

РУДЫ

И

МЕТАЛЛЫ



1-2/1993



Уважаемые коллеги!

Ученый Совет и дирекция ЦНИГРИ учредили новый журнал "Руды и металлы". Журнал создан с целью объединить различные направления изучения месторождений рудных полезных ископаемых как в теоретическом, так и в прикладном плане, — от условий их возникновения до эксплуатации и экономики минерального сырья. Необходимость в таком комплексном научно-техническом издании, не ограниченном рамками той или иной отрасли наук о Земле, очевидна для многих специалистов, развивающих прикладные аспекты геологических и смежных наук и использующих их результаты. В нашем журнале Вы найдете следующую информацию:

- фундаментальные разработки в области рудных месторождений;
- геологическое строение и минерально-сырьевые ресурсы;
- методология, методы и прогрессивные технологии;
- экономика всех видов геологоразведочных работ;
- геология рудных месторождений и минерально-сырьевые ресурсы зарубежных стран;
- отечественная и мировая конъюнктура рудного сырья;
- научно-технические достижения;
- информатика и геомаркетинг.

Многопрофильность журнала, его научно-технический характер и прикладная направленность дают основание полагать, что он может привлечь внимание широкого круга читателей и авторов как в России, так и за ее пределами, и будет способствовать свободному обмену идеями и информацией.

Мы готовы публиковать Ваши статьи. Журнал предоставляет свои страницы и для рекламы по доступным ценам.

Объем журнала 10 — 12 уч.-изд. л., периодичность — шесть номеров в год.

Подписка на 1994 год проводится через редакцию журнала. Цена подписки на год для индивидуальных лиц 1740 р., для организаций России 3240 р., для организаций стран СНГ 8000 р. без учета почтовых расходов.

Оплату подписки просим переводить на счет ЦНИГРИ в Коммерческом Интерпрогрессбанке г. Москвы, р/с № 208620 МФО 201508 или высылать переводом в адрес редакции.

Наш адрес: 113545, Москва, Варшавское шоссе, 129 "Б", ЦНИГРИ, редакция журнала "Руды и металлы".

Тел. 315-28-47, факс 315-27-01.

Зарубежные читатели могут подписаться через АО "Международная книга" по адресу: Российская Федерация, 117049, г. Москва, ул. Б. Якиманка, 39 или через фирму "Факсон" по адресу: Российская Федерация, 115533, г. Москва, ул. Садовники, 4.

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



1-2/1993

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
С. С. ВАРТАНЯН
В. И. ВОРОБЬЕВ
П. А. ИГНАТОВ
С. С. КАЛЬНИЧЕНКО
М. М. КОНСТАНТИНОВ
А. И. КРИВЦОВ (зам. главного редактора)
Н. К. КУРБАНОВ
В. М. МИНАКОВ
Н. И. НАЗАРОВА (зам. главного редактора)
Л. М. НАТАПОВ
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)

Москва

Прикладная металлогения

- Ваганов В. И.**
Петрологическая модель алмазообразования 4
- Константинов М. М.**
Стратиформное золотое оруденение — достижения и проблемы построения моделей рудообразующих систем 14
- Конкин В. Д., Ручкин Г. В., Букинга О. Б., Кузнецов В. В.**
Обстановки нахождения платино-металльного оруденения в черносланцевых формациях 22
- Волкова И. Б.**
Связь состава и метаморфизма органического вещества с металлоносностью черных сланцев 29
- Никольский В. М.**
Рудоносность соляных куполов Прикаспийской впадины 32

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений

- Чижова И. А., Эпштейн Ю. А., Матвеева Е. В., Горелов А. Г., Крупник Н. А.**
Экспертные системы для прогноза и поисков россыпных и коренных месторождений золота 42
- Минорин В. Е., Клочков П. К., Лебедева Л. А., Скосырев В. А.**
Многофакторные модели россыпей алмазов для оптимизации разведочных работ 49
- Дзялошинский В. Г., Лобач В. И.**
Принципы выделения структурно-концентрационных уровней минерализованных участков недр на примере золото-сульфидных месторождений 54
- Чекваидзе В. Б., Миляев С. А.**
Вторичные ореолы рассеяния аммония на золоторудных месторождениях 60

