах применимы частотное электромагнитное или радиоволновое геометрическое зондирование по результатам сравнения текущих значений контролируемых параметров и полученных при опытно-промышленной эксплуатации.

На этапе погашения СГД применение геофизики направлено на решение геоэкологических задач, включающих определение зон недостаточной закладки выработанного пространства, стабилизации массива, оценку возникновения связи между различными водоносными горизонтами. Эти задачи также решаются методами радиопросвечивания или прозвучивания. Для этого по применявшейся на предыдущем этапе системе регистрируется «нулевая» модель этапа погашения. В дальнейшем по мере заполнения камер закладочным материалом производится сравнение результатов текущих наблюдений с предыдущими. Контроль за изменением аномального эффекта при закачке в скважину вещества закладки, начиная от подошвы камеры до ее кровли, производится с учетом данных, полученных при опытно-промышленной эксплуатации. Мониторинг физических свойств зоны закладки при производственных работах ведется в течение всего периода стабилизации. Выявляются аномалии, связанные с возможным повторным возникновением пустот в связи с уплотнением закладочного материала. В случае, когда можно предположить возникновение связи между различными водоносными горизонтами, ее наличие может быть проверено методом радиоволновой

томографии по трассировке проводящего раствора [8].

Приведенный комплекс работ, отвечая решению большинства геолого-технологических задач, возникающих при использовании скважинной гидродобычи для отработки золотоносных экзогенных месторождений, является возможным вариантом, который в зависимости от особенностей разреза может изменяться и совершенствоваться.

Таким образом, в результате проведенных в ЦНИГРИ работ дан анализ технологических возможностей СГД, установлены основные показатели процесса, разработаны технико-технологические требования к выбору объектов для СГД, определяющие возможность и целесообразность ее применения на отработке золотоносных россыпей и кор выветривания. Даны варианты использования скважинных и наземных методов инженерной геофизики для отслеживания формы и размеров добычной камеры. Определены основные задачи исследований, направленные на поэтапное решение проблемы промышленного использования скважинной гидродобычи из золотоносных россыпей и кор выветривания. Установлено, что перспективными для применения СГД могут быть россыпные месторождения золота практически всех основных известных промышленных типов.

На основе выборочного анализа банка данных по 4000 россыпных объектов, учтенных Государственным балансом полезных ископаемых, в ЦНИГРИ в 1998 г. составлен Кадастр перспективных и первоочередных для СГД россыпных месторождений золота — всего 24 объекта. Наиболее перспективными являются объекты, отработка которых традиционными способами по горно-техническим, технологическим, экономическим и иным соображениям нецелесообразна.

Составленный кадастр россыпных месторождений золота может служить важным базовым ориентиром для оценки перспектив возможного использования скважинной гидродобычи золота из россыпей. Однако выбор участков для постановки опытно-эксплуатационных работ на выделенных объектах требует

более детального геологического обоснования с учетом конкретных геолого-морфологических, литологических и технологических особенностей каждого месторождения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аренис В.Ж., Исмагилов Б.В., Шпак Д.Н. Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых. — М.: Недра, 1980.
2. Бабичев Н.И., Николаев А.Н. Скважинная технология — новый способ освоения земных недр // Горный журнал. 1995. № 1. С. 14—18.
3. Геолого-генетические основы прогноза и поисков месторождений золота в корях выветривания / Авторы: Н.М.Риндзюнская, Р.О.Верзон и др. — М.: ЦНИГРИ, 1995.
4. Куликов В.В. Совместная и повторная разработка рудных месторождений. — М.: Недра, 1972.
5. Методика разведки россыпей золота и платиноидов. — М.: ЦНИГРИ, 1992.
6. Милетенко Н.В., Семенова М.П., Одинцев В.Н. Система геофизического мониторинга скважинной гидродобычи полезных ископаемых // Сов. геология. 1992. № 8. С. 71.
7. Программа и проект реализации скважинной геотехнологии добычи / Авторы: В.М.Минаков, В.А.Орьев и др. — М.: ЦНИГРИ, 1995.
8. Рамирес А.Л. Последние эксперименты по использованию геофизической томографии в трещиноватом граните / ТИИЭР. 1986. Т. 74. № 2. С. 123—124.
9. Россыпные месторождения России и других стран СНГ. — М.: Научный мир, 1997.
10. Тигунов Л.П. Социально экономические и геологические аспекты внедрения скважинной технологии добычи твердых полезных ископаемых // Минеральные ресурсы России. 1993. № 3. С. 25—27.
11. Фридман Б.Э. Гидромеанизация горных работ. Справочник. — М.: Металлургиздат, 1949.

Minakov V.M., Oryev V.A., Brovkin V.I., Novikov V.N., Morozov I.V.

Targets for borehole hydraulic mining and engineering-geophysical monitoring of the mining of exogenic gold deposits

*Based on the results of theoretical studies, the possibility and expediency of using borehole hydraulic mining (BHHM) at gold-bearing placers and crusts of weathering were analyzed. A list of prospective and first-priority exogenic gold deposits which are good for BHHM, while being inexpedient when mined by traditional ways, has been compiled. The possibilities of using engineering-geophysical techniques to control the shape and size of the mining chamber are discussed.*

УДК 549.283:543.42

© Ю.В.Щегольков, Р.А.Амосов, 1998

## ОСТРОВКОВЫЕ ПЛЕНКИ ОКСИДА ЗОЛОТА НА РОССЫПНОМ ЗОЛОТЕ — ПЕРВАЯ НАХОДКА

Ю.В.Щегольков, Р.А.Амосов (ЦНИГРИ МПР России)

*На поверхности золотин из ряда россыпей с помощью оже-спектроскопии установлено присутствие кислорода, не удаляемого при ионном травлении. Отсутствие на поверхности золотин других элементов, кроме золота и кислорода, и появление в оже-спектрах Au  $N_{6,7}$   $O_{4,5}$  тонкой структуры, свидетельствующей о делокализации валентных электронов, рассматриваются как доказательство образования химической связи между золотом и кислородом. Аналогичный элемент тонкой структуры в виде «плеча» на расстоянии 2,3 эВ с высокоэнергетичной стороны от Au  $N_{7}$   $O_{4,5}$  пика зафиксирован в оже-спектре синтезированного  $Au_2O_3$ . Оксид золота образует на поверхности золотин островковую пленку, средняя толщина которой составляет 0,15 нм. Предполагается, что факторами, обеспечивающими окисление золота в россыпях, являются: 1) механическая активация поверхности золотин в активном слое аллювия; 2) постоянное присутствие хлора в поровых водах аллювия; 3) повышение парциального давления кислорода в остаточной жидкой фазе при промерзании россыпей.*

Благодаря исключительно высокой химической устойчивости золота и крайне низкой его растворимости в воде традиционным является представление о том, что химические преобразования самородного золота в обводненных рыхлых отложениях ограничиваются выносом серебра из приповерхностного слоя с образованием высокопробной коррозионной оболочки [7]. В то же время нечастые, но бесспорные находки в таких отложениях аутигенного золота свидетельствуют о том, что растворение, перенос и повторное отложение золота в поровых водах аллювия возможны. При этом без обсуждения подразумевается, что это новое хемогенное золото откладывается в самородной форме. Между тем в химии золота известны разнообразные соединения этого элемента, в том числе гидроксид и оксид.

