

РУДЫ

И

МЕТАЛЛЫ



6/1995





*ДОРОГИЕ ЧИТАТЕЛИ !*

*Поздравляем Вас  
с Новым 1996 годом !  
Желаем здоровья, благополучия и  
творческих успехов.*

*Редакция*



# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



**6/1995**

Научно-технический журнал

Выходит 6 раз в год

Основан в 1992 году

ISSN 0869-5997

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И. Ф. МИГАЧЕВ

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

Учредитель

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

Издается при участии

Академии минеральных ресурсов,

фонда им. академика В. И. Смирнова

Москва ЦНИГРИ 1995





**ЦНИГРИ**

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

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИХ МОДЕЛЕЙ**

Развитие цивилизации сопровождалось накоплением огромного опыта поисков, разведки и изучения месторождений, что позволило создать модели таких месторождений как их обобщенные образы. Эти модели позволяют реализовать в практике новые эффективные технологии взамен методов <дикой кошки>, поисков <руды возле руды>, проверок многочисленных геофизических и геохимических аномалий. Созданы следующие модели месторождений:

геолого-генетические для выделения районов возможного возникновения месторождений (по геологической ситуации);

прогнозно-поисковые для выделения участков поисков (по элементам моделей);

параметрические поисковые для оптимизации сети наблюдений и выработок (по параметрам околорудного пространства);

морфологические для прогноза возможной протяженности рудных тел по единичным пересечениям при оценке, минимизации сети наблюдений и выработок (по морфометрическим параметрам);

градиентно-векторные для рациональной ориентировки сети выработок при оценке и разведке, оптимизации шага между выработками (по заданным градиентам мощностей и содержаний);

многофакторные для оптимизации сети выработок при разведке (по заданной достоверности определения параметров и подсчета запасов).

ЦНИГРИ предлагает к реализации принципы построения моделей, приемы их исполнения при прогнозе, поисках и разведке рудных месторождений, соответствующие методики новых технологий, а также атласы моделей.

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129"Б", ЦНИГРИ

Телефон: (095) 313-18-18, 315-26-38

Телетайп: 114142 АДУЛЯР

Факс: (095) 315-27-01

Технический редактор Н. П. Кудрявцева

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

Сдано в набор

15.12.95

Подписано в печать

21.12.95

Тираж 250 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

*Кальниченко С. С., Иванов Н. М., Каримова Н. А., Коняев М. В., Филиппов В. П., Яблокова С. В.* 5

Основные типы золотосодержащих месторождений осадочного чехла Центральной части Восточно-Европейской платформы

*Лисицын А. Е., Дорофеев А. В., Руднев В. В., Боков А. А.* 16

Бороносность Верхояно-Индигирской рудной провинции

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

*Серокуров Ю. Н.* 30

Использование материалов космического зондирования при прогнозе и поисках коренных месторождений алмазов

*Гордин В. М., Тихоцкий С. А.* 39

Оценка представительности сеточных моделей аномального гравитационного поля России и стран ближнего зарубежья

## Модели рудных месторождений

*Яновский В. М., Чмырев А. В., Сорokin А. Б.* 45

Геодинамические модели золоторудных месторождений областей тектоно-магматической активизации

*Звездов В. С., Тихонов В. С.* 52

Тепломассоперенос в меднопорфировых рудообразующих системах по данным математического моделирования

## Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ

*Зинчук Н. Н., Бондаренко А. Т., Пыстин А. Б.* 58

Корреляционные связи между петрохимическим составом и электрическими свойствами кимберлитов Западной Якутии

## Applied Metallogeny

*Kal'nichenko S. S., Ivanov N. M., Karimova N. A., Konyayev M. V., Filipov V. P., Yablokova S. V.*

Essential Types of Gold-bearing Deposits in Sedimentary Cover of the Central Part of the East European Platform

*Lisitsyn A. Ye., Dorofeyev A. V., Rudnev V. V., Bokov A. A.*

Boron Contents in the Verkhoyano-Indigirskaya Ore-bearing Province

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

*Serokurov Yu. N.*

Using Space Probing Materials in Forecasting and Prospecting for Primary Diamond Deposits

*Gordin V. M., Tikhotsky S. A.*

Estimation of Representativity of Grid Models Portraying Anomalous Gravity Field Pattern of Russia and Independent States of Former USSR

## Models of Ore Deposits

*Yanovsky V. M., Chmyrev A. V., Sorokin A. B.*

Geodynamical Models of Gold Ore Deposits in Tectono-magmatic Activation Zones

*Zvezdov V. S., Tikhonov V. S.*

Heat and Mass Transfer in Porphyry Copper Ore-forming Systems from Mathematical Modeling Data

## Equipment and Technologies for Geological Prospecting

*Zinchuk N. N., Bondarenko A. T., Pystin A. B.*

Correlations between Petrochemical Composition and Electric Properties of West Yakutian Kimberlites



### Комплексное использование минерального сырья

*Клименко Н. Г., Романчук А. И., Ивановская В. П.*

Эффективные технологии переработки глубоководных полиметаллических сульфидов

*Симаков В. А., Вахонин Н. С., Исаев В. Е.*

Рентгенофлуоресцентный анализ комплексных руд

### Дискуссии

*Илупин И. П.*

О глубинном источнике углекислоты и воды в кимберлитах

### Новости. Информация

*Пятницкий В. И., Абрамов В. Ю.*

Обзор состояния георадарных технологий и аппаратуры в России и за рубежом

Научно-практическая конференция «Потенциал и перспективы рудоносности чехла Восточно-Европейской (Русской) платформы»

Памяти Р. О. Берзона

Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 1995 году

### All-round Utilization of Mineral Products

*Klimenko N. G., Romanchuk A. I., Ivanovskaya V. P.*

Efficient Technologies for Treatment of Deep-sea Polymetallic Sulfides

*Simakov V. A., Vakhonin N. S., Isayev V. Ye.*

X-ray Fluorescent Analysis of Complex Ores

### Discussions

*Ilupin I. P.*

On the Deep-seated Source of Carbon Dioxide and Water in Kimberlites

### News

*Pyatnitsky V. I., Abramov V. Yu.*

State of the Art in Georadar Technologies and Equipment in Russia and Abroad: a Review

«Potential and Prospects for Ore Occurrences in East European (Russian) Platform Cover»: A Conference on Scientific and Applied Research in the Field

Memorial to R. O. Berzon

«Ores and Metals» in 1995: List of Publications

63

72

78

81

89

90

91





## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

С. С. КАЛЬНИЧЕНКО, Н. М. ИВАНОВ, Н. А. КАРИМОВА, М. В. КОНЯЕВ,  
В. П. ФИЛИППОВ, С. В. ЯБЛОКОВА (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Среди осадочных и рудных формаций чехла Восточно-Европейской платформы, являющихся источником кластогенного золота в четвертичных отложениях, выделены основные потенциальные геолого-промышленные типы золотосодержащих месторождений. Приведены данные по золотоносности месторождений песчано-гравийных материалов (ПГМ), являющихся наиболее перспективными для промышленной обработки. Показаны основные типоморфные особенности самородного золота из месторождений ПГМ, отражающие его полигенетическую природу.*

Проявления золота на рассматриваемой территории известны, по крайней мере, с прошлого века [3]. Золото отмечается во всех металлогенических провинциях, охватывающих площадь развития платформенного чехла: от Воронежской и Прикаспийской — на юге, до Тиманской и Печорской — на севере; в Московской провинции — на западе и в центральной части платформы, а также в Предуральской — на востоке [8].

По данным геологических исследований разных лет, проводившихся ЦНИГРИ, ПГО Центргеология и другими организациями, золото установлено в отложениях значительного возрастного диапазона: от девонских конгломератов Воронежской антеклизы и Тиманского поднятия [7, 12, 13] до неогеновых песков Ставропольского поднятия [22]. Многочисленные проявления россыпного золота известны в неоген-четвертичной рыхлой толще бассейнов Волги, Оки, Дона, Камо-Вятской междуречья, на водораздельном пространстве верхнего течения Ветлуги и Северной Двины.

Из общего числа известных нам проявлений (около 140) 63 % связано с отложениями четвертичного, 7 % — палеоген-неогенового, 14 % — мелового, 10 % — юрского, 2 % — триасового, 1 % — камен-

ноугольного, 3 % — девонского возраста. При этом золотоносность развита в отложениях разного генезиса и связана с различными типами осадочных и рудных формаций. В аллювиальных отложениях современных водотоков известно около 70 проявлений (50 % от всех установленных); в четвертичных ледниковых и полигенетических грубообломочных толщах — 20 (15 %); в титано-циркониевых проявлениях морского генезиса юрского, мелового и палеоген-неогенового возраста — 10 (7 %); в фосфоритоносных юрских, меловых и палеоген-неогеновых осадочных толщах — 22 (16 %); в конгломератах, песках и других разнообразных отложениях фанерозоя — 16 проявлений (12 %).

Анализ палеотектонических схем приводит к выводу о том, что в ходе геологического развития Восточно-Европейской платформы основными областями сноса обломочного материала (и в том числе золота) для бассейнов осадконакопления различного возраста являлись Балтийский щит, Воронежский кристаллический массив, Белорусский свод, Тиманское и Уральское поднятия (рис. 1). На территории самой Русской плиты неоднократно возникали условия континентального режима с образованием мощ-



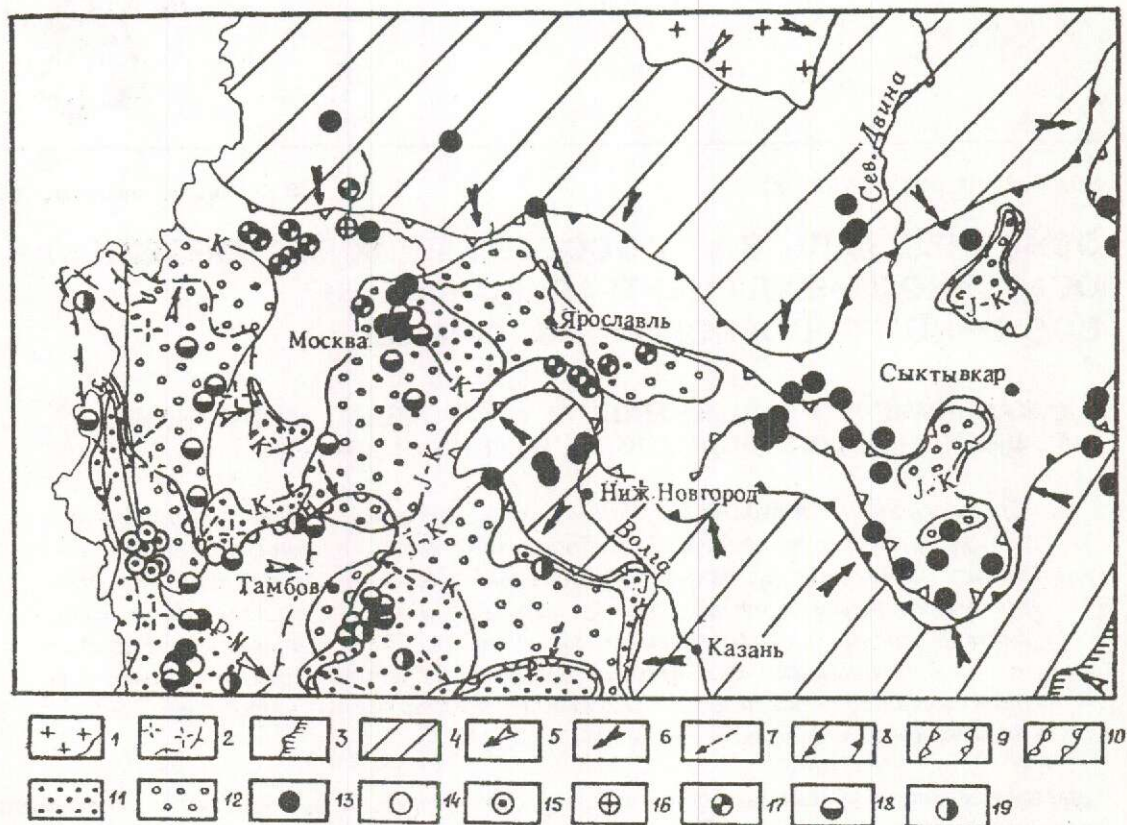


Рис. 1. Размещение проявлений золота в мезо-кайнозойских бассейнах северо-восточной части Восточно-Европейской платформы:

преобладающие области сноса в палеозое: 1 — Балтийский щит, 2 — Воронежский массив, 3 — Уральская складчатая область, 4 — области сноса в мезозое; направления сноса: 5 — в палеозое, 6 — в мезозое, 7 — в раннем и среднем кайнозое; бассейны осадконакопления: 8 — раннетриасовые, 9 — юрско-меловые, 10 — палеоген-неогеновые; потенциально золотоносные продуктивные формации и их возраст: 11 — россыпная титано-циркониевых минералов, 12 — фосфоритовая; собственно золотые россыпепроявления: 13 — аллювиальные четвертичные, 14 — морские дочетвертичные, 15 — неясного генезиса дочетвертичные (в конгломератах осадочного чехла); месторождения и проявления с попутным золотом: 16 — аллювиальные четвертичные ПГМ, 17 — флювиогляциальные четвертичные ПГМ, 18 — морские дочетвертичные фосфоритов, 19 — морские дочетвертичные титано-циркониевых минералов

ных кор выветривания. По данным некоторых авторов [16], устанавливается 8 эпох интенсивного корообразования от протерозоя до миоцена. На различных этапах геологической эволюции региона материал кор выветривания в результате колебательных движений земной коры переотлагался, при этом на периферии внутриплатформенных поднятий создавались условия, благоприятные для формирования прибрежноморских россыпей и их последующего многократного переыва. Как известно [6], на территории Русской плиты выявлено около 300 титано-циркониевых россыпепроявлений морского

генезиса, преимущественно мезозойского и кайнозойского возраста, во многих из которых обнаружено золото в значимых количествах.

Одним из благоприятных факторов формирования россыпной металлоносности мезо-кайнозойского платформенного чехла явилось развитие на обширных площадях пермской и триасовой континентальных пестроцветной и красноцветной формаций. Континентальный режим в перми и триасе с сухим и жарким климатом [15] благоприятствовал накоплению значительного количества золота (и других ценных минералов)



в отложениях аллювиальных равнин, где оно длительное время могло транспортироваться водотоками долин высоких порядков на большие расстояния от областей питания вплоть до морских бассейнов.

На территории Русской плиты широко распространены фрагменты погребенных палеодолин различного возраста — от рифея и палеозоя [21] до неоген-четвертичного (доледникового) периода [20]. Известная по литературным данным [17, 19] карбоновая доверейская долина, закартированная в Калужской области, предположительно, имела свои истоки на склонах Балтийского щита [19]. Мигрируя во взвешенном состоянии в водотоках крупных долин, золото частично отлагалось в русловых и пойменных фациях, в целом насыщая континентальную толщу на значительной площади. Как следствие этих процессов золотоносность, например, красноцветных толщ триаса, видимо, во многом определяет развитие четвертичных россыпей в бассейне верхнего течения Ветлуги и на междуречье Камы и Вятки. В прибрежно-морских областях пермского и триасового периодов также шло накопление золота в дельтовых фациях и отложениях мелководных морских бассейнов. Известны, в частности, титано-циркониевые россыпи в отложениях казанского и татарского ярусов перми в Вологодской и Архангельской областях [6], а также повышенная золотоносность пермских отложений нижнего течения Камы (данные В.Н.Новикова, 1994).

Следует добавить также, что вероятность перемещения мелкого и тонкого золота на значительные расстояния, в какой-то мере, подтверждается современными исследованиями. Золото в значительном количестве установлено на Черноморском шельфе, где оно концентрируется в дельтовых фациях крупных рек (в частности, Днестра) в пределах значительного (до 16 м) вертикального диапазона. Преобладает золото размером 0,005—0,2 мм (это золото, с которым в настоящее время связываются перспективы промышленной золотоносности Русской плиты), максимальный размер — 1,8 мм (данные В.Т.Кардаша, 1994).

Таким образом, континентальные формации перми и триаса, а также прибрежно-морские фации отдельных стратиграфических подразделений этих систем явились,

видимо, важным источником питания многочисленных, нередко золотоносных титано-циркониевых россыпей, сформировавшихся в более позднее время — от юрского до неогенового периодов.

Следует особо подчеркнуть широкое распространение россыпных проявлений золота (как собственно золотых, так и в титано-циркониевых россыпях) в прибрежно-морских осадочных фациях различных стратиграфических подразделений чехла (с девона по неоген) и их, вероятно, значительную роль как промежуточных коллекторов при поступлении кластогенного золота в четвертичные толщи различного генезиса.

Значительная роль в обогащении золотом осадочной толщи чехла Восточно-Европейской платформы принадлежит фосфоритоносным отложениям. По данным ряда исследователей [14], фосфориты являются хорошим концентратором золота, из фосфоритов некоторых месторождений и проявлений выделено гравитационное золото размером до 0,15 мм. Известны многочисленные примеры золотоносности фосфоритов юры и мела. Наблюдается также тесная пространственная связь отдельных золотоносных районов (с различными генетическими типами проявлений золота) с площадями распространения фосфоритоносных осадочных формаций.

Нами было получено золото из фосфоритов Егорьевского месторождения. Оно представлено пластинчатыми кристаллами (иногда псевдогексагональной формы) и их друзовидными сростками. Наблюдаются единичные овальные тороиды. Золото отличается гладкой поверхностью и металловидным блеском. Некоторые золотины покрыты железистыми пленками. Золото лишено признаков окатанности. Размеры его колеблются от 0,05 до 0,22 мм, преобладают частицы размером 0,12—0,15 мм. Проба золота 900—920, на отдельных золотилах различаются высокопробные (965—970) пленки.

На геохимическую связь золота с фосфором указывал в свое время А.Е.Ферсман [18]. Такая связь очевидно существует при достаточно высоких концентрациях этих элементов и в морских мелководных бассейнах, где отлагаются фосфоритоносные осадки. Концентратором золота (до 200—300



мг/т) является также глауконит [14], образующийся в условиях, близких с формированием фосфоритов, и часто встречающийся с ними в одних и тех же фациальных разностях осадочных формаций. Глауконит образует нередко парагенетическую ассоциацию с фосфоритами.

Значительное место в суммарном объеме золота отложений морских бассейнов ряд исследователей [1, 4, 11, 23] отводит биогенному золоту. Многочисленные экспериментальные данные подтверждают возможность осаждения золота в морских бассейнах микроорганизмами и водорослями (цианобактерии, диатомовые водоросли и др.), о чем свидетельствует также положительная корреляция содержания золота с наличием органогенного карбонатного материала [4]. На основании изучения псевдоморфоз золота по бактериям и водорослям установлена [1] возможность формирования значительных его скоплений сингенетично-осадочного типа. На возможность формирования биогенного золота указывает один из механизмов превращения «рассеянного» золота (в истинных растворах и коллоидной форме в морской воде) в относительно крупные выделения в результате диагенетической эволюции морских осадков. Следует отметить также значительную роль в осаждении золота в морских бассейнах сорбционной способности глинистых частиц [4, 11].

Таким образом, биогенные и хемогенные процессы в результате эволюции морского бассейна, а также при последующем катагенезе приводят к формированию золотой минерализации в породах осадочного чехла. Кроме того, при участии хемогенных и биогенных процессов возможно формирование месторождений в сульфатно-карбонатных органогенных образованиях (в известняках и доломитах девона и карбона южного крыла Московской синеклизы) с содержаниями золота от 0,2 до 8,0 г/т. На территории Волго-Уральской и Воронежской антеклиз золотоносность выявлена в битуминозных песчано-глинисто-карбонатных отложениях девона (0,2—6,3 г/т), пиритизированных конгломератах, песчаниках и алевролитах девона и юры (0,1—4,5 г/т), медистых песчаниках перми (0,2—0,9 г/т) (данные В.Г.Писемского, 1975).

Рассмотренные выше проявления золо-

тоносности могут быть отнесены к двум основным группам. Первая включает в себя россыпные проявления золота — дочетвертичные и четвертичные, как комплексные, так и собственно золотые. Вторая — стратиформные рудопоявления золота\*.

Область наибольшей концентрации проявлений золота различных типов находится в пределах мезо-кайнозойского бассейна осадконакопления (см. рис. 1), геотектоническая позиция которого определяется зоной влияния Центрально-Русского авлакогена, — крупной тектонической структуры, активной на протяжении всей истории развития платформы. Разнонаправленные движения по ограничивающим и осложняющим эту структуру глубинным разломам в палеозое и мезозое определяли границы осадочных бассейнов и областей сноса, а также, вероятно, могли обеспечивать поступление в толщу осадочного чехла высокоминерализованных подземных вод фундамента, участвовавших в формировании стратиформного золотого оруденения.

На неотектоническом этапе инверсионные движения по тем же долгоживущим глубинным разломам привели к формированию выраженной в дочетвертичном и современном рельефе гряды возвышенностей (рис. 2) и, следовательно, к экспонированию дочетвертичных металлонесных осадочных формаций (или непосредственно золотосодержащих проявлений различных типов) и выводу их, в ряде случаев, в область интенсивных эрозионных и эрозионно-денудационных процессов.

По условиям пространственного размещения известных проявлений золота, особенностям вещественного состава вмещающих их отложений, минеральному составу ценных компонентов, характеру их распределения и содержанию в продуктивных горизонтах можно выделить следующие площади, перспективные на обнаружение различных геолого-промышленных типов золотосодержащих месторождений: Воро-

\* Под стратиформными мы понимаем сингенетические и эпигенетические месторождения цветных и благородных металлов, формирующиеся в условиях литификации пород дочетвертичного осадочного чехла при ведущей роли биогенных и хемогенных факторов (что принципиально отличает их от месторождений первой группы).



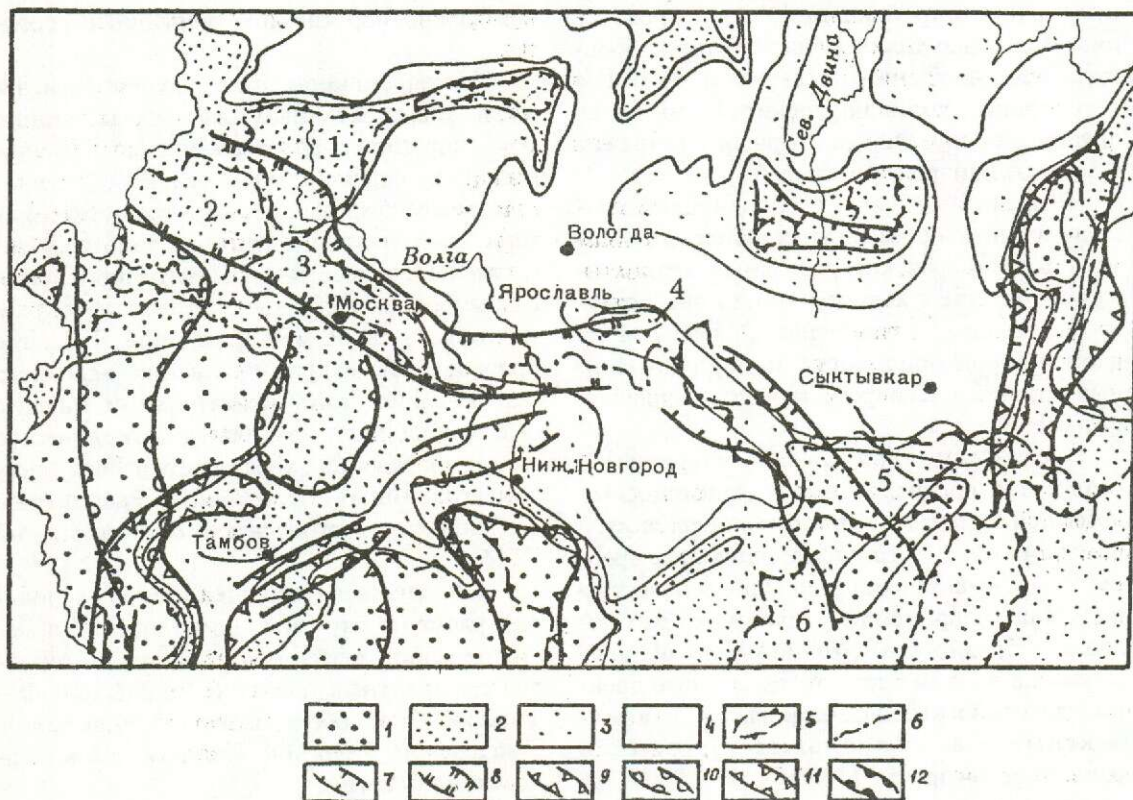


Рис. 2. Схема размещения потенциальных геолого-промышленных типов месторождений золота северо-восточной части Восточно-Европейской платформы:

амплитуды суммарных деформаций донегеновой поверхности за неогеновый и четвертичный периоды: 1 — более 200 м, 2 — 100—200 м, 3 — 50—100 м, 4 — 0—50 м; 5 — современные гряды и возвышенности: 1 — Валдайская, 2 — Смоленская, 3 — Московская, 4 — Галичская, 5 — Сев.Увалы, 6 — Верхнекамская; 6 — граница московского оледенения; площади развития геолого-промышленных типов: 7 — аллювиальные россыпи золота, 8 — попутное золото в месторождениях ПГМ, 9 — попутное золото в титано-циркониевых россыпях, 10 — попутное золото в фосфоритах; 11 — комплексные аллювиальные россыпи древней и современной гидросети; 12 — комплексные морские дочетвертичные россыпи

нежскую, Московскую, Камо-Северодвинскую, Тиманскую, Предуральскую.

На Воронежской площади золото присутствует в прибрежно-морских комплексных титано-циркониевых россыпях и россыпях широкого возрастного диапазона: кварц-глауконитовых песках и песчано-гравийно-галечных отложениях верхнего плиоцена, фосфоритоносных горизонтах, линзах и прослоях пиритизированных конгломератов и гравийников девона и позднего мезозоя [6, 14, 22], а также четвертичных аллювиальных отложениях. В этих образованиях, помимо минералов титана, циркония, золота, присутствуют и другие ценные компоненты, в том числе зерна алмазов. Можно полагать, что данная

территория перспективна на обнаружение разновозрастных комплексных титан-циркониевых россыпей с золотом и комплексных аллювиальных россыпей с переменным соотношением ценных минералов.

Проявления золота на Московской площади связаны, главным образом, с грубообломочными рыхлыми отложениями различного генезиса, которые широко используются для дорожного строительства, производства строительных материалов и для других целей. Кроме золота эти отложения содержат нередко в значимых количествах ильменит, циркон и другие полезные минералы.

Помимо месторождений ПГМ золотоносными в пределах Московской площади являются горизонты фосфоритов и отдель-



ные титано-циркониевые россыпепроявления. Возможно также обнаружение небольших месторождений россыпного золота в современных долинах, дренирующих более древние продуктивные горизонты (район Клинско-Дмитровской гряды).

В пределах Камо-Северодвинской площади известны россыпные проявления золота, некоторые из которых ранее отрабатывались. Вместе с золотом в них присутствуют минералы платиноидов. Основными на данной территории могут быть аллювиальные россыпи как современной, так и древней гидросети.

Тиманская площадь характеризуется развитием среднедевонских золотоносных россыпей с редкометальными минералами и алмазами [13]; устойчивые шлиховые ореолы с их повышенным содержанием известны в долинах современных водотоков. Это позволяет предполагать возможность обнаружения на данной территории, помимо древних золотоносных конгломератов, и комплексов аллювиальных россыпей различного возраста [2, 7].

На Предуральской площади выявлены многочисленные россыпные проявления титан-циркониевых минералов и золота, главным образом в современной аллювии. Их наличие, вместе с развитием продуктивных фосфоритоносных толщ и относительной близостью благоприятных для поступления ценных минералов питающих зон, повышает перспективность территории для поисков комплексных золотосодержащих россыпей в речных долинах.

Таким образом, в пределах Русской платформы основными перспективными геолого-промышленными типами [9] золото-содержащих месторождений могут являться (см. рис. 2):

а) Месторождения с попутной добычей золота: прибрежно-морские комплексные титано-циркониевые россыпи различного возраста; осадочные месторождения фосфоритов; месторождения песчано-гравийных материалов; аллювиальные комплексные современные и древние россыпи титано-циркониевых минералов.

б) Собственно золотоносные месторождения: аллювиальные россыпи современной и древней гидросети с переменным соотношением сопутствующих ценных минералов;

прибрежно-морские дочетвертичные россыпи.

На современном этапе изученности наиболее перспективным для промышленного освоения типом золотосодержащих месторождений европейской части России являются месторождения песчано-гравийных материалов с попутной добычей золота. В качестве первоочередных объектов для оценки россыпной металлоносности следует рассматривать такие месторождения ПГМ, где производится мокрая сепарация исходного сырья. Кроме того, практический интерес имеют накопленные в большом количестве на месторождениях хвосты переработки песчано-гравийных отложений. Рассмотрим особенности золотоносности месторождений ПГМ.

В процессе проведения авторами полевых работ по изучению золотоносности месторождений песчано-гравийных материалов центральных областей Российской Федерации было обследовано 20 карьеров в Смоленской, Тверской, Костромской и Ивановской областях.

В современном рельефе все обследованные карьеры (кроме карьера на Волге в районе г.Ржева) расположены на отдельных холмах и невысоких (до 200 м) грядах междуречных пространств. Рассматриваемые отложения относятся к водно-ледниковым образованиям конечных моренных гряд московской ледниковой эпохи среднего плейстоцена.

В целом рыхлая толща изученных карьеров имеет трехчленное строение (сверху вниз):

1. Светло-коричневые покровные суглинки (0,5—0,2 м);
2. Красноцветные суглинки, обычно с примесью гравия, гальки и отдельных валунов мощностью 1,5—2,5 м, иногда до 3—4 м;
3. Пологонаклонные перекрестно- и косослоистые валунно-галечные, песчано-галечные и песчаные отложения мощностью 5—7, иногда 9—15 м (продуктивный горизонт в отношении ПГМ).

Приведенный разрез типичен для большинства изученных карьеров. В редких случаях (Глебовский и Южномильковский карьеры Вяземского ГОКа) удавалось наблюдать подстилающий горизонт, представ-



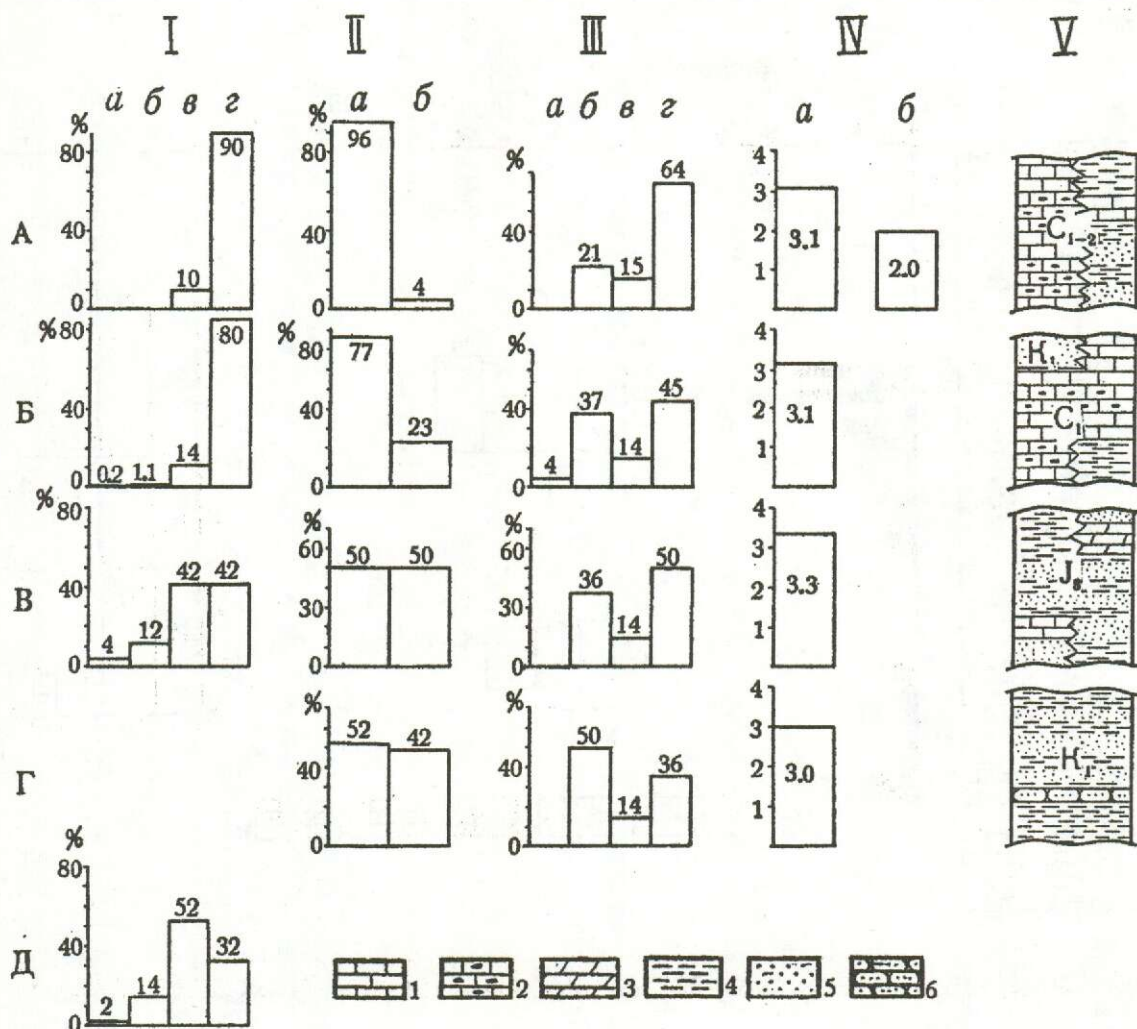


Рис. 3. Характеристика вещественного состава месторождений ПГМ:

площади: А — Ржевская, Б — Вяземская, В — Плесская, Г — Чухломская, Д — Кам-Вятская; I — granulometry золота, мм: а — +0,5, б — -0,5—+0,25, в — -0,25—+0,1, г — -0,1; II — петрографический состав: а — местные породы, б — привнесенные породы; III — данные granulометрического анализа, мм: а — +100, б — -100—+10, в — -10—+3, г — -3; IV — средняя окатанность галек по пятибалльной шкале в отложениях: а — ледниковых, б — аллювиальных; V — разрезы подстилающих дочетвертичных отложений: 1 — известняки, 2 — известняки с включениями кремней, 3 — доломиты, 4 — глины, 5 — пески, 6 — песчаники

ленный красноцветными суглинками, аналогичными по составу показанным в разрезе.

По результатам петрографического анализа, обломочный материал представлен хорошо окатанной галькой (рис. 3) преимущественно местных пород — известняков (от 10 до 80 %), кремней (до 80 %), реже песчаников и др. (до 10 %). Привнесенные породы представлены, в основном, различными метаморфическими образованиями (до 45 %), а также гранитоидами (до 20 %) и интрузивными породами основного и ультраосновного состава (до 20 %). В зависи-

мости от петрографического состава, а следовательно и степени устойчивости, подстилающих отложений соотношение между местными и привнесенными породами на отдельно взятых площадях изменяется от 96/4 до 50/50 % (см. рис. 3).

Петрографическое изучение грубообломочной составляющей показывает, что там, где подстилающими являются относительно устойчивые коренные породы (известняки и кремни карбона), в четвертичных отложениях резко преобладают обломки «местных» пород (см. рис. 3). На площадях развития неустойчивых пород (пески и глины юры и



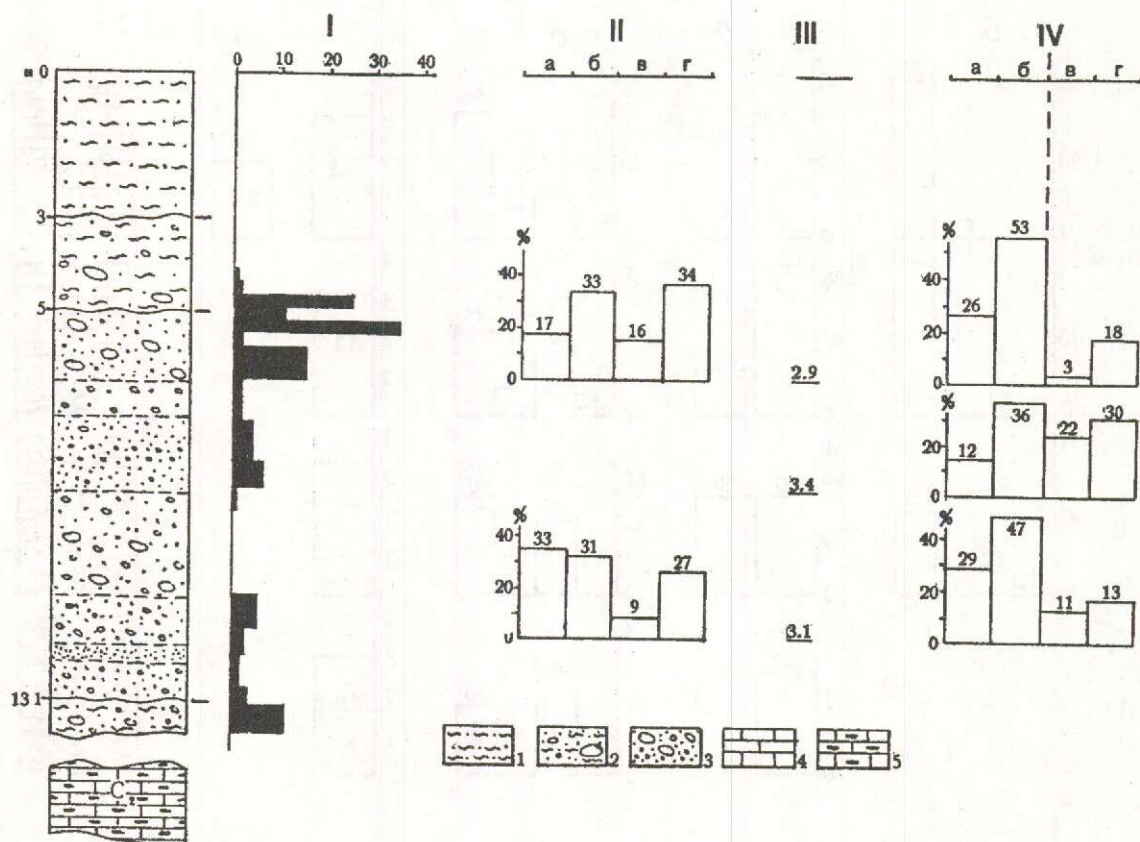


Рис. 4. Разрез рыхлых отложений Глебовского карьера (Вяземский ГОК) и характеристика их вещественного состава:

I — данные опробования на золото, мг/м<sup>3</sup>; II — данные гранулометрического анализа, мм: а — +50, б — -50 — +10, в — -10 — +3, г — -3; III — средняя окатанность гальки по пятибалльной шкале; IV — петрографический состав: местные породы: а — известняки, б — кремни, привнесенные породы: в — интрузивные, г — метаморфические; 1 — покровные суглинки; 2 — красноцветные суглинки с включением гравия, гальки и валунов; 3 — песчано-гравийно-галечные отложения, 4 — известняки, 5 — известняки с включениями кремней

мела) заметно возрастает доля привнесенных обломков (изверженных и метаморфических пород) (см.рис. 3); наряду с этим возрастает доля хорошо окатанного кварца песчаной фракции (заимствованного, как мы полагаем, из мелководных прибрежно-морских фаций юры и мела). Напротив, там, где четвертичные отложения перекрывают преимущественно карбонатные породы карбона, доля хорошо окатанных кварцевых песчинок заметно падает.