Строение рудных месторождений

- Старостин В. И.**
Структурно-петрофизический анализ рудных полей и месторождений 69

Applied metallogeny

- Vaganov V. I.**
Petrological model of diamond formation 4
- Konstantinov M. M.**
Stratiform gold mineralization-achievements and problems of ore-forming system model construction 14
- Konkin V. D., Rouchkin G. V., Boukinga O. B., Kouznetsov V. V.**
Platinum-bearing mineralization in blackshale formations - settings of their manifestation 22
- Volkova I. B.**
Relationship of mineral composition and metamorphism of organic substance with presence of metal in blackshale formations 29
- Nikolsky V. M.**
Mineralization of salt domes of Pri-caspian depression 32

Methods and methodology of deposits prediction, prospecting, evaluation and exploration

- Chizhova I. A., Epshtein Ju. A., Matveeva E. B., Gorelov A. G., Kroupnik N. A.**
Expert systems for prediction and prospecting of placer and lode gold deposits 42
- Minorin V. E., Klochkov P. K., Lebedeva L. A., Skosyrev V. A.**
Multifactor models of diamond placers as an instrument for determination of optimum way of exploration work 49
- Dsjaloshinsky V. G., Lobach V. I.**
Principles of delineation of structural-concentration levels of mineralized areas, worked out on the basis of information gained from number of gold-sulphide deposits 54
- Chekvaidze V. B., Milyaev S. A.**
Secondary ammonium dispersion haloes of gold deposits. 60

Structure of ore deposits

- Starostin V. I.**
Structural-petrophysical analysis of ore fields and deposits 69

Шашкин В. М., Желдакова С. О.
Строение дунитового ядра Кондер-
ского массива и генезис платино-
носных щелочно-ультраосновных
комплексов

77

Грановский А. Г.
Золото-серебряное месторождение
Аметистовое (Камчатка) — термоба-
рогеохимия и локальный прогноз

87

Комплексное использование минерального сырья

Седельникова Г. В., Аслануков Р. Я.,
Воронина О. Б., Савари Е. Е., Кара-
вайко Г. И.

Биогидрометаллургическая техноло-
гия извлечения благородных метал-
лов из золото-мышьяковых концент-
ратов

99

Тимошенко А. С., Филимонов Н. В.,
Царев В. В.

Особенности вещественного состава
и технологии комплексной перера-
ботки золотосодержащих руд

103

Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ

Смирнов Ю. Т.

Перспективы горных работ в геоло-
гической отрасли России

107

Засухин И. Н.

Основные результаты и направления
исследований в области охраны тру-
да на геологоразведочных работах

115

Shashkin V. M., Zheldakova S. O.
Structure of dunite core of Kondersky
massif and origin of platinum-bearing
alkaline-ultrabasic formations

Granovsky A. G.

"Ametistovoe" gold-silver deposit
(Kamchatka) — thermobarogeo-
chemistry and local forecast

Complex use of mineral material

Sedelnikova G. V., Aslanoukov R. Ja.,
Voronina O. V., Savary E. E.,
Karavaiko G. I.

Biohydrometallurgical technology of
precious metals recovery from gold-ar-
senic concentrates

Timoshenko A. S., Filimonov N. V.,
Tsarev V. V.

Peculiarities of mineral composition
and technology of complex processing
of gold-bearing ores

Instrumentation and technology of geological exploration

Smirnov Ju. T.

Mining activity prospects in geological
industry of Russia

Zasoukhin I. N.

The main results and directions of
investigation in the field of labour pro-
tection in geological prospecting

Адрес редакции:

113545, Москва,
Варшавское шоссе, 129 "Б", ЦНИГРИ
"РУДЫ И МЕТАЛЛЫ"

© «Руды и металлы», 1993

© Оригинал-макет
Отдел маркетинга и информации
ЦНИГРИ



УДК 552.323.6.0001.57

ПЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЛМАЗООБРАЗОВАНИЯ

В. И. ВАГАНОВ (ЦНИГРИ)

Рассчитаны термодинамические условия кристаллизации природных алмазов и генерации кимберлитовых расплавов. Установлена двухэтапность процесса алмазообразования, обусловленная различием флюидного режима, преимущественно водного на первом этапе и водно-углекислого на втором.