Прямое окисление золота в результате взаимодействия с кислородом невозможно из-за высокого потенциала ионизации. В традиционной химии искусственный оксид Au(III) получают путем осаждения  $Au(OH)_3$  из раствора  $H[AuCl_4]$

при добавлении концентрированного раствора щелочи или  $Mg(OH)_2$  [6]; полученный гидроксид дегидратируется с образованием сначала  $AuO(OH)$ , а затем полуторного оксида  $Au_2O_3$ . При температуре выше  $160^\circ C$   $Au_2O_3$  разлагается на золото и кислород.

Существование кислородных соединений золота в природе до недавнего времени считалось крайне маловероятным, однако в последние годы И.Я.Некрасовым в рудах Агинского месторождения на Камчатке найдены оксигидрат золота  $[AuO \cdot Au(OH)_2]$ , гидроксиды золота с серебром и медью типа  $(Au, Ag, Cu)(OH)_2$ , а также сложные оксителлуриды золота с серебром, свинцом и медью, в которых золото является резко преобладающим компонентом [3]. Приведенные формулы рассчитаны по данным рентгеноспектрального микроанализа, структурные данные отсутствуют, прямое определение кислорода не производилось. Оксигидрат, гидроксиды и оксителлуриды встречаются в окисленных рудах и преимущественно образуют на самородном золоте каймы на границах с

другими минералами. По мнению И.Я.Некрасова, образование оксидных соединений золота возможно как в зоне окисления, так и в гипогенных условиях на поздней стадии гидротермального процесса.

М.И.Новгородовой с соавторами диагностирован гидроксид золота  $\text{AuO}(\text{OH}, \text{Cl})$ , найденный в коре выветривания прожилково-вкрапленных золотых руд на Южном Урале [4]. Прямое определение кислорода и в этом случае не проводилось, однако присутствие в исследованном веществе связей  $\text{Au}-\text{O}(\text{OH})$  подтверждено данными ИК-спектроскопии (линии поглощения в области  $580-620 \text{ см}^{-1}$ ). Монокристалльные картины дифракции минерала рассчитываются в кубической сингонии, пространственной группе  $Fm\bar{3}m$  с параметром  $a = 0,495 \text{ нм}$ . По мнению авторов [4], гидроксид золота образуется при распаде хлоркомплексов золота в щелочной обстановке, возникающей при выветривании полевых шпатов. Примечательным является то, что и на Агинском месторождении, и в рудопроявлениях, описанных М.И.Новгородовой с соавторами, руды, в которых встречены кислородные соединения золота, характеризуются высоким содержанием теллура.

Вероятность образования и сохранения в стабильном состоянии кислородных соединений золота, по-видимому, более высока, если эти фазы представлены ультратонкими слоями на поверхности металлического или самородного золота. С одной стороны, атомы на поверхности отличаются по своему окружению и характеру связи, с другой, ориентирующий субстрат способствует стабилизации фаз, неустойчивых в массивных образцах [1, 5]. Появившиеся в 60-е годы и получившие дальнейшее развитие методы анализа поверхности твердого тела, такие как электронная оже-спектроскопия (ЭОС), рентгенофотоэлектронная спектроскопия (РФЭС), дифракция медленных электронов (ДМЭ) и другие, обладающие высокой локальностью по глубине (1—10 нм), позволили установить, что ультратонкие слои на поверхности металлического золота отличаются от его объема по структуре и химическому состоянию атомов.

Так, в работе [10] с помощью методов ЭОС и ДМЭ доказано образование оксидного слоя на гранях (111) и ступенчатых поверхностях  $[6(111) \times (100)]$  золота в результате хемосорбции кислорода. Эксперименты проводились в вакуумной камере при давлении кислорода  $10^{-6}$  Тор и повышенной температуре. Установлено, что хемосорбция и образование оксидного слоя наиболее интенсивно протекают при температуре от  $500^\circ$  до  $700^\circ\text{C}$ . Образовавшийся оксид золота необычайно устойчив и сохранялся после 12 часов прогрева в вакуумной камере при  $800^\circ\text{C}$ . По данным ДМЭ, размер ионов золота в оксидном слое составил  $0,22 \text{ нм}$ , что является средним значением между  $\text{Au}^+(0,27 \text{ нм})$  и  $\text{Au}^{3+}(0,17 \text{ нм})$ . Предполагается, что устойчивость «поверхностного» оксида золота может быть связана со способностью атомов на поверхности образцов легко менять свою валентность. Обработка золота парами воды в аналогичных условиях также приводит к образованию оксидного слоя [10].

Из доступных нам методов прямое определение химического состояния элементов позволяет выполнять рентгенофотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Так, у элементарного золота (нулевая валентность) энергия  $4f_{7/2}$  электронов составляет  $84 \text{ эВ}$ , а в оксиде золота делокализация валентных электронов, обусловленная образованием связи  $\text{Au}-\text{O}$ , приводит к увеличению энергии связи  $4f_{7/2}$  электронов до  $85,9 \text{ эВ}$  [11]. К сожалению, применить РФЭС для исследования поверхности природных золотин нельзя из-за того, что диаметр первичного рентгеновского пучка составляет около  $5 \text{ мм}$ , а если приготовить препарат из группы золотин, закрепленных на общем субстрате и «закрывающих» первичный пучок, то получаемый интегральный спектр вряд ли можно корректно интерпретировать вследствие химической неоднородности исследуемой группы. Локальность метода оже-спектроскопии, составляющая около  $3 \text{ мкм}$ , достаточна для изучения индивидуальных золотин, однако формально оже-спектроскопию не считают методом анализа химического состояния, используя ее в основном для

элементного анализа. Известно, однако, что изменение химического состояния элементов отражается на энергетическом положении соответствующих оже-пиков и их тонкой структуре. Таким образом, располагая эталонными спектрами веществ, аттестованных другими методами, можно проводить анализ химического состояния по оже-спектрам, как это было сделано, например, для  $KVV$  оже-спектров углерода, кремния и алюминия в различных химических ситуациях [2] или  $L_{2,3}VV$  оже-спектра серы сульфидов  $d$ -металлов [12]. Такой прием, получивший название метода «отпечатков пальцев», был использован нами для анализа химического состояния золота на поверхности россыпных золотин.