Золото установлено во всех изученных карьерах. Оно сосредоточено преимущественно в продуктивном на ПГМ горизонте, хотя отмечается иногда и в перекрывающих его красноцветных суглинках. Обычно золото «растянуто» по всему разрезу (рис. 4)

продуктивной толщи. Его средние содержания на массу до 45 мг/м<sup>3</sup>, максимальные по отдельным пробам — до 100 мг/м<sup>3</sup>. Тем не менее, предварительно можно отметить, что наиболее благоприятными для его концентрации являются грубообломочные фации с песчано-глинистым заполнителем. Повсеместно в заметном количестве отмечаются платиноиды, преимущественно во фракции -0,1 — +0,05 мм.

Преобладающий размер золотин -0,1 — +0,05 мм (см. рис. 3), значительную долю составляет фракция -0,25 — +0,1 мм (14 %). Максимальные размеры золотин — 2,5—3,0 мм (единичные знаки). Золото размером менее 0,05 мм отмечено в незначительном количестве (не более 1 %) что



связано, очевидно, со сложностью его извлечения. В действительности такого золота, по данным других авторов, значительно больше. Тот факт, что практически все золото Русской плиты (изученное нами и известное по литературным данным) хорошо сортировано и относится к классу мелкого и тонкого, указывает на малые размеры золота источников питания и влияние механического износа в процессе длительной и сложной истории его существования, а также на возможное биогенное и хемогенное происхождение значительной доли золота, определившее его изначальные небольшие размеры.

По характеру изменения крупности золота по площадям (см. рис. 3) отмечается тенденция увеличения его размеров с запада на восток — от Вяземской площади к Камоватской.

Несмотря на окатанность золота, в нем нередко сохраняются признаки, позволяющие судить о первичных формах его выделений. Золотины фракции  $+0,5$  мм представлены уплощенными кристаллами со следами расщепленного роста, пластинчатыми дендритоидами и друзовидными сростками уплощенных скелетных кристаллов.

Во фракции  $-0,5—+0,1$  преобладают (60 %) слабоуплощенные золотины, реже (12 %) встречаются изометричные, каплевидные их разновидности. По ряду фрагментарных черт можно установить, что часть золотин была представлена в первичных выделениях октаэдрами, кубооктаэдрами и их цепочковидными сростками, а также скипетровидными дендритоидами.

Среди более мелких частиц ( $-0,1—+0,5$  мм) наблюдаются преимущественно округлые, каплевидные кристаллы, их цепочковидные сростки и слабо уплощенные разновидности. Обращает на себя внимание присутствие «хрупких» агрегатов, разрушающихся при механических деформациях.

Относительно крупные золотины выглядят более окатанными, чем мелкие, а поскольку последние преобладают, золото в целом кажется средне- и полуокатанным, хотя встречаются единичные неокатанные частицы, полностью сохраняющие первичную морфологию (идеально ограниченные октаэдры).

Одной из особенностей изученного золота является отчетливое преобладание объем-

ных форм над пластинчатыми и чешуйчатыми. Вместе с тем встречаются уплощенные, хорошо окатанные, иногда деформированные золотины с загнутыми или утолщенными, благодаря наклепыванию, краями.

Относительное разнообразие форм выделений золота, а также значительное количество не совсем обычных (округлых и торoidalных) частиц, хорошо ограненных кристаллов и «хрупких» агрегатов свидетельствуют, видимо, о различной генетической природе золота, что в целом согласуется с вышеизложенными положениями о многообразии типов источников питания золотом различных осадочных толщ.

По составу золото в целом относится к классу высокопробного со средней пробой 959 (по 98 определениям). Тем не менее отмечаются значительные вариации пробы. Весьма низкопробное золото (650 и ниже) составляет 2 %, относительно низкопробное (700—800) — 7 %, средней пробы (800—850) — 21 %, высокопробное (900—940) — 28 % и весьма высокопробное (960 и выше) — 39 %. Кроме того, отмечается золото относительно сложного состава с примесью меди и ртути — 3 %. Золото пробы ниже 960 сохраняется в основном в виде реликтов в центральных частях золотин, основной же их объем представлен золотом пробы 960 и выше.

Изучение внутренней структуры золота показывает, что оно претерпело значительное изменение под воздействием различных преобразующих факторов. Практически все золото в той или иной степени затронуто гипергенными изменениями, в результате чего в нем повсеместно развиты коррозионные каймы, обусловленные замещением первичной низкопробной матрицы. Иногда эти процессы заходят настолько глубоко, что первичное низкопробное золото полностью замещается высокопробным (980—1000), представляющим собой агрегат неяснозернистого, пористого строения. В количественном отношении полностью измененные в зоне гипергенеза золотины составляют 60 %, частично измененные — 24 %, со следами слабого преобразования — 16 %.

Глубокие изменения, которым подвержено исследованное золото, отражают длительное нахождение его в условиях связан-



ных с процессами корообразования в периоды континентального развития Русской плиты.

Развитие «нового» высокопробного золота происходит не только за счет «облагораживания» низкопробного в зоне гипергенеза, но и в процессе его осаждения из растворов (возможно коллоидных). Оно наблюдается по периферии золотин разной пробы в виде наростов прямоугольной, округлой и нитевидной формы на деформированной поверхности золотин. Сходные процессы наблюдаются также в современных условиях: структуры нарастания в «новом золоте» отмечались в илестых отложениях дельты Днестра.

В изученном золоте отмечаются следы более глубоких структурных преобразований. Они выражаются в перекристаллизации высокопробных кайм, сопровождающейся фрагментарной дезинтеграцией — образованием зерен конформной конфигурации с незавершенными широкими (шнуровидными) границами. Подобные структуры являются результатом эпигенетических изменений золота в процессе литификации пород и наблюдались ранее в золоте из мезозойских и палеозойских конгломератов отдельных регионов Восточно-Сибирской платформы. Одним из возможных источников рассматриваемого золота могли служить стратиформные рудопоявления золота в отложениях девона и карбона, испытавших незначительные метаморфические воздействия в процессе катагенеза пород платформенного чехла.

Среди изученных месторождений ПГМ одно представлено аллювиальной толщей древнего террасовала и современного террасового комплекса в верховьях р. Волги у г. Ржева. Были опробованы отложения II надпойменной террасы, представленные (сверху вниз):

покровными суглинками (до 0,3 м);

слегка ожелезненными кварцевыми песками (0,7 м);

разнозернистыми горизонтально- и косослоистыми песками желтовато-серого цвета с редкими включениями щебня и прослоями (до 0,2 м) гравийно-щебнистого материала с глинисто-песчаным заполнителем (видимая мощность около 2 м).

В аллювии основания террас часто при-

сутствуют крупные (до 1,0 м) валуны гранитоидов и других пород, переотложенных с более высоких геоморфологических уровней и бортов долины.

Отличительной особенностью аллювиальных отложений от материала рыхлых толщ, распространенных на междуречных пространствах, является почти полное отсутствие в них хорошо окатанных галек и валунов (см. рис. 3). При переотложении в речных долинах каменный материал междуречий, хорошо окатанный, но значительно ослабленный процессами выветривания, превращен в щебнистую массу, песок и глину. Крупные валуны в результате десквамации и растрескивания приобрели форму глыб. Практически неизменными при переотложении остаются кварцевые гальки.

В отложениях волжских террас возле г. Ржева нами установлено золото. Оно отличается небольшими размерами (см. рис. 3) и распределено по всему разрезу аллювиальной толщи.

Как показано выше, мезо-кайнозойский осадочный комплекс платформенного чехла включает в себя различные типы золотосодержащих месторождений, которые могли послужить источником питания рыхлых толщ ПГМ. Анализ распределения золотосодержимости в четвертичных отложениях в связи с особенностями их литолого-петрографического состава показывает, что основная масса кластогенного золота, наряду с рыхлыми породами (как продуктами эрозионно-денудационных процессов), поступила в четвертичную толщу из подстилающих коренных пород. Этот вывод подкрепляется тесным пространственным совмещением области распространения выделяемого нами мезо-кайнозойского рудоносного комплекса с площадью развития золотосодержимости в четвертичных отложениях (см. рис. 1).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амосов Р.А., Васин С.Л. Золотые микрофоссилии // Руды и металлы. 1993. № 3—6. С. 101—107.
2. Богатырев Б.А., Демина В.И., Жуков В.В. Условия образования бокситоносных кор выветривания и россыпей Среднего Тимана и Восточных Гат (Индия) // Тез. докл. X Междунар. совещания. — М., 1994. С. 48—49.
3. Вестник золотопромышленности и горного дела, 1901, 1905, 1906.



4. Вихтер Б.Я. Золото в современных геологических процессах. — М.: Недра, 1993.
5. Гурвич С.И. Закономерности размещения редкоземельных и оловоносных россыпей. — М.: Недра, 1978.
6. Гурвич С.И., Болотов А.М. Титано-циркониевые россыпи Русской платформы и вопросы поисков. — М.: Недра, 1968.
7. Захарова О.Н. Палеогеологические обстановки формирования древних полиминеральных россыпей платформенного чехла Тимана // Тез.докл. X Междунар. совещания. — М., 1994. С. 79—80.
8. Ивсен Ю.П., Левин В.И., Нужнов С.В. Формационные типы древних золотоносных россыпей и методы их поисков. — М.: Наука, 1969. С. 29—33, 51, 98.
9. Кальниченко С.С. Потенциальные геолого-промышленные типы золотосодержащих месторождений в отложениях чехла Русской платформы // Тез.докл. X Междунар. совещания. — М., 1994. С. 89—90.
10. Кальниченко С.С., Иванов Н.М., Филиппов В.П., Яблокова С.В. Геолого-геоморфологические предпосылки формирования россыпепроявлений золота в четвертичных отложениях чехла Русской платформы // Тез.докл. X Междунар. совещания. — М., 1994. С. 91—93.
11. Константинов М.М. Стратиформное золотое оруденение — достижения и проблемы построения моделей рудообразующих систем // Руды и металлы. 1993. № 1—2. С. 14—19.
12. Константиновский А.А. Новые данные о золотоносности кварцевых конгломератов среднего Северного Тимана // Тр. ЦНИГРИ. 1982. Вып. 172. С. 119—122.
13. Константиновский А.А., Пачуковский В.М., Захарова О.Н. К проблеме рудоносности Тимана // Литология и полезные ископаемые. 1993. № 5. С. 69—80.
14. Никитин Н.М., Ясырев А.П., Трушин И.А. Особенности формирования золотоносных осадочных образований в мезо-кайнозойском чехле Русской платформы // Древние и погребенные россыпи СССР. Ч. 2. — Киев, 1977. С. 45—48.
15. Обидиентова Г.В. Века и реки. — М.: Недра, 1983.
16. Пустовалов И.Ф., Иголкина Н.С., Кириков В.П. и др. История развития Русской платформы, ее металлогения и задачи дальнейших исследований // Тр. ВСЕГЕИ. — Л., 1975. Т. 234. С. 29—38.
17. Утехин Д.Н. Следы башкирского яруса в Подмосковном крае // Материалы по геологии и полезным ископаемым центральных районов Европейской части СССР. — М., 1960. Вып. 3. С. 192—196.
18. Ферсман А.Е. Геохимия. Т. 4. — Л.: Госхимтехиздат, 1939.
19. Филиппович В.Ф. Погребенные долины северной части Калужской области // Геология, полезные ископаемые и инженерно-геологические условия центральных районов Европейской части СССР. — М., 1984. С. 110—117.
20. Ших С.М. Погребенные доледниковые долины юго-западной части Подмосковского бассейна // Материалы по геологии и полезным ископаемым центральных районов Европейской части СССР. — М., 1960. Вып. 3. С. 177—183.
21. Яблоков В.С. Перерывы в морском осадконакоплении и палеореки (в рифее — палеозое Русской платформы). — М.: Наука, 1973.
22. Яблокова С.В., Полканов Ю.А., Иконников Н.И. Золотоносность титановых и титано-циркониевых россыпей Русской платформы и других регионов // Древние и погребенные россыпи СССР. Ч. 2. — Киев, 1977. С. 42—45.
23. Ясырев А.П., Никитин Н.М., Мельников М.С. Неподвижный бентос как геохимический индикатор при поисках морских россыпей золота // Докл. АН СССР. 1978. Т. 243. № 3. С. 764—766.

Kal'nichenko S.S., Ivanov N.M., Karimova N.A., Konyayev M.V., Filippov V.P., Yablokova S.V.

#### ESSENTIAL TYPES OF GOLD-BEARING DEPOSITS IN SEDIMENTARY COVER OF THE CENTRAL PART OF THE EAST EUROPEAN PLATFORM

*Main potential geology-commercial types of gold-bearing deposits are marked out amidst sedimentary and ore-bearing formations in the East European platform cover which are known to be a source of clastogenic gold for Quaternary deposits. Data on gold contents in sandy-gravel material (SGM) deposits showing the most promise for commercial development are presented. Major typomorphic peculiarities of native gold from SGM deposits reflecting its polygenetic nature are shown.*



УДК 553.637.064.32

© Коллектив авторов, 1995

## БОРОНОСНОСТЬ ВЕРХОЯНО-ИНДИГИРСКОЙ РУДНОЙ ПРОВИНЦИИ

А. Е. ЛИСИЦЫН, А. В. ДОРОФЕЕВ, В. В. РУДНЕВ, А. А. БОКОВ (ВИМС Роскомнедра)

*Рассмотрена геологическая позиция скарново-борного оруденения провинции, охарактеризованы наиболее значимые рудные районы и месторождения. Показаны минеральные типы руд и условия их локализации, а также новые для региона находки минералов бора. Приведена схема метасоматической зональности скарнов и положение в ней борной минерализации. Обосновано отнесение оруденения к олово-борной формации и намечены основные прогнозно-поисковые критерии месторождений данной рудной формации.*

Верхояно-Индигирская рудная провинция представляет собой северную часть более обширной Верхояно-Колымской металлогенической провинции и известна как территория распространения свинцово-цинкового, оловянного, вольфрамового, висмутового, сурьмяно-ртутного, золотого оруденения. Вместе с тем, в пределах этой рудной провинции широко развито скарново-борное оруденение, которое по разнообразию минеральных типов руд и специфике слагающих их боратов выдвигает рассматриваемую территорию в ряд интереснейших и оригинальных борноносных регионов мира.

Первые публикации о находках здесь борных минералов принадлежат В.А.Вакару с соавторами (1934 г.) и А.А.Волосатову (1947 г.), а к началу 60-х годов на территории Верхояно-Индигирской рудной провинции были выявлены многочисленные рудопоявления бора. В дальнейшем наибольший вклад в изучение геологии, минералогии и геохимии борного оруденения в этом регионе внесли А.В.Дорофеев, С.М.Александров, Н.Н.Перцев, И.Я.Некрасов. В последние годы авторы статьи собрали богатый и разнообразный каменный материал по борным рудам и вмещающим породам, что позволило углубить знания о борноносности Полярной Якутии.

Верхояно-Индигирская рудная провинция расположена в центральной и северо-восточной частях горной системы Черского в пределах хребтов Тас-Хаяхта, Селенных, Полоусного и Улахан-Тас. Борное оруденение в регионе имеет мезозойский возраст, и его формирование связано с раннемеловым гранитоид-

ным магматизмом орогенного режима киммерийского тектогенеза. Магматизм, тектоника и металлогения верхояно-колымских мезозойских орогенных поясов обусловлены коллизией Верхоянской пассивной континентальной окраины с островными дугами и некоторыми микроконтинентами [3]. Коллизия развивалась со средней юры до конца мелового периода и определила главное оруденение мезозойских формаций. Рудоконтролирующими являются многочисленные разломы коллизионного этапа развития Верхоянья. С этим же процессом связано образование продольных и поперечных относительно региональной складчатости поясов гранитоидов. Их формирование является результатом заключительных стадий коллизии, когда плавлению в зоне субдукции подвергалась континентальная кора, затасанная вслед за океанической корой под островные дуги [4].

В пределах Верхояно-Индигирской рудной провинции выделяют [5] следующие районы с месторождениями и проявлениями борных руд: Тас-Хаяхтахский, Селенныхский, Полоусненский и Улахан-Тасский (рис. 1) в виде блоков палеозойских терригенно-карбонатных пород, которые представляют собой тектонические террейны, составлявшие ранее единую «карбонатную платформу» [4]. Выделяемые внутри тектонических террейнов — рудных районов, субтеррейнов определяют положение рудных зон; рудные узлы, поля и месторождения располагаются в пределах тектонических пластин и линз. В регионе наиболее изученным и насыщенным разнообразным борным оруденением является Тас-Хаяхтахский рудный район.



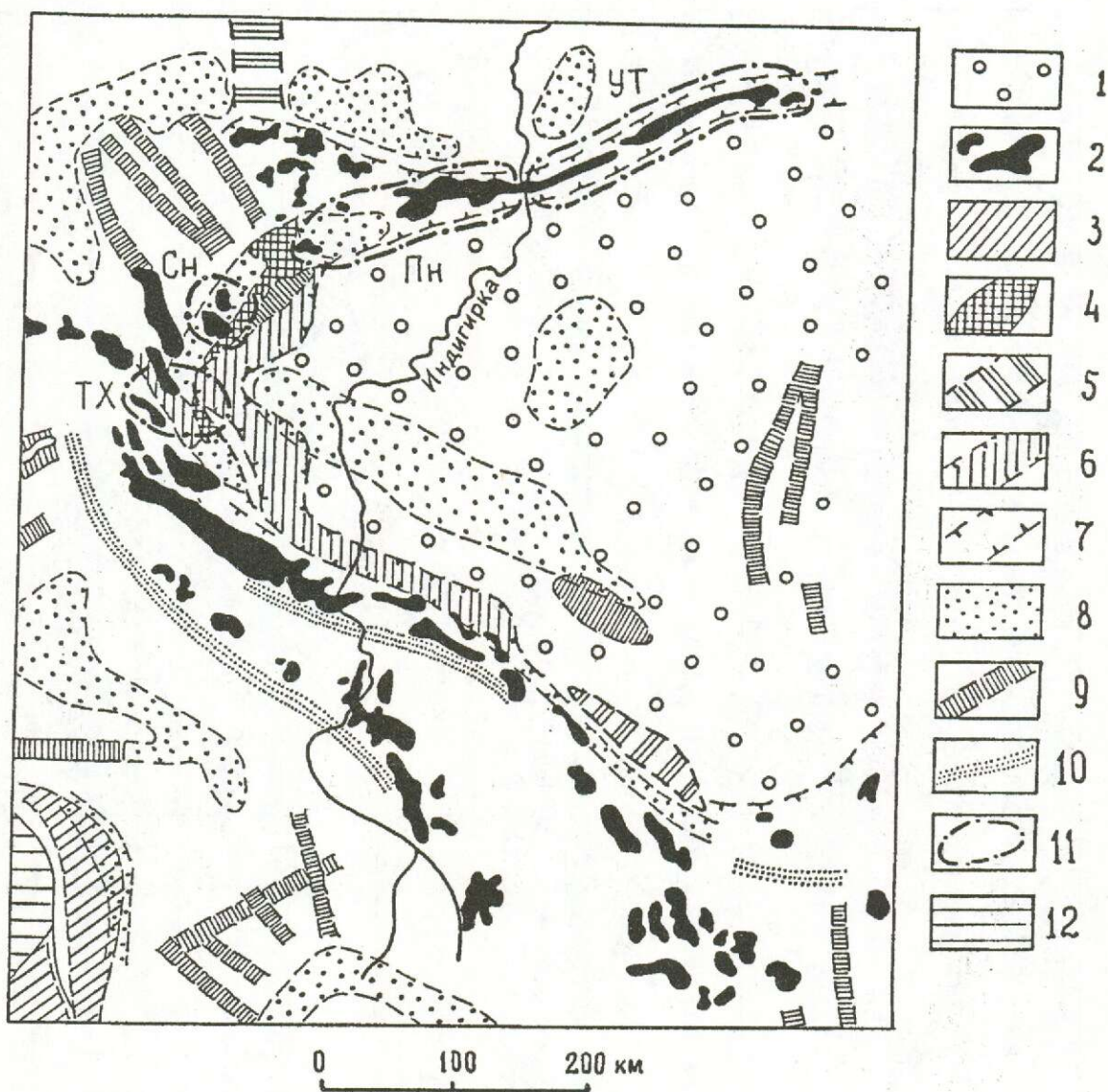


Рис. 1. Схема металлогении Верхояно-Колымских мезозойид (по [4], с дополнениями авторов):

1 — Колымский блок; 2 — позднемезозойские гранитоиды Полоусненско-Колымской металлогенической зоны с преобладанием касситерит-вольфрамит-кварцевой и олово-борной формаций; границы рудных зон и районов с доколлизийным (домезозойским) оруденением: 3 — медным и свинцово-цинковым стратиформным, 4 — хромитовым в офиолитах, 5 — редкоземельным позднепалеозойским; границы коллизийных металлогенических зон: 6 — колчеданных полиметаллических, 7 — оловорудных, 8 — ртутных; границы рудных районов в пределах металлогенических зон: 9 — оловорудных, 10 — сурьмяных, 11 — борных (ТХ — Тас-Хаяхтахский, Сн — Селеняхский, Пн — Полоусненский, УТ — Улахан-Тасский); 12 — Сибирская платформа

По данным В.С.Оксмана и А.В.Прокофьева (1992 г.), Тас-Хаяхтахский терреин разделяется Кутуканским разломом северо-западного простираения на два субтеррейна: Догдинский и Кыринский. С точки зрения борносности первый представляет максимальный интерес. Он же определяет положение

Догдинской рудной зоны (рис. 2), в западной части которой расположен Догдинский рудный узел с борными месторождениями Наледное, Гольцовое, Кэбириинское, Халимское и ряд рудопроявлений. В восточной части рудной зоны располагается Верхне-Тирехтяхское рудное поле с борными



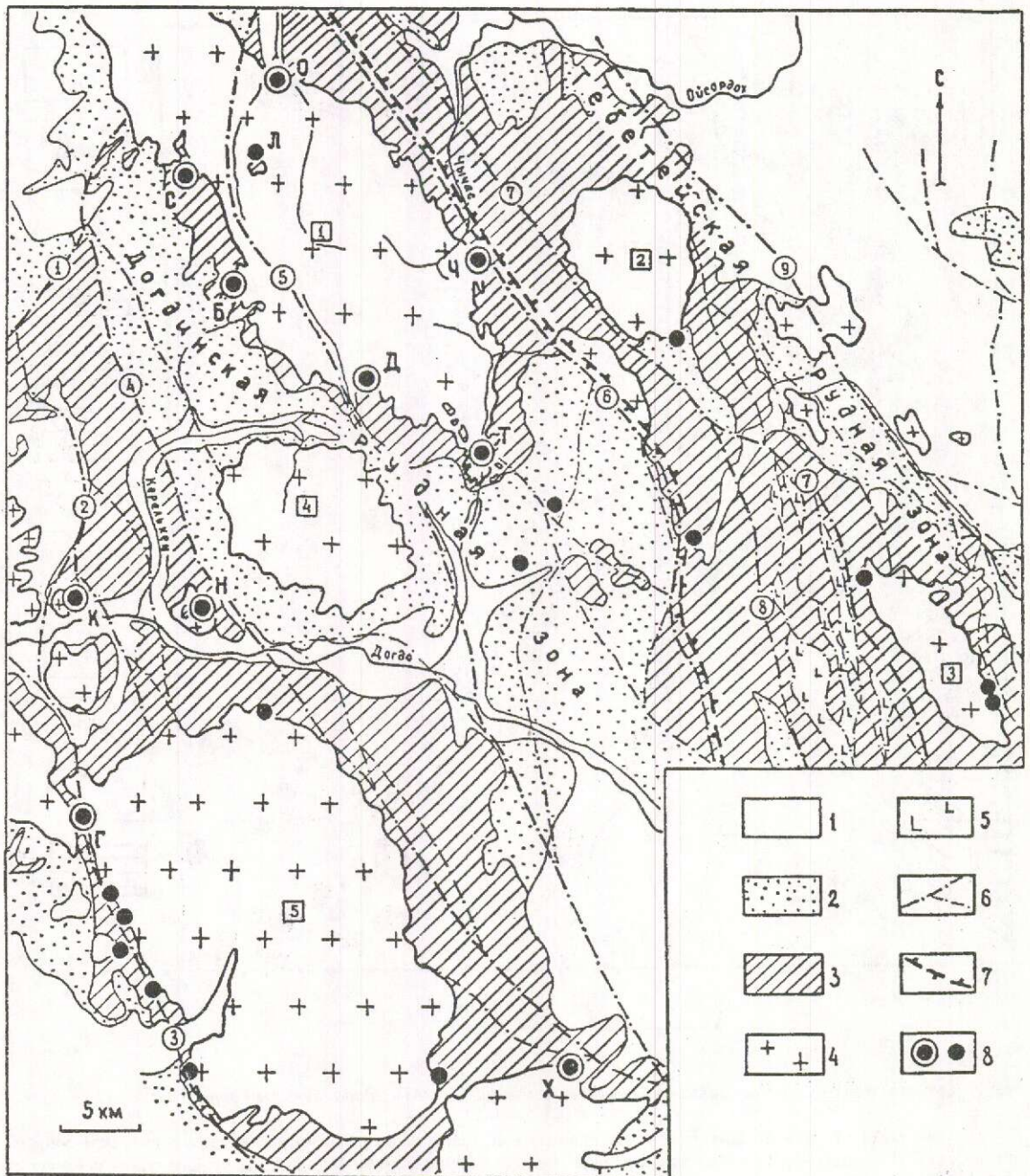


Рис. 2. Схема геологического строения и размещения борного оруденения в Тас-Хаяхтаском рудном районе (использованы материалы В.С.Оксмана и А.В.Прокофьева с дополнениями авторов):

1 — четвертичные и неогеновые континентальные отложения; 2 — юрские и триасовые вулканогенные, вулканогенно-осадочные, терригенные, реже интрузивные породы; 3 — силурийские, девонские и ордовикские терригенно-карбонатные отложения; 4 — гранитоидные массивы раннемелового комплекса, цифры в квадратах: 1 — Верхне-Тирехтяхский, 2 — Кюэж-Оттохский, 3 — Мунилканский, 4 — Догучанский, 5 — Догдинский; 5 — офиолиты среднеордовикского протрузивного комплекса; 6 — тектонические нарушения, в том числе разломы глубинного заложения, цифры в кружках: 1 — Тирехтяхский, 2 — Кэбириинский, 3 — Солоньинский, 4 — Усунский, 5 — Догучанский, 6 — Кутуканский, 7 — Чычас-Кыринский, 8 — Шумовой, 9 — Ойсордохский; 7 — границы рудных зон; 8 — борные и олово-борные месторождения, рудо- и минералопоявления: Б — Белкынское, Г — Гольцовое, Д — Догучанское, К — Кэбириинское, Л — Людвиг, Н — Наледное, О — Ойсордохское, С — Снежное, Т — Титовское, Х — Халимское, Ч — Чинарское.



месторождениями и рудопроявлениями: Титовское, Докучанское, Снежное, Ойсордохское, Белкынское, Чычасское, Людвиг.

Кыринскому субтеррейну соответствует Тебетейская рудная зона, включающая два рудных узла — Кюэж-Оттохский и Мунилканский (см. рис. 2), с боратовыми рудопроявлениями в зонах контактов одноименных гранитоидных интрузивов с карбонатными и карбонатно-терригенными отложениями девона, силура и верхнего ордовика.

Севернее Тас-Хаяхтахского террейна в пределах Селенняхского кряжа расположен Селенняхский террейн, в юго-восточной части которого в экзоконтактах Саханьинского и Сыачанского (Сечано-Яофтахского) гранитоидных массивов (см. рис. 1) в метасоматически измененных карбонатных породах нижнего и среднего палеозоя выявлено обильное боратовое оруденение. Борные месторождения и рудопроявления — Аранское, Молодежное, Западное, Лесное, Чыбагалахское, Вадэнэй и др. образуют Чыбагалахский рудный узел. Кроме собственно боратовых руд на Чыбагалахском месторождении установлены значимые концентрации касситерита, шеелита, повышенные содержания цинка и бериллия.

На северо-востоке Верхояно-Индигирской провинции расположены два тектонических террейна — Полоусненский и Улахан-Тасский, которым соответствуют одноименные рудные районы (см. рис. 1). В экзоконтактах Махастырского, Восточно-Полоусного и Улахан-Тасского массивов гранитоидов выявлены скарново-рудные залежи с боратовым и магнетитовым оруденением.

Среди разнообразных магматических образований рудной провинции продуцирующими борное и олово-борное оруденение являются раннемеловые известково-щелочные гранитоиды гранодиорит-гранитной формации. Массивы гранитоидов имеют различную площадь выходов, меняющуюся от первых квадратных километров (Наледный интрузив) до нескольких сот квадратных километров (Верхне-Тирехтяхский и др.) при ограниченной — 4—10 км — вертикальной протяженности [15]. Форма массивов плитообразная, с крутым наклоном в сторону Колымского микроконтинента (Докучанский и Улахан-Тасский массивы),

лаколитообразная (Сыачанский массив), часто осложняется апофизами гранитов и многочисленными ксенолитами вмещающих пород. Контакты гранитоидов обычно совпадают с напластованием осадочных пород, реже секущие. Главные фации интрузивных массивов сложены гранодиоритами и биотитовыми гранитами, в апикальных зонах присутствуют участки лейкократового и пегматоидного стросния. Дайковый комплекс представлен позднеюрскими габброидами, позднемеловыми метадиабазами и аплитами.

Воздействие гранитоидов на карбонатные и карбонатно-терригенные породы в условиях малых глубин привело к формированию по доломитам и известнякам магнезиальных и известковых скарнов периклазовой, реже монтичеллитовой фаций; сланцы, мергели и песчаники преобразованы в известково-силикатные роговики. Скарны мощностью от нескольких сантиметров до первых десятков метров наблюдаются вдоль контактов большинства гранитоидных интрузивов, включая ксенолиты. Скарны залегают как непосредственно в контактах с гранитоидами, так и в удалении от них до первых сотен метров. Они представлены линзо-, пласто-, трубообразными и неправильной формы телами с непостоянным, чаще крутым (до  $90^\circ$ ), падением, совпадающим обычно с направлением напластования вмещающих пород и плоскостями тектонических трещин.

Борное оруденение в регионе генетически связано с магнезиальными и апомагнезиально-известковыми скарнами и локализуется только в пределах контактовых ореолов раннемеловых гранитоидов. Месторождения бора Верхояно-Индигирской провинции в структурно-геологическом и генетическом плане однотипны и отличаются друг от друга некоторой индивидуальностью в представительности рудных минеральных ассоциаций. В качестве примеров ниже рассмотрены отдельные месторождения, характеризующие весь спектр минеральных типов борных руд провинции.

Титовское месторождение — наиболее крупный борный объект Верхояно-Индигирской рудной провинции. Оно входит в состав Верхне-Тирехтяхской группы месторождений объединенных в обширное рудное поле



и локализующихся в приконтактовой зоне юго-восточной части одноименного массива гранитоидов. В строении рудного поля участвуют преимущественно карбонатные породы верхнего силура и верхнего девона — доломиты, известняки, в меньшей мере известково-глинистые сланцы, мергели и песчаники. Верхне-Тирехтяхский многофазовый массив сложен гранодиоритами и кварцевыми гранодиоритами первой интрузивной фазы, порфиробластовыми амфибол-биотитовыми гранитами второй фазы; локально развиты лейкократовые биотитовые и щелочно-полевошпатовые граниты третьей фазы. Вмещающие породы на контактах с интрузивом скарнированы или ороговикованы, а граниты нередко представлены субщелочными пироксеновыми разновидностями, переходящими в сиениты. Скарны и борное оруденение парагенетически связаны с гранитоидами первой и второй фаз. Скарновые залежи имеют мощность от нескольких сантиметров до первых десятков метров при их протяженности от 10—15 до нескольких сотен метров. Контакты карбонатных пород с гранитоидами близки к согласным, реже секущие. В пределах месторождения встречаются единичные дайки меловых аплитовидных гранитов и позднеюрских габбро и габбро-диабазов.

Месторождение Титовское включает несколько участков, объединяющих десятки рудных тел: Моральный, Астарта, Кудесник, Магнетитовый, Маг, Штоки, Висячий, Адам, Северный (рис. 3). Рудные тела на участках Астарта, Кудесник, Магнетитовый сложены в основном лодвигит-магнетитовыми и магнетитовыми рудами. На участке Моральный среди руд преобладают лодвигит-вонсенитовые и гулсит-пайгеитовые\* разновидности, присутствуют сахаит (харкерит), котоит, ссайбелиит. На участке Маг руды представлены преимущественно лодвигитовыми (вонсенитовыми) и магнетит-лодвигитовыми минеральными типами, локальное развитие имеют лодвигит-ссайбелиитовые и котоит-сахайто-вые разновидности (рис. 4). На участке Адам установлены флюоборит-лодвигитовые,

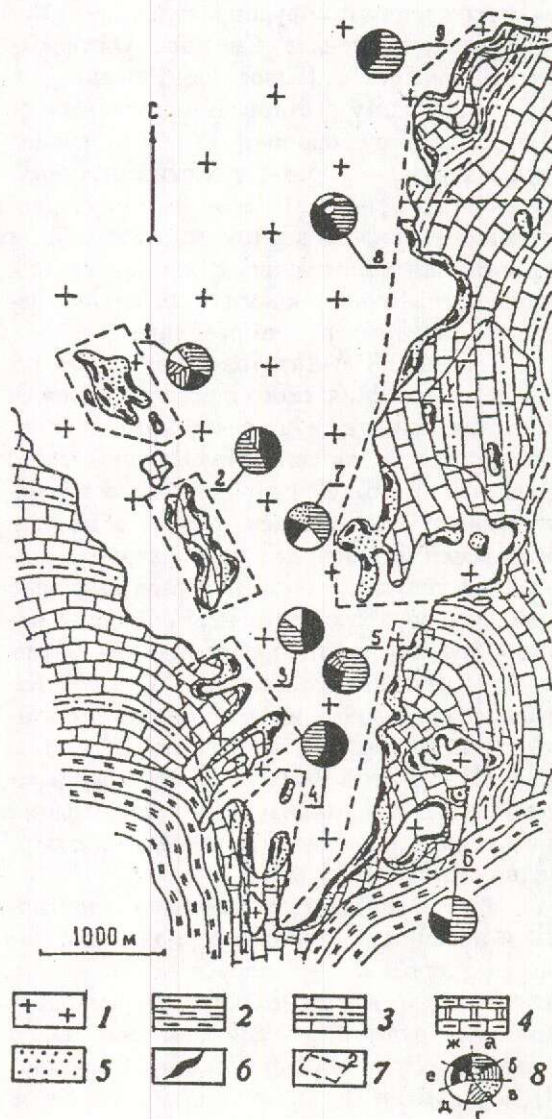


Рис. 3. Схема геологического строения Титовского месторождения и распределения основных рудных минеральных ассоциаций на его участках:

1 — амфибол-биотитовые граниты ( $\gamma_2 K_1$ ); 2 — нижнеюрские известково-кремнистые алевролиты, конгломераты; 3 — нижне-верхнедевонские известняки, доломиты, мергели, алевролиты, аргиллиты; 4 — верхне-силурийские известняки, доломиты, известковистые алевролиты; 5 — кальцифиры, магнезиальные и аломгнезиальные известковые скарны; 6 — борные и олово-борные рудные тела; 7 — участки и их номера: 1 — Моральный, 2 — Кудесник, 3 — Астарта, 4 — Магнетитовый, 5 — Маг, 6 — Штоки, 7 — Висячий, 8 — Адам, 9 — Северный; 8 — усредненные относительные соотношения главных минералов борных и олово-борных руд: а — лодвигит-вонсенит, б — гулсит-пайгеит, в — котоит и суанит, г — сахаит (харкерит), д — ссайбелиит, е — флюоборит, ж — магнетит  $\pm$  пирротин, арсенопирит

\* Пайгеит (paigeite) — оловосодержащая существенно железистая минеральная разновидность в гулситовой изоморфной серии.



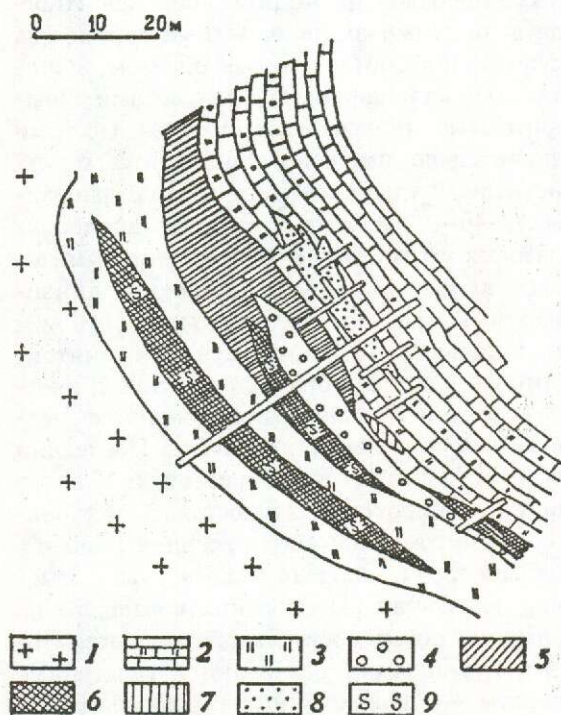


Рис. 4. Схема геологического строения центральной части участка Маг (месторождение Титовское):

1 — амфибол-биотитовые граниты; 2 — мраморы и кальцифиры; 3 — магнезиальные скарны: пироксеновые, форстеритовые, клиногумитовые, флогопитовые, нередко серпентинизированные и хлоритизированные; 4 — апомагнезиальные известковые скарны — гранат-пироксеновые с актинолитом, аксинитом и кварцем; руда: 5 — людвигитовая (вонсенитовая), 6 — магнетит-людвигитовая, 7 — ссайбелиитовая ± флюоборит, 8 — котит-саханитовая с водными метаборатами кальция; 9 — сульфидная минерализация

аполюдвигитовые флюоборит-магнетитовые и суанит-флюоборит-ссайбелиитовые руды.