Несмотря на громадный объем накопленного фактического материала, ясность в проблеме происхождения природных алмазов до сих пор отсутствует. Это отражается и в существовании целого ряда гипотез, различно и нередко альтернативно объясняющих процессы алмазообразования (рис. 1).

Все эти гипотезы могут быть разделены на две крупные группы по предполагаемой природе кристаллизации алмазов: в области своей термодинамической стабильности; в области устойчивости графита, т.е. метастабильно.

Гипотезы группы I подразделяются в зависимости от предполагаемого механизма создания высоких температур и давлений, необходимых для образования алмаза.

Из них наиболее распространены те, которые кратко можно выразить как «алмаз — минерал верхней мантии». Они основаны на тезисе о корреляции величин давлений с величинами литостатической нагрузки, следовательно, с глубиной. Таким образом, представления о мантийной природе алмаза (в различных вариантах) являются в настоящее время практически общепринятыми.

Основные различия мантийных гипотез связаны с ответами на следующие вопросы: являются ли алмазы в кимберлитах фенокристаллами или ксенокристаллами? Если это ксенокристаллы, то при каких условиях и в каких породах они возникают? Связано

ли формирование алмазов с магматическими процессами или же они образуются как «метаморфические» минералы в ходе субсолидных реакций? Иными словами, каковы генетические взаимосвязи (если они вообще существуют) алмазоносных кимберлитов и самих алмазов?

Широкую популярность завоевала в последние годы гипотеза ксеногенного происхождения алмазов, согласно которой алмазы попадают в кимберлиты в результате дробления алмазоносных мантийных пород. В этом случае кимберлиты выступают лишь как транспортер, выносящий на поверхность чуждый ему материал (в том числе и алмазоносный).

Так, Ю. Л. Орлов [8] пришел к выводу, что в ксенолитах глубинных пород обнаружены все разновидности кристаллов алмазов, извлекаемых из кимберлитов, но отсутствуют данные, по которым можно было бы выделить морфологические типы, не встречающиеся в ксенолитах. С точки зрения Н. В. Соболева [9], изучение алмазоносных ксенолитов показывает, что существуют алмазы, захваченные кимберлитом вместе с породой из глубоких горизонтов мантии. Исследование включений в алмазах подтверждает их заимствование из таких пород, т.е. эклогитов и перидотитов.

Более того, Ф. Бойд и А. Финнерти подчеркнули, что составы оливинов и гранатов, включенных в алмазы Якутии, идентичны составу этих же минералов из крупнокристаллических нодулей, и пришли к выводу, что эти алмазы, скорее всего, попа-