Оже-спектры регистрировались в дифференциальной форме  $dN(E)/dE$  при энергии первичного электронного пучка 2500 эВ. Напряжение модуляции на внешнем цилиндре анализатора составляло 2,3 В при записи обзорных спектров и 0,9 В при изучении тонкой структуры оже-пиков. Тонкую структуру оже-пика  $Au N_{6,7} O_{4,5} O_{4,5}$  записывали при следующих условиях: диапазон сканирования 59—79 эВ (при полной ширине развертки спектра 65 эВ), чувствительность синхронного детектора 250 мкВ, время записи 7,5 минут.

В оже-спектрах многих образцов россыпного золота постоянно наблюдаются интенсивные пики кислорода. На большей части образцов он появляется в результате физической адсорбции из атмосферы и исчезает после 5-минутного ионного травления (так же, как углеводороды,  $CO_2$  и т.д.), однако на некоторых образцах обнаруживается устойчивый кислородсодержащий слой, сохраняющийся после длительного травления, когда стравливаются все физически адсорбированные примеси. Более того, интенсивность пика кислорода после удаления физически адсорбированных примесей увеличивается (рис. 1). Атомное отношение  $Au/O$ , рассчитанное по интенсивностям оже-пиков с использованием коэффициентов элементной чувствительности, составляет для таких образцов 9—10. Известно, что кислород на поверхности золота может быть связан с

серебром, что доказывается скоррелированным снижением содержания серебра и кислорода при пирощелочной обработке золотин [8], но в поверхностном слое рассматриваемых золотин серебро отсутствует.

Отсутствие в спектрах поверхности пиков других элементов, кроме золота и кислорода, и стабильное поведение последнего при ионном травлении давали основание предполагать, что кислород находится в химической связи с золотом, т.е. на поверхности образцов присутствует слой оксида золота  $Au_2O_3$ . Поскольку детектировать водород в оже-спектрах невозможно, нельзя было исключить, что поверхностный слой представлен оксигидратом  $AuO(OH)$ .

Для решения вопроса о характере связи между золотом и кислородом необходим был критерий, основанный на каких-либо спектральных характеристиках. Для анализа химического состояния атомов золота в кислородсодержащем слое было предпринято изучение энергетического положения и тонкой структуры пика золота при энергии 69 эВ, отвечающего оже-переходу с участием валентных  $5d$ -электронов металла ( $Au N_{6,7} O_{4,5} O_{4,5}$ ), поскольку известно, что энергия оже-перехода, в котором задействованы валентные уровни, отражает плотность электронных состояний в валентной зоне, зависящую от химического окружения исследуемого атома [12]. Полученные спектры сравнивали со спектрами аффинированного золота (99,99), в которых пик кислорода отсутствует.

Как видно на рис. 2, в спектрах природных образцов с устойчивым кислородсодержащим слоем золота отмечается тонкая структура, которая выражается в появлении «плеча», расположенного между двумя энергетическими минимумами  $NOO$ -дублета. Поскольку в спектре аффинированного золота, не содержащего кислорода и каких-либо примесей, эта структура отсутствует, мы предположили, что она появляется вследствие образования связи  $Au-O$ . На появление подобной структуры в оже-спектрах атомов металлов, находящихся на поверхности в более чем одном химичес-

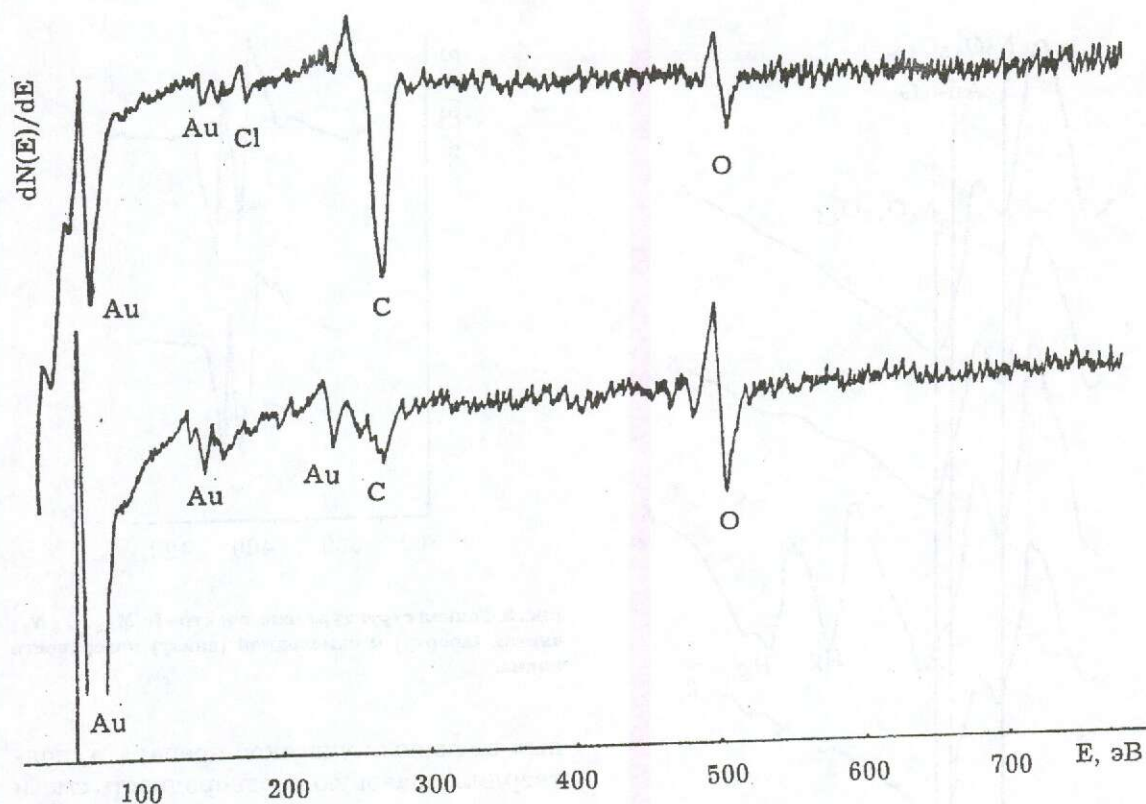


Рис. 1. Обзорные оже-спектры россыпной золотины (Средний Тиман) до (вверху) и после ионного травления. Видно, что после ионного травления интенсивность пиков золота и кислорода увеличилась.

ком состоянии, указывалось и ранее. Например, в работе [4] приведена тонкая структура  $M_{4,5} N_{4,5} N_{4,5}$  оже-спектра частично окисленной поверхности индия (рис. 3), проявленная в виде «плеча» с низкоэнергетичной стороны от основного минимума  $MNN$ -дублета (указано стрелкой).