Протяженность рудных тел варьирует от 5—7 до 600 м, средняя мощность 2—6 м, в раздувах до 30 м. На некоторых участках они вскрыты эрозией по вертикали на 100—200 м. Характерно параллельное расположение рудных тел на расстоянии 5—40 м одно от другого. Людвигитовые (вонсенитовые) руды приурочены в основном к шпинель-форстеритовым зонам скарнов и кальцифирам, реже они встречаются в шпинель-пироксеновых зонах. В апомагнезиальных известковых скарнах локализуются вонсенит и пайгеит (гулсит). Железо-магниевого бораты (людвигит-вонсенит, гулсит-пайгеит) составляют 70—80 % объема рудных

тел, остальную часть слагают, как правило, магнетит, в меньшей степени форстерит, клиногумит, флогопит, периклаз, брусит, монтичеллит, купсидин, клинтинит, кальцит, клинопироксен (диопсид), гранат (андрадит-гроссуляр), везувиан и некоторые другие минералы. Кроме локально развитых на месторождении котоитовых, ссайбелиитовых и саханит-харкеритовых руд, в зонах известкового скарнирования установлена датолитовая и аксинитовая минерализация. В рудных залежах в ассоциации с магнетитом, реже с железо-магниевыми боратами, спорадически встречаются в виде мелкой рассеянной вкрапленности касситерит и иногда борат олова — норденшильдин.

Среднее содержание борного ангидрида ( $B_2O_3$ ) в рудах составляет 7—10 %. Содержание олова в людвигит-вонсенитовых рудах находится на уровне 0,35—0,40 %, достигая в участках, сложенных гулсит-пайгеитовыми разновидностями, 1,5—2,0 % Sn.

Наледное месторождение — второе после Титовского по масштабам оруденения. Оно расположено в зоне контакта небольшого интрузива гранитоидов с терригенно-карбонатными породами раннего девона, представленными доломитами, доломитизированными и глинистыми известняками, известково-глинистыми сланцами, реже известковистыми песчаниками и мергелями (рис. 5). По данным С.У.Вагапова с соавторами (1992 г.), отложения девона смяты в слабовыраженную антиклинальную складку с размахом крыльев до 2 км и падением слагающих ее пород в восточном и западном направлениях под углами 10—40°. Основная структура осложнена складками более высокого порядка с пологими шарнирами северо-западного погружения и крутыми осевыми поверхностями, наклоненными на юго-запад под углами 65—70°. На северо-восточном фланге месторождения складчатая структура сечется взбросо-сдвиговой зоной пластичных срывов северо-западного простирания, шириной до 40 м и углом падения 70—75° на юго-запад.

Наледный интрузив сложен лейкократовыми порфиroidными биотитовыми и амфибол-биотитовыми гранитами, в эндоконтактах переходящими в субщелочные разновидности. Контакты интрузива имеют падение до 40° в сторону вмещающих пород. В экзокон-



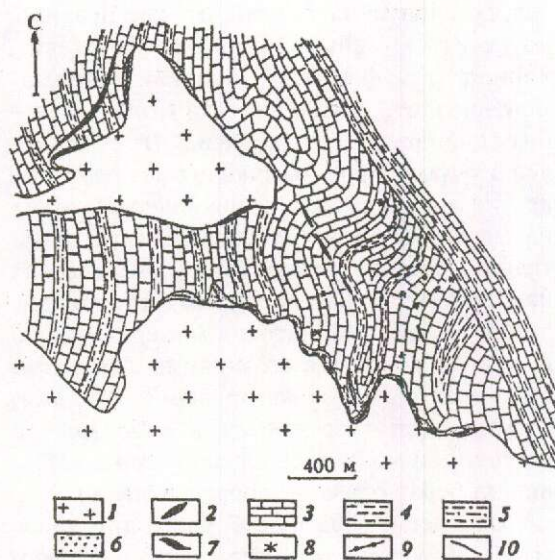


Рис. 5. Схема геологического строения месторождения Наледное:

1 — биотитовые и амфибол-биотитовые граниты ( $\gamma K_1$ ); 2 — дайки габбро-диабазов ( $\nu J_3$ ); 3 — известняки, доломитовые известняки, мраморы; 4 — известково-глинистые сланцы, роговики; 5 — алевролиты, аргиллиты, песчаники; 6 — кальцифиры, магнезиальные и апомагнезиальные известковые скарны; 7 — борные руды: людвигит-вонсенитовые, котоитовые, суанитовые, ссайбелиитовые; 8 — рассеянная борная минерализация; 9 — касситеритовая минерализация; 10 — тектонические нарушения

тактовых зонах развиты роговики, мраморы, кальцифиры и скарны. Последние образуют залежи почти на всем протяжении контакта и имеют мощность, не превышающую первых десятков метров. Состав магнезиальных скарнов преимущественно шпинель-пироксен-форстеритовый (клиногумитовый) с флогопитом. В мраморах в зоне до 700 м от контакта с гранитами отмечаются периклаз и брусит. Локально по магнезиальным скарнам образуются известковые скарны пироксен-гранатового состава с везувианом и волластонитом, часто актинолитизированные и пренитизированные. В скарнах установлена рассеянная свабитовая минерализация.

Рудные тела имеют пласто- и линзообразную форму с размерами по простиранию от 20 до 250 м и мощностью 0,5—20 м, залегание тел согласное с вмещающими породами. Руды представлены преимущественно людвигит-вонсенитовыми разновидностями с реликтами форстерита, гумито-

вых минералов, флогопита, диопсида. Иногда в них отмечаются заметные количества суанита и котоита, главным образом, в контактах с кальцифирами и мраморами. Людвигитовые (вонсенитовые) руды местами значительно замещены ссайбелиитом и магнетитом. В удалении от контакта с гранитами на 40—60 м среди бруситовых апопериклазовых мраморов и шпинель-клиногумитовых кальцифиров расположены линзообразные тела протяженностью до 160 м и мощностью до 16,5 м, сложенные суанитом, котоитом, ссайбелиитом с рассеянной, иногда довольно обильной, вкрапленностью людвигита, курчатовита, варвикита. Последний встречается также в зонах развития скарнов шпинель-пироксенового состава с титаноклиногумитом, флогопитом, серпентином и в кальцифирах. Спорадически в рудах отмечен флюоборит. По коренным выходам на дневную поверхность людвигит-вонсенитовых руд нередко развиваются галогенные бораты — индерит, иниоит, гидроборацит, галурит. В гранат-пироксеновых скарнах с пренитом и клиноцоизитом встречаются даптолит и данбурит; в скарнах, околоскарновых породах и гранитах — аксинит и турмалин. Среднее содержание борного ангидрита в рудах составляет от 4—6 до 12—17 %, достигая в локальных участках 30—33 %  $V_2O_5$ . Людвигит-вонсенитовые минеральные разновидности руд содержат 0,2—1,3% Sn в основном в составе железо-магниевого боратов, иногда в виде тонкодисперсного касситерита. Редкая вкрапленность касситерита обнаружена в измененных амфиболовых породах.

Гольцовое месторождение расположено в северо-западной части Догдинского гранитоидного массива (см. рис. 2) и занимает площадь около 6—7 км<sup>2</sup>. По данным С.И. Пинаева с соавторами (1987 г.), месторождение представляет собой серию рудоносных крупных линейных ксеноблоков и мелких ксенолитов преимущественно ранне- и позднедевонских карбонатных и карбонатно-терригенных пород кровли, заключенных в гранитоиды.

Картина дизъюнктивных дислокаций на месторождении определяется наличием субмеридиональных взбросов Ойсордох-Солоньинской системы разломов и оперяющих ее нарушений более высокого порядка. Раз-



ломы имеют крутое северо-восточное до вертикального падение с амплитудой перемещения по ним отдельных блоков до 2 км. Разрывные дислокации нередко сопровождаются зонами интенсивной трещиноватости и участками брекчирования пород.

На месторождении в составе осадочных толщ преобладают доломиты и мергелистые известняки, часто с примесью углеродистого вещества; встречаются аргиллиты и известково-кремнистые породы. Интрузивные образования представлены лейкократовыми, нередко порфиридовыми, биотитовыми и амфибол-биотитовыми гранитами, встречаются дайки аляскитовых гранитов и диоритов. Падение контактов крутое. На месторождении развиты магнезиальные, реже апомагнезиальные известковые скарны, кальцифиры, флогопит-хлорит-талковые и актинолит-тремолитовые метасоматиты. Форма скарных залежей пласто- и линзовидная при мощности от нескольких сантиметров до первых десятков метров.

Рудные концентрации месторождения Гольцовое локализуются только в зонах развития метасоматитов. Борные руды представлены в основном оловосодержащими железомagneзиевыми боратами — людвигитом, вонсенитом, значительно реже пайгеитом, локальное распространение имеют суанит, котоит, ссайбелиит и флюоборит; кроме того, на месторождении установлены касситеритовые, сульфидные, сульфидно-магнетитовые и магнетитовые руды. Пласто- и линзовидные рудные тела по мощности не превышают первых метров и прослеживаются по простиранию от нескольких десятков до первых сотен метров. Рудные тела нередко располагаются параллельно друг другу, образуя единую рудную залежь (рис. 6).

Бораты развиваются с замещением форстеритовых и форстерит-клиногумитовых ( $\pm$  флогопит) скарнов и кальцифиров. Магнезиевые бораты — суанит и котоит, в меньшей степени железо-магнезиевые, с различной интенсивностью замещаются ссайбелиитом. Отличительной особенностью месторождения Гольцовое от других борных объектов провинции является наличие в единых рудных залежах боратовых и касситеритовых рудных тел. Причем, промышленное касситеритовое оруденение, нередко с рассеянным флюоборитом, локализуется в

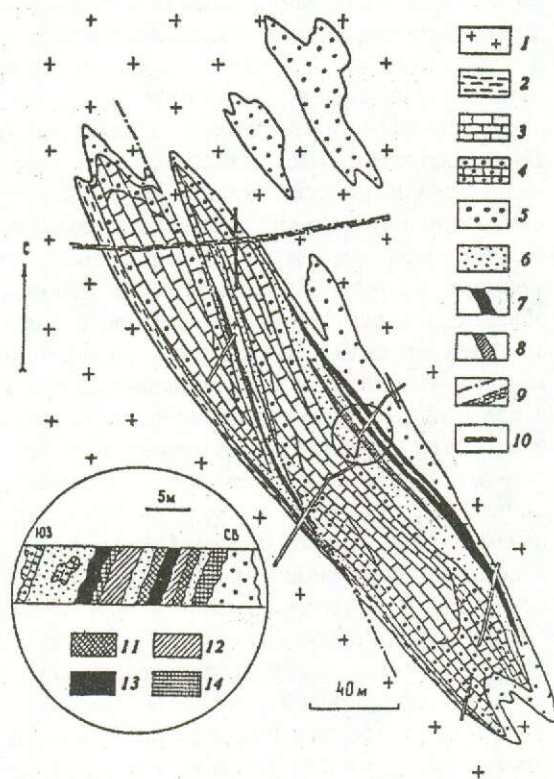


Рис. 6. Схема геологического строения рудной залежи месторождения Гольцовое:

1 — биотитовый гранит; 2 — алевролит; 3 — мрамор; 4 — шпинель-клиногумитовый кальцифир; 5 — форстеритовый, клиногумитовый и флогопитовый скарны; 6 — флогопит-хлорит-талковый метасоматит; 7 — людвигитовая (вонсенитовая), магнетитовая ( $\pm$  сульфиды, касситерит) и сульфидная руда; 8 — касситеритовая руда, нередко с флюоборитом, сульфидами и магнетитом; 9 — тектонические нарушения и зоны дробления; 10 — канавы. На врезке — фрагмент документации рудных тел по полотну канавы: 11 — людвигитовая (вонсенитовая) руда с магнетитом и сульфидами; 12 — касситеритовая руда с флюоборитом, сульфидами и магнетитом; 13 — магнетитовая руда с сульфидами ( $\pm$  касситерит); 14 — сульфидная и магнетит-сульфидная руда

флогопит-хлорит-талковых метасоматитах, заместивших клиногумитовые скарны и кальцифиры. Касситеритовая минерализация встречается также в контактово-измененных гранитах, сульфидных и магнетитовых рудах, карбонатно-хлоритовых породах.

Кроме рассмотренных выше месторождений, в Верхояно-Индибирской рудной провинции известны более 30 объектов с боратовыми рудами.

Обобщенная схема зональности метасо-



матических образований и локализованного в них оруденения проиллюстрирована в таблице. Магнезиальные скарны представлены, главным образом, шпинель-пироксеновыми, пироксен-форстеритовыми и существенно форстеритовыми разновидностями. Пироксен — в основном диопсид. Кальцифиры преимущественно шпинель-форстеритового состава, нередко монтичеллитовые, а доломитовые мраморы в зонах метасоматических колонок обычно содержат периклаз, который часто замещен бруситом. В результате гидротермальных изменений в магнезиальных скарнах и кальцифирах появились минералы гумитовой группы, амфиболы (куммингтонит, гасдингсит, актинолит, тремолит), флогопит, клинтолит, куспидин, хлорит (амезит), серпентин, гидроталькит, брусит. Состав известковых скарнов чаще пироксен-гранатовый, который разнообразят везувиан и/или волластонит, иногда доминирующие. Гранат представлен рядом андрадит-гроссуляра с преобладанием гроссуляровой молекулы, пироксендиопсидового состава. В эндоскарновых зонах местами сохранились реликты околоскарновых пироксен-плагноклазовых пород. Известковые скарны развиты с замещением гранитоидов (собственно известковые скарны), а также магнезиальных скарнов и кальцифиров (апомагнезиальные известковые скарны). Среди характерных минералов, образованных в результате гидротермальных изменений известковых скарнов, отмечаются скаполит, актинолит-тремолит, эпидот, цоизит, ильваит, хлорит. На отдельных участках гранитоиды, известковые и магнезиальные скарны, а иногда и кальцифиры подвержены грейзенизации в виде топаз-кварц-мусковитового комплекса с турмалином и кальцитом. Боратовое, карбонатоборатовое и магнетитовое оруденение характерно для магнезиальных скарнов и кальцифиров. Боросиликатная минерализация — датолит, данбурит, аксинит, турмалин — локализуется преимущественно в известковых и апомагнезиально-известковых скарнах. К зонам грейзенизации приурочены среди борных минералов — аксинит, турмалин, флюоборит, среди рудных — касситерит, сульфиды.

Борные руды Верхояно-Индибирской провинции сложены преимущественно железомagneзными боратами, в меньшей степени — магнезными боратами. Подчиненное положение в рудах занимают карбона-

тобораты, силикатобораты, магниевые-кальциевые и кальциевые бораты, боростаннаты, боро- и алюмоборосиликаты. Изредка отмечается экзогенная боратная минерализация в качестве новообразований на поверхности скарново-борных руд. Всего к настоящему времени в провинции установлено 32 минерала бора (из 160 известных). В ассоциации с борными минералами среди рудных преобладают магнетит, второстепенное значение имеют гематит, касситерит, арсенопирит, леллингит, пирротин, халькопирит, марказит, пирит, шеселит, сфалерит, галенит.

*Железо-магнезиевые бораты* представлены в основном группой людвигит-вонсенит, в меньшей мере группой гулсит-пайгеит, изредка встречается титансодержащий борат — варвикит. Первая группа сложена боратами ромбической сингонии, которые образуют непрерывную изоморфную серию от преимущественно магниевых (людвигит) до существенно железистых (вонсенит) разновидностей. Локализуются они в магнезиальных скарнах, кальцифирах, мраморах, реже в апомагнезиальных известковых скарнах и установлены на всех борных месторождениях и рудопроявлениях Верхояно-Индибирской провинции. Вторая группа сложена боратами моноклинной сингонии, которые, являясь химическими аналогами минералов людвигит-вонсенитового ряда, также образуют непрерывную изоморфную серию от магниевых (гулсит) до железистых (пайгеит) разновидностей. Минералы гулсит-пайгеитовой группы формируют заметные концентрации только в апомагнезиальных известковых скарнах пироксен-гранатового, гранатового, гранат-везувианового составов. Обычно они встречаются совместно с вонсенитом, реже с магнезиальным людвигитом. Моноклинные железомagneзиевые бораты установлены, кроме Титовского и Гольцового, на месторождениях Докучанское, Снежное, Белкинское.

Характерной чертой железомagneзиевых боратов является повсеместное содержание в них олова в виде изоморфной примеси  $\text{Sn}^{4+}$ . В минералах группы людвигит-вонсенит содержание  $\text{SnO}_2$  колеблется от десятых долей процента до 1,8 %. Более высокое содержание, достигающее нередко 15 %  $\text{SnO}_2$ , присуще минералам гулсит-пайгеитовой группы. При гистерогенном замещении желе-



Схема зональности метасоматитов и оруденения на борных месторождениях Верхояно-Индигирской борной провинции

Фаши. Оруденение	Метасоматические зоны; характерное для них оруденение					
	Алюмо-силикатная порода	Шпинель-пироксеновые скарны; шпинель+пироксен ± кальцит	Пироксен-форстеритовые скарны; форстерит ± пироксен ± (шпинель) ± кальцит	Форстеритовые скарны; форстерит ± (шпинель) ± кальцит	Кальцифиды; форстерит+шпинель+кальцит ± доломит	Доломитовые мраморы; доломит ± кальцит ± периклаз
Апомагнезиально-известково-скарновая	Пироксен-гранатовые скарны; пироксен+гранат ± везувиан ± волластонит ± (плагиоклаз)	Волластонит-гранат-пироксен-везувиановые скарны; волластонит+гранат+пироксен ± везувиан				Бруситовые мраморы; брусит ± (периклаз)
Грейзеновая	Турмалин-мусковит-кварцевые грейзены; кварц + мусковит ± турмалин (топаз, кальцит)					
Актинолит-хлоритовая	Постскарновые метасоматиты; скаполит, роговая обманка, куммингтонит, эпидот, актинолит, паргасит, пренит, хлорит, серпентин, кальцит, цеолит, ильваит, клиногумит, гастингсит, хондродит, флогопит, амезит, гумит, гидроталькиит, клинтоцит, гейкелит					
Оруденение: боратовое силикато- и карбонатоборатовое боросиликатное магнетитовое оловянное сульфидное, арсенидное	в апомагнезиальных известковых скарнах данбурит, даголит, аксинит, турмалин	людовигит, вонсенит, суанит, котоит... флюоборит, курчатовит в апомагнезиально-известковых скарнах и кальцифидах боркарнит, сахаит, харкерит	в магнезиальных скарнах и кальцифидах			
	магнетит					
	касситерит и др.					
	пирротин, халькопирит, арсениопирит, леллингит, марказит, сфалерит, галенит					



зо-магниевого боратов, по аналогии с другими оловосодержащими минералами [16 и др.], олово может освобождаться и связываться в касситерит, который при этом образует рассеянную тонкозернистую вкрапленность в апоборатовых магнетитовых или магнетит-ссайбелиитовых рудах. Низкотемпературные гидротермальные реакции приводят к формированию гидростаннатов по оловосодержащим и оловянным минералам.

Анализ баланса олова по минералам руд подтвердил, что оно преимущественно находится в составе железо-магниевого боратов в виде изоморфной примеси. Часть олова представлена оксидными соединениями — касситеритом и гидростаннатами, при этом доля оксидного олова в людвигит-вонсениитовых и гулсит-пайгеитовых рудах в среднем составляет для Титовского месторождения — 10—15, Наледного — 15—18, Гольцового — 5—6 %. Рассеянная касситеритовая минерализация в боратовых рудах установлена также на месторождениях Докучанское и Чычасское. Собственно касситеритовое оруденение ( $\text{SnO}_2$  от 0,1 до 5,0 %) имеется на месторождениях Гольцовое и Чыбагалахское. При этом на месторождении Гольцовое из всего количества олова, содержащегося в олово-борных и касситеритовых рудах, его доля в последних составляет приблизительно 13—15 %. Кроме того, в олово-борных рудах месторождений Титовское и Гольцовое и сульфидно-касситеритовых рудах месторождения Чыбагалахское отмечается незначительная примесь станнивого олова.

*Магниевого бораты* на месторождениях представлены суанитом, котоитом, ссайбелиитом, флюоборитом. Суанит встречается в скарнах, кальцифирах и мраморах Наледного, Докучанского, Снежного месторождений и рудопроявления Людвиг, в кальцифирах Титовского, Чычасского, Белкынского, значительно реже — Гольцового месторождений. На Наледном, Докучанском и Снежном месторождениях установлена ассоциация суанита с курчатовитом. Для суанита характерно замещение ссайбелиитом. Котоит — один из самых распространенных магниевого боратов на месторождениях и рудопроявлениях региона. Он образует мономинеральные руды, входит в состав полиборатовых суанит-

ссайбелиитовых руд, встречается в сахаит-харкеритовых рудах, а также образует вкрапленность в форстеритовых (клиногумитовых) кальцифирах и мраморах. Котоит замещается ссайбелиитом, реже — бруситом. Ссайбелиит распространен весьма широко. Он входит в состав большинства типов руд и реже образует небольшие гнездовые скопления мономинеральных руд. Обычно ссайбелиит замещает железо-магниевого и магниевого бораты с образованием псевдоморфоз, нередко полных. В отдельных случаях он развивается независимо от предшествующих ему боратов по карбонатам скарнов, кальцифиров и мраморов. Флюоборит встречается в магнезиальных скарнах, кальцифирах и мраморах многих месторождений, но по концентрации уступает другим магниевого боратам. Только на Халимском месторождении установлены рудные тела, сложенные преимущественно флюоборитом, а на месторождении Гольцовое этот минерал входит в состав касситерит-пирротин-магнетитовых руд.

*Карбонатобораты* представлены боркаритом и сахаитом, а силикатобораты — харкеритом. Два первых минерала открыты и впервые описаны в 1965 и 1966 годах соответственно [13, 10], а первая находка харкерита в этой провинции описана в 1961 году [12]. В настоящее время эти минералы известны на месторождениях Титовское, Докучанское, Снежное, Чычасское, Чыбагалахское, Лесное, приурочены к магнезиальным скарнам и кальцифирам, часто преобразованным в результате наложения известковоскарнового процесса. Руды сахаит-харкеритового состава образуют маломощные линзообразные тела либо в непосредственной близости с контактом гранитоидов, либо в удалении от него до 10—40 м. Эти минералы ассоциируют с боркаритом, ольшанскитом, клинокурчатовитом и другими боратами, минералами магнезиальных и известковых скарнов. Боркарит впервые установлен на месторождении Снежное в ассоциации с котоитом, ссайбелиитом, кальцитом, серпентином, бруситом, магнетитом, шпинелью. На Титовском месторождении авторы обнаружили боркарит в виде прожилков и мелких гнезд в сахаит-харкеритовых рудах.

*Магнезиально-кальциевые бораты* пред-



ставлены курчатовитом, клинокурчатовитом, федоровскитом. Клинокурчатовит обнаружен Н.Н.Пердевым в сахаитовой руде на месторождении Титовское и впервые описан в 1983 году [7]. Курчатовит установлен авторами в суанит-ссайбелиитовой руде Наледного месторождения, где он ассоциирует не только с боратами, но и со свабитом и кальцитом. Кроме того, курчатовит (клинокурчатовит) обнаружен на месторождениях Докучанское, Снежное, Белкинское, Чычасское. Федоровскит впервые установлен нами в сахаитовых рудах Титовского месторождения в ассоциации с фроловитом, людивигитом и магнетитом.

Большая группа *кальциевых боратов*: кальциборит, коржинскит, уралборит, вимсит, гексагидроборит, фроловит, сибирскит, ольшанскит, за исключением последнего, для Верхоянья выявлена впервые. Ольшанскит был найден на месторождении Снежное и описан как новый минерал в 1969 году [2]. Все кальциевые бораты установлены в продуктах гистерогенных изменений сахаитовых руд и изучены авторами в образцах месторождения Титовское. Наиболее распространенным из указанных минералов является фроловит.

*Боростаннат* — норденшильдин встречен в гранат-везувиановом скарне на участке Кудесник Титовского месторождения в ассоциации с кальцитом, вонсениитом, турмалином, хлоритом, гидротальцитом. На участке Моральный этого же месторождения С.М.Александров [1] обнаружил микровыделения норденшильдина в пайгеитовых рудах. Известны находки боростанната на отдельных месторождениях и рудопроявлениях Чыбагалахского рудного узла [1, 9].

*Боросиликаты* — данбурит и датолит, распространены широко, хотя и в незначительных количествах. Друзовидные агрегаты и кальцитовые жилы с данбуритом описаны ранее на месторождении Кэбириинское [14]. Нами минерал отмечен в известковых скарнах в ассоциации с датолитом, аксинитом и турмалином не только Кэбириинского, но также Снежного, Наледного и Чычасского месторождений. Датолит установлен в апомагнезиальных известковых скарнах Титовского и Кэбириинского месторождений. На последнем

обнаружена волокнистая разновидность датолита — ботриолит. Кроме того, он присутствует в скарново-рудных залежах на месторождениях Докучанское, Ойсордохское, Халимское и Лесное.

*Алюмоборосиликаты* представлены аксинитом и турмалином. Аксинит — один из распространенных в провинции минералов. Концентрации аксинита сосредоточены на участках, где проявлено замещение магнезиальных скарнов известковыми на контактах с гранитоидами. Аксинит тяготеет к скарнам пироксен-гранатового состава и околоскарновым породам. В ассоциации с ним наблюдаются датолит, турмалин, иногда данбурит. Турмалин встречается в виде рассеянной вкрапленности преимущественно в везувианпироксеновых, полевошпатовых и аксинитовых породах, часто в ассоциации с кварцем, кальцитом, сульфидами, амфиболами.

Среди *экзогенных боратов*, образующих натечные корочки на скарново-борных рудах в естественных обнажениях, установлены иниоит и индерит [11], гидроборацит и галургит. Два последних минерала обнаружены впервые.

В заключение подчеркнем характерные черты бороносности Верхояно-Индибирской рудной провинции, которые в определенной мере могут служить прогнозно-поисковыми критериями месторождений оригинальной олово-борной формации:

размещение борного оруденения в пределах провинции контролируется узлами пересечения крупных разломов, поперечных к дуге складчатости Верхоянья, с протяженными продольными разрывными нарушениями, к которым приурочены позднемезозойские гипабиссальные батолито-подобные массивы лейкократовых гранитов преимущественно известково-щелочного состава. В широких экзоконтактных зонах этих массивов на площадях развития магнезиальных карбонатных пород (доломитов, доломитовых известняков) палеозойского возраста образованы магнезиальные скарны и кальцифиры шпинель-пироксен-форстеритового (клиногумитового) состава, в которых локализуется борное и олово-борное оруденение;

общность металлогенической специализации позднемезозойских гранитоидов в пределах пассивной континентальной окраины, тесная пространственная связь с ними олово-



борного оруденения и бороизотопные характеристики указывают на коровый источник олова и бора в данной провинции [4, 8];

наличие в бороносных магнезиальных скарнах и кальцифирах периклаза и монтчеллита свидетельствует о формировании месторождений в условиях малых глубин — 1—2 км;

борные руды магнезиальных и апомагнезиально-известковых скарнов представлены разными минеральными типами, насчитывающими в своем составе более 30 минералов бора. Собственно олово-борными рудами являются железо-магниево-оловосодержащие бораты двух изоморфных рядов: людвигит-вонсенитового и гулсит-пайгеитового, которые ассоциируют между собой или образуют самостоятельные концентрации. Среднее содержание борного ангидрида в таких рудах находится в пределах 7—10 %, содержание олова достигает 2 %. Установлено преимущественно изоморфное вхождение олова в бороферриты магния и железа. С уменьшением щелочности растворов в процессе гистерогенного замещения оловосодержащих боратов магнетитом образовались касситерит и боростаннат — норденшильдин. При дальнейшем снижении щелочности гидротермальных растворов (в стадии кислотного выщелачивания) более устойчивой минеральной формой олова является касситерит, который местами формирует заметные рудные концентрации; возможно образование станнина. Среди низкотемпературных гидротермальных продуктов замещения оловосодержащих минералов присутствуют гидростаннаты. С железомagneзиевыми оловосодержащими боратами ассоциируют магниево-кальциевые и кальциевые бораты и карбонатобораты, образующие высококачественные руды бора, среднее содержание  $B_2O_3$  в которых составляет 15—20 %;

борное оруденение Верхояно-Индибирской рудной провинции представлено месторождениями олово-борной формации, которая характерна для Тихоокеанского подвижного пояса [6]. Кроме Верхоянья, подобное оруденение известно в Джунджуре, а также на Аляске (США), на юге Китая (в провинции Хунань), на острове Тасмания (Австралия). Наиболее яркими представителями олово-борной формации являются месторождения Верхояно-Индибирской рудной провинции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 95-05-14034).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров С.М. Геохимия бора и олова в месторождениях магнезиально-скарновой формации. — М.: Наука, 1982.
2. Богомолов М.А., Никитина И.Б., Перцев Н.Н. Ольшанскит — новый борат кальция // Докл. АН СССР. 1969. Т. 184. № 6. С. 1398—1401.
3. Выделение региональных рудоконтролирующих разломов по данным космогеологических исследований и геодинамического анализа / Л.М.Натапов, В.В.Козлов, Н.В.Межеловский и др. // Сквозные рудоконтролирующие структуры. 1989. С. 9—14.
4. Геодинамика, магматизм и металлогения Верхояно-Колымских мезозой / Л.М.Парфенов, В.А.Трунилина, Г.Н.Гамянин и др. // Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. XV. Металлогения Сибири. 1988. С. 179—188.
5. Дорофеев А.В. Бор. Верхояно-Индибирская провинция / Геология СССР. Т. XVIII. Якутская АССР, полезные ископаемые. 1979. С. 335—342.
6. Лисицын А.Е. Образование и размещение эндогенных месторождений бора / Отеч. геология. 1993. № 5. С. 40—43.
7. Малинко С.В., Перцев Н.Н. Новая структурная модификация курчатовита // Зап. ВМО. 1983. Вып. 4. С. 483—487.
8. Малинко С.В., Лисицын А.Е., Сумин Л.В. Изотопы бора в минералах — индикаторы источника рудного вещества // Сов. геология. 1987. № 3. С. 89—96.
9. Некрасов И.Я. Об особенностях оловянного оруденения в карбонатных отложениях (на примере Восточной Сибири) // Сов. геология. 1970. № 12. С. 41—54.
10. Островская И.В., Перцев Н.Н., Никитина И.Б. Сахаит — новый карбонатоборат кальция и магния // Зап. ВМО. 1966. Вып. 2. С. 193—202.
11. Перцев Н.Н. Индерит и иниоит в зоне окисления скарновых месторождений // Минеральное сырье. 1968. Вып. 18. С. 116—120.
12. Перцев Н.Н. Харкрит и котоит в скарнах // Геология и геофизика. 1961. № 7. С. 102—105.
13. Перцев Н.Н., Островская И.В., Никитина И.Б. Новый минерал — боркарит // Зап. ВМО. 1965. Вып. 2. С. 178—186.
14. Перцев Н.Н., Дорофеев А.В. Данбуритовая минерализация в кальцитовых жилах магнезиально-скарнового месторождения // Новые данные о минералах СССР. 1978. Вып. 20. С. 120—126.
15. Трунилина В.А. Геология и рудоносность позднемезозойских магматических образований северо-востока Якутии. — Новосибирск: Наука, 1992.
16. Ren Zhiyi. Geochemical Characteristics of Tin-bearing Magnetite-Skarns // Geochemistry. 1984. Vol. 3. № 2. P. 115—127.



Lisitsyn A. Ye., Dorofeyev A. V., Rudnev V. V., Bokov A. A.

#### BORON CONTENTS IN THE VERKHOYANO-INDIGIRSKAYA ORE-BEARING PROVINCE

*Geological position of skarn-boron ore mineralization innate to the province in question is characterized, with more detailed consideration given for the most important ore-bearing districts and deposits. Mineral types of ores are shown along with their localization conditions. Findings of boron minerals are reported as being pioneer ones for the region under study. A schematic portraying the skarns' metasomatic zonality is presented, with the position of boron mineralization shown in it. A substantiation of ore mineralization assignment to tin-boron formation is set forth, with key prediction-prospecting criteria proposed for deposits belonging to the ore formation just mentioned.*



**ЦНИГРИ**

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

### КАРТА МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

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

благородных металлов (золото, серебро, платиноиды) и алмазов; цветных металлов (медь, свинец, цинк, никель, кобальт);

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

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

Условные знаки месторождений отражают:

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

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129"Б", ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 313-18-18, 315-26-38  
Телетайп: 114142 АДУЛЯР  
Факс: (095) 315-27-01



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



УДК 553.81.044: [550.81:629.78]

© Ю. Н. Серокуров, 1995

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ПРОГНОЗЕ И ПОИСКАХ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ

Ю. Н. СЕРОКУРОВ (ЮНЕГЕО РАН)

*Возможности использования материалов космического зондирования Земли при прогнозе и поисках алмазоносных участков рассмотрены на примере месторождений алмазов, связанных с кимберлитами и лампроитами. Характеризуется ряд разномасштабных структур, контролирующих алмазные таксоны от субпровинции до поля. Приводится принципиальная схема оценки перспектив алмазоносности новых территорий с применением космических снимков разного разрешения.*

Прогноз в геологии представляет собой научно обоснованное предвидение мест возможного формирования того или иного оруденения, возникающего в различные эпохи развития Земли и в различных геотектонических условиях. Как правило, это совокупный анализ существующих на данный момент геологических данных, позволяющих наметить наиболее благоприятные участки для локализации искоемых руд. Следовательно, расширение базы информативных данных и приемов выделения этих площадей с помощью такого оригинального материала, как космические снимки — задача очевидно актуальная.

Результаты космического зондирования Земли — материал уникальный, позволяющий с одинаковой детальностью изучать особенности строения площадей, расположенных за тысячи километров друг от друга на разных континентах. Благоприятной предпосылкой положительного решения задач прогноза и поисков коренных алмазов с помощью материалов космического зондирования является доказанная высокая их геолого-структурная информативность. Очевидное преимущество этого метода состоит и в возможности изучать особенности строения территорий от общего к частному, что недоступно большинству традиционных методов, где целостная картина складывается

из отдельных наблюдений и измерений. На изображениях, поступающих из космоса, проявляются, как правило, целые структурно-формационные комплексы, различающиеся физическими и оптическими свойствами, формой залегания, структурными особенностями. Намечается сложная картина разноориентированных линеаментов и кольцевых структур, корректный анализ и обработка которых способствует решению как прикладных задач прогноза и поисков, так и фундаментальных проблем теоретической геологии (систематизация тектонических структур на ранговой основе, установление причинно-следственных связей тектонических процессов, разработка единой динамической модели развития литосферы на разных уровнях ее структурно-вещественной организации).

Стратегия исследований заключается в изучении особенностей локализации алмазоносных пород вначале в пределах уже определившихся алмазоносных районов, а затем, на основе полученной информации, оценке новых площадей. В первом случае происходит пополнение эмпирических данных о формах локализации алмазоносных тел и их скоплений, формирующих таксоны различного ранга, и совершенствование на этой основе существующих методов прогноза и поисков; во втором — методиках кос-



мического зондирования просто незаменимы в силу своей доступности и применимости к экспрессному выявлению многих факторов, благоприятствующих процессу алмазообразования.

Известно, что космическое зондирование в своей основе опирается на измерение электромагнитного спектра, отраженного поверхностью Земли. Измерения подземных характеристик в принципе не производятся. Однако, по косвенным признакам, выраженным в поверхностных ландшафтах, имеется возможность выявлять и картировать многие глубинные особенности строения земной коры и даже мантии [1]. То есть, не являясь прямым инструментом при поисках алмазов, материалы космического зондирования могут давать информацию об участках, где в наибольшей степени сочетаются благоприятные факторы, связанные с процессами мантийного магматизма, в том числе кимберлитового и лампроитового.

К настоящему времени уже очевидно, что практически весь спектр месторождений полезных ископаемых обусловлен процессами эндогенной и экзогенной дифференциации протопланетного вещества. Существует ряд подчас противоречивых гипотез о строении земных оболочек и процессах, происходящих в земной коре и мантии. Это связано в первую очередь с нашим недостаточным проникновением в земную кору. Из десятков и сотен километров недр, где происходят тектоно-магматические процессы, обуславливающие миграцию и концентрацию полезных веществ, нам доступны лишь несколько приповерхностных километров. С другой стороны, выявлены десятки месторождений алмазов и тысячи кимберлитовых и лампроитовых тел, расположенных в конкретных условиях. Изучение и систематизация сведений об особенностях их локализации позволили накопить богатый эмпирический материал, на основе которого и судят о происходивших процессах.

Дискуссия о формах возникновения алмазов и связи их с вмещающими кимберлитами и лампроитами продолжается до сих пор. Помимо крайних точек зрения о зарождении и росте алмазов в пределах верхней мантии или непосредственно в кимберлитовых трубках существуют компромиссные гипотезы. Важно, что при любой схеме обра-

зования алмазов задействованы глубинные мантийные процессы. Поэтому для обнаружения структур, контролирующих алмазные таксоны всего иерархического ряда, необходимо последовательное выделение соответствующих им элементов.

Программы поисков алмазов, как правило, состоят из нескольких стадий с различными вариантами. Космическое зондирование играет неодинаковую роль в каждой из них. Наиболее эффективно его применение на первых стадиях — предварительной рекогносцировки, регионального и детального картирования, которые выполняются для уточнения геологического строения и выбора площадей для постановки более детальных наземных работ. На последующих стадиях материалы космического зондирования выполняют в основном вспомогательную роль в комплексе с более точными методами (таблица).

Площади распространения промышленно алмазоносных пород обычно крайне малы и не всегда выходят на поверхность. Не обладают они и четкими спектральными характеристиками вследствие слабой проработки вмещающих пород. Единственный в настоящее время прямой метод их обнаружения — минералогический. С помощью материалов дистанционного зондирования целесообразно определять благоприятные обстановки возможного нахождения алмазоносных пород в оцениваемых регионах. Среди них — структурная позиция таксонов разного ранга и характер изменений поверхности, связанных с алмазообразованием, — наиболее важные.