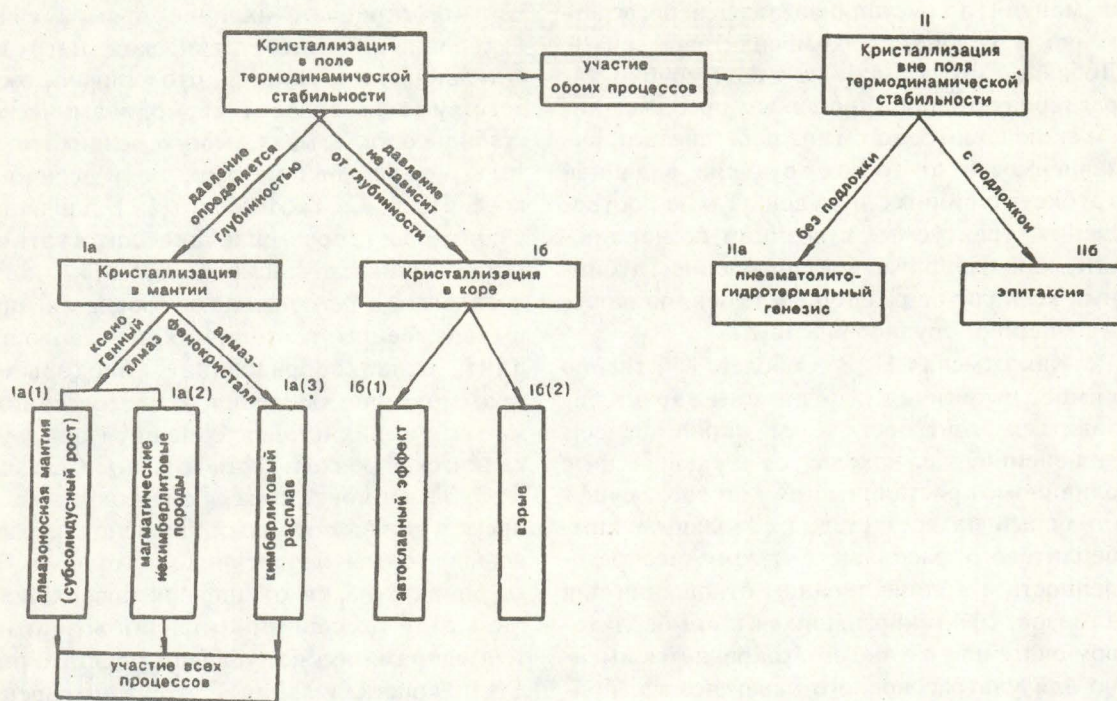


Рис. 1. Схема классификации гипотез природного алмазообразования

ли в кимберлит при дроблении аналогичных мантийных нодулей.

В последнее время гипотеза ксеногенного происхождения алмазов получила мощную поддержку и по данным абсолютной геохронологии [13]. Стали развиваться представления о древней алмазоносной мантии, становление которой происходило на ранних этапах эволюции планеты, опирающиеся на данные об исключительно древнем возрасте алмазов (свыше 3 млрд лет).

Оригинальный вариант ксеногенной гипотезы обоснован в последнее время в серии работ А. А. Маракушева [5, 6]. Он заключается в том, что алмазы кристаллизуются в ультраосновных и основных расплавах, возникающих в ходе эволюции глубинных мантийных магм. Потом, уже в коровых условиях, алмазоносные породы «замещаются» флюидными кимберлитовыми магмами. Таким образом, в соответствии с идеями А. А. Маракушева: 1) алмазы образуются как фенокристаллы при кристаллизации глубинных ультрабазит-базитовых магм; 2) алмазы (и другие минералы глубинного этапа кристаллизации) являются своеобразными релитами при замещении алмазоносных пород кимберлитами и, следовательно,

ксеногенны по отношению к последним. Эти два этапа формирования алмазоносности кимберлитов могут отделяться друг от друга различными по величине временными интервалами, в том числе и весьма значительными, что объясняет древний возраст алмазов, находящихся в гораздо более молодых кимберлитах.

Альтернативная ксеногенной группа гипотез рассматривает алмазы как глубинные интрателлурические вкрапленники, кристаллизовавшиеся в самой кимберлитовой магме. В «чистом» виде (все алмазы — кимберлитовые фенокристаллы), как это было сформулировано В. А. Милашевым, Е. В. Францесон и другими исследователями, данная гипотеза в значительной мере утратила популярность и теперь вопрос ставится следующим образом: кристаллизуются ли алмазы в самой кимберлитовой магме и если да, то каково их количественное соотношение с ксеногенными алмазами?

Ряд особенностей (своеобразие алмазов каждой кимберлитовой трубки, в том числе по морфологическим и цветовым признакам, существование включений алмаза в алмазе и зональных алмазов и т. д.) позволяет думать, что часть алмазов не захвачена

из мантии, а кристаллизовалась непосредственно в глубинном кимберлитовом очаге. Добавим, что алмазы из одной трубки характеризуются обычно явным преобладанием включений одного типа парагенезиса, вне зависимости от господствующих в данной трубке глубинных нодулей. Такие соотношения, трактуемые с позиций ксеногенности, как избирательное дробление глубинных ксенолитов различных типов, по нашему мнению, труднообъяснимы.