Известно, что электростатическая зарядка поверхности образца под воздействием электронного пучка нередко вызывает сдвиг оже-пиков от их истинных значений в сторону как низких, так и высоких энергий; сдвиги по энергиям могут наблюдаться и в случае вхождения в структуру исследуемого минерала дополнительных элементов. Например, часто присутствующая в золоте примесь ртути вызывает в  $NOO$ -дублете смещение  $N_6 O_{4,5} O_{4,5}$  оже-пика в высокоэнергетичную сторону, в то время как  $N_7 O_{4,5} O_{4,5}$  оже-пик остается без изменений (см. рис. 2). Учитывая это, в качестве величин,

характеризующей энергетическую позицию «плеча» в спектре  $Au N_{6,7} O_{4,5} O_{4,5}$ , мы использовали разность энергий между  $N_7 O_{4,5} O_{4,5}$  оже-пиком и самим «плечом». Во всех случаях значение этого параметра составляет 2,3 эВ. Таким образом, появление тонкой структуры оже-спектра  $Au N_{6,7} O_{4,5} O_{4,5}$  в виде «плеча», расположенного на расстоянии 2,3 эВ с высокоэнергетичной стороны от  $N_7 O_{4,5} O_{4,5}$  оже-пика, по-видимому, указывает на образование связи  $Au-O$  в поверхностном слое золота.

Для проверки правильности интерпретации полученных спектров россыпного золота с кислородом в поверхностном слое был записан эталонный спектр синтетического оксида  $Au_2O_3$ . Последний был приготовлен по нашей просьбе Л.Г.Симаковой по схеме из [8] при взаимодействии раствора четыреххлористого золота с едким натром. Осадок был выдержан в течение года для обеспечения

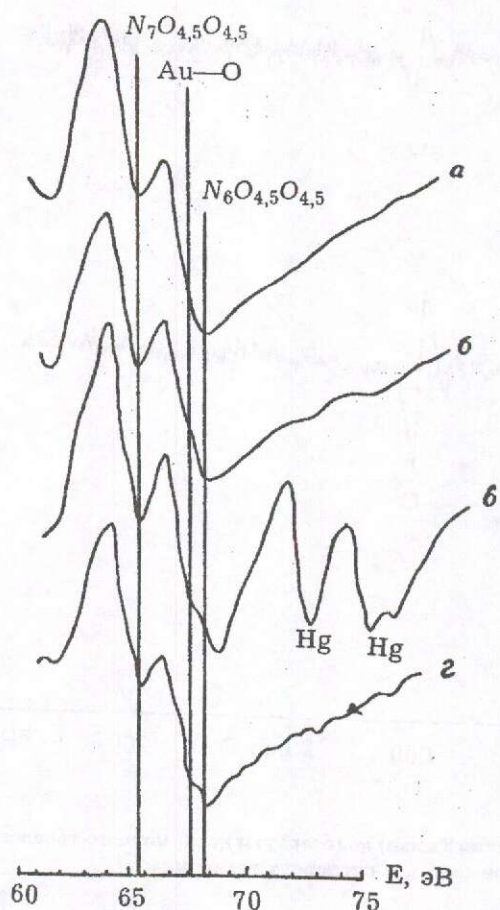


Рис. 2. Тонкая структура оже-спектра  $Au N_{7,7} O_{4,5} O_{4,5}$ : а — аффинированного золота; б — россышного золота с устойчивым кислородсодержащим слоем из ледниковых отложений чехла Русской платформы, в — из россыши р.Б.Тыялах в Магаданской области; з — синтезированного оксида золота.

превращения гидроксида золота  $Au(OH)_3$  в оксигидрат и далее в оксид, однако контроль полноты превращения по ИК-спектрам, выполненный Г.К.Блиновой на спектрометре IR-75, засвидетельствовал присутствие слабых полос поглощения в области  $580-620 \text{ см}^{-1}$ , что указывает на присутствие гидроксильных групп, т.е. превращение было неполным. При изучении осадка на электронном микроскопе Jeol T-330 с энергодисперсионным анализатором AN-10 000, позволяющим детектировать кислород, в осадке обнаружены также частицы металлического золота (анализ выполнен С.Л.Васиным). Сопоставление оже-спектров, записан-

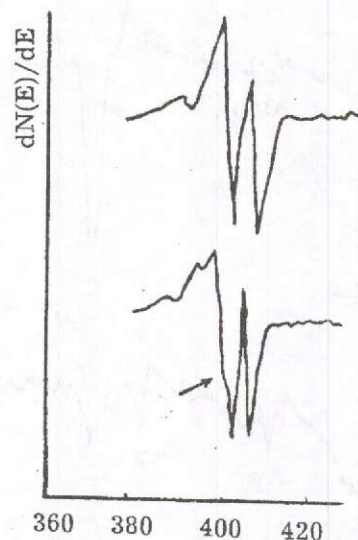


Рис. 3. Тонкая структура оже-спектра  $In M_{4,5} N_{4,5} N_{4,5}$  чистой (вверху) и окисленной (внизу) поверхности индия.

ных от разных участков препарата, подтвердило фазовую неоднородность смеси оксида и оксигидрата золота с металлическим золотом, атомное отношение  $Au/O$  составляет в нем от 1,99 до 3,25, т.е. существенно выше стехиометрического 0,66, соответствующего оксиду  $Au_2O_3$ , но заметно ниже, чем рассчитанное по спектрам природных образцов. Принципиальным моментом является присутствие в эталонном спектре «плеча», расположенного на расстоянии 2,3 эВ с высокоэнергетичной стороны от  $N_{7,7} O_{4,5} O_{4,5}$  оже-пика (см. рис. 2), что позволяет определенно интерпретировать этот элемент тонкой структуры спектра как результат делокализации валентных электронов атомов золота вследствие образования химической связи золота с кислородом.

Не полагаясь на справочные данные, мы проконтролировали химическое состояние золота в осаждаемом гидроксиде с помощью энергодисперсионного анализа и РФЭС. Для этого в опыте по осаждению гидроксида золота в качестве субстрата была использована биомасса, представленная сине-зелеными водорослями (цианобактериями) семейства осцилляториевых: *Oscillatoria terebriformis* (Ag), *Elenk*



*emend u Phormidium angustissimum* W. et G.S. Wes. Опыты по осаждению гидроксида золота выполнены в Институте микробиологии РАН В.К.Орлеанским. Биомассу после высушивания вносили в анализатор в качестве препарата, что позволило избавиться от фильтра, создающего большие неудобства при фотографировании под электронным микроскопом, энергодисперсионном анализе и РФЭС. Осаждение проводилось при  $pH = 6,5$ . Присутствие биомассы резко ускоряет осаждение гидроксида золота из раствора, что позволяет получать достаточное для анализа количество материала за 72 часа, в то время как контрольный раствор (без биомассы) в течение этого времени остается стабильным. Изучение биомассы на электронном микроскопе Jeol T-330 с энергодисперсионным анализатором AN-10 000, выполненное в Институте трансплантологии и искусственных органов С.Л.Васиным, позволило установить, что в осадке, кроме золота, присутствует кислород, причем интенсивность пика кислорода существенно выше, чем в спектрах, записанных в участках поверхности клеток, свободных от золото-содержащего осадка.