Анализ космических снимков малого разрешения и их дешифрирование по всей территории Сибирской платформы (рис. 1) позволил построить схему основных дискретных элементов, отраженных в современных ландшафтах. Криволинейные элементы совпадают с кольцевыми и овальными структурами различных размеров и отражают формы развития геологических образований в мантии и земной коре. Вероятно, это проекции мантийных плюмов и диапиров, гранитогнейсовых овалов, вулканоплутонических и тектоно-магматических структур коры, следы гигантских астроблем. Их размеры колеблются от десятков до тысяч километров в диаметре и обусловлены



Стадии прогноза и поисков алмазносных пород и сферы приложения материалов космического зондирования

Ранг выбранных площадей	Стадия изучения и масштаб	Площадь, км <sup>2</sup>	Применяемые материалы космического зондирования		Другие методы
			Основные	Дополнительные	
Провинция и субпровинция	Предварительное дешифрирование 1:1000000—1:3500000	млн.	КСС «Метеор», монтажи снимков	Фотопланы	Тектонические карты
Субпровинция и зона	Региональное картирование и структурный анализ 1:2500000	сотни тыс.	КСС «Метеор», МСУ-СК	Фотопланы из КФС	Геологические и тектонические карты, мелкомасштабные гравитационные и магнитные поля
Район	Среднемасштабное картирование и структурный анализ 1:1000000	десятки тыс.	КФС «Ресурс-Ф», «Ландсат», «СПОТ»	Радиолокационные съемки	Геологические карты, гравимагнитные съемки, результаты сейсмического зондирования
Поле	Детальное картирование и структурный анализ 1:500000—1:200000	тысячи—сотни	КФС «Ресурс-Ф» МСУ-Э	Радиолокационные и тепловые съемки	Аэромагнитная и гравиметрическая съемки, электроразведка, геологическая и геохимическая съемки
Месторождение	Поиски месторождений 1:125000—1:70000	десятки	Детальные КС, КФС		Наземные минералогические и геохимические съемки, горные работы





Рис. 1. Специализированная схема дешифрирования кольцевых и линейных элементов, отражающих глубинные структуры Сибирской платформы.

глубиной энергетического источника, приведшего к нарушению сплошности земной коры. Линеаменты образуют несколько протяженных зон различных направлений, связанных, очевидно, с формированием структур типа континентальных рифтов. Кроме того, фиксируется ряд локальных зон, входящих в системы радиальных разломов крупнейших ооидов.

В региональном плане на Сибирской платформе наиболее очевидна связь участ-

ков развития известных уже кимберлитов с элементами выделенных ооидно-радиальных структур, диаметр которых превышает 1200—1500 км. Как правило, они располагаются внутри ооидов, на удалении не более 500 км от их центров. 85 % известных полей контролируется сгущениями зон дуговых элементов, разграничивающих ядерную и среднюю зоны ооидов, а 65 % — пучками линеаментов, входящих в систему их радиусов. Более 50 % полей тяготеет к



узлам пересечения этих образований. 88 % полей находятся в пределах протяженных зон линеаментов, проявляющих ограничения и внутренние зоны разноориентированных и разновозрастных рифтов. 76 % полей пространственно совмещены с установленными по снимкам кольцевыми структурами диаметром 150—250 км, которые, как правило, располагаются в узлах пересечения дуговых и радиальных структур ооидов с краевыми ограничениями рифтов.

Достоверность выделения этих структур подтверждается довольно хорошим пространственным совпадением их элементов с различными ограничениями, выявляемыми при анализе топографических, геологических и геофизических карт и схем. Прежде всего, обращает на себя внимание конформность современной речной сети крупнейшим элементам ооидов, что свидетельствует в пользу сохраняющейся до сих пор активности движений по давно возникшим нарушениям. Их амплитуды незначительны и не приводят к образованию резких рельефных форм. Отмечается и некоторая конформность ооидов с геологическим строением поверхности. Это выражено в приуроченности ряда разновозрастных геологических границ осадочных и магматических образований, центров осадочных бассейнов, выступов фундамента к тем или иным элементам рассматриваемых структур. Очевидно влияние элементов выделенных структур на простирающие даск основного состава, размещение кимберлитов, карбонатитов, разновозрастных базитов, центров излияния траппов. В значительной степени черты конформности этим структурам обнаруживает и рельеф кристаллического фундамента. Центры ооидов закономерно располагаются либо в «острых» углах прогибов (Вилкойский, Ангарский ооиды), либо на протяженных уступах (Тунгусский, Алданский ооиды). При этом, радиальным и дуговым элементам часто отвечают уступы более высоких порядков. Устанавливается четкая приуроченность ряда линейно-ориентированных гравитационных и магнитных аномалий с дуговыми элементами ооидов, особенно, с дугами малой кривизны. К дугам же большей кривизны тяготеют изометричные отрицательные гравитационные и магнитные аномалии. Учитывая, что наблюдаемые аномалии обусловлены многоэтапными

ми разновозрастными процессами, можно говорить о длительной эволюции ооидно-радиальных структур, телескопировании процессов во времени, значительной глубине обуславливающих их формирование энергетических источников и сквозном характере каналов транспортировки магнитоактивных (магматических) масс. Находят свое отражение элементы ооидов также в рельефе мантии и внутрикоровых границах, построенных по данным сейсмических исследований. В большинстве случаев, им соответствуют валообразные поднятия, реже — уступы в рельефе этих сейсмических границ.

Обобщенный образ крупных структур, контролирующих процесс кимберлитобразования, нашел отражение на составленной нами специализированной на алмазы «Структурной схеме Сибирской платформы». В основу схемы положены результаты интерпретации мелкомасштабной космической и геолого-геофизической информации. В качестве границ платформы приняты контуры, не подвергшиеся посткембрийским складчатым процессам, а в ее пределах показаны щиты, области распространения мезо-кайнозойских осадочных формаций, поля развития траппов триаса и выступающие из под них терригенно-карбонатные образования нижнего и среднего палеозоя. Наиболее крупными и важными структурами, влияющими, по нашему мнению, на размещение мантийных пород в пределах платформы, являются изображенные на карте пять ооидно-радиальных и восемь рифтогенных структур. Возникновение первых связано, очевидно, с плотностной конвекцией в мантии. Над одиночными мантийными плюмажами в коре возникали гигантские радиально-концентрические структуры по типу тех, что образуются над хорошо изученными и промоделированными солевыми куполами. Так как глубина формирования астеносферных линз большая (600—700 км), они стационарны по отношению к перемещающейся в горизонтальном направлении коре. Однажды возникшие в первичной хрупкой коре структуры в виде зон разломов и трещиноватости оставались там навсегда и являлись благоприятными для проникновения магматических масс, газов и флюидов в различные отрезки геологической истории.



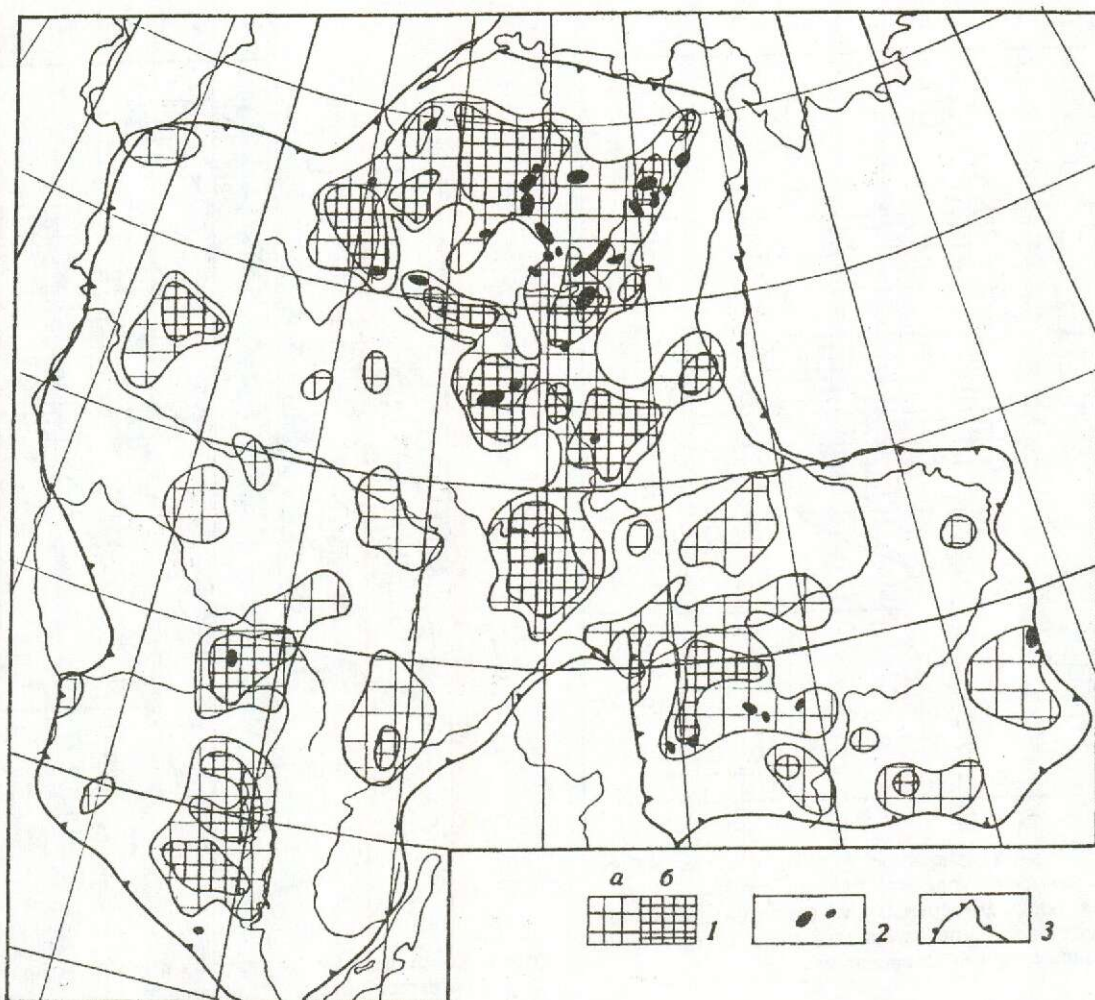


Рис. 2. Схема размещения на Сибирской платформе участков, благоприятных по сумме структурных факторов для локализации кимберлитов в ранге «зон» и «районов» (по материалам анализа космических снимков малого разрешения):

1 — участки, благоприятные для проникновения к поверхности: а — мантийных пород вообще, б — алмазосодержащих кимберлитов; 2 — известные поля кимберлитов; 3 — границы Сибирской платформы

О первоначальном времени образования астеносферных линз и связанных с ними овидно-кольцевых структур можно судить лишь по косвенным данным. Предполагают [6], что этот процесс начался в «лунную» стадию развития планеты и продолжался в течение всего протерозоя, о чем свидетельствует конформность им в размещении некоторых структур и формаций этого времени. Факты наблюдения частей одной структуры на разошедшихся континентах говорят о их формировании, как минимум, до мезозоя.

Континентальные рифтовые зоны фиксируют раздвиговые процессы внутри платформ, не приведшие к образованию океанов.

Их индикаторами являются магматические комплексы (щелочные лавы, щелочно-ультраосновные комплексы с карбонатитами, кимберлитами, агпитовыми редкометальными гранитами) и грабены (авлакогены) в рельефе фундаментов. На Сибирской платформе установлено несколько периодов рифтообразования и, начиная с рифея, все они сопровождались кимберлитообразованием.

Третьим необходимым элементом [4, 5] являются кольцевые структуры диаметром от 150 до 250 км, развивающиеся над мантийными диапирами, пространство над которыми наиболее благоприятно для проникновения и эволюции мантийных масс. На



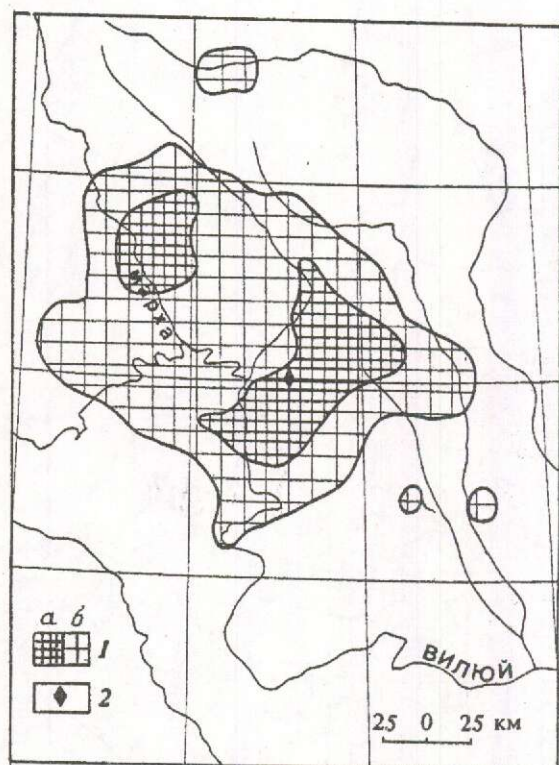


Рис. 3. Схема размещения участков в пределах Среднемархинского района, благоприятных по сумме структурных факторов для локализации кимберлитов в ранге «поле» (по материалам анализа космических снимков среднего разрешения):

1 — участки локализации кимберлитов: а — наиболее благоприятные, б — благоприятные; 2 — кимберлитовая трубка «Ботубинская»

мелкомасштабных снимках выявлено около сорока структур такого размера, однако лишь часть из них отвечает критериям установленным на известных алмазоносных площадях. Оценить их можно, анализируя снимки только среднего разрешения.

Существующие данные говорят о том, что большинство известных участков кимберлитобразования, и, в первую очередь, алмазоносного, приурочены к местам совпадения зон краевых дислокаций рифтов с узлами пересечения дуговых и радиальных структур овоидов. Такие участки благоприятны для внедрения мантийных диапиров, способствующих проникновению к поверхности мантийных магм вообще и алмазоносных в частности. В пределах Сибирской платформы, где с наибольшей вероятностью могли происходить такого рода процессы,

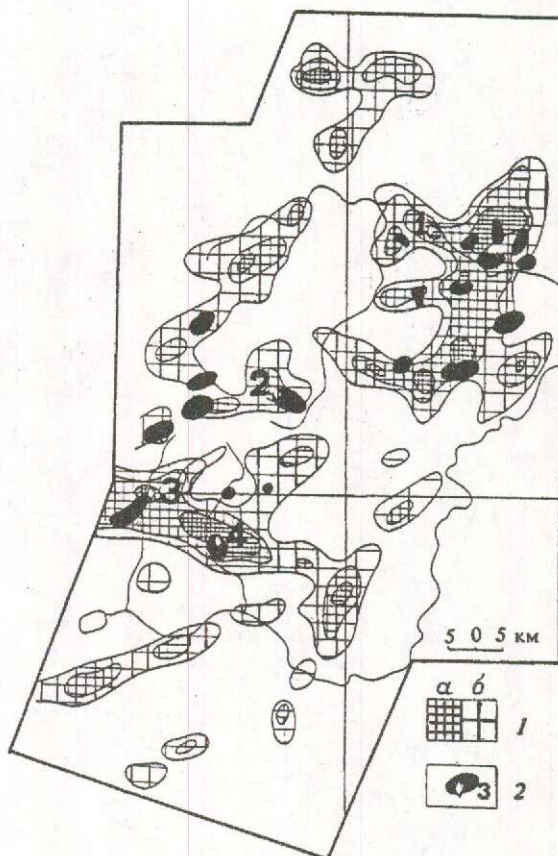


Рис. 4. Схема размещения участков в пределах Далдыно-Алаkit'sкой площади, благоприятных по сумме структурных факторов для локализации кимберлитов в ранге «куст» (по материалам анализа космических снимков высокого разрешения):

1 — участки локализации кимберлитов: а — наиболее благоприятные; б — благоприятные; 2 — известные кусты кимберлитовых трубок; промышленно алмазоносные трубки: 1 — Удачная, 2 — Сытыканская, 3 — Юбилейная, 4 — Айхал

они занимают около 32 % площади (рис. 2). В этот контур попадают все ныне известные здесь образования основного и ультраосновного состава, выявленные при геологических съемках. Участки же, где наиболее вероятно формирование алмазоносных кимберлитов, не превышают 10 % от площади платформы и образуют пятна в сотни-тысячи км<sup>2</sup>, что соответствует районам и отдельным полям в иерархическом ряду таксонов. Все ныне известные промышленно алмазоносные районы попали в эти благоприятные контуры.

Дальнейший анализ с целью еще большей локализации перспективных площадей



целесообразно проводить в пределах этих благоприятных контуров. Среднемасштабные космические снимки дают возможность проверить наличие в их пределах структур, которые, как показали наши работы [2—5], обязательны для промышленно алмазоносных площадей. Это радиально-кольцевые структуры диаметром до 200—250 км в узлах пересечения крупных линейных и дуговых структур предшествующего ранга. Они рассматриваются нами как обязательный признак алмазоносных районов. Слагающие их элементы предопределяют места транспортировки глубинных продуктов и их локализацию в пределах земной коры. Учет этих факторов позволяет выявить наиболее благоприятные участки для поисков скопленных кимберлитовых и лампроитовых тел в

ранге таксона «поле». Пример такого анализа приведён для Среднемархинского алмазного района (рис. 3).

Космические снимки высокого разрешения дают возможность выявить детали структурного строения перспективных в пределах районов площадей. С их помощью оконтуриваются участки, наиболее перспективные для локализации кустов трубок (рис. 4). При этом требуются более тщательные и многообразные трансформации изображений на оптико-электронных системах, проявляющие черты, часто не фиксируемые человеческим глазом на исходных изображениях. В основном, это структурные факторы (различные взаимоотношения линейных и кольцевых элементов ландшафта, распределение трещиноватости пород и

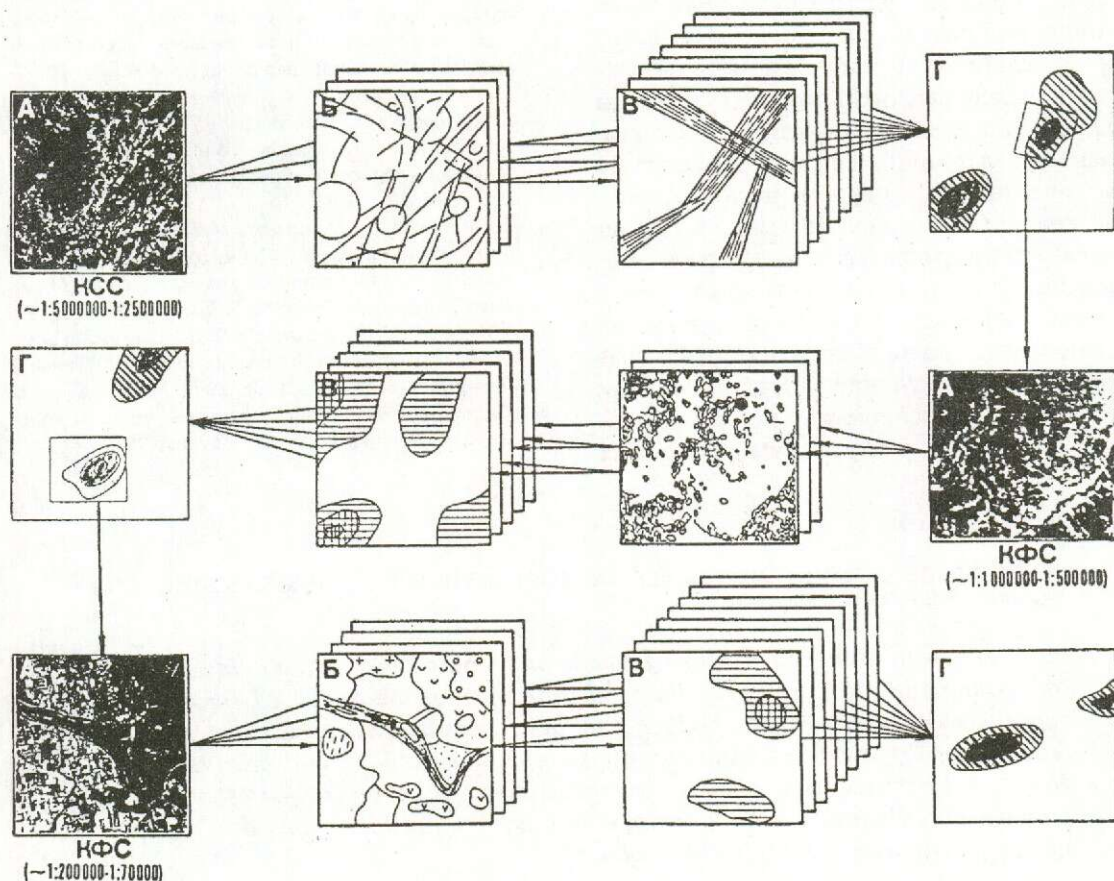


Рис. 5. Принципиальная схема оценки перспектив алмазоносности территорий с применением космических снимков разного разрешения:

А — первичные космические снимки, Б — схемы дешифрирования, В — информативные признаки по данным качественного и количественного анализа схем дешифрирования, Г — участки, благоприятные для локализации алмазоносных таксонов соответствующего ранга.



т.д.), в меньшей степени — спектральные. В ряде случаев, при обнажении тел кимберлитов и лампроитов на поверхности, известны примеры их дистанционной идентификации по снимкам.

Наиболее рациональным является последовательное изучение материалов космического зондирования от малых к более крупным масштабам, что в конечном счете приведет к значительному удешевлению работ и сокращению сроков открытия новых месторождений. Принципиальная схема оценки перспектив алмазности новых территорий на базе сформированных прогнозно-поисковых моделей для таксонов разного ранга приведена на рис. 5.

Анализ показал, что геологические карты сопоставимых со снимками масштабов практически мало информативны в отношении большинства сформулированных ныне критериев и признаков алмазности таксонов. Результаты интерпретации гравиманитных полей свидетельствуют о наличии определенного типа аномалий, которые вполне удовлетворительно коррелируются с алмазными площадями, но в достаточном количестве распространены и за их пределами. Сейсморазведочные работы, как правило, не носят площадного характера и в большинстве случаев сосредоточены на достаточно локальных площадях, что ограничивает их применение при региональном прогнозе в современном рельефе и гидросети. Глубинные структуры, часть которых

контролирует алмазоносный магматизм, проявляются в той или иной мере. В этих условиях космические снимки должны и могут стать тем звеном, которое позволит увязать между собой разрозненную информацию, выявить глобальные связи на огромных площадях и, в пределах локальных участков, направить работы на выяснение конкретных особенностей строения территорий. То есть, космические снимки должны стать таким же обязательным материалом при прогнозе и поисках алмазов, как геологические и геофизические съемки, минералогические и геохимические исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Космическая информация в геологии / Отв. ред. Г.В.Трифонов. — М.: Наука, 1983.
2. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д. Использование материалов космического зондирования Земли для выделения площадей развития алмазности кимберлитов // Отечественная геология. 1993. № 10. С. 41—45.
3. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д. Факторы контроля провинций, субпровинций и районов проявления алмазности пород // Отечественная геология. 1994. № 1. С. 3—8.
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—80.
5. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Смирнова Л.С. Оценка перспектив алмазности Ботсваны // Геология и геофизика. Т. 36. 1995. № 1. С. 57—64.
6. Хаин В.Е. Эволюция структуры земной коры (взгляд тектониста). — М.: Наука, 1993.

Serokurov Yu. N.

#### USING SPACE PROBING MATERIALS IN FORECASTING AND PROSPECTING FOR PRIMARY DIAMOND DEPOSITS

*Potentialities and merits of using space-probe-aided Earth sounding data in forecasting and prospecting for diamond-bearing areas are discussed for diamond deposits associated with kimberlites and lamproites taken as cases in point. A sequence of different-scale structures is shown to control diamond-bearing taxons, from a subprovince to a field. A conceptual sketch is presented for estimation of promise for diamonds shown by new territories through making use of space photographs made with different resolution.*



УДК 550.831.015

© В. М. Гордин, С. А. Тихоцкий, 1995

## ОЦЕНКА ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ СЕТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ АНОМАЛЬНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ РОССИИ И СТРАН БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ

В. М. ГОРДИН, С. А. ТИХОЦКИЙ (ОИФЗ РАН)

*Установлена хорошая внутренняя согласованность сеточных моделей аномального поля в редукции Фая. Проанализированы причины несогласованности моделей аномального поля в редукции Буге. Даны общие рекомендации по использованию указанных моделей для интерпретации.*

В последние годы, благодаря рассекречиванию геофизической информации, в научный обиход возвращены массивы данных, имеющих не только прикладное, но и большое познавательное значение. К числу таковых, несомненно, относятся массивы значений аномалий силы тяжести в редукциях Фая и Буге, осредненных в трапециях  $5' \times 7,5'$ ;  $10' \times 15'$  и  $1^\circ \times 1^\circ$ . Составленные ЦНИИГАиК, они охватывают всю территорию бывшего СССР и аккумулируют в себе результаты полевых гравиметрических съемок масштабов от 1:1000000 до 1:50000 и крупнее. Впредь они именуются сеточными моделями аномального гравитационного поля и обозначаются символами или индексами: А— $5' \times 7,5'$ ; В— $10' \times 15'$ ; С— $1^\circ \times 1^\circ$ . Черта сверху здесь и далее означает усреднение.

Напомним, что аномалии Фая отличаются от аномалий в свободном воздухе тем, что в них введены поправки на рельеф местности. В сеточных моделях ЦНИИГАиК радиус учета рельефа принят равным 200 км. Во избежание путаницы аномалии Фая в дальнейшем помечаются штрихом ( $g'$ ), аномалии Буге — двумя штрихами ( $g''$ ). В выкладках, справедливых для обеих редукций, штрихи опущены.

Хотя сеточные модели широко используются при региональной геологической интерпретации данных [1, 2, 4, 7, 8, 9 и др.], в литературе отсутствуют сведения об их статистической репрезентативности, внутренней согласованности элементов, усредненных по разным сеткам. Приводимые ниже оценки, по замыслу авторов, должны восполнить этот пробел.

**Анализ распределений.**

Корректность искомым оценкам сущест-

венно зависит от того, насколько реальные распределения аномалий Фая ( $g'$ ) и Буге ( $g''$ ) в пределах некоторых площадей близки к нормальным. Поэтому сопоставлению сеточных моделей по основным статистическим параметрам предшествовала проверка гипотезы о нормальном распределении элементов этих моделей в трапециях  $1^\circ \times 1^\circ$ . Для каждой трапеции вычислялись средневзвешенные оценки средних значений ( $\bar{g}$ ) и дисперсий ( $\sigma$ ):

$$\bar{g} = \frac{1}{S_c} \sum_{i=1}^n S_i g_i \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{1}{S_c} \sum_{i=1}^n S_i (g_i - \bar{g})^2,$$

где  $S_c$  — площадь анализируемой трапеции  $1^\circ \times 1^\circ$ ;  $S_i$  — площади внутренних трапеций  $5' \times 7,5'$  и  $10' \times 15'$ ;  $n = 96$  для модели А и  $n = 24$  для модели В. Затем для ранжированных в порядке возрастания величин  $\eta_m = (g_i - \bar{g}) / \sigma$  ( $m = 1, 2, \dots, n$ ) строились так называемые эмпирические функции распределения:

$$F_{\text{emp}}(n, x) = \begin{cases} 0, & x \leq \eta_1 \\ m/n, & \eta_m < x \leq \eta_{m+1}, 1 \leq m \leq n-1, \\ 1, & x > \eta_n \end{cases} \quad (2)$$

при  $n = 24, 96$ . Вероятность  $P\{*\}$  соответствия оценки (2) с теоретической функцией нормального распределения (интегралом вероятности)  $\Phi(x)$  оценивалась по критерию Колмогорова:

$$P \{ D_{\text{emp}}(n) < D_n(\Omega) \} = 1 - \frac{\Omega}{100}, \quad (3)$$



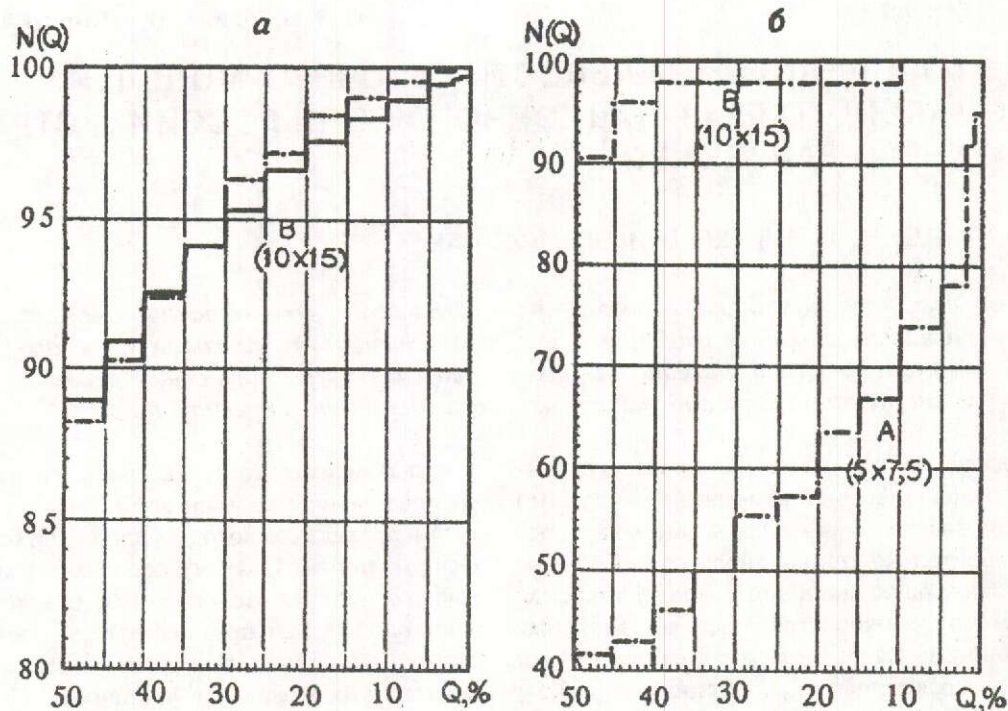


Рис. 1. Проверка гипотезы нормальности распределений элементов сеточных моделей в трапециях  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  по критерию Колмогорова:

*a* — весь регион; *b* — пробный участок в Западной Сибири; сплошные линии — кумулятивные кривые для аномалий Фая; пунктирные — то же для аномалий Буге

где

$$D_{\text{emp}}(n) = \max_{|x| \leq +\infty} |F_{\text{emp}}(n, x) - \Phi(x)| \quad (4)$$

$D_n(\Omega)$  — табулированные в [3]  $Q$ -процентные критические точки для статистики критерия Колмогорова.

Проверка производилась в два этапа. На первом — анализировались сеточные модели В для всей территории России, ближнего зарубежья и прилегающих акваторий. Результаты анализа иллюстрирует рис. 1, *a*. На нем представлены кумулятивные кривые  $N(Q)$  — выраженное в процентах число трапеций, удовлетворяющих критерию (3). По оси абсцисс отложены пороговые значения  $Q$  (%).

Из рис. 1, *a* следует, что гипотеза о нормальности распределения элементов сеточных моделей В не отвергается при очень высоких порогах значимости. Уровень  $N = 95\%$  достигается уже при  $Q = 30\%$ , а при  $Q = 2,5\%$   $N = 100\%$  для аномалий Буге и  $N = 99\%$  для аномалий Фая.

На втором этапе детально исследовались аномалии Буге на пробном участке в Западной Сибири ( $60-68^{\circ}$  с.ш.,  $66-78^{\circ}$  в.д.). Построенные в результате расчетов по формулам (2—4) кумулятивные кривые для сеточных моделей А и В приведены на рис. 1, *b*. В рассматриваемом случае при  $Q = 35\%$   $N = 97,8\%$  для модели В и лишь  $N = 50\%$  для модели А. Понижая порог значимости до  $Q = 15\%$ , имеем  $N = 100\%$  (модель В) и  $N = 66\%$  (модель А). Наконец, при  $Q = 1\%$   $N > 94,8\%$ , т.е. гипотеза о нормальном распределении аномалий Буге в трапециях  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  отвергается для 5% трапеций сеточной модели А. Вопрос о причинах столь значительных различий в оценках нормальности распределений для моделей А и В требует дальнейшего анализа.

**Сравнение средних значений.**

Для проверки гипотезы о равенстве средних значений  $\bar{g}_A$ ,  $\bar{g}_B$  и  $\bar{g}_C = g_C$  в трапециях  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  рассчитывались статистики Стьюдента  $t_{\text{emp}} = (t_{AC}, t_{BC}, t_{AB})$



$$t_{AC} = \frac{|\bar{g}_A - \bar{g}_C|}{\sigma_A} \sqrt{n_A - 1} ;$$

$$t_{BC} = \frac{|\bar{g}_B - \bar{g}_C|}{\sigma_B} \sqrt{n_B - 1} ;$$

$$t_{AB} = \frac{|\bar{g}_A - \bar{g}_B|}{\sigma_{AB}} \sqrt{n_A + n_B - 2} ;$$

$$\sigma_{AB} = \sqrt{(n_A + n_B)(n_A \sigma_A^2 + n_B \sigma_B^2) / n_A n_B (n_A + n_B + 2)}$$

и применялся одноименный критерий [3]

$$P\{t_{\text{emp}} < t(n, \Omega)\} = 1 - \frac{2\Omega}{100}, \quad (6)$$

при  $n = n_A - 1, n_B - 1, n_A + n_B - 2$  степенях свободы.

Прежде всего было выяснено, что пространственное распределение разностей (невязок)  $(\bar{g}'_C - \bar{g}'_B)$  аномалий Фая неоднородно. В сухопутных районах они обычно не превосходят 2 мГал (свыше 99 % трапеций). Иная картина наблюдается на тех участках акваторий, где при построении сеточных моделей В и С использовались съемочные данные разной детальности. Даже беглый анализ изображенной на рис. 2 карты невязок для Европейской части бывшего СССР приводит к заключению, что большинство высокоамплитудных экстремумов  $(\bar{g}'_C - \bar{g}'_B)$  тяготеет к акватории Баренцева моря. Рис. 2 дополняет табл. 1.

Обратим внимание на последние два столбца этой таблицы, содержащие оценки статистик Стьюдента (5) и порогов значимости выполнения критерия (6). Из них, в частности, следует, что при  $Q = 1\%$  гипотеза о равенстве средних отвергается только для трапеции 2 с координатами центра:  $48,5^\circ$  с.ш.,  $61,5^\circ$  в.д. В то же время в трапециях 1, 8 и 13, где невязки составляют соответственно 7,0; 4,0 и 3,2 мГал, эта гипотеза не отвергается даже при  $Q > 25\%$ .

Результаты расчетов по формулам (5—6) для всей рассматриваемой территории и прилегающих акваторий обобщены кумулятивными кривыми  $T(Q)$  (рис. 3, а). По аналогии с рис. 1 ордината  $T$  — это выраженное в процентах число трапеций, удов-

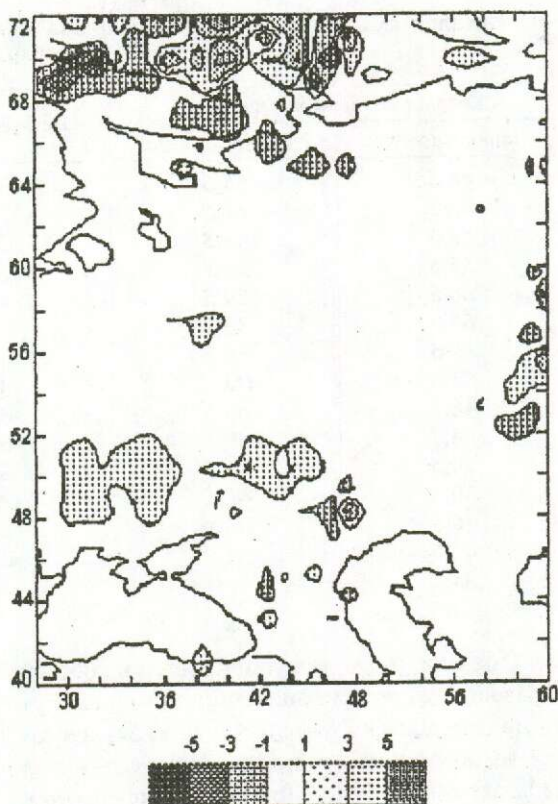


Рис. 2. Различия (невязки) между средними значениями аномалий Фая  $(\bar{g}'_C - \bar{g}'_B)$  для Европейской части бывшего СССР.

летворяющих критерию (6); по оси абсцисс отложены значения  $Q$ .

Примечательно, что отмеченная выше «сухопутно-морская» неоднородность в распределении аномалий Фая практически не сказывается на ходе соответствующей кривой  $T(Q)$ . Уровень  $T = 90\%$  достигается уже при  $Q = 30\%$ , а при  $Q = 1\%$ ,  $T = 99,6\%$ , т.е. проверяемая гипотеза отвергается только для 0,4 % трапеций.

Более подробного обсуждения требуют оценки  $T(Q)$  для аномалий Буге, которые, как это видно из рис. 3, а, не столь оптимистичны, как для аномалий Фая. Уровню  $T = 90\%$  отвечает порог значимости  $Q = 5\%$ ; уровню  $T = 95\%$  —  $Q = 1\%$ , что свидетельствует о существенных различиях средних значений аномалий Буге в трапециях  $1^\circ \times 1^\circ$  для моделей С и В. Анализ невязок  $(\bar{g}''_C - \bar{g}''_B)$  показывает, что в горных районах они нередко составляют десятки мГал, а в единичных трапециях превосходят 100 мГал.



1. Каталог сухопутных трапеций со значениями невязок аномалий Буге для моделей С и В, превосходящими 3 мГал

Координаты центра трапеции		Невязка, мГал	t <sub>вс</sub>	Q
широта, градус	долгота, градус			
48,5	85,5	-7,0	0,548	25
48,5	61,5	-6,2	5,406	—
48,5	47,5	+5,6	0,910	15
55,5	59,5	+5,1	1,440	5
68,5	29,5	-4,8	1,613	5
69,5	83,5	+4,2	1,497	5
58,5	59,5	-4,2	0,937	15
57,5	160,5	+4,0	0,634	25
48,5	60,5	-3,9	1,397	5
68,5	30,5	-3,9	0,931	15
50,5	23,5	-3,5	1,232	10
50,5	41,5	+3,5	2,171	1
56,5	160,5	+3,2	0,229	40
67,5	39,5	-3,0	1,388	5
35,5	48,5	+3,0	1,361	5

Причина этого явления кроется в способе образования средних значений аномалий Буге, приводящем к функциональной зависимости их величины от средних высот пунктов наблюдений  $\bar{h}_C$  и  $\bar{h}_B$ . Действительно, пусть в некоторой трапеции  $1^\circ \times 1^\circ$  аномалии Фая  $\bar{g}'_C$  и  $\bar{g}'_B$  и тождественно равны, но  $\bar{h}_C \neq \bar{h}_B$ . Поскольку при вычислении  $\bar{g}'_C$  и  $\bar{g}'_B$  поправки на рельеф местности учтены в радиусе 200 км, превосходящем размеры трапеции, ясно, что между средними значениями аномалий Буге  $\bar{g}_C''$  и  $\bar{g}_B''$  возникнет разность, примерно равная притяжению плоско-параллельного слоя толщиной  $|\bar{h}_C - \bar{h}_B|$ . Ясно также, что при рассмотрении моделей А—С и А—В ситуация будет аналогичной.