Как отмечал Н. В. Соболев, собственно кимберлитовые алмазы должны характеризоваться ультраосновным парагенезисом включений, т.е. находиться в равновесии с оливином, кристаллизация которого осуществлялась на всех стадиях эволюции кимберлитового расплава. Поэтому неопределенность в количественном отношении для алмазов, сформировавшихся в кимберлитовом очаге или же вне его, сохраняется именно для ультраосновного парагенезиса, причем верлитовый парагенезис Н. В. Соболев склонен считать более широко распространенным собственно в кимберлитах, чем в типичных ксенолитах.

Во многом сходные взгляды были высказаны Дж. Герни и другими (1979), а именно, что в трубке «Финш» присутствуют алмазы двух различных групп — молодые (с включением ультраосновного парагенезиса), кристаллизовавшиеся из кимберлитового расплава, и древние ксеногенные (с включениями эклогитового парагенезиса). Позднее, однако, изучение Sm-Nd-изотопии пиропов из алмазов трубки «Финш» показало, что они (ультраосновной парагенезис) имеют возраст 3,2—3,3 млрд лет [13]. По мнению С. Хаггерти [12], алмазы формировались на ранней стадии развития Земли при дегазации CH_4 , CO_2 , CO в виде высокотемпературных струй из нижней мантии и астеносферы. Диспропорционируя на контакте с более холодной литосферой, они образовали своеобразную «копоть» высокого давления (аналогично пятну копоты над открытым пламенем), т.е. такие алмазы имеют архейский возраст. Микроалмазы, представленные обычно октаэдрами без силикатных включений и признаков коррозии, кристаллизуются в самом кимберлитовом расплаве.

Авторы гипотез, обозначенных на рис. 1

как 1б, отрицают наличие прямой связи «давление — литостатическая нагрузка (глубинность)», полагая, что условия, соответствующие области термодинамической стабильности алмаза, могут возникать не только в верхней мантии, но и в земной коре. По В. С. Трофимову [10], давления, значительно превышающие литостатические, возникают в земной коре при многих локальных и региональных процессах, преимущественно тектонических (движение плит, складкообразование, блоковые и пульсирующие движения, землетрясения) и магматических (становление интрузий, вулканическая деятельность и т. п.). Согласно В. С. Трофимову, алмазы образовывались в промежуточных камерах щелочноультраосновной магмы на древних платформах на глубинах 3—5 км от дневной поверхности, где в силу тех или иных причин возникают термодинамические условия, достаточные для их кристаллизации. С этой точки зрения коренные месторождения алмазов в кимберлитах являются магматогенными месторождениями небольших глубин. Вероятность образования алмазов в камерах в верхних горизонтах земной коры, где вследствие «накачки» флюида с глубин создавалось высокое давление, была показана И. Я. Некрасовым и Н. С. Горбачевым.

Другой возможный путь создания избыточных температур и давлений в земной коре — взрыв или антивзрыв (кавитация). Однако все варианты взрывных гипотез в настоящее время представляются маловероятными, поскольку сейчас точно известны типоморфные особенности алмазов взрывного генезиса как природных, так и синтетических. Кимберлитовые алмазы такими свойствами не обладают.

В последнее время появились и «интегральные» гипотезы. Так, по мнению К. Н. Никишова [7], кимберлитовый процесс включает этап глубинного минералообразования, представленный ксенолитами ультраосновных пород, эклогитов и минералов, включенных в алмаз (а, следовательно, и самими алмазами). Плавление исходного вещества верхней мантии приводит к появлению кимберлитового расплава, кристаллизация которого в коровых условиях дает ассоциацию минералов порфировых выделений, куда входит и алмаз. Таким образом,

на первый взгляд К. Н. Никишов соглашается с мнением Н. В. Соболева, подчеркивая, что алмазы в кимберлитовые породы попадают при дезинтеграция алмазоносных ксенолитов, а также кристаллизуются непосредственно из кимберлитовых расплавов. Однако, по К. Н. Никишову, кристаллизация алмазов в кимберлитовом расплаве протекала в малоглубинных коровых условиях. К сожалению, предполагаемый механизм малоглубинного алмазообразования К. Н. Никишовым не рассматривается.