В фотоэлектронных спектрах, записанных на анализаторе поверхностей LAS-3000, энергия Au 4f-электронов составляет около 86 эВ, что соответствует оксиду золота [11], одновременно в спектре 1s кислорода отмечается появление пика в области 533 эВ, тогда как у адсорбированного кислорода энергия 1s-электронов составляет 531 эВ.

Приведенные результаты позволяют считать, что на поверхности исследованных нами образцов россыпного золота присутствует ультратонкий слой, в котором золото находится в окисленном состоянии. Учитывая нестабильность гидроксида золота, мы полагаем, что рассматриваемый слой представлен оксидом золота  $Au_2O_3$ , хотя, не доказав отсутствие в исследуемом веществе гидроксильных групп, нельзя полностью исключать, что оно содержит гидроксид. Принципиальным, однако, является окисленное состояние золота (присутствие химически связанного с золотом кислорода).

При атомном отношении  $Au/O = 0,66$

для оксида, фактически наблюдаемом отношении 9—10 и глубине выхода оже-электронов 1 нм расчетная средняя толщина оксидного слоя оказывается равной всего порядка 0,15 нм, т.е. меньше размера ионов золота, поэтому логично предположить, что оксидная пленка покрывает золото не сплошным слоем, а имеет островковое (дискретное) строение. То обстоятельство, что в спектрах многих десятков образцов атомное отношение  $Au/O$  не выходит за указанные пределы, заставляет считать, что при средней толщине оксидной пленки  $\approx 0,15$  нм и островковом ее строении достигается термодинамически равновесная конфигурация, в которой стабилизация оксида обеспечивается влиянием ориентирующего субстрата [1, 5].

Для образования оксидного слоя на россыпном золоте, по нашему мнению, существенны три фактора: 1) механическая активация поверхности золотин в активном слое аллювия; 2) постоянное присутствие хлора в поровых водах аллювия, фиксируемое по нарастаниям галогенидов щелочей на поверхность золотин; 3) многократное повышение парциального давления кислорода в остаточной жидкой фазе при промерзании россыпей, обусловленное низкой растворимостью газов в кристаллической структуре льда [9] — практически все россыпи на территории России залегают в отложениях, подверженных сезонному промерзанию, либо в вечномерзлых.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амосов Р.А., Щегольков Ю.В., Иванов В.Ш. Основные аспекты применения электронной оже-спектроскопии в минералогии / Докл. сов. геологов на XXVIII сессии Междунар. геол. конгресса. 1989. С. 100—105.
2. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / Под ред. Д.Бриггса и М.П.Сиха. — М.: Мир, 1987.
3. Некрасов И.Я. Геохимия, минералогия и генезис золото-серебряных месторождений. — М.: Наука, 1991.
4. Новгорова М.И., Трубкин Н.В., Генералов М.Е. Гидроксид золота — новая минеральная фаза из аллювиальных россыпей Южного

- Урала // Докл. РАН. 1995. Т. 344. № 4. С. 525—529.
5. О первой находке островковых пленок самородного золота / Авторы: Р.А.Амосов, Н.Г.Чувикина, Э.И.Алышева и др. / Докл. АН СССР. 1978. Т. 239. № 1. С. 185—187.
  6. Паддефет Р. Химия золота. Пер. с англ. — М.: Мир, 1982.
  7. Петровская Н.В. Самородное золото. — М.: Наука, 1973.
  8. Пироцелочное вскрытие руд благородных металлов / Авторы: Р.А.Амосов, Б.Л.Серебряный, С.Л.Васин и др. / Черняевское совещание по химии, анализу и технологии платиновых металлов. — М., 1993. С. 27.
  9. Anderson D.M. and Morgenstern N.R. Physics, chemistry, and mechanics of frozen ground: a review. Permafrost, Second Int. Conf., Nat. Acad. Sci., Washington D.C. P. 257—288.
  10. Chesters M.A., Somorjai G.A. The chemisorption of oxygen, water and selected hydrocarbons on the (111) and stepped gold surfaces // Surface Science. 1975. V. 52. P. 21—23.
  11. Dickinson T., Povey A.F. and Sherwood P.M. X-ray photoelectron spectroscopic studies of oxide films on platinum and gold electrodes // Journal of the Chemical Society Faraday Transactions. 1975. V. 1. № 2. P. 298—311.
  12. Lichtman D., Craigetal J.H. AES and XPS spectra of sulfur in sulfur compounds // Applications of Surface Science. 1981. V. 7. P. 325—321.

Schegol'kov Yu.V., Amosov R.A.

Insular films of gold oxide on gold from placers: the first find

*Auger spectroscopy revealed the presence of oxygen which cannot be detached by ion etching on the surfaces of gold grains from a number of placers. The absence of elements other than Au and O on the grain surfaces and the appearance of fine structure in Au N<sub>6,7</sub>O<sub>4,5</sub>O<sub>4,5</sub> Auger spectra, which indicates the delocalization of valence electrons, can be considered an evidence of the formation of Au—O chemical bond. A similar fine-structure element in the form of a «shoulder» at a distance of 2.3 eV on the high-energy side from the Au N<sub>7</sub>O<sub>4,5</sub>O<sub>4,5</sub> peak was observed in the Auger spectrum of synthetic Au<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Gold oxide forms an insular film, average 0.15 nm thick, on the surfaces of gold grains. It is suggested that the following factors provide for gold oxidation in placers: 1) mechanogenic activation of gold grain surfaces in active alluvial layers; 2) pervasive presence of Cl in alluvial pore waters; 3) increase in oxygen partial pressure in the residual liquid phase in the course of placer freezing.*

# РЕЦЕНЗИИ

УДК 553.4

© В.И.Воробьев, 1998

## АКТУАЛЬНАЯ МОНОГРАФИЯ

**В.И.Воробьев (МНР России)**

Только что вышедшая в свет книга А.И.Кривцова\* представляет собой уникальное произведение.

Название и оглавление монографии, к сожалению, не могут дать истинного представления о настоящем ее содержании. За достаточно обычным названием работы, строгим и предельно сжатым ее оглавлением («Введение», «Показатели системы использования и развития минерально-сырьевой базы», «Основные тенденции освоения и воспроизводства зарубежной минерально-сырьевой базы», «Прогнозы, реалии, возможности», «Заключение») вскрывается поистине громадный фактографический статистический материал, подвергнутый оригинальному авторскому анализу, сопровождаемому не менее оригинальными комментариями и выводами.

Для описания системы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы (25 видов основных полезных ископаемых, в том числе топливно-энергетического сырья) применен комплекс взаимосвязанных относительных показателей, включающий характеристики потребления, добычи, прироста запасов, экономики геологоразведочных работ.

Ретроспективный анализ освоения и воспроизводства зарубежной минерально-сырьевой базы, проведенный на основе выведенных показателей, сопровождается многочисленными графиками по группам полезных ископаемых, отдельным их видам, геолого-промышленным типам. Оценка перспектив дальнейшего развития минерально-сырьевой базы капиталистических и развивающихся стран, выполненная А.И.Кривцовым с учетом металлоемкости добычи топливно-энергетического сырья и энергоемкости производства металлов и материалов, отличается оригинальностью подхода и большей основательностью в сравнении с даваемой зарубежными исследователями.