Таким образом, неизменным условием корректности сравнения значений  $\bar{g}_C''$ ,  $\bar{g}_B''$  и  $\bar{g}_A''$  является соблюдение равенства средних высот пунктов наблюдений:

$$\bar{h}_A = \bar{h}_B = \bar{h}_C. \quad (7)$$

Если элементы соответствующих сеточных моделей определены по одной и той же системе пунктов, то это равенство выполняется автоматически. В противном случае в сравнимые величины вносятся систематические (зависящие от разностей средних высот пунктов) расхождения, а сама процедура сравнения становится некорректной.

Этот вывод в полной мере справедлив для высокогорных и среднегорных районов. Что касается равнин, то размах высот рельефа здесь сравнительно невелик, и различиями в средних значениях  $\bar{h}_C$ ,  $\bar{h}_B$  и  $\bar{h}_A$ , как правило, можно пренебречь. Например, на упоминавшемся выше пробном участке в Западной Сибири ( $60-66^\circ$  с.ш.,  $66-78^\circ$  в.д.) равенство (7) выполняется с точностью до  $\pm 10$  м, и, как следствие этого, систематические расхождения (невязки) в средних значениях аномалий Буге по порядку величин не должны превосходить 1—2 мГал. Табл. 2 дает представление о реальных невязках на этом участке. Судя по их средним значениям, поле аномалий Буге сеточных моделей А и В завышено относительно поля модели С на 0,25—0,30 мГал, а амплитуды невязок варьируют в пределах  $\pm 1,6$  мГал.

Уместно также обратить внимание на близость стандартов случайных компонент сеточных моделей А, В и С к теоретической оценке стандарта погрешности округления (квантования по уровню). В самом деле, при использовании в сеточных моделях шаге квантования ( $\delta=1$ ),  $\sigma_{\text{теор}} = \frac{\delta}{12} = \pm 0,29$  мГал, тогда как со-

гласно табл. 2,  $\sigma_{\text{факт}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{2}} = \pm (0,29-0,31)$  мГал. Кумулятивные кривые  $T(Q)$  на рис. 3, б, иллюстрирующие результаты применения критерия Стьюдента (6) к средним значениям



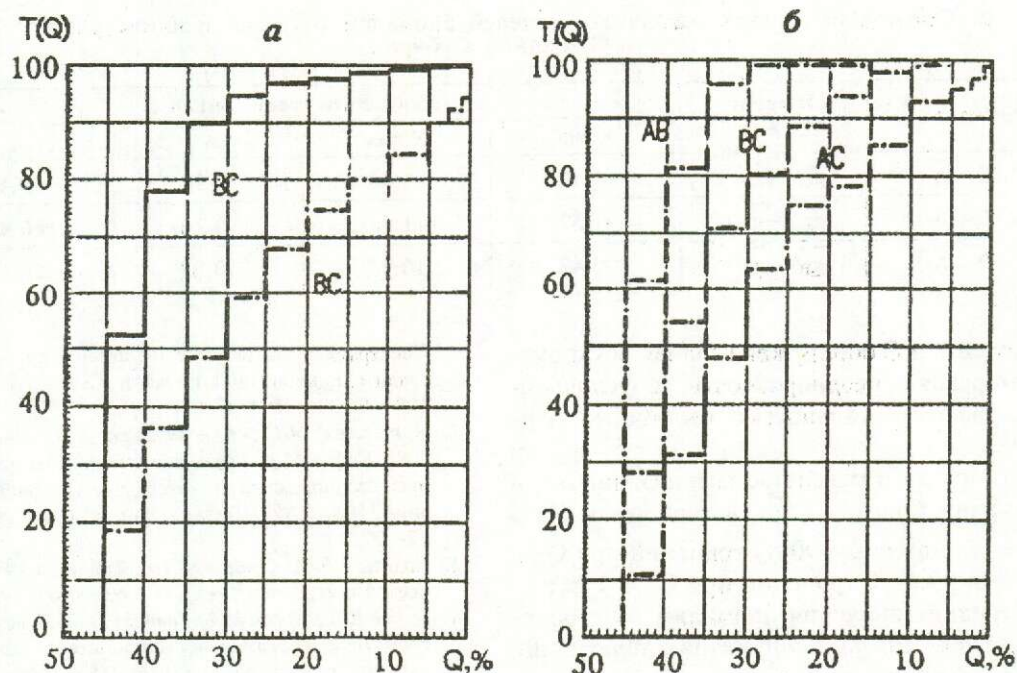


Рис. 3. Проверка гипотезы о равенстве средних значений элементов сеточных моделей в трапециях 1°x1° по критерию Стьюдента:

*a* — весь регион (за исключением акваторий); *b* — пробный участок в Западной Сибири; сплошные линии — кумулятивные кривые для аномалий Фая; пунктирные — то же для аномалий Буге

аномалий Буге на западно-сибирском участке, дают основания утверждать, что при  $Q = 1\%$  гипотеза о равенстве величин  $\bar{g}_C''$  и  $\bar{g}_A''$  не отвергается для  $T(Q) = 99\%$  трапеций. При попарном сравнении величин  $\bar{g}_C''$ ,  $\bar{g}_B''$  и  $\bar{g}_A''$ , уровню  $T(Q) = 100\%$  отвечают пороги значимости соответственно  $Q = 5\%$  и  $Q = 15\%$ .

**Сравнение дисперсий.**

Выборочные оценки дисперсий (стандартов) аномального гравитационного поля относятся к важнейшим характеристикам его пространственной структуры и часто применяются в моделях статистической интерпретации [6, 5]. Проверка гипотезы об идентичности дисперсий в трапециях 1°x1°, рассчитанных на основании сеточных моделей А и В, осуществлялась с помощью двухстороннего критерия Фишера:

$$P\{F^{-1}(\nu_1, \nu_2, \Omega) < F_{\text{emp}} < F(\nu_2, \nu_1, \Omega)\} < 1 - \frac{2\Omega}{100}, \quad (8)$$

где  $F(\Omega, \nu_1, \nu_2)$  — критические,  $Q$ -процент-

ные точки этого критерия при  $\nu_1 = n_A - 1$  и  $\nu_2 = n_B - 1$  степенях свободы,  $F_{\text{emp}} = \sigma_B^2 / \sigma_A^2$ .

Вычисления на западно-сибирском участке (60—68° с.ш., 66—78° в.д.) показали, что при  $Q = 25\%$  неравенство (8) выполняется для 85% трапеций. Понижение порога значимости до  $Q = 10\%$  приводит к увеличению числа таких трапеций до 99%, а при  $Q = 5\%$  гипотеза о равенстве дисперсий  $\sigma_A$  и  $\sigma_B$  не отвергается для всех трапеций западно-сибирского участка.

Таким образом, сделаны следующие выводы:

распределения элементов сеточной модели В в пределах трапеций 1°x1° близки к нормальным. По критерию Колмогорова соответствующая гипотеза не отвергается для 100% трапеций по аномалиям Фая ( $Q = 10\%$ ) и 99% трапеций по аномалиям Буге ( $Q = 1\%$ ). В отношении сеточной модели А (по аномалиям Буге) этот вывод справедлив лишь для 95% трапеций;

в пространственном распределении средних значений аномалий Фая в трапециях 1°x1°



## 2. Статистики невязок различных моделей аномалий Буге на пробном участке в Западной Сибири

Модели	Невязки X	Статистики невязок, мГал			
		X min	X max	$\bar{X}$	$\sigma_x$
C—A	$\bar{g}'_C - \bar{g}'_A$	-1,58	+1,46	-0,28	$\pm 0,41$
C—B	$\bar{g}'_C - \bar{g}'_B$	-1,57	+1,44	-0,26	$\pm 0,44$
B—A	$\bar{g}'_B - \bar{g}'_A$	-0,42	+0,75	+0,02	$\pm 0,25$

моделей В и С обнаружена слабая «сухопутно-морская» неоднородность, обусловленная разной детальностью съемочных данных;

гипотеза о равенстве средних значений аномалий Фая  $\bar{g}'_C$  и  $\bar{g}'_B$  в трапециях  $1^\circ \times 1^\circ$  не отвергается для 90 % трапеций при  $Q = 30\%$  и 99,6 % трапеций при  $Q = 1\%$ ;

средние значения аномалий Буге зависят от средних высот пунктов наблюдений. Поэтому в горных районах соответствующие сеточные модели, построенные по разным системам пунктов, несопоставимы между собой, а их использование при моделировании источников аномалий требует строгого учета разновысотности трапеций;

в равнинных районах (западно-сибирский участок) средние значения аномалий Буге в трапециях  $1^\circ \times 1^\circ$  близки между собой. По критерию Стьюдента гипотеза о равенстве средних не отвергается для всех трапеций при  $Q = 5\%$  (модели А и С) и  $Q = 15\%$  (модели В и С);

гипотеза о равенстве дисперсий  $\sigma_A$  и  $\sigma_B$  не отвергается для всех трапеций  $1^\circ \times 1^\circ$  западно-сибирского участка при  $Q = 5\%$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемьев М.Е., Гордин В.М., Кучериненко В.А.

Gordin V. M., Tikhotsky S. A.

ESTIMATION OF REPRESENTATIVITY OF GRID MODELS PORTRAYING ANOMALOUS GRAVITY FIELD PATTERN OF RUSSIA AND INDEPENDENT STATES OF FORMER USSR

*Precision and representativity of grid models portraying the anomalous gravity field pattern covering the territories of Russia and independent states of former USSR are estimated. A good internal consistency of free-air anomaly gravity field pattern grid models is shown. The reasons of inconsistency exhibited by Bouguer anomaly field models have been analyzed. General recommendations on the models' use for interpretation purposes are given.*

Спектрально-статистический анализ аномального гравитационного поля Евразии // Докл. АН СССР. 1992, Т. 325. № 4. С. 697—702.

2. Артемьев М.Е., Кучериненко В.А., Демьянов Г.В., Кабан М.К. Гравитационное поле плотностных неоднородностей литосферы северной Евразии // Изв. РАН. Физика Земли. 1993. № 5. С. 12—22.
3. Большев Л.С., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. — М.: Наука, 1965.
4. Бузов Е.Б., Коган М.Г. Гравитационно-механическое моделирование взаимодействия континентальных плит в районе Тянь-Шаня // Докл. АН СССР. 1990. Т. 313. № 6. С. 1439—1444.
5. Гордин В.М., Бабаева Т.М., Войдецкий И.Е. Локальные изостатические аномалии Северной Атлантики. Опыт гравитационного районирования // Геодинамические исследования. 1986. Вып. 9. С. 71—90.
6. Золотов И.Г. Стохастические свойства магнитного и гравитационного полей горизонтального слоя пуассоновских случайных источников // Геоматематизм и аэрономия. 1985. Т. 25. С. 986—989.
7. Artemjev M.E., Kaban M.K., Kucherinenko V.A., Demyanov G.V., Taranov V.A. Subcrustal Density Inhomogeneities of Northern Eurasia as Derived from the Gravity Field and Isostatic Model of the Lithosphere. // Tectonophysics. 1994. N 240. P. 45-64.
8. Kogan M.G., McNutt M.C. Gravity Field over Northern Eurasia and Variations in the Strength of the Upper Mantle // Science, 1993. Vol 259. № 5904. P. 473—479.
9. Ruppel C., Kogan M.G., McNutt M.C. Implications of New Gravity Data for Bajkal Rift Zone Structure // Geoph. Res. Let. 1993. Vol 20. № 15. P. 1635—1638.



# МОДЕЛИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.411.001.57:551.242.4.

© В. М. Яновский, А. В. Чмырев, А. Б. Сорокин, 1995

## ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОБЛАСТЕЙ ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ

В. М. ЯНОВСКИЙ, А. В. ЧМЫРЕВ, А. Б. СОРОКИН (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*На основе геодинамического анализа рудных полей и месторождений золота выделены типичные для областей тектоно-магматической активизации геодинамические системы. В качестве моделей рассмотрены месторождения Рябиновое (золото-порфировое), Кючюс (золото-сульфидное) и Кубака (золото-серебряное).*

Формирование промышленных месторождений золота в областях тектоно-магматической активизации обусловлено особыми соотношениями рудовмещающей среды (предшествующими рудообразованию формационными комплексами и структурами) с рудно-магматическими системами, рудообразующими процессами и синхронными оруденению структурами. В общем, последним свойственны: существенный отрыв во времени, наложенность и дискордантность по отношению к предшествующим структурам, значительные трансформации рудообразующей системы в обстановке дифференцированной (разнородной, этажной, ярусной, деформированной) среды. Важную роль играет «расслоенность» рудовмещающих комплексов, наличие латеральных зон дислокаций (меж- и внутриформационных срывов, экранов).

Не останавливаясь на проблеме «тектоно-магматическая активизация», заслуживающей специального анализа в аспекте геодинамических режимов континентальной земной коры, отметим, что в серии рассмотренных месторождений золота северо-востока Азии рудообразование, кинематика структур рудных полей и их главные характеристики обусловлены аккреционными и коллизионными процессами в окраинно- и внутриконтинентальных зонах, формирующими новые геодинамические системы (с участием древних и молодых структур разного типа и различных рангов).

Геодинамические модели месторождений и геодинамическое моделирование базируются на двух принципиальных положениях:

1. Анализируя палеотектоническую обстановку в последовательные этапы деформации, можно получить представление о закономерных изменениях условий деформации и соответствующих особенностях деформационных элементов, возникающих в едином процессе структурообразования, установить пространственные и временные связи, зависимость и обусловленность типа структуры рудного поля с его региональной позицией. Типизация структуры рудного поля приобретает важную генетическую характеристику, когда раскрывается многообразие связей в системе поле напряжений — деформации — структуры и многопорядковость геологических неоднородностей, обусловивших это многообразие [5].

2. Устойчивость связей в системе «геодинамический режим — рудообразующие процессы — рудовмещающие структуры» проявляется на площадях, сопоставимых с крупными металлогеническими провинциями. Геодинамический анализ рудоносных площадей, относящихся к различным геотектоническим структурам континентальной земной коры, позволяет выделить ряды геодинамических систем (ГДС), синхронных рудообразованию. Геодинамический режим формирования рудных районов является классификационным признаком, а типич-



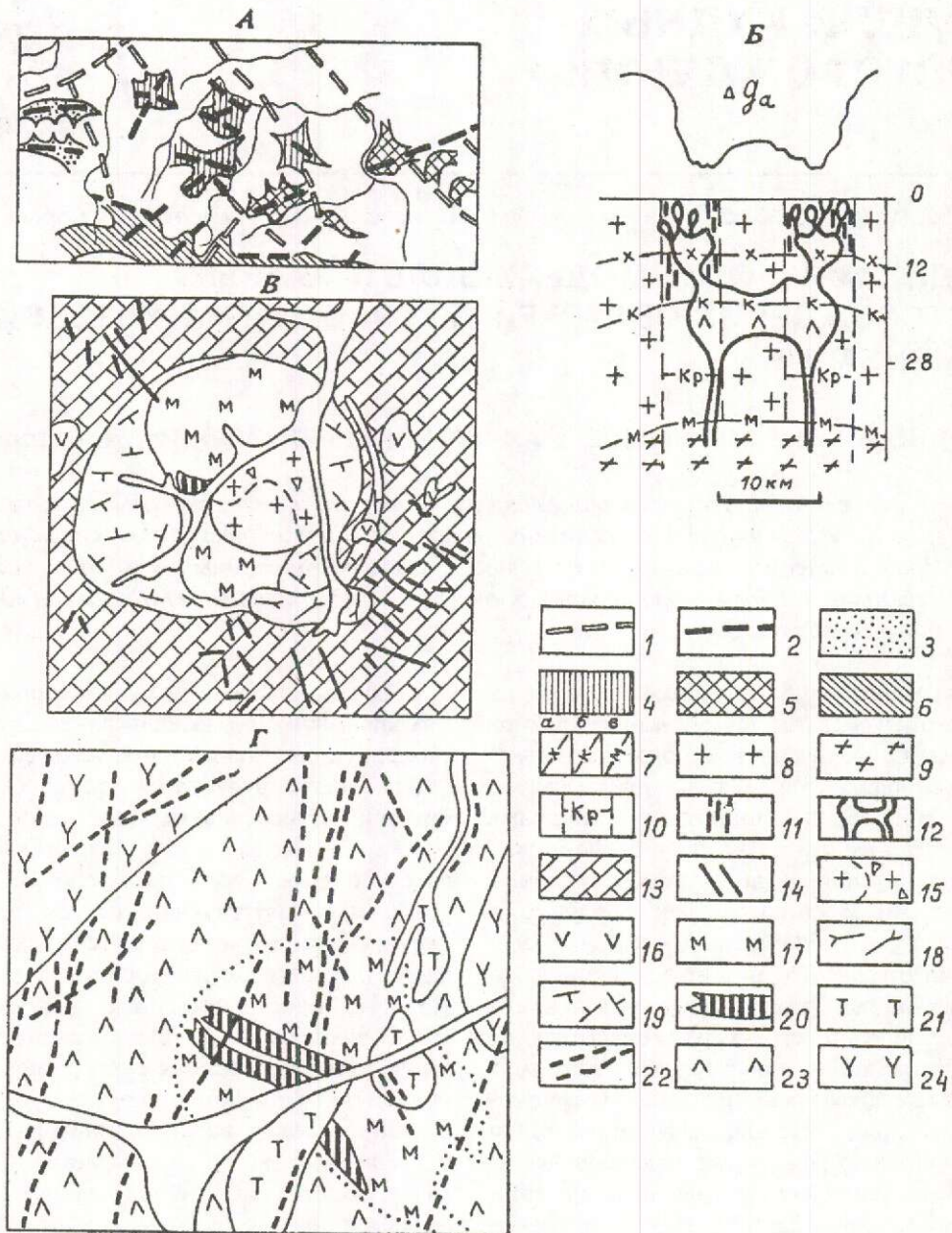


Рис. 1. Геодинамическая модель золоторудного месторождения золото-порфирового типа (месторождение Рябиновое, Южно-Якутская провинция):

А — рудоносные магматические формации в структурах ТМА (по В.Г.Ветлужских): 1 — древние глубинные разломы; 2 — магмоконтролирующие молодые разломы; магматические формации: 3 — лейцитит-щелочносиенитовая; 4 — монзонит-сиенитовая; 5 — монзонит-сиенитовая и среднекислых и повышенной щелочности; 6 — гранитоидов среднекислых и повышенной щелочности; Б — схема строения внутрикорового магматического палеоочага (по В.А.Абрамову): 7 — гравитирующие и сейсмоакустические поверхности: а — промежуточная, б — Конрада, в — Мохоровичича; 8 — кора; 9 — верхняя мантия; 10 — границы зон внутрикорового разуплотнения; 11 — зоны разломов; 12 — магматические палеоочаги; В — схема строения рудоносного массива (по А.Я.Кочеткову): 13 — кембрийский карбонатный комплекс платформенного чехла, 14 — дайки ортофиоров, бостонитов, сиенит-порфириров, минетт, К<sub>2</sub>; 15 — эгириновые граниты, их брекчии, К<sub>2</sub>; 16 — монзониты, меланократовые микросиениты, авгитовые сиениты, К<sub>2</sub>; 17 — мусковитизированные сиениты, I<sub>3</sub>—К<sub>1</sub>; 18 — пуласкиты, лаурвикиты, I<sub>3</sub>—К<sub>1</sub>; 19 — малиньиты, эпидейцитовые и псевдолейцитовые порфиры, I<sub>3</sub>; 20 — участки золото-сульфидной минерализации; Г — центральная часть месторождения Рябиновое: 21 — субвулканические тела габброидов; 22 — нефелиновые сиениты; 23 — эгириновые сиениты, их меланократовые разности; 24 — малиньиты



зация рудных объектов на этой основе делает возможным оценить масштабы и границы распространения оруденения [4].

Первая модель — месторождение Рябиновое (рис. 1, Г) — иллюстрирует геодинамические условия формирования оруденения золото-порфирового типа (золотоносных сульфидизированных метасоматитов), пространственно и генетически связанного со щелочными комплексами Алданского щита [1, 2, 3]. Золотоносная провинция включает систему сводовых и блоковых структур южного края Сибирской платформы, протягивается на тысячи километров субпараллельно поясу коллизийных гранитоидов (формация гранитоидов Станового хребта) и распространяется на сотни километров к северу, в область развития платформенного чехла и платформенных структур. Главным рудоконтролирующим элементом является регулярная решетка разломов глубокого заложения (рис. 1, А), к узлам пересечения которых тяготеют золотоносные рудно-магматические системы [2]. Другим элементом контроля оруденения являются латеральные зоны дислокаций (меж- и внутрiformационные срывы на нескольких уровнях платформенного чехла и в фундаменте), отражающиеся в структурно-морфологических особенностях месторождений этапа тектоно-магматической активизации (поздняя юра-мел).

Продуктивные на золото, а также Cu, Mo, Ag и платиноиды щелочные комплексы представляют собой верхние части полиформационных вулканоплутонических систем, прослеживающихся геофизическими методами до нижних уровней коры, имеющих ярусное строение и связанных с многократными субвертикальными движениями блоков [1].

Рудоносные массивы — полифациальные образования, как правило, отчетливо выраженного кольцевого строения, лакколиты, штоки (рис. 1, В). Рудные тела тяготеют к участкам контрастного магматизма, где щелочные сиениты прорываются дайками и некками щелочных габброидов и пикритов. Во внутренних зонах массивов развиты многочисленные субогласные дайки сиенит-пегматитов (ортоклазитов). Вмещающие архейские гранитогнейсы и гнейсы в экзоконтактах превращены в полосчатые фениты и кварц-калишпатовые метасоматиты. Карбонатные породы венд-кембрийского чехла (мраморизованные и скарнирован-

ные) и юрские песчаники (ороговикованные) встречаются в контактах массивов и в их кровле в виде останцов и блоков [3].

Металлоносные породы лейцитит-щелочносиенитовой формации являются дифференциатами мантийной калиевой щелочнобазальтовой магмы.

Оруденение сформировалось в процессе постмагматического калиевого метасоматоза нефелиновых сиенитов. Основные рудные парагенезисы образовались после кристаллизации калиевых минералов и раннего пирита. В ювенильных растворах поздних стадий отмечается увеличение доли натрия и кремнезема; процесс завершается образованием эгириин-кварцевых и кварцевых жил с галенитом и молибденитом. Основными концентраторами золота являются пирит и борнит, иногда рутил [3].

Вторая модель — месторождение Ключос — золото-сульфидного прожилково-вкрапленного типа (золото-углеродистой формации). Оно располагается в миегосинклинальном терригенном комплексе ( $T_{2-3}$ ) внутриконтинентальной золотоносной провинции, для которой характерна золото-редкометаллическая, золото-ртутно-сурьмяная, олово-полиметаллическая и другие формации, образующие дискретный ряд, соответствующий последовательно изменяющимся геодинамическим режимам в интервале времени от раннего палеозоя до позднего кайнозоя.

Эту провинцию характеризуют: мощный терригенный разрез, брахиформная складчатость, начальная фаза зеленокаменных преобразований углеродистых песчаниково-алевролитовых толщ, конкордантные гранитоидные и дискордантные пестрого состава магматические комплексы, общее зональное размещение оруденения относительно ареала магматизма (рис. 2, А).

По геофизическим данным, в основании терригенного этажа имеется система блоков, ограниченных разломами глубокого заложения. Золотое оруденение нескольких формационных типов и гранитоидные комплексы тяготеют к наиболее «проработанному» (активному) блоку инфраструктуры. На эрозионном срезе ограничениям этого блока соответствуют системы структур высоких порядков, пояса даек и штоков, серии рудопроявлений и месторождения золота, сурьмы, редких металлов.



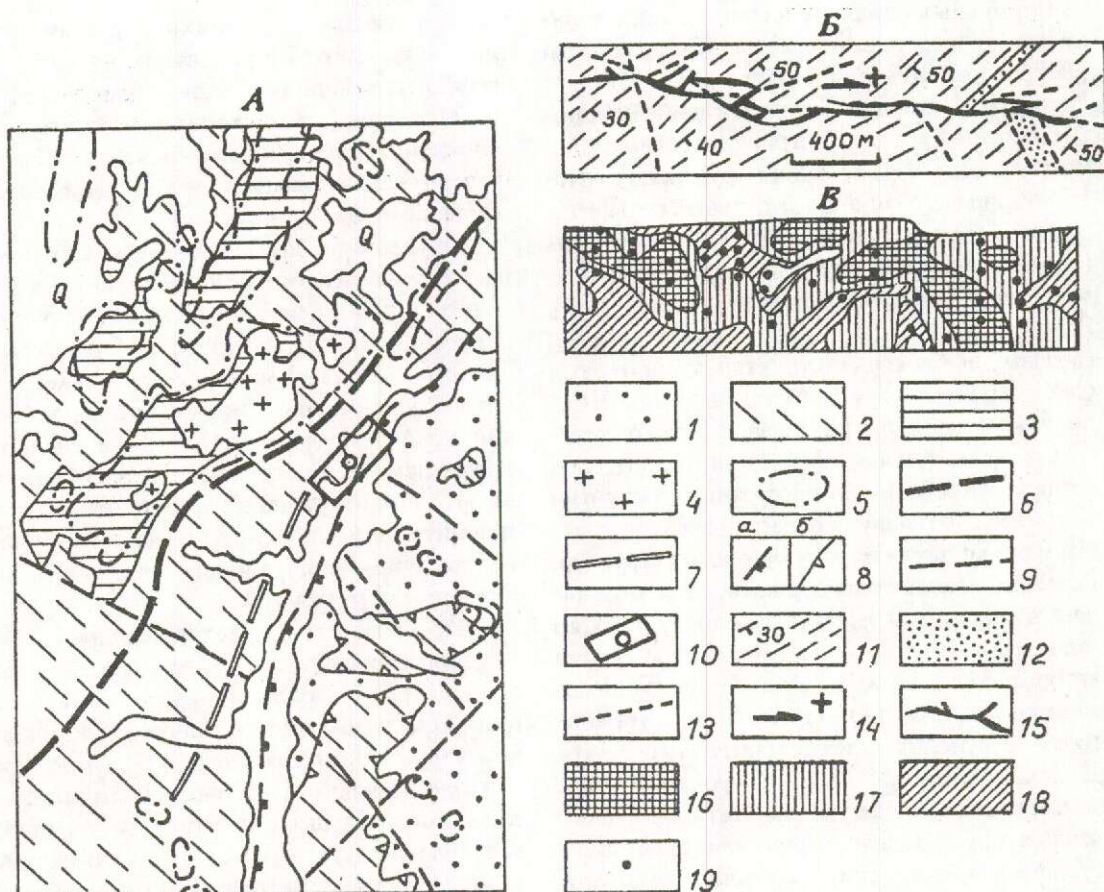


Рис. 2. Геодинамическая модель золоторудного месторождения прожилково-вкрапленного золото-сульфидного типа (месторождение Кючос, Куларская провинция):

А — фрагмент активизированного блока инфраструктуры, «просвечивающего» в терригенном этапе мезогеосинклинали: 1 — терригенная молассоидная толща,  $T_{1-3}$ , в афлотонной (?) пластине; 2 — алевритово-сланцевая толща,  $T_{1-3}$ ; 3 — глинисто-сланцевая толща,  $P_2$ ; 4 — гранитоидный комплекс,  $K_1$ ; 5 — метаморфические ореолы, по геолого-геофизическим данным; 6 — градиентная гравиметрическая зона, интерпретируемая как грань блока инфраструктуры; 7 — рудомещающая зона тектонитов, в терригенном этапе; 8 — межформационный срыв (надвиг): а — фронтальная линия, б — тектониты в эрозионных окнах; 9 — разломы; 10 — положение месторождения в системе структур; Б — схема строения рудного поля, система рудных тел в зоне тектонитов: 11 — алевриты, начки переслаивания алевропелитов и песчаников; 12 — песчаники; 13 — разрывы; 14 — взбросо-сдвиги; 15 — прожилково-вкрапленные рудные тела; В — распределение золота на вертикальной продольной проекции рудных тел, в метрограммах на тонну: 16 — более 100, 17 — от 30 до 100, 18 — от 10 до 30; 19 — разведочные скважины

Иногда фрагментарно подновленные границы комплексов осадочных пород (1—2 уровня) в разрезе провинции выступают как литолого-стратиграфические экраны для золото-кварцевого оруденения.

Крупное месторождение золото-ртутно-сурьмяного типа, рассмотренное в качестве модели, приурочено к линейной СВ простирания структуре, представленной серией крутопадающих кулисных и субпараллель-

ных разломов, общей протяженностью более 100 км. Структура проявляется в гравиметрическом поле как контрастная глубинная зона градиентов на сопряжении региональных блоков. Ее плоскость под углом 30—50° пересекает толщу алевропелитов с редкими горизонтами песчаников и гравелитов. Такое соотношение слоистого субстрата и зоны разрывов определяет строение месторождения и морфологию рудных тел; выделяются



сегменты, ограниченные субширотными и субмеридиональными разрывами. Продуктивный интервал зоны минерализации имеет протяженность несколько десятков километров.

Структура месторождения представляет собой уплощенный каркас разрывов в широкой полосе тектонитов, образованной разнорядковыми дислокационными элементами, включая разрывы, приразрывные складки малой амплитуды, подвороты и расщепления слоистых пачек, зоны дробления, рассланцевания, трещиноватости, кливажа и другие. Эта структура в целом обладает блоково-линзовидным, каркасным, сегментным внутренним строением (рис. 2, Б).

Рудные тела прожилково-вкрапленного типа (с небольшой долей карбонатно-кварцевых жил), подчиненные неоднородной структуре зоны тектонитов, представляют собой ленты, линзы, повторяющие формы и размеры блоков дислоцированных пород, сложные столбообразные обособления в узлах пересечения разрывов нескольких разнориентированных систем, а также согласные залежи в благоприятных для замещения пачках алевропелитов.

Реставрация геодинамического режима месторождения позволяет полагать, что предрудный метасоматоз, образование вкрапленно-прожилковых руд и жил, содержащих золото, арсенопирит, антимонит, киноварь, происходили в условиях взбросово-сдвиговых, сдвиговых и сбросовых движений в зоне скалывания. Суммарное горизонтальное перемещение смежных региональных блоков инфраструктуры составило, вероятно, более 100 км.

ГДС рассмотренного типа представляет собой крупную зону скалывания в терригенном субстрате, отражающую блоковое строение основания миогеосинклинали и повторяющиеся в меловое время смещения региональных блоков в обстановке коллизии. В системе глубинных активизированных структур выделяется блок, соответствующий металлоносной провинции, а его элементы, «просвечивающие» в верхних уровнях разреза, выступают в качестве рудо локализирующих структур (в ранге рудных районов и полей).

Модель третьего типа — месторождение Кубака — характеризует условия рудообразования в этап тектоно-магматической активизации в системе структур Омолонского сре-

динного массива. Металлоносной провинции соответствует собственно массив, структуры его обрамления (миогесинклинальные терригенные комплексы) и перекрывающие то и другое молодые вулканиты окраинно-континентального Охотско-Чукотского пояса (рис. 3, А).

В разрезе массива выделяются: архейский метаморфический фундамент; нижний структурный ярус чехла — рифейские, кембрийские и ордовикские терригенные и карбонатные толщи; средний ярус — среднепалеозойские вулканогенные и осадочные комплексы; карбонатно-терригенные комплексы нижнего карбона-средней юры, образующие верхний ярус чехла [4].

Син- и постактивизационные комплексы представлены вулканогенно-осадочными образованиями верхней юры-нижнего мела и континентальными осадочно-вулканогенными — верхнего мела.

Металлогеническая специализация Омолонского массива во многом определяется фазами магматизма (выделяется до семи разновозрастных вулканоплутонических комплексов).

В геодинамическом аспекте этот срединный массив представляет собой «микроконтинент», имеющий мозаично-блоковую структуру и отчетливо выделяющийся среди структурно-формационных комплексов «рамы» по строению и режиму развития. Потoki надвиговых чешуй в терригенных толщах обрамления массива (карбон-юра), их ориентировка, а также типы и размещение пликтивных форм иллюстрируют условия латерального «обдавливания» массива окружающими блоками, при активном СЗ перемещении (и вращении) массива в Кони-Тайгоносской зоне коллизии. Наибольший интерес представляют структуры активизации, сформировавшиеся в позднеюрское и раннемеловое время. К ним относятся приподнятые блоки (фрагменты массива) с комплексами фундамента и нижнего яруса чехла, с широким развитием ранне-среднепалеозойского и мезозойского магматизма. Для этих блоков типично ярусное расположение тектонических чешуй с архейскими и рифейскими комплексами в аллохтоне и молодыми комплексами в автохтоне. Серии таких надвиговых чешуй (от 3—4 до 7—8) сопровождаются асим-



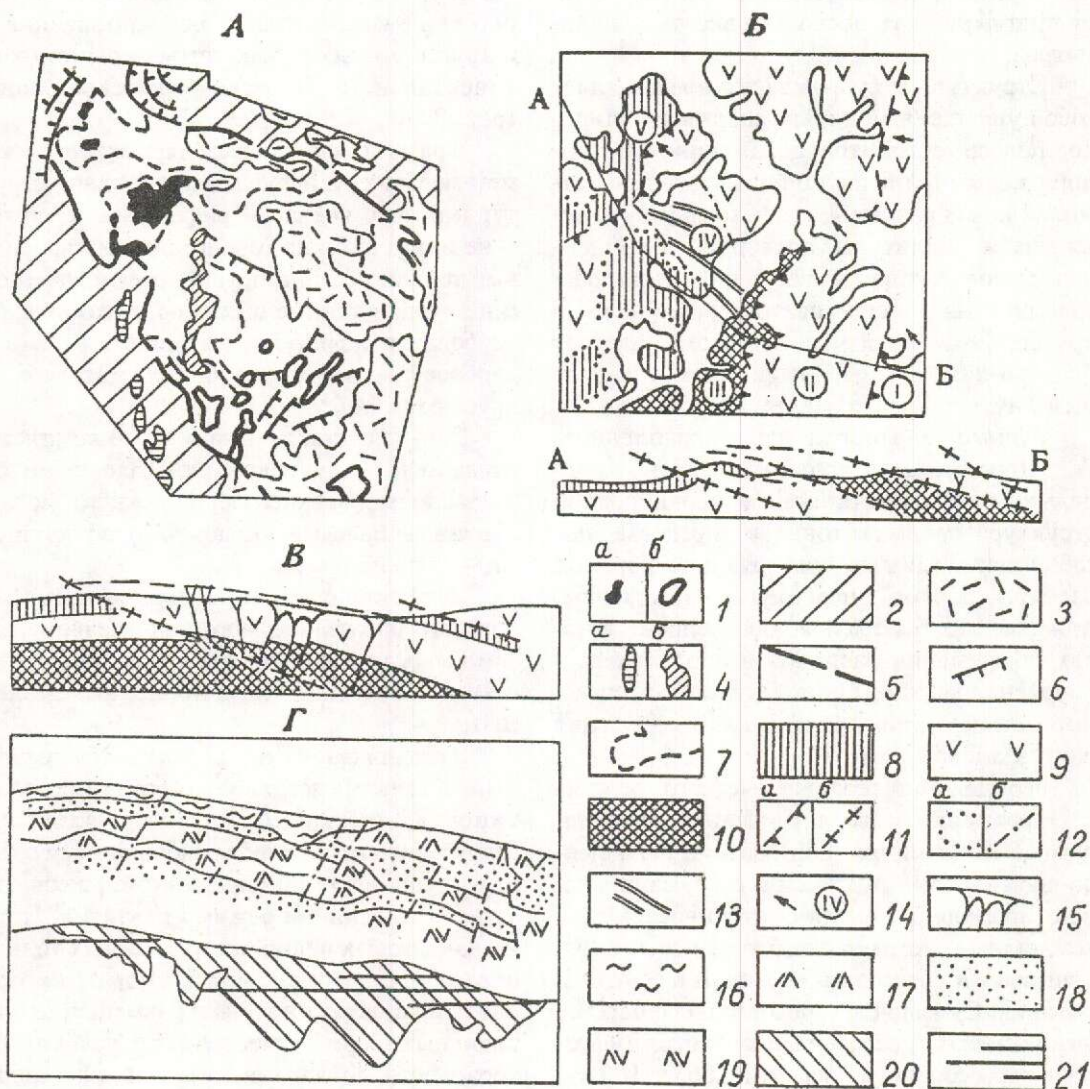


Рис. 3. Геодинамическая модель золоторудного эпитеpмального месторождения золото-серебряного типа (месторождение Кубака, Омолонская провинция):

А — схема Омолонского срединного массива: 1 — выступы архейских (а) и протерозойских (б) комплексов фундамента массива, 2 — мезозойский миогосинклиальный комплекс обрамления массива, 3 — поля вулканитов и осадочно-вулканогенные меловые комплексы, 4 — вулканогенно-плутоногенные меловые пояса: а — Конгинский, б — Коркодонский, 5 — контуры срединного массива, 6 — надвиги, чешуйчато-надвиговые зоны в краевых и внутренних частях массива, 7 — границы блоков; Б — строение золоторудного района, приуроченного к чешуйчато-надвиговой зоне: 8 — глинистые сланцы, алевролиты раннего карбона, 9 — девонские туфы, итнмбриды, туфолавы кислого и среднего состава, 10 — архейские метаморфические и магматические породы в тектонических блок-пластинах, 11 — надвиги, взбросы, ограничивающие серию блок-пластин: а — на плане, б — в разрезе, 12 — межформационный срыв (а), второстепенные разломы (б), 13 — рудовмещающие разрывы в продуктивной блок-пластине, 14 — номера блок-пластин и направления их перемещения; В — 15 — позиция промышленного золотого оруденения в продуктивной блок-пластине, вертикальный поперечный разрез; Г — рудовмещающий комплекс пород и распределение золота в продольной проекции зоны Центральная: 16 — дацитовые итнмбриды, 17 — риодациты, 18 — туфопесчаники и туфоалевролиты, 19 — андезиты-дациты, их туфобрекчии, туфы дацитов, 20 — контуры рудных тел, 21 — штольни



метричными складками, короблением толщ, разрывами нескольких систем.

Структурную основу рудного района, выбранного в качестве типового, составляет пакет блок-пластин, вытянутых в СВ направлении, полого погружающихся к ЮВ. Их ограничивают протяженные субпараллельные надвиги, в целом конформные юго-восточной границе (границы) Омолонского массива. Деформации охватывают не только чехол, но и фундамент срединного массива, развиваясь в полосе до 100 км шириной. Часть этой серии структур перекрыта («запечатана») вулканическими верхнемеловыми покровами (рис. 3, Б).

Латеральные перемещения обусловили образование тектонических пластин, чешуй, налегающих одна на другую, расслоенных блоков с многоярусными силами, послонных срывов в контактовых частях осадочных и вулканогенно-осадочных комплексов, а также в подошве чехла. В архейских породах, рудовмещающей толще вулканитов девона и в перекрывающих карбоновых отложениях образовались субгоризонтальные или пологонаклонные (10—15°) поверхности раздела, проявляющиеся как потенциальные экраны или рудовмещающие зоны.