Гипотезы группы II опираются на представления о метастабильном росте алмазов, экспериментально изученном многими исследователями. Во всех опытах осуществлялось разложение углеродсодержащих газов (главным образом, метана) с последующим осаждением углерода на алмазную затравку, т.е. имело место явление эпитахсии. Реальность метастабильного алмазообразования послужила основой для разработки крайних точек зрения на формирование алмазов в близповерхностных условиях в ходе своеобразных пневматолито-гидротермальных процессов. Все эти гипотезы слабо обоснованы как фактическим, так и теоретическим материалом. Как подчеркивал Н. В. Соболев [9], авторы полностью опускают или неверно интерпретируют сведения по включениям в алмазах и алмазоносным ксенолитам.

Эти данные были развиты Р. Митчелом и Д. Крокетом [14], которые общую стадию алмазообразования представили следующим образом:

- частичное плавление мантийного слюдяного гранатового перидотита, образование насыщенной летучими кимберлитовой магмы;
- образование зародышей и рост алмазов как фенокристаллов в поле термодинамической стабильности алмаза;
- медленный подъем магмы, в ходе которого в зависимости от кинетических факторов алмазные зародыши либо сохраняются, либо растворяются или графитизируются;
- возникновение в верхних горизонтах мантии или в земной коре промежуточного очага, где происходит интенсивный метастабильный рост алмазов на существовавших к тому моменту алмазных

«затравках». Именно на этой стадии окончательно формируется «ансамбль» алмазов, специфичный для каждой трубки;

- образование диагены, резкое возрастание окислительного потенциала и прекращение роста алмазов.

Таким образом, современные гипотезы подразумевают многовариантность механизмов природного алмазообразования, и здесь оценка физико-химических условий формирования алмазосодержащих парагенезисов и их интерпретация на основе принципиальных природных и экспериментальных фактов должны иметь первостепенное значение.

Методика расчета температур и давлений для ультраосновных парагенезисов была изложена ранее [3]. С ее помощью обработан практически весь имеющийся на сегодняшний день материал по алмазосодержащим парагенезисам (ультраосновного типа) мира, включая данные по алмазоносным ксенолитам и включениям в алмазах (рис. 2).

РТ-область кристаллизации кимберлитовых алмазов довольно компактна и представляет собой (по наиболее достоверным определениям) вытянутый овал, занимающий несколько секущее положение по отношению к линии графит-алмаз. Область кристаллизации дискордантна по отношению к континентальной геотерме. Это свидетельствует, на наш взгляд, о том, что формирование алмазов связано не со стационарными мантийными процессами, а с процессами «аномальными», скорее всего, магматическими.

Переходя непосредственно к петрологической интерпретации диаграммы, выделим некоторые принципиальные факты, которые могут быть положены в основу петрологической модели алмазообразования:

— Г. П. Булановой [1] установлены закономерные изменения состава сингенетических включений, прежде всего оливина и клинопироксена, в объеме отдельно взятых кристаллов по зонам роста. Это позволило прийти к выводу, что алмазы кристаллизировались из силикатного расплава. Мы полностью разделяем эту точку зрения, считая, что данный вывод доказывается данными Г. П. Булановой вполне однозначно;