Компактность текста монографии (около 100 стр.), большое количество иллюстрационного материала (свыше 50 рисунков) и статистических показателей, сведенных в таблицы (15 сводных таблиц) делают ее легко читаемой и, в то же время, исключительно информативной.

Особую ценность для специалистов, занимающихся анализом минерально-сырьевой базы, представляют приложения монографии — 18 таблиц, характеризующих современное состояние и динамику изменения (в ретроспективе) запасов и добычи различных полезных ископаемых в странах зарубежья.

Книга рассчитана (как указано в аннотации) на специалистов в сфере экономики минерально-сырьевых ресурсов, научных работников, предпринимателей, преподавателей вузов. Представляется ее несомненная актуальность для экономистов широкого профиля, политиков, управленцев горно-нефтегазодобывающих отраслей. Вышедшая необъяснимо малым тиражом (200 экз.), монография А.И.Кривцова, едва увидев свет, уже стала библиографической редкостью.

V.I.Vorobyev

A topical monograph

\* А.И.Кривцов. Зарубежная минерально-сырьевая база на рубеже веков — ретроспектива и прогнозы. Обзор-анализ. — М.: ЦНИГРИ, 1998.

УДК 552.5

© А.А.Константиновский, 1998

**НОВЫЙ ТРЕХТОМНИК «ЛИТОЛОГИЯ»\*****А.А.Константиновский (ЦНИГРИ МПР России)**

Трехтомный фундаментальный труд «Литология» профессора МГУ В.Т.Фролова, изданный в Московском университете, представлен как новое учебное пособие для студентов-геологов. Однако значимость данного труда выходит за рамки учебного пособия. Круг рассматриваемых вопросов вызовет, без сомнения, живой интерес у широкого круга геологов-практиков и работников НИИ, занимающихся вопросами осадконакопления и условиями формирования полезных ископаемых.

Трехтомник «Литология» знакомит с историей и методологией изучения осадочных пород и вводит читателя в курс проблем современной теории литологии. В книге охарактеризован вещественный состав осадочных пород, рассмотрены обстановки их размещения, вопросы генезиса и методы изучения.

Принципиально важно, что в фундаментальном труде В.Т.Фролова наряду с характеристиками пород различных типов рассмотрены принципы и методы историко-геологических исследований (элементы системного подхода, уровни организации геологических объектов и др.), циклический анализ (с определением циклов и циклитов, их классификацией и иерархией, рассмотрением происхождения и генетических типов), основы учения о генетических типах отложений, фациях и формациях, а также проблемы эволюции литогенеза в геологической истории Земли, теоретическая и практическая значимость изучения осадочных пород.

Целесообразность создания и опубликования нового курса «Литологии» очевидна. Со времени публикации книги Л.Б.Рухина «Основы литологии» прошло почти 30 лет. За это время накоплен и обобщен огромный объем новой информации, в литологической науке произошли важные изменения в представлениях об условиях формирования ряда важнейших типов осадочных пород. Трехтомник В.Т.Фролова, сходный по своей структуре с «Основами литологии» Л.Б.Рухина, существенно отличается более строгим системным изложением и, что особенно важно, отражает с большой полнотой современный уровень знаний.

«Литология» В.Т.Фролова состоит из введения и трех крупных частей, объединяющих 20 глав.

Часть I посвящена предмету литологии, ее методам, главным типам седиментогенеза, стадиям образования осадочных пород, характеристике аутигенно-минералогических провинций, генетических и стадияльных спектров минералов в составе осадков и осадочных пород.

Часть II посвящена характеристике осадочных пород. Рассмотрены существующие и предлагаемые петрографические классификации, литологическая номенклатура, генетические классификации осадочных пород, дано обстоятельное описание разнотипных пород. Характеристика пород различных типов располагается не в такой последовательности, как в прежних учебных пособиях по петрографии и литологии, а в порядке усложнения, что представляется правильным. Рассмотрены породы: кремневые (силициты), карбонатные (карбонатолиты), эвапориты, фосфориты, аллиты (совместно с ферритолитами и манганолитами), каустобиолиты, глинистые (пелитолиты), обломочные (кластолиты). К сожалению, автором не отражена связь каустобиолитов с ассоциацией обогащенных органическим веществом пелитолитов, силицитов и карбонатолитов, характерную для доманиковых слоев, перспективных в плане рудоносности.

Достоинством этой части трехтомника является обстоятельность и последователь-

\* Фролов В.Т. Литология. Кн. 1—3. Учебное пособие. — М., Изд-во МГУ, 1992—1995.

ность характеристик каждого из типов осадочных пород. Приведены определение каждого породного типа, классификация и номенклатура, минеральный и химический состав, петрография, обстановки размещения, происхождение, а также теоретическая и практическая значимость их изучения.

В части III рассмотрены общие вопросы теории литогенеза, важные в общегеологическом плане: эволюция литогенеза Земли, практическое и теоретическое значение изучения осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых. Обсуждаются определения и характеристики таких важнейших и, в то же время, донные дискуссионных категорий как фации (с фаціальным анализом и палеогеографией) и формации (с формационным анализом). От других учебных пособий труд В.Т.Фролова выгодно отличается наличие обширного списка отечественной и зарубежной литературы, разнесенного по главам.

В методологическом плане сильной стороной «Литологии» В.Т.Фролова является четкое разделение фаций, как литологически различных по простиранию частей слоя (пачки), и генетических типов отложений, в отличие от широко распространенной точки зрения об общности этих категорий. В.Т.Фролов развивает, таким образом, представление, которое последовательно отстаивал профессор МГУ Г.П.Леонов, что, с нашей точки зрения, выгодно отличает трехтомник от «Основ литологии» Л.Б.Рухина. То же касается и формаций, представляющих собой естественные парагенезы пород. В принятых до недавнего времени в нашей стране определениях осадочных формаций, данных Н.С.Шатским и Н.П.Херасковым, не оговорены их стратиграфический объем и естественные ограничения. В связи с этим многие формации выделялись в качестве геологических тел неопределенно больших размеров, лишенных четких естественных границ, что являлось серьезной помехой для использования их в геологической практике. В.Т.Фролов преодолел эту неопределенность масштабности формаций. Вслед за Г.П.Леоновым и отчасти В.М.Цейслером он наглядно показал, что конкретные формации в большинстве своем соответствуют региональным осадочным циклам или их частям, по объему примерно отвечают свитам региональных шкал либо ярусам и имеют хорошо прослеживаемые нижнюю и верхнюю границы.