Золоторудное месторождение золото-адуляр-кварцевого типа локализуется в блок-пластине, сложенной девонскими вулканитами, частично перекрытыми глинистыми сланцами, алевролитами, конгломератами раннего карбона. Рудовмещающим элементом вулканогенного разреза является силл риодацитового состава, внедрившийся по пологому срыву на контакте пачки игнимбритов и подстилающих туфопесчаников (рис. 3, В, Г).

В контурах силла развита серия крутопадающих кулисообразно расположенных рудных зон, затухающих по падению и восстановлению за пределами силла. Кварц-адулярные жилы и прожилки нередко имеют каркасную кокардовую, фестончатую текстуры, подчеркивая колломорфно-коллоидный характер рудоотложения.

Приведенными моделями не исчерпываются обстановки формирования месторождений золота в областях тектоно-магматической активизации, но, в то же время, они характеризуют весьма распространенные на северо-востоке Азии геодинамические системы, синхронные рудообразованию в интервале времени поздняя юра-ранний мел.

Геодинамический характер рудных полей и месторождений, основанный на кинематических схемах объектов и корреляции режимов развития региональных и локальных структур, позволяет решать, по мнению авторов, важные прогнозные и поисковые задачи. В истории развития металлоносных провинций могут быть выделены фазы деформации, определяющие заложение и развитие рудолокализирующих структур. Общностью геодинамического режима разнопорядковые локальные структуры рудных полей и месторождений закономерно связаны в пределах провинций. Реставрация режима, выделение фаз структурообразования, районирование территорий по этим признакам — сложное, но весьма перспективное направление металлогенического анализа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов В.А.* Структура и динамика тектоносферы Алданского щита. Ч. 2. — Владивосток: Дальнаука, 1993.
2. *Ветлужских В.Г.* Структурный контроль золотого оруденения Алдано-Становой провинции // Тр. ЦНИГРИ. 1989. Вып. 228. С. 100—109.
3. *Кочетков А.Я.* Молибденово-медно-золото-порфировое месторождение Рябиновое // Отечественная геология. 1993. № 7. С. 50—58.
4. *Структуры активизации и контроль золотого оруденения в Омолонском срединном массиве / В.М. Яновский, В.А. Степанов, А.Б. Сорокин, В.М. Кузнецов / Тр. ЦНИГРИ. 1989. Вып. 228. С. 109—116.*
5. *Яновский В.М.* Условия тектонофизического моделирования многоэтапных структур рудных полей // Эксперимент и моделирование в структурообразующих процессах рудогенеза. — Новосибирск, 1976. С. 145—154.



Yanovsky V. M., Chmyrev A. V., Sorokin A. B.

#### GEODYNAMICAL MODELS OF GOLD ORE DEPOSITS IN TECTONO-MAGMATIC ACTIVIZATION ZONES

*Geodynamical systems typical for tectono-magmatic activization zones are established from the results of geodynamical analysis of gold ore fields and deposits. The Ryabinovoye (gold-porphyry), Kyuchyus (gold-sulfide) and Kubaka (gold-silver) deposits are presented as model cases in point.*

УДК [553.43:536:536.2]:519.2.001.57

© В. С. Звездов, В. С. Тихонов, 1995

### ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В МЕДНОПОРФИРОВЫХ РУДООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМАХ ПО ДАННЫМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. С. ЗВЕЗДОВ, В. С. ТИХОНОВ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Приведены результаты математического моделирования тепловых полей, скоростей течения растворов и распределения меди вокруг остывающего магматического тела. Установлена зависимость уровней концентраций металла от глубины залегания теплового источника. Полученные данные являются элементами создаваемой количественной модели рудонакопления в конвективно-рециклинговых системах.*

Разработка количественных моделей рудонакопления в гидротермальных рудообразующих системах с оценкой баланса масс и содержаний металлов весьма актуальна для развития теории рудогенеза. Меднопорфировые месторождения, принадлежащие к крупномасштабным конвективно-рециклинговым системам, в силу высокого уровня изученности наиболее интересны для количественного анализа процессов теплообмена и массопереноса.

В работе А. И. Кривцова с соавторами [4] описана обобщенная модель меднопорфировой конвективно-рециклинговой рудообразующей системы (МП КРРС). Она базируется на результатах изучения геометрии системы, оценки гидродинамических режимов ее функционирования, расчета баланса содержаний металлов в их источниках, растворах и рудных телах, а также на данных градиентно-векторного анализа ряда меднопорфировых месторождений.

В результате модельных построений были выделены и количественно охарактери-

зованы зоны загрузки и разгрузки растворов, определены сечения различных частей системы и проанализировано их влияние на состояние растворов. Установлено, что зона рудной разгрузки МП КРРС по форме отвечает сопряжению проводящих тел переменных сечений типа «сопло (конфузор) — диффузор». Это создает условия для перепадов скоростей, давлений и температур растворов и, как следствие, для интенсивного отложения вещества. Высокие концентрации металлов в рудных телах достигаются, по-видимому, за счет телескопированного отложения-перетотложения рудного вещества в серии последовательных обменов вод с ремобилизацией ранних продуктов минералообразования. Возможным стартовым механизмом гидротермальной конвекции являются эксплозии, происходящие при парообразовании на выходе перегретых магматогенных и/или метеорных вод из суженной части системы. Режим их проявления подобен «снарядно-пульсирующему» режиму восходящей фильтрации современных ге-



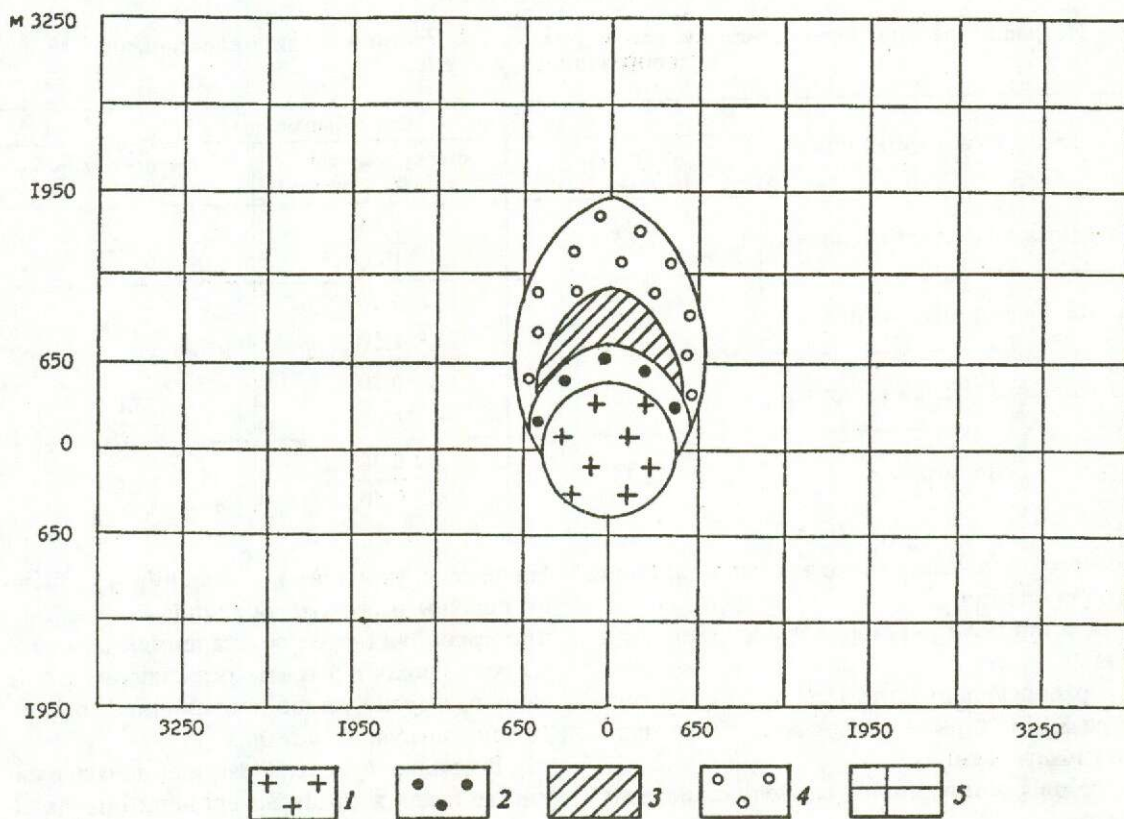


Рис. 1. Геометрия системы, принятая для расчета параметров теплопереноса в МП КРПС:

1 — магматическое тело — источник тепла; зона рудной разгрузки МП КРПС; 2 — подзона подрудной разгрузки, 3 — подзона рудной разгрузки (рудное тело), 4 — подзона надрудной разгрузки; 5 — зона рудной загрузки

отермальных систем вулканических поясов, описанных А.В.Кирюхиным и др. [2].

Для совершенствования разработанной модели МП КРПС нами проведено математическое моделирование теплофизических процессов и процессов массопереноса. Целями моделирования являлись установление расчетным путем основных характеристик рудонакопления в меднопорфировой системе и их сопоставление с элементами вышеописанной обобщенной модели. В задачи работ, таким образом, входили построение и расшифровка структуры тепловых полей и траекторий гидротермальных потоков, возникающих вокруг порфирового интрузива по мере его остывания и сопряженного с ним разогрева вмещающих пород, а также оценка скоростей течения растворов и концентраций отлагающегося либо выщелачивающегося рудного вещества.

При создании математической модели авторы исходили из геометрической модели

системы [4], отраженной в исходной матрице ее вертикального сечения (рис. 1), и из подобранных значений ряда петрофизических (таблица) и теплофизических параметров среды. За энергетический центр КРПС принято сферическое магматическое тело диаметром в 1 км, с температурой 450°C на поверхности, соответствующей температуре начальных стадий рудоотложения. Расчеты проводились для нескольких вариантов: с глубиной залегания тела 2 и 3 км и временем его остывания 75000 и 150000 лет.

В основу построений положена единая для конвективно-рециклинговых моделей концепция о том, что в продуцируемом интрузивом неравномерном тепловом поле возникает и развивается тепло- и массоперенос с выщелачиванием элементов из вмещающих пород и их последующим переотложением в виде рудного тела. Задача, таким образом, сводится к расчету:

температурных полей вокруг магмати-



Петрофизические характеристики зон и подзон расчетной модели меднопорфировой рудообразующей системы

Зоны и подзоны МП КРРС	Петрофизические параметры		
	плотность, г/см	эффективная пористость, % (min/max)	проницаемость, мД
Подзона подрудной разгрузки	2,65	$\frac{0,65}{1,40}$	3,0
Подзона рудной разгрузки	2,60	$\frac{0,75}{2,50}$	10,0
Подзона надрудной разгрузки	2,70	$\frac{0,39}{1,00}$	5,0
Зона загрузки	2,75	$\frac{0,28}{0,50}$	1,0

ческого тела в заданные моменты времени его остывания;

линий тока растворов и скоростей течения;

распределения металла (меди) в структуре КРРС с выделением зон его растворения и отложения.

При расчете приняты следующие допущения:

тепло- и массоперенос происходит в полубесконечной ячее за пределами изотермы 450°C;

температура теплового источника считается постоянной во времени;

течение фильтрующегося раствора имеет ламинарный характер;

зависимости плотности и концентрации раствора от температуры линейны.

Математическая модель тепло-массопереноса включает:

упрощенное уравнение теплообмена (без учета теплопроводности и тепловой конвекции);

уравнение Дарси, описывающее фильтрацию жидкости через пористую среду;

уравнение неразрывности потока;

уравнение баланса фильтрующейся компоненты раствора.

Для точечного источника тепла в полубесконечном пространстве решение указанных уравнений для температуры, давления и скоростей фильтрации получено в аналитической форме, а изменения концентраций металла определены решением нелинейного алгебраического уравнения [1].

На основе уточненного решения [5] были вычислены и построены тепловые поля, линии токов растворов со значениями их скоростей, изоконцентраты осаждающегося (в зоне разгрузки) либо выщелачивающегося (в зоне загрузки) металла.

В принятой модели изменение содержания металла в рудах во времени определяется линейной зависимостью. На рис. 2 и 3 представлены результаты расчетов для варианта с временем остывания теплового источника 75000 лет в вертикальном сечении системы. Их анализ в сопоставлении с ранее опубликованными [4] параметрами обобщенной модели МП КРРС показал следующее.

При глубине залегания интрузива в 2 км морфология вычисленных изоконцентрат меди в первом приближении описывает форму зон и подзон принятой геометрической модели КРРС (см. рис.2). Положительные значения содержания металла на диаграмме фиксируют зону разгрузки растворов (рудотложения), отрицательные — зону их загрузки (рудосбора). Линия нулевых значений является границей между ними. Расчетные уровни концентраций меди близки к среднестатистическим модельным значениям, рассчитанным по нескольким десяткам меднопорфировых месторождений. Скорости течения растворов в зоне загрузки на 2—3 порядка более низкие, чем оцененные через баланс содержания меди в системе (соответственно 1000 м/год [4] и 1,4—0,3—0,6 м/год). Соотношения между значения-



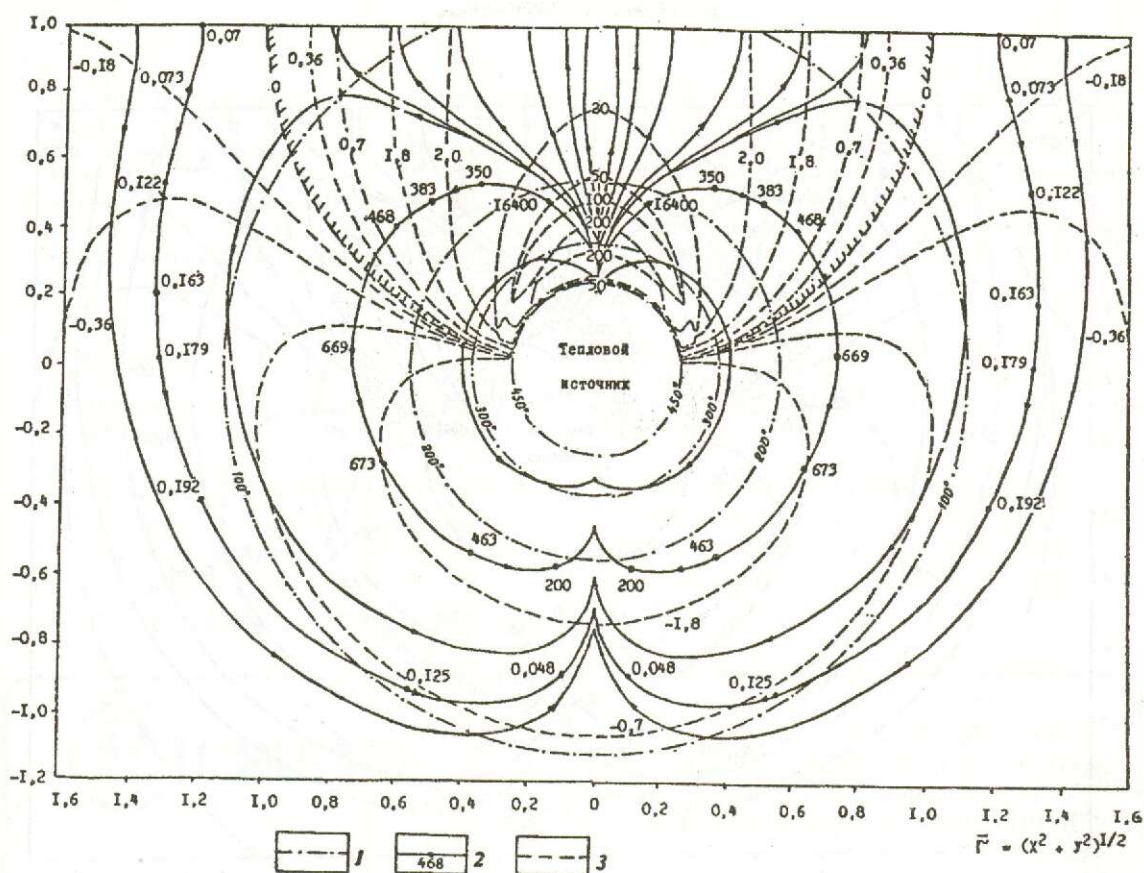


Рис. 2. Тепловые поля, гидротермальные потоки и распределение концентраций металла вокруг магматического тела, залегающего на глубине 2 км после 75000 лет его остывания:

1 — изотермы; 2 — линии токов растворов и значения скорости их фильтрации; 3 — изоконцентраты меди ( $n \cdot 10^{-2}\%$ ) во вмещающих породах

ми скоростей в зоне разгрузки и зоне загрузки сопоставимы. В ствальной же части первой из них скорости потока достигают максимальных значений, что согласуется с расчетами баланса вещества и оценками гидродинамических режимов.

Для варианта с глубиной залегания теплового источника в 3 км получена иная картина (см. рис. 3). Подзоны рудной разгрузки расчетными изоконцентратами металла четко не выделяются. Рассчитанные содержания меди в ее пределах на 2—3 порядка ниже, чем для 2 км, и, соответственно, ниже среднестатистических значений. Иными словами, промышленных содержаний металла расчетным путем не получено. Скорости течения растворов также в 2—3 раза ниже, что может интерпретироваться как «задавленность» гидротермальной системы литостатическим давлением.

Установленные различия скоростей те-

чения вод в обобщенной и математической моделях МП КРПС обусловлены тем, что в вычислениях учтена лишь фильтрационная составляющая гидротермальных потоков и использовано упрощенное уравнение теплообмена. Расчет скоростей циркуляции растворов по системам трещин и микротрещин требует решения значительно более сложных уравнений Навье-Стокса и является предметом будущих разработок. При этом должны быть учтены тепловая конвекция и теплопроводность, а также зависимости теплофизических и гидродинамических параметров от температуры и давления, что отчасти сделано в моделях Д.Нортон [7], Л.Кэтлса [6] и других исследователей.

Выявленная для зоны рудной разгрузки зависимость уровней концентраций металла от глубины залегания теплового источника не противоречит расчетам [3] балансов содержания металла для гидротермальных со-





магматических кимберлитов сопоставимы с величинами этого параметра во вмещающих палеозойских карбонатных породах.

Авторы выражают благодарность А.Д.Петровскому, В.И.Пятницкому, А.Д.Харькиву, И.П.Илупину, Д.И.Саврасову за помощь и внимание к работе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко А.Т., Пыстин А.Б. Петрофизические свойства карбонатных и магматических пород и их использование при поисках кимберлитовых трубок //Руды и металлы. 1995. № 1. С. 69—76.
2. Бондаренко А.Т., Ковалев Ю.Д., Стогова В.А. Устройство и методика экспрессных измерений электрических параметров горных пород на естественно-мерзлом керне //Тр.ЦНИГРИ. — М., 1988. Вып. 222. С. 53—58.
3. Бондаренко А.Т., Борис Е.И., Стогова В.А. Латеральное изменение электрических свойств кимберлитовмещающих осадочных пород Западной Якутии //Геология и геофизика. 1995. № 3. Т. 36. С. 19.
4. Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г., Серенко В.П. Петрохимия субщелочных карбонатит-содержащих комплексов Сибири (кимберлиты, кимберлитоподобные породы и месторождения апатита). — Новосибирск: Наука СО РАН, 1994.
5. Илупин И.П., Каминский Ф.В., Францесон Е.В. Геохимия кимберлитов. — М.: Недра, 1978.
6. Петровский А.Д. Радиоволновые методы в подземной геофизике. — М.: Недра, 1971.
7. Полторацкая О.Л. Магнитотеллурические зондирования при изучении алмазоносных районов и прогнозе кимберлитовых полей Западной Якутии: Автореф. дис. канд. геол.-минер. наук. — Воронеж, 1995.

Zinchuk N. N., Bondarenko A. T., Pystin A. B.

#### CORRELATIONS BETWEEN PETROCHEMICAL COMPOSITION AND ELECTRIC PROPERTIES OF WEST YAKUTIAN KIMBERLITES

*Stable correlations are found to exist between the values of electric parameters characteristic of West Yakutian kimberlites and petrochemical composition of these latter. High-titanium kimberlite series featuring low Ca contents and concentrations of potassium alkalis are shown to exhibit high electric resistivity and low dielectric constant values.*



# КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ



УДК 622.772:622.343.344

© Н. Г. Клименко, А. И. Романчук, В. П. Ивановская, 1995

## ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СУЛЬФИДОВ

Н. Г. КЛИМЕНКО, А. И. РОМАНЧУК, В. П. ИВАНОВСКАЯ (ЦНИГРИ  
Роскомнедра)

*Глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС) разведываемых участков Атлантического и Тихого океанов характеризуются как труднообогатимое сырье, для комплексной переработки которого требуется применение сочетания нетрадиционных режимов обогащения и химического вскрытия. Разработана комбинированная флотационно-пиро-гидрометаллургическая технология, обеспечивающая извлечение в товарную продукцию 97—98 % меди и цинка, 85 % золота, 87 % серебра, 64 % серы, 71 % железа, 89 % кадмия.*

В комплекс минеральных богатств глубоководной части Мирового океана, наряду с железомарганцевыми образованиями (ЖМО), в настоящее время уверенно вошли полиметаллические руды. О ЖМО (железомарганцевых конкрециях и кобальтомарганцевых корках) стало известно более 100 лет назад, глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС) известны немногим более десяти лет; по первым разведаны конкретные месторождения, по вторым выявляются районы развития оруденений на дне океанов. ЖМО — крупнейший потенциальный источник марганца, никеля, кобальта, меди; ГПС имеют высокие содержания меди, цинка, благородных металлов, серы.

Перспективность освоения месторождений ГПС определяется не только высокими концентрациями в них цветных и благородных металлов, но также и меньшей по сравнению с ЖМО глубиной и большей компактностью залегания, определенными аналогиями с полиметаллическими рудами суши и потенциальной возможностью использования в связи с этим существующих производственных мощностей.

Научно-исследовательские и опытно-методические работы на ГПС проводятся в нашей стране с 1985 г. Полярной морской геолого-разведочной экспедицией в наибо-

лее перспективных регионах Мирового океана: Восточно-Тихоокеанском поднятии (ВТП) и областях Срединно-Атлантического хребта (САХ). Работы сопровождаются опробованием с целью изучения вещественного состава и технологических свойств руд. В ЦНИГРИ изучено более 20 технологических проб ГПС, представленных медными, цинковыми и медно-цинковыми рудами, (табл. 1, 2).

Общими особенностями ГПС являются: неоднородность химического состава сульфидных минералов с широким развитием изоморфных замещений и комплексом элементов-примесей, чрезвычайно тесная взаимная ассоциация сульфидов и их тончайшие выделения в породе; среди характерных особенностей таких ассоциаций, оказывающих определяющее влияние на показатели селективности процесса обогащения, можно выделить следующие:

микронные включения халькопирита и ковеллина в сфалерите вплоть до твердого раствора, затрудняющие разделение меди и цинка;

тесная ассоциация сфалерита и халькопирита с пиритом, что обуславливает необходимость использования комбинированных схем для более полного извлечения металлов;



1. Содержание компонентов в технологических пробах различных типов руд ГПС, %

Компоненты	Тихий океан (ВТП)		Атлантический океан (САХ)			Медно-цинковые колчеданы	
	Медные массивные	Медно-цинковые		Медные, вкрапленные в сульфиды	Цинковые		
		колчеданные	вкрапленные		колчеданные		вкрапленные
Cu	18,0	2,4—21,5	1,2—2,0	3,31	0,2—0,25	0,08—0,14	5,0—16,0
Zn	0,06	3,5—22,5	1,7—3,5	0,05	3,3—20,0	2,4—3,7	1,1—4,3
S	27,0	30—35	21—23	26,70	39,9—52	16,4—31,3	34,3—39,5
Fe	14,9	20—33,5	12—21,4	8,65	31—40	80—26	30—35
Au, г/т	0,34	0,10—0,6	0,18—1,0	0,15	5,0—5,6	0,1—5,7	2,7—3,5
Ag, г/т	22,0	23—140	6,4—40	0,90	102—130	98—182	19,5—66,6
SiO <sub>2</sub>	28,2	1,7—13,2	41,6—45,1	0,2	0,3—8	29—42	3,2—16,0
Cd, г/т	н/обн.	90—240	40—60	—	1400	—	50—100
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,44	0,5—4,5	3,4—4,3	0,30	0,3—0,4	2,5—11,8	0,7—1,8
CaO	0,25	0,07—0,3	0,07—0,53	31,89	0,1—0,27	0,56—4,7	0,5—0,9
MgO	0,45	0,15—0,43	0,19—0,7	0,15	0,15—0,11	1,1—0,9	0,3—0,9
K <sub>2</sub> O	н/обн.	н/обн.—0,06	н/обн.—0,2	0,06	0,06—0,16	—	—
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,16—0,31	0,42—0,75	0,17	0,22—0,20	—	—
CO <sub>2</sub>	—	0,1—4,8	0,2	0,10	0,10	1,9	0,09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	0,022	0,034	0,30	0,08	0,5—0,56
As	0,08	0,05	—	—	—	—	—



## 2. Фазовый состав меди и цинка в технологических пробах различных типов руд ГПС, %

Компонент	Минералы и соединения	Тихий океан (ВТП)				Атлантический океан (САХ)			
		Медные массивные	Медно-цинковые		Медные, вкрапленные в ангидрите	Цинковые		Медно-цинковые колчеданы	
			колчеданные	вкрапленные		колчеданные	вкрапленные		
Cu	Сульфаты	0,31	0,09—0,13	0,05—7,4	0,37	—	—	0,48—4,1	
	Окислы и карбонаты	1,53	0,21—1,9	1,0—7,5	3,74	—	—	7,32—26,3	
	Вторичные сульфиды	5,81	0,85—5,4	13,3—23,1	5,28	—	—	13,8—49,4	
	Халькопирит	92,35	98,8—92,57	85,6—62,1	90,61	—	—	78,4—20,2	
Zn	Сульфаты	—	3,84—6,6	13,9	—	2,7	9,1	9,35—21,6	
	Окислы и карбонаты	—	1,90—2,6	1,75—7,8	—	1,9—8,8	4,5—12,2	5,5—9,15	
	Каламин	—	1,5—4,8	0,9—8,3	—	3,2—3,7	7,38—7,0	5,2—6,2	
	Сфалерит	—	92,01—86,7	97,3—70,0	—	92,13—87,5	80,7—79,09	85,1—64,05	



## 3. Показатели обогащения медных руд ГПС

Тип руд	Продукты обогащения	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
			Cu	Fe	Cu	Fe
Вкрапленные	Коллективный концентрат	29,0	10,0	36,0	96,67	94,05
	Хвосты	71,0	0,14	0,94	3,33	5,95
	Руда	100,0	3,00	11,11	100,0	100,0
Массивные	Медный концентрат	43,5	28,0	38,6	93,51	40,09
	Пиритные хвосты	56,5	1,5	44,3	6,49	59,91
	Руда	100,0	13,05	41,78	100,0	100,0

присутствие силикатной формы цинка и микронных выделений вторичных минералов меди в нерудных, приводящих к повышенным потерям цветных металлов в хвостах флотации при обогащении вкрапленных руд.

Характерным отличием руд Тихого океана от руд Атлантического является повышенное содержание меди и меньшая окисленность первых; в пробах руд Атлантики отмечается повышенное содержание благородных металлов, кадмия и цинка, вплоть до выявления чисто цинковых руд. Сульфиды САХ подвергались большему окислению и часто поверхность минералов покрыта пленками гидроксидных, гидросульфатных соединений железа, меди и цинка, что снижает их флотационную активность. Имеется отличие и во вмещающих породах: если тихоокеанские руды характеризуются наличием опаловидного кварца, то в атлантических пробах присутствует значительное количество ангидрита. Так, в медных рудах САХ содержание сульфатной серы достигает 47 %.

На основании результатов изучения технологических свойств можно сделать вывод о высокой флотационной активности халькопирита и сфалерита руд ВТП, пониженной флотуемости минералов ГПС Атлантики, для активации некоторых из них необходимо применение специальных методов снятия пленок перед флотацией. Для всех типов руд комплексная переработка может быть осуществлена при условии применения комбинированных флотационно-обжигово-гидрометаллургических схем [1].

Медные руды. Изученные пробы руд представлены двумя типами: богатыми мед-

ными рудами (ВТП) и рудами слабой пористой структуры с неравномерной вкрапленностью сульфидов в ангидрите с содержанием последних 25—30 % (САХ). Степень окисления медных минералов невелика.

Сравнение кинетики флотуемости образцов халькопирита, отобранного из ГПС и руды Сафьяновского месторождения, показало более активную флотацию первого.

Схема обогащения колчеданных руд предусматривала получение в известковой среде (рН—11) богатого медного концентрата и пиритных хвостов. Для вкрапленных руд — коллективного медно-пиритного концентрата и отвальных хвостов (табл. 3).

Из колчеданных руд извлечение меди в медный концентрат на уровне 90—98 % может быть достигнуто переработкой пиритного концентрата по схеме с сульфатизирующим обжигом. Богатые медные руды с содержанием меди выше 15 % могут быть направлены непосредственно на металлургическую переработку стандартными методами.

Коллективный медно-пиритный концентрат с содержанием меди 8—10 % пригоден для переработки автогенными методами, например, ПЖВ. Из продуктов аналогичного состава медь извлекается на 88,6 % в штейн с содержанием 78 % [2].

Цинковые руды. Пробы цинковых руд ГПС были представлены несколькими разновидностями. Исследованное сырье зоны САХ по содержанию сульфидов и степени окисленности различается следующим образом: массивные колчеданные руды с содержанием сульфидов 87—92 %; частично окисленные руды цинково-колчеданной разновидности с содержанием сульфидов



## 4. Показатели обогащения цинковых руд

Тип руд	Продукты обогащения	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
			Zn	Fe	Zn	Fe
Вкрапленные без обработки	Коллективный концентрат	30,66	8,02	34,06	95,68	62,44
	Отвальные хвосты	69,34	0,16	9,06	4,32	37,56
	Руда	100	2,57	16,73	100	100
Массивные без обработки ГВС	Цинковый продукт	44,31	36,20	20,00	91,14	27,60
	Пиритный продукт	55,69	2,80	41,74	8,86	72,40
	Руда	100	17,60	32,10	100	100
Массивные с обработкой ГВС	Цинковый концентрат	35,79	50,00	11,50	96,99	12,92
	Пиритный концентрат	64,21	0,84	43,20	3,01	87,08
	Руда	100	17,90	31,85	100	100

60% при содержании окисленных форм цинка около 15%; прожилково-вкрапленные оксидно-сульфидные руды сфалерит-пиритного состава с содержанием сульфидов 40—45%, количество окисленных минералов цинка 20—21%.

Содержание основных ценных компонентов в преимущественно вкрапленных и массивно-колчеданных рудах составляет соответственно: цинка — 2,4—3,5% и 18—19%; серы — 16,4 и 40%; золота около 5—6 г/т, серебра 98 и 182 г/т; содержание меди невелико.

Вкрапленные руды относятся к сульфидно-оксидному типу, цинк представлен на 80% сфалеритом, в меньшей степени гидроксидно-сульфатными образованиями. Характерна тонкая вкрапленность сульфидов, развиты сростания полиморфных модификаций дисульфидов железа.

Для переработки вкрапленных руд рекомендуется флотационная технология получения коллективного цинково-пиритного концентрата и отвальных хвостов с извлечением цинка более 95%. Пенный продукт пригоден для переработки пиро-гидрометаллургическими методами с комплексным использованием ценных составляющих.

Изученные руды цинково-колчеданной разновидности представлены преимущественно сфалеритом, поверхность которого в значительной степени покрыта пленками каламина и гидроксидов железа. Удовлетворительные показатели флотации были получены только с применением разработанного в ЦНИГРИ режима — предварительной

обработки пульпы газо-воздушной смесью (табл. 4).

Приведенные в табл. 4 данные подтверждают необходимость применения операции снятия пленок с поверхности минералов: качество цинкового концентрата повышается с 36 до 50% при одновременном повышении извлечения цинка в одноименный концентрат на 6%, а железа в пиритный на 15%.

Медно-цинковые руды. Технологические свойства и технология переработки медно-цинковых руд изучена на четырех пробах ВТП и трех пробах САХ. Содержание основных компонентов в колчеданных рудах колебалось в пределах, %: меди — 2,5—20; цинка от 1 до 22; серы — 30—40; золота от долей (ВТП) до 2,5—3,5 г/т (САХ); серебра от 20 до 140 г/т. Вкрапленные руды более бедные как по цветным, так и по благородным металлам. Повышенная степень окисления характерна для руд Атлантического океана: содержание халькопирита колеблется в пределах 78—20% в сравнении с 98—62% в рудах ВТП; та же тенденция прослеживается и по сфалериту. Изучение кинетики флотиремости минералов показало опережающее извлечение цинка в пенный продукт по сравнению с медными минералами, что приводит к большим сложностям в получении селективных концентратов. Сульфидные минералы медно-цинковых руд зоны САХ, также как и в цинковых рудах, в значительной степени покрыты гидроксидными пленками. Показатели обогащения (табл. 5) подтверждают

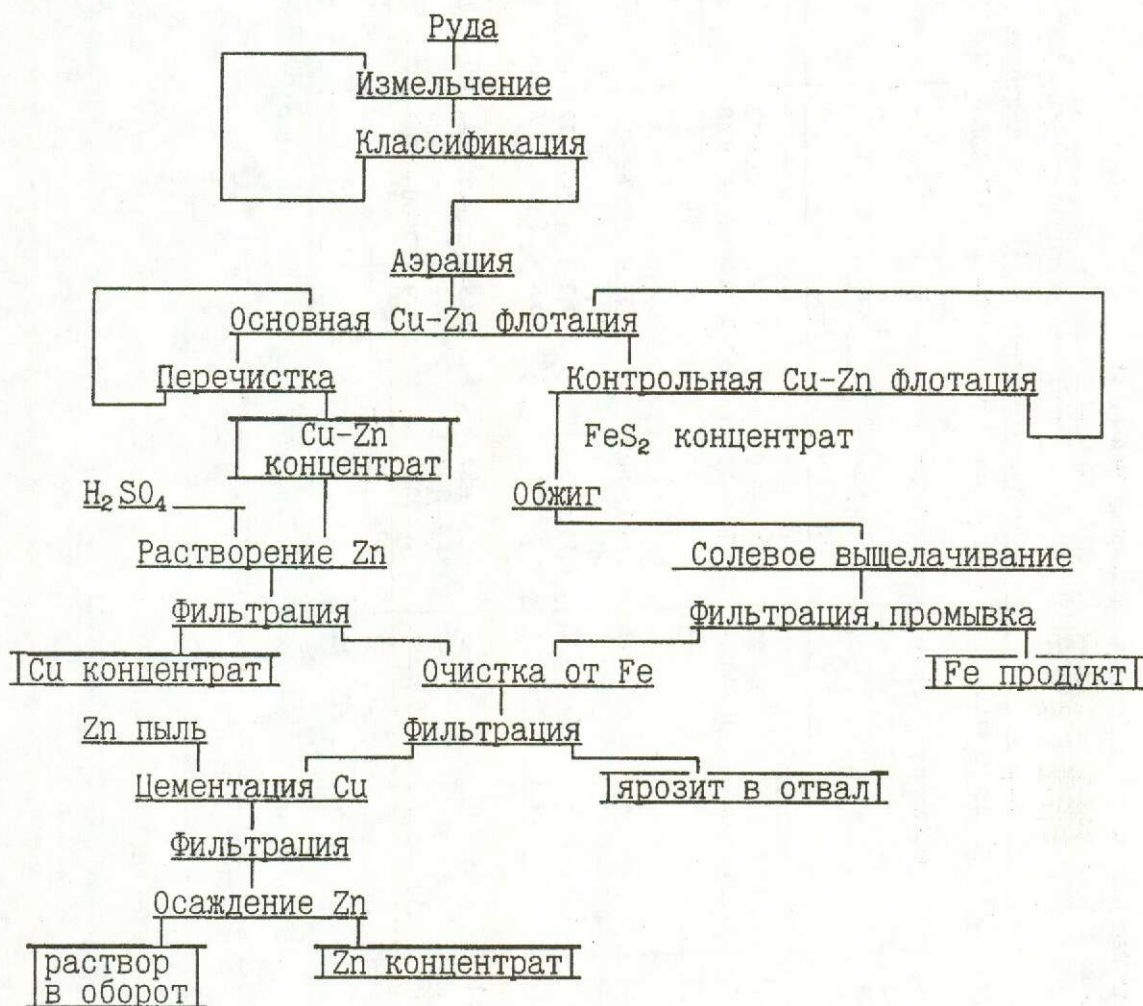


5. Показатели обогащения медно-цинковых руд

Тип руды	Продукты	Содержание, %			Извлечение, %		
		Cu	Zn	Fe	Cu	Zn	Fe
Колчеданный (ВТП) без обработки	Медно-цинковый концентрат	7,39	18,00	37,90	95,69	95,52	44,63
	Пиритный концентрат	0,30	0,76	42,36	4,31	4,48	55,37
	Руда	3,68	8,93	40,24	100	100	100
без обработки	Медно-цинковый концентрат	7,30	6,23	36,62	85,62	80,67	63,86
	Пиритный продукт	1,55	0,81	26,20	14,38	9,33	36,14
	Руда	9,24	7,04	29,86	94,16	93,03	32,40
Колчеданный (САХ): с реагентной обработкой	Медно-цинковый концентрат	0,15	0,61	38,20	5,74	6,03	63,18
	Пиритный концентрат	0,47	0,25	19,35	0,10	0,90	4,42
	Отвальные хвосты	4,85	3,73	33,70	100	100	100
Вкрапленный (ВТП) без реагентной обработки	Коллективный концентрат	4,65	7,50	—	82,06	96,00	—
	Отвальные хвосты	0,65	0,52	—	17,94	4,00	—
	Руда	2,21	3,05	—	100	100	—



КОМБИНИРОВАННАЯ СХЕМА ПЕРЕРАБОТКИ ГПС  
/МЕДНО-ЦИНКОВАЯ РУДА/



Комбинированная схема переработки ГПС (медно-цинковая руда).

положительное влияние предварительной очистки поверхности минералов.

Разработанная схема обогащения вкрапленных руд предусматривает получение коллективных медно-цинково-пиритных концентратов и отвальных хвостов, схема переработки колчеданных руд включает операции медно-цинковой и пиритной флотации (рисунок). Медно-цинковый концентрат может быть переработан, как было указано выше, металлургическими методами ПЖВ или КИВЦЭТ-процессом.

**Пиритные продукты.** В основу рекомендуемой технологии переработки пиритсо-

держащих хвостов флотации различных руд ГПС заложена комбинированная технология, разработанная для извлечения ценных составляющих из пиритного сырья полиметаллических руд многих месторождений России и Зарубежья [3]. Применительно к ГПС технология была усовершенствована с уточнением видов и последовательности технологических операций.