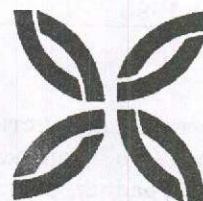
Большим достоинством труда В.Т.Фролова является постоянное внимание автора к условиям образования осадочных месторождений, в том числе металлических. Практическое значение осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых рассмотрено в конце характеристики каждого породного типа, а в обобщенной форме — в части III трехтомника. Значение «Литологии» В.Т.Фролова в качестве одной из фундаментальных основ для развития представлений о связи процесса формирования месторождений различных металлов, в частности, благородных и цветных, с литогенезом трудно переоценить. Достаточно напомнить о все более четко выявляемой связи концентраций различных металлов с конгломератсодержащими доманиковыми карбонатными и галогенными формациями в чехлах древних и молодых платформ, о разнотипных элизионных месторождениях.

Создание В.Т.Фроловым фундаментального курса литологии и его опубликование бесспорно является важной вехой в развитии наук о Земле. Трехтомник «Литология» долгое время будет служить важным пособием и для студентов-геологов, и для преподавателей ВУЗов, и для широкого круга исследователей осадочной оболочки Земли.

A.A.Konstantinovsky

«Lithology» : a new monograph in three volumes

## ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



**ЛЕОНИДУ АЛЕКСАНДРОВИЧУ БОЛОТОВУ**, кандидату геолого-минералогических наук, старшему научному сотруднику лаборатории геологии и минеральных ресурсов Мирового океана исполнилось восемьдесят лет.

После окончания Ленинградского горного института в 1941 году Леонид Александрович ушел на защиту Ленинграда рядовым народного ополчения, а закончил Великую Отечественную войну взрывником-инструктором.

После окончания войны Л.А.Болотов стоял у истоков атомной промышленности СССР. При его непосредственном участии разведаны Маньбайское и Джильское месторождения урана. Им разработаны методики опробования руд урановых месторождений и отвалов горных предприятий, содержащих радиоактивные элементы, методики учета потерь и разубоживания при эксплуатации месторождений урановых руд, позволившие вовлечь в эксплуатацию новые объекты (Сортавальское месторождение и др.), что способствовало повышению обороноспособности страны.

С начала пятидесятых годов Л.А.Болотов как ученый секретарь Комиссии по запасам драгоценных металлов МВД СССР и официальный эксперт ГКЗ СССР руководил подготовкой методик подсчета запасов благородных металлов, апробированных по 105 наиболее крупным месторождениям золота (Березовское, Дарасунское, Тасеевское, Ключи, Маракан и др.), и составлением более 150 экспертных заключений по оценке запасов цветных и благородных металлов.

Работая в Министерстве геологии СССР, Л.А.Болотов обеспечивал разработку текущих и перспективных планов и программ геолого-разведочных работ на твердые полезные ископаемые (ТПИ) отдельных регионов и страны в целом, а также осуществлял подготовку и экспертизу контрактных работ с зарубежными странами.

Начиная с 1974 г., вначале в ВИЭМСе, а с 1986 г. в ЦНИГРИ, Л.А.Болотов занимался вопросами геолого-экономической оценки ТПИ Мирового океана. Он непосредственно участвовал в подготовке комплекта документов, позволивших Советскому Союзу, а затем России получить участок на богатом месторождении железомарганцевых конкреций в поле Кларифон-Клиппертон Тихого океана. С его активным участием выполнены геолого-экономическая оценка и подготовка к эксплуатации этого месторождения, а также месторождения кобальтомарганцевых корок в поле Магеллановы горы (Тихий океан). Им предложено использование железомарганцевых образований в качестве сорбентов, что существенно повышает экономическую обоснованность перспектив освоения месторождений ТПИ в Мировом океане.

Л.А.Болотов — автор более 60 научных трудов, его работы неоднократно отмечались медалями ВДНХ СССР и специальными премиями Минсредмаша и Мингео СССР. Он награжден орденом «Красной звезды» и многими медалями.

Все, кому доводилось работать вместе с Леонидом Александровичем, ценят его сердечность, доброжелательность, огромную трудоспособность и неиссякаемый оптимизм.

От всей души поздравляем Леонида Александровича с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, долголетия и новых творческих успехов.

**ПАВЛУ ЯКОВЛЕВИЧУ ШАБАРШОВУ** — ведущему научному сотруднику ЦНИГРИ, кандидату геолого-минералогических наук исполнилось 70 лет.

После окончания в 1957 году МГУ П.Я.Шабаршов работал в экспедиции Шестого геологического управления Мингео СССР геологом, начальником партии.

С 1965 года трудовая деятельность Павла Яковлевича связана с ЦНИГРИ. Он выполнил десятки работ отраслевого и государственного значения, направленных на развитие минерально-сырьевой базы цветных металлов и прежде всего свинца и цинка, участвовал в составлении госпрограмм и госдокладов по этой проблеме. Под руководством П.Я.Шабаршова успешно проведены работы по геолого-экономическому районированию территории бывшего СССР и России. В последние годы он участвует в подготовке компьютерной картографической системы и структуры банка данных по минерально-сырьевой базе цветных и благородных металлов РФ.

П.Я.Шабаршовым лично и в соавторстве опубликовано более 40 работ методического характера, в том числе по оценке прогнозных ресурсов цветных металлов.

Неизменно проявляемые П.Я.Шабаршовым в работе и повседневном общении энергичность, требовательность к себе, ответственность за дело, глубокие знания и профессионализм снискали ему заслуженное уважение коллег.

Поздравляя Павла Яковлевича с семидесятилетием, друзья и коллеги желают ему доброго здоровья, благополучия и новых творческих свершений.



**ЦНИГРИ**

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

## **МНОГОФАКТОРНЫЕ МОДЕЛИ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ КИМБЕРЛИТОВОГО ТИПА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (АТЛАС)**

**В** Атласе приведены многофакторные модели коренных месторождений алмазов кимберлитового типа, созданные в ЦНИГРИ в 1995—97 гг. на примерах месторождений, разрабатываемых в России.

Атлас содержит описание месторождений, графические и табличные характеристики геолого-морфологических, концентрационных, математико-статистических и разведочных моделей, определяющих выбор рациональной системы и методики оценки и разведки новых месторождений подобного типа.

Кратко изложена методика формирования многофакторных моделей с использованием математических и геостатистических методов исследований, приведены данные о разведанности месторождений и достоверность оценки алмазности.

Атлас предназначен для практического использования при проектировании и производстве разведочных работ на месторождениях алмазов на примерах эталонных объектов и в качестве пособия для студентов геологоразведочных ВУЗов.

R-2.37

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 313-18-18, 315-43-47, 315-2783  
Факс: (095) 313-18-18  
E-mail: [geolmos@tsnigri.msk.ru](mailto:geolmos@tsnigri.msk.ru)

© Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, 1998





ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Предлагаемая географическими информационными системами модель организации пространственных данных близка по характеру геологическим картам. Представление геологических тел в виде замкнутых полигонов, в пределах которых значения ряда признаков (качеств) постоянны, в целом адекватно процедуре геологического картирования. Границы и линейные элементы структуры соответствуют отдельным дугам и сетям.