Рекомендуемая схема переработки включает обжиг пиритного продукта с утилизацией в возгон серы, селена и теллура, солевое выщелачивание огарка с окислителем, что позволяет перевести в раствор



6. Показатели переработки руд ГПС по комбинированной схеме

Получаемые продукты	Медные		Медно-цинковые		Руды, затронутые окислением			
	извлечение		извлечение		медно-цинковые		цинковые	
	содержание	извлечение	содержание	извлечение	содержание	извлечение	содержание	извлечение
Медный концентрат:								
Cu, %	30—32	90—92	20—22	92—93	15—16	85—88	—	—
Zn, %	1,9—2	80—81	8,5—9	68—69	14—16	93—94	—	—
Au, г/т	2,6—3	61—62	4,5—5	29—30	7,2—8	28—30	—	—
Ag, г/т	42—45	70—72	125,6—130	50—55	181,1—200	17—20	—	—
Цинковый концентрат:								
Zn, %	42—45	15—16	42,5—45	26—28	56,4—60	4—5	50—52	97—98
Cu, %	0,06—0,09	0,02—0,03	0,06—0,08	0,02—0,03	3,0—3,2	0,2—0,3	0,55—0,60	75—76
Cd, г/т	—	—	90—95	30—50	—	—	1800—2000	94—95
Железный концентрат:								
Fe, %	60,5—62	53,3—55	56—58	76—77	58—60	71,6—73	68—70	80—83
Cu, %	0,21—0,15	2—3	0,04—0,05	0,5—1	0,09—0,10	0,7—0,8	0,03—0,04	3—4
Zn, %	0,11—0,12	4—5	0,13—0,15	3—4	0,11—0,12	1,0—1,2	0,21—0,22	0,3—0,4
S, %	0,32—0,3	0,5	0,04—0,10	0,2	0,3—0,4	0,6	0,5	0,5
Цементная медь:								
Cu, %	85—95	5,8—7,0	85—90	4,5—5	85—87	9,9	80—85	25—26
Au, г/т	15—16	32—33	33—35	56—60	184,2—190	28—30	7—8	5—6
Ag, г/т	160—170	25—28	3500—4000	45—46	1710—2000	17—19	2000—2500	7—8
Возгоны:								
S, %	—	45—50	—	70—72	—	64—66	—	65—70



цветные металлы, золото, серебро. Очистка раствора от железа проводится осаждением его в виде ярозита (рН 2,5—2,7; температура 80°C). После отделения осадка медь совместно с благородными металлами извлекается цементацией цинковой пылью, цинк из фильтрата может быть осажден в виде карбоната.

На рисунке приведена схема переработки медно-цинковой руды ГПС. Показатели переработки различных типов ГПС по комбинированной технологии характеризуются данными табл. 6.

Результаты свидетельствуют, что разработанные схемы обеспечивают высокое (85—92 %) извлечение меди в медный и медно-цинковый концентраты; 4,5—10 % меди доизвлекается из растворов выщелачивания пиритных огарков; извлечение цинка в медно-цинковый и цинковый флотационные концентраты достигает 97 %. Благородные металлы на 60—70 % переходят в медный и медно-цинковый концентраты и на 35—25 % доизвлекаются в цементную медь. При переработке цинковых руд в одноименном концентрате сосредоточено 95 % благородных металлов и кадмия.

Таким образом, исследованы технологические особенности проб медных, цинковых и медно-цинковых руд глубокоководных полиметаллических сульфидов (ГПС) разведываемых полигонов Атлантического и Тихого океанов. Основными полезными компонентами в рудах являются медь, цинк, сера, железо; из попутных значимы благородные металлы, кадмий.

Основными технологическими особенностями, характерными для всех исследо-

ванных ГПС, являются близкое значение флотоактивности минералов меди и цинка при их тончайших взаимных включениях в пирите и нерудных минералах, наличие гидроксидных пленок сложного состава на поверхности сульфидных минералов в рудах с повышенной степенью окисленности. Эти особенности характеризуют сырье как труднообогащаемое, для селективного извлечения полезных компонентов из которого требуется применение сочетания нетрадиционных режимов обогащения с процессами химического вскрытия.

Для переработки различных типов ГПС рекомендуются комбинированные флотационно-пиро-гидрометаллургические технологии. Схемы включают флотационное обогащение руды, обжиг пиритного концентрата и солевое выщелачивание огарка с последующим выделением из раствора цветных и благородных металлов. Разработка обеспечивает комплексное использование сырья с извлечением в товарную продукцию, %: меди и цинка — 97—98; золота и серебра — 85—87; серы — 64; железа — 71; кадмия — 89.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авербух А.В., Елисеев Н.И. и др. Обогащение тонковкрапленных колчеданных руд // Сб. трудов Унипромеди, — Свердловск, 1990.
2. Багрова Т.А., Тарасов А.В., Мейерович Е.В. и др. Распределение сопутствующих элементов при плавке медно-цинковых концентратов // Цв. металлы. 1986. № 12. С. 23.
3. Клименко Н.Г., Кязимов Р.А. Анализ современного состояния переработки колчеданных руд. — М.: ВИЭМС, 1987.

Klimenko N. G., Romanchuk A. I., Ivanovskaya V. P.

#### EFFICIENT TECHNOLOGIES FOR VALUABLE COMPONENTS EXTRACTION FROM DEEP-SEA POLYMETALLIC SULFIDES

*Deep-sea polymetallic sulfides (DPS) of Atlantic and Pacific areas under exploration are qualified as a hardly dressable material; its comprehensive treatment requires a combination of non-traditional dressing procedures and chemical break-down. A combined flotation-pyro-hydro metallurgical technology has been elaborated to provide for extraction of 97—98 % Cu and Zn, 85 % Au, 87 % Ag, 64 % S, 71 % Fe and 89 % Cd into commodity products.*



УДК 543.422.8

© В. А. Симаков, Н. С. Вахонин, В. Е. Исаев, 1995

## РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНЫХ РУД

В. А. СИМАКОВ, Н. С. ВАХОНИН, В. Е. ИСАЕВ (ВИМС Роскомнедра)

*Разработана методика рентгенофлуоресцентного анализа комплексных руд с одновременным определением скандия, ванадия, иттрия, циркония и основных породообразующих элементов с использованием для учета фона и расчета матричных поправок метода фундаментальных параметров. Предложена высокопроизводительная технология подготовки проб к анализу, основанная на сплавлении пробы с тетраборатом лития, последующим центробежным формированием излучателя из расплава и охлаждением его встречным потоком окружающего воздуха. Установлены метрологические характеристики методики. При отсутствии значимых систематических погрешностей случайные погрешности удовлетворяют допустимым требованиям.*

Вовлечение в добычу попутных полезных компонентов позволяет полнее задействовать мощности горно-обогатительных комбинатов, освобождающиеся в связи с конверсией или исчерпанием запасов по основному компоненту. На ряде редкометальных месторождений, где ранее интерес ограничивался ураном, дополнительно могли бы извлекаться цирконий, иттрий, скандий, ванадий, производиться фосфатные минеральные удобрения. Поэтому важно проведение необходимых геолого-разведочных работ в короткие сроки. Большая роль в их ускорении принадлежит экспрессным аналитическим методам. Цель настоящей работы состояла в разработке методики одновременного определения скандия, ванадия, иттрия, циркония и основных породообразующих элементов рентгенофлуоресцентным методом в комплексных уран-ванадий-циркониевых рудах.

Возможные вариации определяемых элементов составляли:  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  —  $1 \cdot 10^{-3}$  — 0,1 %;  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{ZrO}_2$  —  $1 \cdot 10^{-3}$  — n %;  $\text{SiO}_2$  — n — 60 %;  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  — n — 40 %;  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  — 0 · n — n %.

Для устранения влияния минерального состава на результаты определения элементов с малыми атомными номерами пробы необходимо гомогенизировать, сплавив с флюсом. В то же время разбавление должно быть минимальным, чтобы по Sc и V обес-

печить достаточную чувствительность определения бортовых содержаний ( $1 \cdot 10^{-3}$ %).

Технологию подготовки проб отработывали на изучаемых объектах. В качестве флюса были опробованы метаборат лития, тетраборат лития, смесь карбоната лития и борной кислоты, соответствующую по содержанию лития и бора тетраборату лития. Качество разложения контролировали визуально, а в неясных случаях — растворением плава в азотной кислоте. Если проба разложилась полностью, плав растворялся в 7 %-ной азотной кислоте без осадка.

Для подготовки излучателей пробы сплавливали с тетраборатом лития в соотношении 1:3 в муфельной печи КО-14 при температуре  $1200^\circ\text{C}$  в течение 15 мин. Сплавление производили в графитовом тигле в форме тарелочки, внутренний диаметр 28 мм, глубина 3 мм. Навеска пробы и флюса (3,5 г) обеспечивала насыщенный слой для аналитических линий  $\text{K}_{\alpha 1}$  Zr и Y. При выбранной навеске расплав заполнял тигель полностью, не выливаясь. После завершения сплавления тарелочку с горячим плавом подвешивали на шарнирном соединении на коромысле центрифуги и вращали со скоростью несколько оборотов в секунду. Во время вращения тигель с плавом поднимался и за счет центробежных сил удерживался на подвеске так, что плоскость плава становилась параллельной оси вращения. Центробежные силы сплющивали каплю, и она приобретала форму диска. При враще-



нии окружающий воздух интенсивно обдувал тигель с плавом, и за 2—3 мин плав, затвердев, охлаждался до комнатной температуры.

Воспроизводимость разработанной технологии подготовки проб оценена путем приготовления из 30 проб разнообразного состава по 2 излучателя и расчета соответствующих относительных стандартных отклонений по результатам измерений интенсивностей  $K_{\alpha 1}$  — линий кремния, фосфора, кальция, железа и циркония.

Измерения проводили в рентгеновском спектрометре СРМ-25, РХВ-1, Rh, 40 кВ, 50 мА. В качестве аналитических для всех определяемых элементов использовали  $K_{\alpha 1}$ -линии. В измеренные интенсивности вводили поправки на мертвое время по выражению

$$I_i = \frac{I_{i \text{ изм}}}{(1 - \tau_i I_{i \text{ изм}})}, \quad (1)$$

где  $I_{i \text{ изм}}$  — измеренное в канале спектрометра значение интенсивности элемента  $i$ ,  $\tau$  — мертвое время, мкс,  $I_i$  — исправленное на мертвое время значение интенсивности. Реально при измерениях на спектрометре СРМ-25 мертвое время следует учитывать при скоростях счета более  $10^4$  импульсов в секунду.

Учет фона производили по выражению [6]

$$I_{\text{ф}i} = A_i I_{\text{р}i} + B_i + D_{ij}, \quad (2)$$

где последний член описывает наложение на аналитическую линию элемента  $i$  спектральной линии элемента  $j$ ;  $I_j$  — интенсивность аналитической линии элемента  $j$ ;  $I_{\text{р}i}$  — теоретически рассчитанное значение рассеянного пробой первичного излучения на длине волны аналитической линии элемента  $i$  [8];  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $D_{ij}$  — коэффициенты, причем  $A_i$  и  $B_i$  находили при отсутствии наложения с использованием проб известного состава;  $D_{ij}$  находили с использованием проб известного состава, не содержащих элемента  $i$ .

Матричные эффекты учитывали по методу фундаментальных параметров [9]. Спектральное распределение первичного рентгеновского излучения рассчитывали по выражениям, приведенным в работе [7].

Атомные константы для расчета флуоресценции использовали из работы [2], сечения ослабления и рассеяния рентгеновского излучения рассчитывали по данным работ [3, 4].

Оценку отдельных этапов анализа производили с использованием стандартных образцов состава горных пород и комплексных руд.

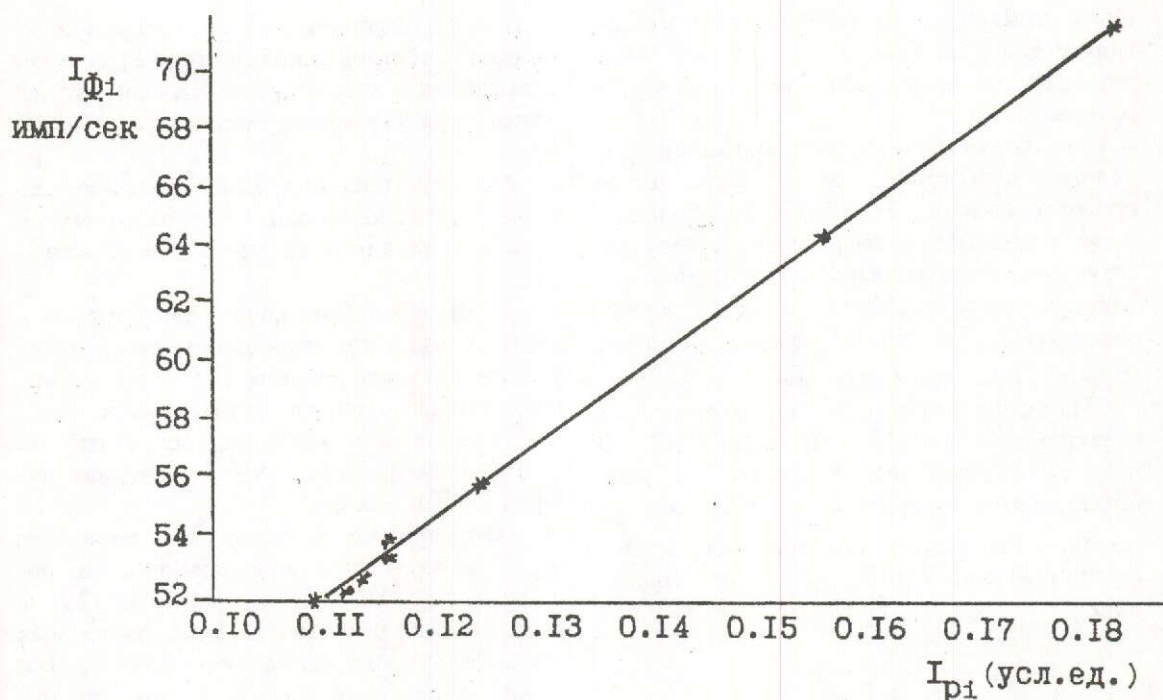
Метрологические характеристики методики оценили сопоставлением результатов рентгенофлуоресцентного анализа с данными, полученными другими методами.

Реактивы, использованные в работе, имели спецификацию ХЧ (тетраборат лития), ОСЧ и ЧДА.

Проведенные исследования показали, что тетраборат лития при соотношении пробы и флюса 1:3 при температуре  $1200^\circ\text{C}$  обеспечивает разложение проб изучаемых объектов (время сплавления 15 мин). При работе с большими массивами проб обнаружилось, правда, что некоторые пробы требовали повторной переплавки. Увеличив соотношение до 1:4, подобных случаев не наблюдали. Однако целесообразней все же не увеличивать разбавление, чтобы не ухудшать чувствительность определения скандия и ванадия. Более низкотемпературный пламень — метаборат лития в рассматриваемом случае неэффективен. Смесь борной кислоты и карбоната лития обладает лучшей гомогенизирующей способностью. Внесение смеси в печь, нагретую до высокой температуры, вызывает бурное газовыделение, которое, хотя и активно перемешивает реакционную смесь, улучшая гомогенность плава, но и приводит к сильному разбрызгиванию. Постепенное повышение температуры печи или предварительное прокаливание смеси при более низких температурах снижает вероятность потери пробы, но снижает и эффект, улучшающий гомогенизацию.

Полученные в результате центробежного формования излучателя исключительно прочны и имеют гладкую верхнюю поверхность. Правда, верхняя поверхность излучателя вогнута, поэтому при измерениях в спектрометре необходимо вращение образца. Увеличение радиуса вращения уменьшает прогиб излучателя. При радиусе около одного метра поверхность излучателя диаметром 28 мм уже практически плоская.





Фоновая зависимость для скандия.

Получить плоскую поверхность излучателя можно также, дополнительно вращая его вокруг своей оси одновременно с вращением в центрифуге. Такого вращения добились, снабдив закрывками полку для размещения тигля на подвеске, а саму подвеску после шарнирного соединения с коромыслом посадив на подшипник. При вращении центрифуги закрывки, сталкиваясь с воздухом, заставляют подвеску с полкой вращаться. Габариты центрифуги в этом случае много меньше.

Как показала оценка воспроизводимости пробоподготовки, оба варианта формования равноценны и обеспечивают погрешность, характеризующуюся относительным стандартным отклонением не более 0,3 %.

Одновременно в печи типа КО-14 легко разместить для плавления сразу несколько проб, скажем, плавить 10 проб, размещая затем их для охлаждения и формования на два коромысла, на каждое по 5 проб. Можно расположить коромысла крестообразно, тогда одновременно можно формовать 20 проб, при этом каждую группу из 5 проб ставить в печь и переносить для формования следует

на одной подставке. Авторы для этих целей использовали подставку из жесткого титанового профиля.

Учет фона по выражению (2), как показано в работе [6], дает удовлетворительные результаты в коротковолновой области, в нашем случае для Zr и  $YK_{\alpha}$ . Для Sc и  $VK_{\alpha}$  это требует дополнительного изучения. На графике фоновой зависимости (2) для Sc $K_{\alpha}$  (рисунок) видно, что она однозначна, имеет линейный характер и поэтому может быть использована и в этой области длин волн. Следует отметить, что погрешность определения фона с использованием зависимости (2) меньше статистической погрешности отдельного измерения, поскольку она построена по нескольким пробам. Верхние точки фоновой зависимости принадлежат пробам, приготовленным из реактивов. Фон и рассеяние на них выше (а значит, и статистика лучше), чем на пробах изучаемого объекта. Отличаясь более высокой статистической надежностью, построенная по этим точкам зависимость, как показали результаты анализа, справедлива и для анализируемых проб. Фоновая зависимость устанавливается



## 1. Эффективность учета наложения

Определяемый элемент	I	II	III
Sc	0,010	0,006±0,001	0,0060±0,0006
	0,007	0,004±0,001	0,0044±0,0003
V	0,50	0,31±0,03	0,30±0,01
	0,09	0,071±0,01	0,074±0,006

Примечание: I — результаты (%) рентгеноспектрального анализа без учета наложения; II — то же, с учетом наложения; III — аттестованные значения по паспорту стандартных образцов состава. Коэффициенты наложения  $D_{ij}$  для Sc — 0,000478, V — 0,176.

## 2. Эффективность введения матричных поправок

Определяемый компонент (элемент)	I	II	III
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,047	0,041	0,043
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,12	11,50	11,66
CaO	10,18	10,92	10,97
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,926	1,02	1,01
Sc	0,0040	0,0046	0,0044
ZrO <sub>2</sub>	2,31	2,50	2,47

Примечание: I — результат (%) рентгеноспектрального анализа без введения поправок; II — то же, с поправками; III — известное содержание (%).

3. Неопределенность в поправках на поглощение  $SiK_{\alpha}$ 

Образец	I	II	III	IV
Трапп	1,0025	1,0037	0,9783	1,0285
Сланец	0,9788	0,9784	0,9541	1,0043
Диабаз	0,9768	0,9775	0,9527	1,0022
Сиенит	1,0368	1,0325	1,0062	1,0638
Гранит	0,9416	0,9401	0,9163	0,9661

Примечание: Пробы и образец сравнения (габбро) разбавлены тетраборатом лития в соотношении 1:3. I — поправочные функции рассчитаны для пробы и образца сравнения с использованием таблиц Тайзена; II — то же, с использованием таблиц Хайнриха; III — то же, для образца сравнения — таблицы Тайзена, для проб — Хайнриха; IV — то же, для образца сравнения — таблицы Хайнриха, для проб — Тайзена.

один раз, текущую корректировку коэффициентов  $A_i$  и  $B_i$  со временем при стабильной работе спектрометра можно проводить по двум пробам один раз в два—три часа.

Для линий  $ScK_{\alpha}$  и  $VK_{\alpha}$  оценили вклад в величину фона наложений линий  $CaK_{\beta_1}$  и  $TiK_{\beta_1}$  соответственно. Хотя линия  $CaK_{\beta_1}$  расположена не столь уж близко к  $ScK_{\alpha}$  (расстояние около  $0,05 \text{ \AA}$ ), при наличии в пробах 10п % кальция вклад наложения в

величину фона весьма значителен. Линия  $VK_{\alpha}$  гораздо ближе к  $TiK_{\beta_1}$ , влияние наложения сильнее, но, как правило, содержание титана в анализируемых пробах одного порядка с ванадием. По результатам рентгеноспектрального анализа скандия и ванадия без учета и с учетом наложения в сопоставлении с аттестованными содержаниями их по паспорту стандартных образцов (табл. 1) видно, что использование коэффициентов наложения улучшает точность анализа. Со-



4. Погрешности рентгенофлуоресцентного анализа  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ , Y,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ 

Интервал содержаний	$\text{Sc}_2\text{O}_3$		Y		$\text{ZrO}_2$		$\text{V}_2\text{O}_5$		$\text{TiO}_2$	
	$\sigma_{\Sigma r}$	$d_r$	$\sigma_{\Sigma r}$	$d_r$	$\sigma_{\Sigma r}$	$d_r$	$\sigma_{\Sigma r}$	$d_r$	$\sigma_{\Sigma r}$	$d_r$
1,0—4,9					1,9	+0,3	3,9	+0,6	2,5	+0,3
0,1—0,99					4,8	-0,4	5,4	+0,2	6,2	+1,2
0,01—0,099	8,4	+0,1	14,0	+3,9	8,6	-2,7	11,3	+1,1		
0,001—0,0099	18,0	+1,1	18,0	-2,3	14,0	-2,4	18,0	-0,9		

Примечание: Стандартное отклонение данных рентгеноспектрального анализа (1) от данных других методов (2)  $\sigma_{12} = \sqrt{2} \sigma_{\Sigma r}$ ;  $d_r$  — среднее относительное отклонение данных рентгеноспектрального анализа от данных

$$\text{других методов } d_r = \sum_{i=1}^n \frac{(1 - \frac{C_{1i}}{C_{2i}})}{n}$$

5. Погрешности рентгеноспектрального анализа  $\text{Na}_2\text{O}$ , MgO,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 

Интервал содержаний	$\text{Na}_2\text{O}$		MgO		$\text{SiO}_2$		$\text{P}_2\text{O}_5$		$\text{Fe}_2\text{O}_3$	
	$\sigma_{\Sigma r}$	$d_r$	$\sigma_{\Sigma r}$	$d_r$	$\sigma_{\Sigma r}$	$d_r$	$\sigma_{\Sigma r}$	$d_r$	$\sigma_{\Sigma r}$	$d_r$
40,0—59,9					0,7	+0,1				
10,0—39,9			1,1	-0,1	1,3	-0,2	1,1	-0,2	1,3	+0,1
1,0—9,99	5,2	+1,1	4,5	+1,0	3,0	-0,4	3,5	-0,9	2,3	+0,1
0,1—0,99	12,0	+1,2								

Примечание: см. табл. 4.

вместное рассмотрение рисунка и данных табл. 1 показывает, что предложенная модель удовлетворительно учитывает влияние состава на изменение фона.

Данные, иллюстрирующие эффективность введения поправок на матричные эффекты по методу фундаментальных параметров (табл. 2) показывают, что выбранная модель расчета адекватно отражает влияние состава на интенсивность аналитической линии. Следует отметить, что при заданных вариациях состава определяющим является вклад в общую матричную поправку абсорбционных эффектов. Доля эффектов дополнительного возбуждения не превышает 5—7% от общей величины поправки, при выборе образца сравнения не слишком отличающегося от анализируемых проб. Неясным остается вопрос относительно вклада неопределенности фундаментальных параметров в общую погрешность анализа. Многие исследователи [1, 11], указывают на то, что, хотя неопределенность массовых коэффициентов ослабления достигает иногда 20 и более процентов, погрешность анализа много меньше. Нам кажется, аналитику следует

быть осторожным и не принимать эти факты с излишним оптимизмом, поскольку они не отражают реальных систематических погрешностей, связанных с неопределенностью коэффициентов ослабления. В табл. 3 проведено сопоставление поправок на поглощение, полученных, когда поправочные функции образца сравнения и пробы рассчитаны в одной системе массовых коэффициентов поглощения и в разных системах. Сравнения проведены для систем коэффициентов поглощения Тайзена [12] и Хайнриха [10], считающихся одними из самых надежных. Как видно из данных табл. 3, при перекрестном расчете поправочных функций систематические погрешности много больше. По-видимому, если считать системы коэффициентов поглощения равно надежными, расхождение поправок при перекрестном расчете более отвечает возможным систематическим погрешностям. В связи с изложенным в программу расчета содержаний для минимизации систематических погрешностей заложена возможность выбора из архива в качестве



образца сравнения стандартного образца, близкого по составу к анализируемой пробе.

В табл. 4 и 5 приведены погрешности рентгеноспектрального анализа, рассчитанные в сопоставлении с данными анализа, полученными другими методами. По  $Sc_2O_3$  сопоставление проводилось с данными нейтронно-активационного анализа, по Y — с данными спектрального анализа, по другим компонентам — с данными химического анализа. В каждом представленном интервале содержаний проанализировано обоими сравниваемыми методами не менее 30 проб. Установленные погрешности рентгеноспектрального анализа меньше допустимых [5]. Систематические расхождения между методами ( $d_r$ ) незначимы на фоне погрешностей анализа по критерию ничтожно малой погрешности.

Разработанная методика утверждена Научным советом по аналитическим методам (НСАМ) при ВИМСс в качестве отраслевой и внедрена на одном из предприятий бывшего Минсредмаша СССР.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонин В.П., Гуничева Т.Н. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ горных пород и минералов. — Новосибирск: Наука, 1977. С. 129—132.
2. Блохин М.А., Швейцер И.Г. Рентгеноспектральный справочник. — М.: Наука, 1982.
3. Маренков О.С. Таблицы и формулы рентгеноспектрального анализа. Методические указания. — Л.: ЛНПО «Буревестник», 1982. Вып. 3.
4. Маренков О.С., Комков Б.Г., Эпштейн М.З. // Аппаратура и методы рентгеновского анализа. — Л.: Машиностроение, 1981. Вып. 25. С. 204.
5. Методические основы исследования химического состава горных пород, руд и минералов / Под ред. Г.В.Остроумова. — М.: Недра, 1979. С. 30—33.
6. Симаков В.А., Кордюков С.В., Петров Е.Н. Учет фона в коротковолновой области при определении полного состава пробы рентгенофлуоресцентным методом // Журнал аналитической химии. 1988. Т. 43. Вып. 8. С. 1418.
7. Финкельштейн А.Л., Гуничева Т.Н., Афонин В.П. Расчет спектрального излучения при рентгенофлуоресцентном анализе // Заводская лаборатория. 1981. Т. 47. № 11. С. 28.
8. Andermann G., Kemp J.W. // Anal. Chem. 1958. Vol 30. P. 1306.
9. Criss J.W., Birks L.S. // Anal. Chem. 1968. Vol 40. P. 1080.
10. Heinrich K. In The Electron Microprobe, N.Y., J.Wiley, 1966.
11. Palme C., Jagoutz E. // Anal. Chem. 1977. Vol 49. P. 717.
12. Theisen R., Togel K., Wollath D. // Microchimica Acta Supp. 1967. Vol 11. P. 16.

Simakov V. A., Vakhonin N. S., Isayev V. Ye.

#### X-RAY FLUORESCENT ANALYSIS OF COMPLEX ORES

*An X-ray-fluorescence-based technique has been developed for complex ores analysis to provide for simultaneous determination of Sc, V, Y, Zr and main rock-forming elements. The technique involves the method of fundamental parameters to make an account for the background and to calculate matrix correction terms. A highly efficient technology of sample preparation for the analysis is proposed. It is based on sample remelting together with lithium tetraborate with subsequent centrifugal emitter formation from the melt and its cooling by meeting flow of surrounding air. Metrological characteristics of the technique proposed have been established. In the absence of significant systematic errors, the random ones are found to satisfy the allowability requirements.*



# ДИСКУССИИ

УДК 549.742:549.623.7:552.323.6

© И. П. Илупин, 1995

## О ГЛУБИННОМ ИСТОЧНИКЕ УГЛЕКИСЛОТЫ И ВОДЫ В КИМБЕРЛИТАХ

И. П. ИЛУПИН (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Суммированы факты, согласующиеся с представлением о глубинном происхождении преобладающей части углекислоты и воды в кимберлитах, которые позволяют сомневаться в правильности выводов о близкоповерхностных источниках углекислоты и воды в кимберлитах, основанных на данных по изотопии углерода и водорода.*

Источник углекислоты и воды в кимберлитах является предметом дискуссий. Данные по изотопии углерода карбонатов из связующей массы кимберлитов Сибири рассматриваются как неоспоримые доказательства того, что углерод в кимберлиты поступал в существенной части (иногда — целиком) из вмещающих осадочных пород [3]. По результатам изучения изотопии водорода в серпентине кимберлитов Сибири сделан вывод, что серпентинизация проходила в результате воздействия метеорной воды [5]. Остановимся на фактах, заставляющих сомневаться в правильности таких выводов.

Начнем с карбонатного вещества. При изучении ксенолитов карбонатных пород, в изобилии присутствующих в кимберлитовых трубках Сибири, оказалось, что периферические части ксенолитов по изотопии углерода и кислорода отличаются от центральных участков [3]. Изотопный обмен, очевидно, связан с растворами, просачивающимися по веществу, выполняющему кимберлитовые трубки, после их образования. Еще более вероятен интенсивный изотопный обмен для пористой карбонат-серпентиновой связующей массы кимберлитов. В пользу хорошей проницаемости связующей массы наглядно говорит характер развития некоторых вторичных минералов, прежде всего — яркоокрашенного лимонита. В кимберлитах Сибири неоднократно встречался лимонит в виде серий неправильных полос (типа «колец Лизеганга», хотя далеко не

столь геометрически правильных, как на рисунках из учебников). При раскалывании или распиливании штуфов нетрудно убедиться, что эти полосы насквозь пронизывают породу.

Для кимберлитов Сибири выявлены закономерные соотношения (положительная корреляция) между содержаниями CaO и CO<sub>2</sub>, с одной стороны, и некоторыми малыми и редкими элементами, с другой, а именно — с фосфором и редкоземельными элементами (РЗЭ). Содержания РЗЭ в нижнепалеозойских осадочных породах Сибири крайне незначительны. Наблюдаемую в кимберлитах корреляцию (CO<sub>2</sub>—P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CO<sub>2</sub>—РЗЭ) легче всего объяснить глубинным происхождением преобладающей части присутствующего в кимберлитах карбоната. Если при этом углерод оказывается близким по изотопии к коровому, то связано это, скорее всего, с постмагматическими преобразованиями породы.

Один из доводов сторонников привноса карбоната из вмещающих пород: кимберлиты Сибири, прорывающие существенно карбонатные породы, богаче CO<sub>2</sub> по сравнению с кимберлитами Южной Африки, прорывающими «бескарбонатную» толщу. Действительно, среднее содержание CO<sub>2</sub> по кимберлитам Сибири — около 10,2 % (материалы автора), по кимберлитам Лесото — 4,6 % [8], а по 11 образцам кимберлитов района Кимберлей — 5,1 % [12]. Однако в работе по кимберлитам Восточного Гамбурга



[13] приведены результаты анализов, среднее содержание  $\text{CO}_2$  по которым (даже включая два образца «карбонатитовых пород») — 9,5 %. Заметно отличаются от «среднесибирских» по содержанию углекислоты кимберлиты Мунского поля Сибири, также залегающие среди карбонатных пород. В них  $\text{CO}_2$  составляет в среднем около 6,0 %, а в кимберлитах наиболее крупных трубок этого поля — всего от 4,1 до 4,9 %. Эти значения вполне сопоставимы с «южноафриканскими».

Безусловно, привнос карбонатного вещества из вмещающих пород в отдельных случаях имел место; наиболее заметно это проявилось в приконтактных частях некоторых кимберлитовых тел. Можно выделить определенные группы трубок и даже кимберлитовые поля, где привнос сказался особенно четко и привел к исчезновению корреляции  $\text{CO}_2$  — РЗЭ. Но в целом результаты изучения кимберлитов позволяют утверждать, что большая часть карбоната, присутствующего сейчас в кимберлитах, содержалась в том веществе, которое поступало из глубинных магматических очагов. На примере карбонатных ксенолитов, измененных по периферии [3], видно, что кальцит остается кальцитом; под влиянием близповерхностных агентов изменяется лишь изотопный состав углерода. Следовательно, данные о современном изотопном составе углерода отнюдь не противоречат представлениям о глубинной природе углекислоты, изначально входившей в состав кимберлитовых магм.

Обратимся теперь к воде, входящей в состав кимберлитов. А.А.Лебедев [4] пришел к выводу, что серпентинизация в кимберлитах началась еще на глубине, до формирования трубок. В пользу этого говорит присутствие в кимберлитах (в пределах одного шлифа) желваков оливина, измененных в разной степени — от практически незатронутых серпентинизацией до полностью замещенных. Может возникнуть законное сомнение, что при изучении лишь прозрачных шлифов эта картина будет связана с тем, что плоскость шлифа, пересекая в случайном направлении зерна частично серпентинизированного оливина, вскрывает в одних случаях только серпентин, в других — только реликт оливина. Однако, выполненный автором просмотр многочисленных

штуфов под биноклем (здесь появляется возможность, с помощью препаративной иглы, изучать породу в трех измерениях) подтверждает, что в породе хаотично разбросаны зерна оливина, замещенного серпентином в разной степени.

Важным свидетельством в пользу глубинного происхождения воды явилось бы установление взаимозависимости между степенью серпентинизации оливина и особенностями кимберлита, формирующимися в глубинных условиях. Такая закономерность выявлена нами для северной части Сибирской провинции: чем полнее прошла серпентинизация, тем выше содержание калия в кимберлитах данного поля. Известные слабой серпентинизацией кимберлиты Мунского и Куойского полей содержат в среднем 0,71 и 0,73 %  $\text{K}_2\text{O}$ . В кимберлитах полей, где свежий оливин присутствует в отдельных телах, концентрация  $\text{K}_2\text{O}$  в среднем от 1,0 до 1,5 %; в тех же полях, где оливин замещен серпентином практически полностью — от 1,5 до 2,1 % (только в Чомурдахском поле ниже — около 1 %). Вырисовывается концентрическая зональность: группа кимберлитовых полей с наиболее полно проявленной серпентинизацией окружена кимберлитовыми полями, где реликты свежего оливина — не редкость. Глубинная природа калия в кимберлитах, по-видимому, сомнений не вызывает; многие авторы вводят повышенное содержание калия в формулировку термина «кимберлит». Стало быть, указанные соотношения — еще один довод в пользу глубинной серпентинизации кимберлитов.

Можно согласиться с тем, что изотопный состав водорода, присутствующего в настоящее время в серпентине кимберлитов, связан с воздействием на кимберлиты метеорных вод, но с воздействием, главным образом, на готовый серпентин, а не на безводные силикаты. Авторы, рассматривавшие изотопию водорода в кимберлитах Африки [14], допускают изотопный обмен применительно к флогопиту основной массы в результате взаимодействия этого флогопита с метеорно-гидротермальными флюидами. Очевидно, нет препятствий для такого же предположения при рассмотрении серпентина.

Напомним, что  $\text{CO}_2$ , наряду с  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  и



$H_2O$ , входит в состав газов, выделяющихся из алмазов — как при дроблении в вакууме, так и при графитизации [10]. Данные о соотношениях отдельных элементов-примесей, выявляемых в алмазах методом ИНАА, интерпретируются как указание на присутствие карбонатов в той среде, где росли алмазы [6]. В качестве включений в алмазах отмечены слюда, хлорит, кальцит [11], магнезит [1]. Включения карбонатов обнаружены в хромистых пирропах из кимберлитов США [9]. Д.Смит [15] сообщает о находке магнезита в составе перидотитовых включений в трубках плато Колорадо (США), подчеркивая, что магнезит образовался до момента захвата включения кимберлитовой магмой. Таким образом, известен ряд данных, говорящих о присутствии карбоната и уголекислоты, а также водосодержащих минералов и воды, в составе несомненно глубинного (мантийного) вещества [2].

В заключение подчеркнем, что для решения вопроса о генезисе того или иного минерала в кимберлитах (как, очевидно, и в других горных породах) необходимо учитывать все доступные сведения по минералогии, петрохимии, геохимии, а не только данные по изотопии. Кстати, не все авторы связывают различия в изотопии углерода отдельных кимберлитовых тел с влиянием прорванных пород. Так, в работе [7] приведены средние значения  $\delta^{13}C$  для ряда кимберлитовых тел Южной Африки — от -3,44 до -8,89‰, и высказано мнение, что различия могут объясняться неоднородностью глубинного источника углерода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

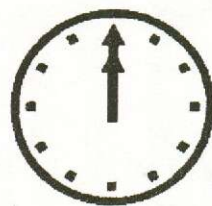
1. Буланова Г.П., Варшавский А.В., Лескова Н.В., Никишова Л.В. Центральные включения — индикаторы условий зарождения природных алмазов // Физические свойства и минералогия природного алмаза. — Якутск, 1986. С. 29—45.
2. Ваганов В.И., Соколов С.В. Термобарометрия ультраосновных парагенезисов. — М.: Недра, 1988.
3. Кулешов В.Н., Илупин И.П. Изотопный состав углерода и кислорода в карбонатах кимберлитовых трубок Сибири // Сов.геология. 1982. № 7. С. 93—100.
4. Лебедев А.А. К вопросу о серпентинизации кимберлитов // Зап. Вост.-Сиб. отд. ВМО. — Иркутск, 1960. Вып. 2. С. 85—100.
5. Уханов А.В., Девириц А.Л. Метеорное происхождение воды, серпентинизировавшей кимберлиты Якутии // Докл. АН СССР. 1983. Т. 268. № 3. С. 706—709.
6. Fesq H.W., Bibby D.M., Erasmus C.S., Kable E.J.D., Sellschop J.P.F. A comparative trace element study of diamonds from Premier, Finsch and Jagersfontein Mines, South Africa // Physics and Chemistry of the Earth. 1975. Vol. 9. P. 817—836.
7. Kobelski B.J., Gold D.P., Deines P. Variations in stable isotope compositions for carbon and oxygen in some South African and Lesotho kimerberlites // Proc. 2nd Int. Kimberlite Conf. 1979. Vol. 1, AGU, Washington, D.C., P. 252—271.
8. Lesotho kimerberlites. Ed. Nixon P.H. Lesotho National Development Corporation, Maseru. 1973.
9. McGetchin T.R., Besancon J.R. Carbonate inclusions in mantle-derived pyropes // Earth and Planet. Sci. Lett., 1973. Vol. 18. № 3. P. 408—410.
10. Melton C.E., Giardini A.A. Experimental evidence that oxygen is the principal impurity in natural diamonds // Nature, 1976. Vol. 263. № 5575. P. 309—310.
11. Mitchell R.S., Giardini A.A. Some mineral inclusions from African and Brazilian diamonds: their nature and significance // Amer. Mineral., 1977. Vol. 62. № 7—8. P. 756—762.
12. Muramatsu Y. Geochemical investigations of kimerberlites from the Kimberley area, South Africa // Geochem.J., 1983. Vol. 17. № 2. P. 71—86.
13. Nixon P.H., Boyd F.R., Boctor N.Z. East Griqualand kimerberlites // Trans. Geol. Soc. S. Afr., 1983. Vol. 86. № 3. P. 221—236.
14. Sheppard S.M.F., Dawson J.B. Hydrogen, carbon and oxygen isotope studies of megacryst and matrix minerals from Lesotho and South African kimerberlites // Physics and Chemistry of the Earth, 1975. Vol. 9. P. 747—763.
15. Smith D. Hydrous minerals and carbonates in peridotite inclusions from the Green Knobs and Buell Park kimerberlitic diatremes on the Colorado Plateau. Proc. 2nd Int. Kimberlite Conf., 1979. Vol. 2. AGU, Washington, D.C., P. 345—356.