Каждому естественно выделяемому геологическому объекту ставится в соответствие базовый изображаемый элемент, связанный идентификатором с набором параметров в таблице атрибутов.

ГИС-технологии обеспечивают широкий набор функций манипулирования картографическим и фактографическим материалом:

- полная систематизация имеющегося картографического материала;
- возможность быстрого наложения различных слоев - как векторных, так и растровых;

- практически неограниченные возможности представления геологической графики в любом виде с быстрой сменой знаков легенды при необходимости;
- создание производных и тематических карт;
- возможности производства стандартных операций со слоями - сложение, объединение, анализ различий;
- достаточная простота перехода от одного масштаба к другому;
- измерение площадей и расстояний на карте;
- возможность издания карт высокого полиграфического качества в неограниченном количестве;
- ведение и оперативная корректировка баз данных;
- формирование запросов к базам данных и их хранение;
- обработка запросов (в том числе многоуровневых);
- аналитическая обработка информации;
- создание тематических карт выбранных показателей.

R-6.37

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ.  
Телефон: (095) 313-18-18, 315-43-47, 315-28-65  
Факс: (095) 313-18-18  
E-mail: [geolmos@tsnigri.msk.ru](mailto:geolmos@tsnigri.msk.ru)  
© Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, 1998



ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

**П**рогнозная и поисковая эффективность ГСР и ГДП-200 повышается путем автоматизированного оконтуривания перспективных рудных районов на благородные и цветные металлы с выявлением прогнозных ресурсов категории РЗ на основе аналитических возможностей, предоставляемых геоинформационными системами (ГИС) и интеллектуальными экспертными системами, работающими в диалоговом режиме.

Структура программно-технологического комплекса металлогенического районирования на основе Госгеолкарты масштаба 1:200 000, включает следующие основные модули:

- исходной геологической информации;
- создания цифровых карт и моделей;
- селекции (создания баз и банков данных, баз знаний и выбора информативных признаков);
- оконтуривания перспективного рудного района и выявления прогнозных ресурсов в его пределах.

Исходная геологическая информация подразделяется на информацию, содержащуюся в Госгеолкарте-200, и модели рудных районов. Элементы моделей

могут быть распознаны на геологической карте, так как состоят из идентичных площадных, линейных и точечных объектов.

Создание цифровой геоинформации, а также ее преобразование осуществляются в среде arc/info и на базе специально разрабатываемого прикладного программного продукта.

Цифровая геоинформация служит основным источником для формирования картографических и фактографических баз и банков данных и знаний, проведения селекции признаков с целью выявления их информативности.

Выявление перспективных рудных районов и их оконтуривание проводятся с использованием дугово-узловой топологии в среде arc/info и на основе применения интеллектуальных экспертных систем путем выявления на геологических картах обстановок, идентичных тем или иным эталонным моделям.

Комплексный подход к решению задачи оконтуривания с использованием различных современных программно-технологических модулей в значительной мере повышает точность и достоверность прогнозирования.

R-6.36

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 313-18-18, 315-43-47, 315-28-65  
Факс: (095) 313-18-18  
E-mail: geolmos@tsnigri.msk.ru


© Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, 1998

## Правила оформления тезисов и докладов

1. Тезисы объемом не более двух страниц высылаются в двух экземплярах (2-ой экземпляр подписывается всеми авторами).
2. Тезисы должны быть набраны на компьютере в редакторе Word for Windows и напечатаны на принтере с хорошим качеством печати.
3. В дополнение к пп. 1 и 2, текст тезисов передается на 3,5-дюймовой дискете или пересылается по электронной почте в Оргкомитет.
4. Печатаются тезисы на бумаге формата А4, все поля по 2,5 см, межстрочный интервал – одинарный, шрифт Times New Roman, размер 10.
5. Вверху печатается название доклада (шрифт Times New Roman, полужирный, размер 14, все буквы прописные), с новой строки – фамилии и инициалы авторов (шрифт Times New Roman, размер 14), далее на следующей строке – организация, город, страна (шрифт Times New Roman, размер 14).
6. Фамилию докладчика подчеркнуть.
7. В конце текста указывается привязка к номеру темы конференции.

**Тезисы докладов, оформленные по прилагаемым правилам, просим направлять по адресу:**

113545, г. Москва, Варшавское шоссе 129-Б, секретариат Всероссийской конференции

 Контактные телефоны:

(095) 315-06-92    Польшвинный Игорь Яковлевич  
                          Буйнов Александр Александрович

(095) 315-43-47    Алексеева Любовь Михайловна  
                          Земскова Галина Викторовна

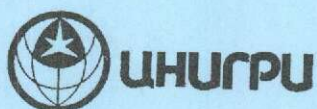
Факс: (095) 313-18-18, 315-27-01

E-mail: [tsnigri@pol.ru](mailto:tsnigri@pol.ru)

**Срок представления тезисов докладов – до 10 августа 1998 года.**

**Организационный комитет оставляет за собой право определять форму представления докладов (устная, стендовая).**

**К началу работы конференции будет издан сборник тезисов докладов. По итогам конференции планируется публикация ключевых докладов в журналах «Отечественная геология» и «Руды и металлы».**



ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

## ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ БЮЛЛЕТЕНИ ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОМУ ТРАВМАТИЗМУ НА ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

**П**редназначены для разработки эффективных мер по профилактике несчастных случаев и улучшения условий труда при производстве геологоразведочных работ, повышения качества обучения персонала безопасным методам и приемам труда.

Разрабатываются на основе оперативной информации о состоянии охраны труда и несчастных случаях в организациях геологической службы России, а также банка данных по производственному травматизму "Система управления базой данных - Охрана труда в геологии" за последние 30 лет.

Содержат статистические данные о состоянии охраны труда в геологических организациях, распределении пострадавших в результате несчастных случаев по видам работ, возрасту, профессиям, анализ причин несчастных случаев, материалы по экономическим последствиям производственного травматизма. Приводятся описания и анализ наиболее характерных несчастных случаев с тяже-

лыми последствиями.

Рекомендации, приводимые в информационно-аналитических бюллетенях, направлены на повышение эффективности профилактической работы по охране труда в организациях, обеспечивают органам надзора и управления обоснованное принятие решений по повышению безопасности труда, создают основу для совершенствования нормативной документации по охране труда, планированию отраслевого комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

ЦНИГРИ по заявкам заинтересованных организаций: направит ежегодный информационно-аналитический бюллетень по производственному травматизму;

- изучит состояние охраны труда на конкретных видах и объектах работ;
- разработает эффективные меры по улучшению условий и охране труда в организации.

R-14.13

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 313-18-18, 315-43-47, 315-28-65  
Факс: (095) 313-18-18  
E-mail: [geolmos@tsnigri.msk.ru](mailto:geolmos@tsnigri.msk.ru)

© Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, 1998