Илупин И. П.

#### ON THE DEEP-SEATED SOURCE OF CARBON DIOXIDE AND WATER IN KIMBERLITES

*A summarization of facts accordant with a concept of deep-seated origin of the bulk of carbon dioxide and water in kimerberlites is presented. It suggests certain doubt as regards the correctness of conclusions about near-surface sources of carbon dioxide and water in kimerberlites based on carbon and hydrogen isotopic data*





## ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ГЕОРАДАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И АППАРАТУРЫ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

В. И. ПЯТНИЦКИЙ, В. Ю. АБРАМОВ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Рассматриваются возможности георадарных технологий применительно к решению геологических, геоинженерных и экологических задач, описываются известные промышленные образцы отечественной и зарубежной георадарной аппаратуры. Приводятся примеры полевого опробования георадаров, дается сравнение возможностей георадарных и ряда других геофизических технологий при исследованиях геосреды, обсуждается место георадарных технологий в комплексах геофизических прикладных методов.*

Примерно с середины шестидесятых годов в прикладной геофизике у нас и за рубежом (США, Канада, Германия, Швеция) периодически возникает интерес к использованию радиолокационных технологий при изучении строения верхних частей геологического разреза, для определения толщины морских льдов, мощности ледяного покрова в горных ледниках, обнаружения погребенных металлических предметов и т.п.

В настоящее время наблюдается бум, связанный с т.н. «Георадаром», т.е. с технологиями и аппаратурой радиолокационного изучения геосреды в геологических, геоинженерных, гидрогеологических, экологических и археологических исследованиях. Такой интерес к георадару определяется сейчас, с одной стороны, мобильностью георадарных технологий и их ожидаемой высокой информативностью, а с другой — современными высокими электронными и компьютерными уровнями построения георадарных устройств на основе наработок в радиолокационной области. Кроме того, за рубежом геофизические методы исследований начали весьма активно применяться при решении широкого круга инженерных и экологических задач, чуть ли не перекрывая в объемах их геологическое использование, а применение георадарных технологий в этих направлениях весьма эффективно.

Действие георадара базируется на изве-

стных принципах работы обычных радиолокационных систем, но со спецификой, определяемой геосредой, которая исследуется георадаром.

Высокочастотное (сотни кГц — тысячи МГц) импульсное электромагнитное излучение генерируется в передающей антенне, проникает в геосреду и, отражаясь от геоэлектрических неоднородностей, контрастных по электрическим свойствам (электропроводности и диэлектрической проницаемости) от вмещающей среды, поступает в приемную антенну (рис. 1). Соответствующая компьютерная обработка позволяет выделить на т.н. «волнограммах» или «радарограммах» (типа сейсмограмм) эти неоднородности геологического разреза, определить элементы их залегания и, с использованием определенных приемов интерпретации, установить их природу и некоторые физические параметры.

Глубинность георадарных исследований зависит как от электрических свойств среды, так и от характеристик самих георадаров — мощности, согласования антенн при излучении и приеме, частот излучаемого электромагнитного поля, формы излучаемого сигнала, расстояний между излучающей и приемной антеннами и может изменяться от первых сантиметров до (предположительно) сотен метров.

В зависимости от мощности (и, следова-



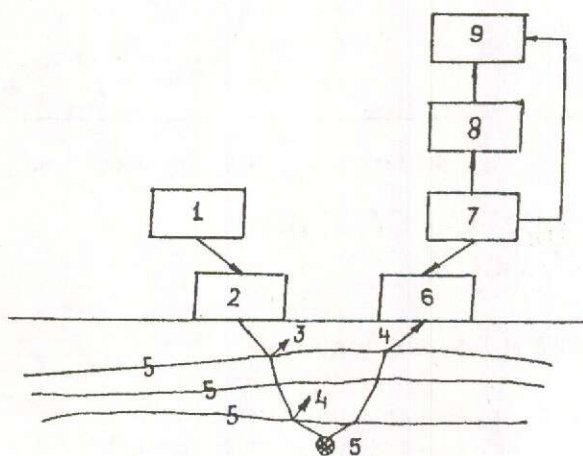


Рис. 1. Схема георадарной технологии:

1 — генератор; 2 — передающая антенна; 3 — возбуждающий импульс; 4 — отраженный импульс; 5 — объекты отражения; 6 — приемная антенна; 7 — блок измерений; 8 — блок регистрации; 9 — блок изображения

тельно, от предполагаемых максимальных глубин исследования) аппаратура георадаров может быть весьма мобильной и легкой или же требует для работ с нею наличия транспортных средств — автомобилей или даже вертолета.

Соответственно изменяется стоимость георадарной аппаратуры — от 15000—20000 до 150000—200000 американских долларов и выше.

Одной из главных характеристик георадара является его разрешающая способность по выделению электроконтрастных пластов и локальных объектов, определяемая частотами (длиной волны) импульсного электромагнитного поля, излучаемого георадаром.

Чем выше частота (меньше длина волны) излучаемого поля, тем выше разрешающая способность георадара. Однако при этом реализуется меньшая глубина исследования из-за резкого затухания радиоизлучения в среде. По сравнению с большинством методов разведочной геофизики георадарные технологии позволяют надеяться на получение более высокой разрешающей способности картирования геологических и инженерных объектов (по крайней мере в верхней части георазреза) в сочетании с высокой производительностью работ.

В принципе, увеличение и глубинности, и разрешающей способности георадара может быть получено за счет использования фокусирующих антенн. Работы в этом направлении ведутся, но пока не вышли из стадии научных разработок.

Помимо георадарных измерений с поверхности земли начинают использовать георадар в необсаженных скважинах для изучения близскважинного пространства с целью определения зон повышенной пористости, в подземных выработках на соляных месторождениях.

Известны попытки использовать георадарные системы на вертолете для изучения геосреды с воздуха. Несмотря на привлекательность подобного рода аэрогеорадарных технологий, до практической реализации их из-за больших аппаратурных и методических сложностей дело не дошло.

Георадарные технологии могут применяться при:

геологическом картировании верхних частей геосреды для исследований ее структурных и литологических особенностей (определение мощности рыхлых отложений и их расчленение, картирование морфологии коренных пород — «плотика» при поисках и разведке россыпных месторождений, выявление зон трещиноватости и т.п.);

поисках и прослеживании водоносных горизонтов, залежей строительных материалов;

поисках проводящих рудных образований, хрусталеносных полостей, кварцевых жил, карстовых полостей с бокситами и золотом;

гидрогеологическом районировании и обследовании территорий, предназначенных для захоронения бытовых и промышленных отходов;

обследовании площадок под строительство промышленных и гражданских сооружений для выделения тектонически ослабленных зон, оценке степени устойчивости грунтов по их водонасыщенности и выявлению оползнеопасных участков;

выявлении скрытых нарушений в плотинах, дамбах, водоводах;

картировании участков развития многолетнемерзлых пород, определении толщины льдов на водоемах и ледниках;



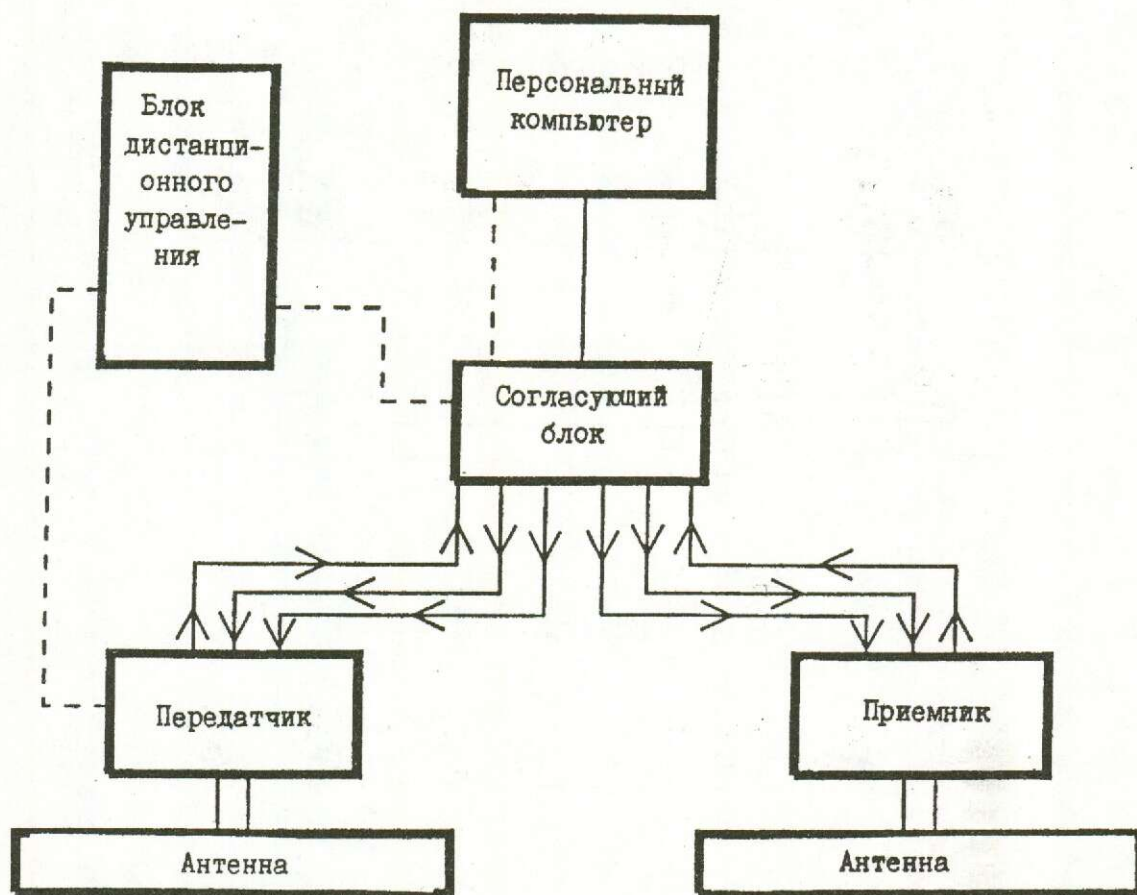


Рис. 2. Блок-схема георадара.

обнаружении и прослеживании подземных инженерных коммуникаций и кабелей; картировании отвалов горнодобывающих и металлургических предприятий с целью выявления в них вторичного сырья;

выявлении трещин и нарушений монолитности в несущих строительных конструкциях и подземных целиках;

археологических исследованиях для обнаружения могильников, подземных сооружений, ходов, кладов и т.п.

Понятно, что при использовании георадара для решения той или иной из вышеперечисленных задач применяются различные модификации георадарных технологий, аппаратуры (особенно антенных устройств), способов съемки, обработки, визуализации и интерпретации данных.

Наибольшая часть модификаций георадаров, имеющихся в производстве, выполне-

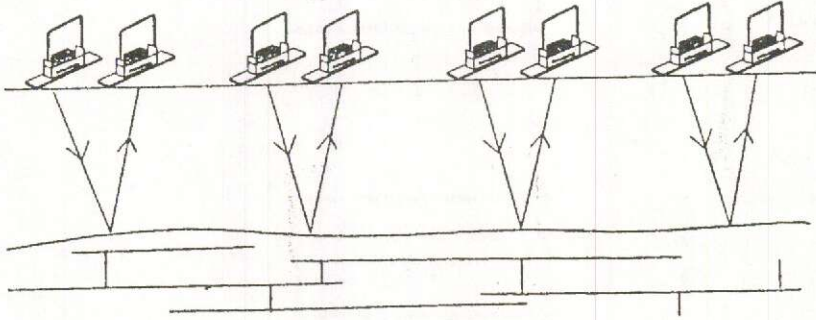
на по обобщенной блок-схеме, показанной на рис. 2. Разные способы съемок с георадаром приводятся на рис. 3.

Основными проблемами георадарных технологий, требующими дальнейших систематических исследований и разработок, являются, по нашему мнению, две — увеличение глубинности георадарных исследований с сохранением высокой разрешающей способности к выделению фрагментов строения георазреза и способы интерпретации радарограмм с уверенным отдельным выделением различных фрагментов строения георазреза (структур, литологических разностей пород и т.п. геологических характеристик и особенностей геосреды).

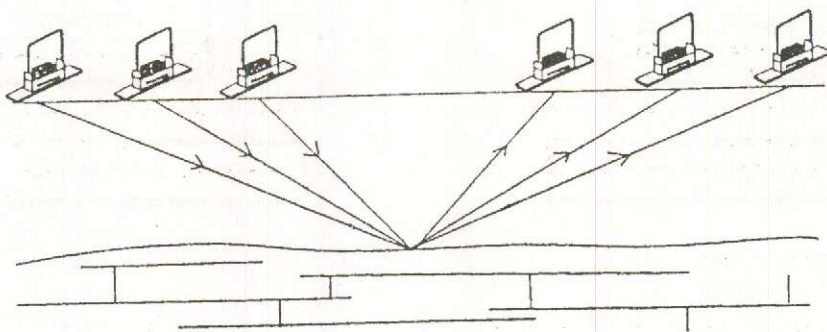
Характеристика георадарной аппаратуры. К настоящему времени образцы георадарной аппаратуры создаются и в СНГ, и за рубежом.



## ПРОФИЛИРОВАНИЕ



## ОБЩАЯ СРЕДНЯЯ ТОЧКА



## ПРОСВЕЧИВАНИЕ

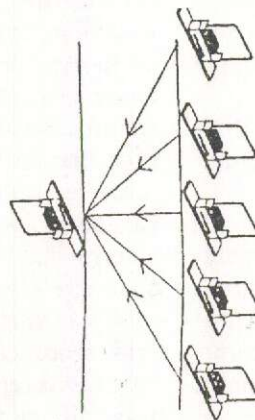


Рис. 3. Способы георадарных съемок.



В НПО «Радар» Рижского авиационно-го университета (г.Рига, Латвия) разработаны и применяются на практике георадары серии «Зонд» («Зонд-8», «Зонд-10», «Зонд-12»).

Аппаратура «Зонд» используется, главным образом, в пешеходном варианте с одним-двумя операторами; последние ее модификации позволяют накапливать и хранить данные измерений на магнитных носителях и вводить информацию в компьютер с максимальным сервисом для дальнейшей обработки и интерпретации. Георадары «Зонд» имеют диапазон частот от 20 до 120 МГц с частотой запуска в 25 кГц, с импульсным излучением более 100 Вт. Напряжение питания — 12 В, потребляемый ток — 1,8 А.

Глубинность исследований георадаров серии «Зонд» по данным рекламной информации не более 20—30 м с разрешением около 1 м. Ориентировочная стоимость аппаратуры «Зонд-12» около 15 тыс. долл. США.

Георадар «Питон» НПО «Радар» (г.Рига, Латвия) имеет нижнюю частоту зондирующего импульса 8 МГц, за счет чего глубинность исследований может быть повышена до сотни метров с разрешением не хуже 15 м.

Автомобильная модификация георадара «Питон» позволяет, за счет увеличения мощности излучения, дополнительно увеличить глубинность исследований георазреза. Обработка, визуализация и интерпретация данных наблюдений с георадаром «Питон» компьютеризированы. Компьютер может быть установлен в автомобиле.

Георадар «Питон» отличается оригинальностью схемных решений и конструкции, что позволяет отнести эту аппаратуру к весьма перспективной. Правда, по сравнению с аппаратурой «Зонд» георадар «Питон» менее мобилен, но это окупается его повышенной глубинностью.

Георадиолокатор «Локас-2» создан в малом предприятии «Тон» (г.Сызрань, РФ).

Эта аппаратура характеризуется достаточно широким диапазоном зондирующего сигнала — от 30 до 250 МГц, хорошей разрешающей способностью по глубине (не хуже 0,5 м) и по горизонтали (не хуже 0,1

м) и значительной глубинностью исследований (до 120 м).

Глубинность георадара «Локас-2» определяется очень высокой интенсивностью лоцирующих импульсов — мощность энергопитания «Локас-2» 8 кВт. Такая мощность энергопитания обеспечивается использованием специальной энергоустановки на базе автомобиля ЗИЛ-131, в кузове которого размещена приемо-передающая часть геолокатора, а антенно-передающий и антенно-приемный модули — выносные, с соединительным кабелем длиной 70 м на базовую аппаратуру в кузове автомобиля. Аппаратура обеспечена компьютерными средствами управления, обработки, визуализации и интерпретации данных.

Использование в георадаре «Локас-2» транспортного средства снижает мобильность этой аппаратуры. Высокая цена (порядка 150 тыс. долл. США) вряд ли будет способствовать спросу на эту аппаратуру.

Унифицированный ряд мобильных переносных радиотехнических приборов подповерхностного радиолокационного зондирования «Георадар» создан совместно НИИ приборостроения им.В.В.Тихомирова и фирмой «Логические системы» (Московская обл.).

Эти георадары обеспечивают глубинность от долей метра до 20—50 м с разрешающей способностью от 0,1 до 1 м. Мощность энергопитания — аккумулятор 12 В. Аппаратура обеспечена компьютерными средствами управления, обработки, визуализации и интерпретации данных. Стоимость георадара — от 5500 до 15000 долл. США.

В стадии научных и опытно-конструкторских разработок на специализированном предприятии в г.Москве находится создание георадара для исследований геологической среды до глубин свыше 1000 м (по данным рекламного сообщения).

Предлагаемая к созданию и выпуску аппаратура позволит, по данным рекламного сообщения, получить выходную мощность в импульсе излучения до 1000 МВт в диапазоне частот следования импульсов от 1 до 100 МГц и наполнением импульса частотами от 100 до 10000 и от 1 до 100 Гц. Эту георадарную аппаратуру предполагается поместить на вертолете.



результатов изучения россыпного самородного золота. № 2. С. 51.

*Николаева Л.А., Некрасова А.Н., Чижова И.А., Яблокова С.В.* Количественная оценка типоморфных признаков самородного золота различных золоторудных формаций. № 5. С. 20.

*Николаева Л.А., Пыцкая Е.А., Чижова И.А., Яблокова С.В.* Количественный анализ индикаторных признаков россыпного золота. № 3. С. 20.

*Серокуров Ю.Н.* Использование материалов космического зондирования при прогнозе и поисках коренных месторождений алмазов. № 6. С. 30.

*Столяренко В.В.* Отраженная зональность коренных источников в иридино-платиновых россыпях. № 5. С. 35.

*Чекваидзе В.Б., Исакович И.З., Миляев С.А., Литвиненко Ю.С., Полякова Т.П., Зеликсон Б.С.* Минералого-геохимические критерии поисков золотоносных кор выветривания на Северном Урале. № 5. С. 25. РФФИ, грант 94-05-16522а.

*Чекваидзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З.* Комплексная минералого-геохимическая методика поисков золоторудных месторождений. № 2. С. 39.

### Строение рудных месторождений

*Вихтер Б.Я.* Сравнительный анализ золото-сульфидных прожилково-вкрапленных месторождений различных типов. № 5. С. 72.

*Вихтер Б.Я., Хазан К.Е., Дзайнуков А.Б., Журавлев Д.З.* О Rb-Sr возрасте интрузивных образований и золотого оруденения Чоринского рудного района (Центральный Таджикистан). № 1. С. 36.

*Ворошилов В.Г.* Условия формирования Центрального золоторудного поля в гранитоидах (Кузнецкий Алатау). № 3. С. 69.

*Иванкин П.Ф., Шелехов А.Н.* О золотоносности железорудных месторождений Алтае-Саянского региона. № 4. С. 65.

*Константинов П.С., Старостин В.И.* Петрофизические условия локализации оруденения на золото-серебряном месторождении Дукат. № 3. С. 59.

*Кривцов А.И., Чижова И.А., Евстигнеева Т.Л.* Количественные характеристики рудонакопления в сульфидно-силикатных расплавах. № 2. С. 55. Сорос, грант J9G100.

*Мигачев И.Ф., Гирфанов М.М., Шишаков В.Б.* Меднопорфировое месторождение Песчанка. № 3. С. 48.

*Николаев В.И.* Основные черты геологии и генезиса урано-битумного месторождения Репьевка. № 3. С. 80.

*Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М.* Типизация золоторудных месторождений складчатых областей миегосинклинального типа. № 5. С. 54.

*Полякова Т.П., Риндзюнская Н.М., Николаева Л.А.* Золото в корах выветривания Урала. № 1. С. 40.

*Риндзюнская Н.М., Полякова Т.П., Бобров В.Н.* Геолого-минералогическая характеристика зоны гипергенеза Воронцовского золоторудного месторождения. № 4. С. 42.

*Родионов Ю.Н.* Новый тип золотого оруденения в Сетте-Дабане. № 4. С. 77.

*Рыжов О.Б., Стружков С.Ф., Аристов В.В., Григорьев Н.В., Колесников А.Г.* Геологическое строение и состав руд золото-серебряного месторождения Джульетта (северо-восток России). № 2. С. 66.

*Сатпаева М.К.* Текстуры и структуры инъекционных руд. № 4. С. 69.

*Чекваидзе В.Б., Кудрявцева Н.Г., Исакович И.З.* О рудно-метасоматических ассоциациях вулканогенных золото-полиметаллических месторождений. № 1. С. 30. РФФИ, грант 94-05-16522а.

### Модели рудных месторождений

*Звездов В.С., Тихонов В.С.* Теплоассоциация перенос в меднопорфировых рудообразующих системах по данным математического моделирования. № 6. С. 52. Сорос, грант J9G100.

*Яновский В.М., Чмырев А.В., Сорокин А.Б.* Геодинамические модели золоторудных месторождений областей тектоно-магматической активизации. № 6. С. 45.

Геолого-экономическая оценка рудных месторождений



оценка сырьевой базы россыпного золота России. № 5. С. 79.

*Болотов Л.А.* Геолого-экономическая оценка кобальтомарганцевых корок Магеллановых гор Тихого океана. № 1. С. 49.

*Былинский Е.Н.* Принципы оценки прогнозных ресурсов кобальтомарганцевых корок в Мировом океане. № 4. С. 95.

*Гарбуз А.А., Лобач В.И.* Распределение золота на месторождении Зун-Холба. № 5. С. 85.

*Емельянов С.А., Тарасов А.С.* Оптимизация оценки и разведки колчеданно-полиметаллических месторождений на основе многофакторных моделей. № 5. С. 93.

*Каллистов П.Л., Камышев Ю.И.* К проблеме выравнивания показаний проб при подсчете запасов месторождений с высокой изменчивостью оруденения. № 4. С. 84.

**Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ**

*Алексеев В.Н., Орьев В.А.* Буровая установка УБСР-25-2М и новый буровой инструмент для бурения скважин на россыпях. № 3. С. 97.

*Бондаренко А.Т.* Физические свойства кимберлитов и вмещающих их осадочных горных пород Зимнебережного алмазоносного поля. № 3. С. 90.

*Бондаренко А.Т., Пыстин А.Б.* Петрофизические свойства карбонатных и магматических пород и их использование при поисках кимберлитовых трубок. № 1. С. 69.

*Бондаренко А.Т., Пыстин А.Б.* Электрические свойства кимберлитов Малоботуобинского района Западной Якутии. № 5. С. 112.

*Грачев А.А., Мамаев В.Н., Пятницкий В.И.* Радиогоразведка — состояние и перспективы. № 2. С. 93.

*Зинчук Н.Н., Бондаренко А.Т., Пыстин А.Б.* Корреляционные связи между петрохимическим составом и электрическими свойствами кимберлитов Западной Якутии. № 6. С. 58.

*Кухарев В.Ф., Синодова Л.Г.* Сравнительная эффективность излучателей электрического и магнитного типов для скважинной радиогоразведки на нефтяных месторождениях. № 2. С. 100.

*Сметанников А.Ф., Кудряшов А.И.* О возможности извлечения золота и серебра из руд Верхнекамского месторождения калийных солей. № 5. С. 118.

*Углов Б.Д., Чернов А.А.* Автоматизированная система трансформаций для районирования потенциальных геофизических полей и рельефа дна акваторий. № 5. С. 102.

*Хорев В.А.* Эффективный буровой инструмент для горно-разведочных работ. № 1. С. 65.

**Комплексное использование минерального сырья**

*Клименко Н.Г., Романчук А.И., Ивановская В.П.* Эффективные технологии переработки глубоководных полиметаллических сульфидов. № 6. С. 63.

*Клюева Н.Д.* Повышение эффективности процесса цианирования упорных серебросодержащих руд с использованием окислителей и комплексобразователей. № 1. С. 58.

*Коробейников А.Ф., Пшеничкин А.Я., Зыков Ю.Е.* Платиноносность отвалов пород, убогих золотых руд, хвостов обогащения Боко-Васильевского, Акжальского и Бакырчикского золоторудных полей Западной Калбы. № 3. С. 104.

*Романчук А.И., Ивановская В.П., Матевич Т.Н., Королев А.Б.* Очистка газов от сернистого ангидрида марганецсодержащими природными сорбентами. № 4. С. 100.

*Седельникова Г.В., Романчук А.И., Курский А.Н.* Технологические и аналитические исследования минерального сырья благородных, цветных металлов и алмазов в ЦНИГРИ. № 2. С. 112.

*Симаков В.А., Вахонин Н.С., Исаев В.Е.* Рентгенофлуоресцентный анализ комплексных руд. № 6. С. 72.

**Техника разведки**

*Минаков В.М., Орьев В.А., Тигунов Л.П.* Скважинная гидродобыча (СГД) на месторождениях благородных металлов — состояние и перспективы. № 2. С. 79.

*Рыбин В.П., Сладков В.И.* Новый способ бурения скважин большого диаметра на россыпных месторождениях золота. № 2. С. 87.



## Недра и экология

*Заири Н.М., Новиков В.Н., Пятницкий В.И.* Геоэкологический мониторинг при недропользовании — вклад ЦНИГРИ. № 2. С. 104.

*Игнатов П.А., Лыхин А.Г., Жижин А.Д., Фридман А.И., Чернов В.В.* Экогеохимические особенности угольных месторождений Мосбасса. № 4. С. 107.

*Соколов Л.С., Астрахан Е.Д.* Техногенное загрязнение почв как индикатор экологической обстановки. № 4. С. 117.

## История геологических исследований и оценки месторождений

*Воларович Г.П.* 120000 тонн золота, добытого человечеством. Где они? № 1. С. 77.

## Дискуссии

*Илупин И.П.* О глубинном источнике углекислоты и воды в кимберлитах. № 6. С. 78.

*Сидоров А.А., Томсон И.Н.* Рудноформационные ряды и некоторые проблемы крупных и уникальных месторождений. № 1. С. 84.

*Четвериков Л.И.* О содержательной основе понятий "поиски" и "разведка" месторождений полезных ископаемых. № 1. С. 98.

## Хроника

*Создание АМР.* № 2. С. 126.

*60 лет ЦНИГРИ.* № 3. С. 110.

## Новости. Информация

*Научно-практическая конференция "Потенциал и перспективы рудоносности чехла Восточно-Европейской (Русской) платформы".* № 6. С. 89.

*Опробование алмазосодержащих донных отложений (Trenching for Sea Diamonds).* № 3. С. 111.

*Первые золотодобытчики, использующие бактерии.* № 3. С. 111.

*Пятницкий В.И.* Обзор состояния электромагнитных технологий прикладной геофизики. № 5. С. 122.

*Пятницкий В.И., Абрамов В.Ю.* Обзор состояния георадарных технологий и аппаратуры в России и за рубежом. № 6. С. 81.

## Поздравляем

К шестидесятилетию И.Я.Полывянного. № 4. С. 127.

Шестидесятилетие В.И.Пятницкого. № 5. С. 130.

Памяти Р.О.Берзона. № 6. С. 90.

## Спецвыпуск

*Барышев А.Н.* Хождение по мукам на пути к тайнам колчеданных месторождений. С. 5.

*Вильшанский А.Л.* Некоторые эпизоды из моей биографии, воспоминания и размышления. С. 14.

*Воларович Г.П.* О геологах ЦНИГРИ (НИГРИЗолото), изучавших золотые россыпи Дальнего Востока. С. 16.

*Засухин И.Н.* Люди ради людей! С. 19.

*Засухин И.Н., Бернадский В.Г.* Потоки, вихри, бураны... С. 12.

*Зеленов В.И.* Разработка технологии извлечения золота из руд — трудное, но увлекательное дело. С. 23.

*Ивановская В.П.* Расступись, океан — море синее. С. 37.

*Клименко Н.Г.* Многоцветия цветных металлов. С. 47.

*Кондартенко А.К.* На белые пятна. С. 62.

*Конкин В.Д., Горжевский Д.И., Ручкин Г.В., Крейтер И.В., Кузнецов В.В.* Гиганты в древних толщах Сибири. С. 65.

*Константинов М.М.* Рудное золото Востока. С. 70.

*Кривцов А.И.* Порфиновый стиль. С. 73.

*Минаков В.М., Макаров Б.П., Орьев В.А., Морозов И.В.* Бурение на золотоносных россыпях — дело тонкое. С. 81.

*Натоцинский В.И.* Анабарский узел. С. 88.

*Новиков В.Н.* Мариинская тайга. С. 92.

*Пугачева И.П.* Второе рождение Рудного Алтая. С. 102.

*Пятницкий В.И.* Жили—были... С. 104.

*Стороженко А.А.* Богатство России будет прирастать Сибирью. С. 107.



Фельдман А.А. Алмазы С. 119. Хорев В.А. Взрыв — наш помощник  
 Фельтгейм П.Э. Не проветришь — не С. 124.  
 найдешь. С. 116.

# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



Основан в 1992 г.  
 Периодичность — 6 выпусков в год  
 Главный редактор И.Ф.Мигачев

#### УЧРЕДИТЕЛЬ:

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт  
 цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ)

«Руды и металлы» — многопрофильный научно-технический журнал,  
 ориентирован на публикацию прикладных результатов фундаментальных  
 и методических разработок.

Журнал приглашает к сотрудничеству специалистов, ведущих  
 исследования в области геологии, геофизики, экономики рудных  
 месторождений и минерально-сырьевых ресурсов, а также в сфере их  
 эффективного выявления и комплексного использования.

**РУДЫ  
И  
МЕТАЛЛЫ**



Заполните этот бланк и Вы получите в 1996 г.  
 6 номеров журнала

Стоимость подписки с учетом почтовых расходов:  
 для индивидуальных лиц — 12000 руб., для организаций  
 России — 25000 руб., для организаций стран СНГ — 30000 руб.

Название организации / ФИО

Адрес (почтовый индекс, республика, город, улица, телефон и т.д.)

Стоимость подписки

Количество экземпляров

Сумма



## ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

При оформлении статей необходимо руководствоваться следующими правилами:

1. Объем статьи не должен превышать 15 страниц машинописного текста, включая таблицы и список литературы. Текст печатается через два интервала, на одной стороне листа, поля с левой стороны 25 мм, все страницы рукописи нумеруются. В редакцию представляются два экземпляра статьи и аннотация (не более 0,3 с.), которая располагается после заголовка. Крайне желательно предоставление текста на дискетах в стандарте какого-либо текстового редактора MS DOS, Lexicon, Word. Дискеты сразу будут возвращены автору.
2. Штриховые рисунки на ватмане или кальке и фотографии на глянцевой бумаге прилагаются в двух экземплярах в отдельном конверте. На обратной стороне каждого рисунка карандашом указывается его порядковый номер, фамилия автора и название статьи. С учетом формата полосы журнала 149x225 мм, рисунки, располагаемые в тексте вертикально, рекомендуется подогнать по ширине под 149 мм (ширина полосы) или 72 мм (ширина колонки); высота рисунков должна быть не более 200 мм. Размеры рисунков, помещаемых «лежа», не должна превышать 110x225 мм. Первый экземпляр рисунков должен быть выполнен квалифицированным чертежником. Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстраций должны обеспечивать возможность их прочтения после уменьшения.
3. Все формулы, названия фауны и все тексты, приводимые на иностранном языке, впечатываются на машинке или вписываются тушью (черными чернилами). Необходимо делать ясное различие между заглавными (подчеркнуть черточками снизу) и строчными (подчеркнуть черточками сверху) буквами, имеющими сходные начертания. Следует делать различия между О (большим), о (малым) и 0 (нулем), для чего буквы отмечать двумя черточками, а ноль оставлять без подчеркивания, в особых случаях пометая на полях "0-ноль". При компьютерном наборе нельзя заменять букву "O" нулем и наоборот, русскую "p" английским "p", русскую "H" английским "H". Греческие буквы обводят красным карандашом и на полях пишут их названия, например:  $\eta$ ,  $\lambda$ ,  $\xi$  — eta, lambda, xi, латинские — синим (кроме символов химических элементов). Подстрочные и надстрочные индексы и степени следует отмечать карандашом дугами сверху и снизу, например:  $10^5$  — 105,  $H_2O$  — H2O.
4. Иностранные фамилии в тексте приводятся в русской транскрипции, так же как и названия зарубежных месторождений, географических пунктов и т. д.
5. Точность приведенных цитат должна быть заверена подписью автора на полях рукописи, обязательно указывается номер источника по списку литературы.
6. Все таблицы, список литературы и подрисуночные подписи должны быть напечатаны на отдельных листах.
7. На полях рукописи должны быть указаны номера рисунков и таблиц в месте их первого упоминания, далее при ссылке пишется «см.», например, см. рис. 1.
8. В список литературы (не более 15 названий) включаются только те работы, на которые есть ссылки в тексте. Фамилии авторов располагаются по алфавиту, сначала русскому, затем латинскому. Если авторов более трех, то по алфавиту дается первое слово заглавия, а фамилии авторов указываются сразу после названия работы. Далее указываются: для журналов — название журнала (в принятом сокращении), год, том, выпуск, номер, страницы, например: Докл. РАН. 1994. Т. 1. Вып. 1. N 4. С. 40–41; для монографий — название работы, город, издательство, год, например: Провинции благородных металлов. — М.: Недра, 1991.
9. Под списком литературы приводится слева полное название учреждения, где была выполнена работа, город, подпись, фамилия, имя и отчество (полностью) автора, занимаемая должность, ученая степень, адрес и телефон (служебный и домашний).
10. Авторы должны определить раздел журнала, в который следует поместить статью, а также дать индекс статьи по Универсальной десятичной классификации (УДК).
11. Рукопись представляется с установленными сопровождающими документами руководством организации либо лично автором (авторами).

Редакция сохраняет за собой право внесения редакторской правки.





**ЦНИГРИ**

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

## **АЛЬБОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ РАЗРАБОТКИ МЕЛКИХ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА**

Технологические схемы предназначены для выбора наиболее целесообразных вариантов вскрытия, подготовки и системы разработки мелких золоторудных месторождений при их промышленном освоении малыми добычными предприятиями.

Схемы обеспечивают эффективную разработку месторождений за счет максимального соответствия технологий горно-геологическим условиям; комплексного использования горных выработок при разведке, вскрытии и подготовке месторождений; минимального разубоживания руды и высокой полноты ее извлечения путем использования рациональных технологических и конструктивных элементов.

Альбом содержит 8 схем вскрытия, 5 схем подготовки и 16 вариантов систем разработки подземным способом и 7 схем открытой разработки. Для каждой схемы приведены значения эксплуатационных параметров и показателей разработки месторождений.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА технологических схем:**

При подземной разработке:

применение наиболее простых схем вскрытия;

применение вариантов систем более простых классов (менее трудоемких и дорогостоящих);

сокращение запасов руды во временных целиках.

При открытой разработке:

минимальный объем проходки вскрывающих выработок;

наименьший объем вскрышных работ в начальный период разработки месторождений;

оптимальный фронт добычных работ;

минимальный объем внутрикарьерных перевозок.

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129"Б", ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 313-18-18, 315-26-38  
Телетайп: 114142 АДУЛЯР  
Факс: (095) 315-27-01





**ЦНИГРИ**

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

ЦНИГРИ объявляет дополнительную подписку на 1996 г. на журнал «Руды и металлы» с приложениями – аналитическими обзорами.

Обзоры рассчитаны на широкий круг специалистов в сфере геологоразведочных, горнодобычных работ, экономистов, предпринимателей и экспертов горно-геологического и геолого-экономического профиля.

Стоимость годовой подписки, включая почтовые расходы редакции, на журнал с приложениями: для индивидуальных лиц – 100 тыс. руб.; для организаций России – 150 тыс. руб.; для организаций СНГ – 180 тыс. руб.; отдельно на приложения, соответственно, 200 тыс. руб., 300 тыс. руб., 350 тыс. руб.

Заказы на отдельные выпуски приложений принимаются только по договорной цене, со скидкой при заказе более 3-х экземпляров.

Приложение «Геолого-экономическая оценка рудных месторождений – отечественные и зарубежные термины и понятия» содержит результаты анализа, систематизации и сопоставления наиболее часто употребляемых терминов и понятий из современной практики освоения МСБ в России и за рубежом.

В приложениях «Зарубежные горнорудные проекты – медь, никель, цинк, свинец» и «Зарубежные горнорудные проекты – золото» представлены наиболее значительные и перспективные зарубежные горнорудные проекты, принятые к реализации в 1993–2000 гг. Геолого-экономические и технико-технологические показатели проектов, характеристики соответствующих месторождений и другие данные составляют основу сравнительной оценки конкурентоспособности отечественных проектов.

В приложении «Конъюнктура мирового рынка золота (1985–1994 гг.)» анализируется состояние рынка, рассматриваются особенности финансирования геологоразведочных работ в зарубежных странах; ретроспектива ценообразования, динамики цен, формирования спроса и предложения на золото сочетается с прогнозом главных показателей рынка.

Приложение «Ведущие горнорудные компании мира – алмазы и золото» интегрирует комплекс данных о компаниях, разрабатывающих месторождения алмазов и благородных металлов, включая реквизиты, экономические показатели деятельности и тенденции развития.

Наш адрес: 113545. Москва, Варшавское шоссе, 129 «Б», ЦНИГРИ, тел. 315-28-47 редакции журнала «Руды и металлы».