— экспериментальные данные по синтезу алмазов показали, что основным факто-

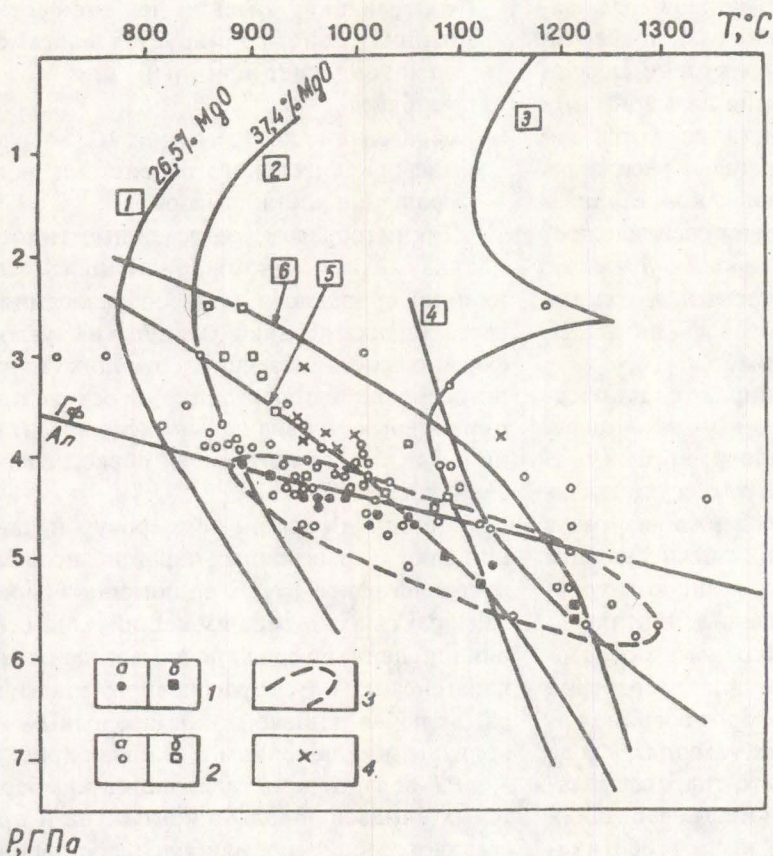


Рис. 2. Термодинамические условия формирования кимберлитовых алмазов (по данным термобарометрии включений в алмазах и алмазосодержащих нодулей):

1 — наиболее достоверные определения, 2 — менее достоверные определения (а — включения в алмазах, б — алмазосодержащие нодули); 3 — область кристаллизации алмаза по наиболее достоверным определениям; 4 — сродки с алмазами. Цифры в квадратах: 1, 2 — солидус системы перидотит— H_2O при переменном содержании MgO , по [4]; 3 — солидус системы перидотит— H_2O — CO_2 , по [15]; 4 — солидус кимберлитов Лесото, по [11]; 5, 6 — варианты континентальных геотерм

ром, контролирующим габитус кристаллов, является температура. При самых высоких температурах образуются плоскогранные октаэдры, при самых низких — кубы;

—исследования, проведенные сотрудниками ЦНИГРИ Г. А. Гуркиной, Г. К. Блиновой и Л. Н. Фроловой, показали, что временная эволюция габитусных форм алмаза протекала в последовательности: куб — кубоид — додекаэдр — зонально-секториальным строением — плоскогранный октаэдр — груболаминарный октаэдр — псевдоформы-додекаэдроид и куба. Эти выводы согласуются с более простой схемой В. В. Бескрованова, по которой эволюция габитусных форм в наиболее общем виде определяется переходом куб — октаэдр.

Если алмазы кристаллизовались из ультраосновного (для алмазов, сингенетических с минералами ультраосновного парагенезиса) силикатного расплава, то он не мог быть кимберлитовым, поскольку большая часть области кристаллизации расположена (по температуре) ниже солидуса системы перидотит — CO_2 — H_2O и солидуса кимберлита [11, 15]. Формирование «низкотемпературных» алмазов (800—900°C) возможно лишь, по экспериментальным данным Б. Майсена и А. Бетчера [4], из водонасыщенного перидотитового расплава. Однако некоторая часть алмазов могла, как это видно из рис. 2, кристаллизоваться непосредственно из насыщенного двуокисью углерода кимберлитового расплава.

В пределах области алмазообразования возможны два альтернативных варианта режима изменения PT -условий — постепенное снижение температур и давлений (например, в процессе кристаллизационной дифференциации) или постепенное их повышение (например, в ходе нарастания степени частичного плавления мантийного вещества). Судя по приведенным выше закономерностям изменения морфологии природных алмазов, второй вариант более реален, т.е. эволюция в ряду куб — октаэдр протекает на фоне возрастания температур и давлений. Эта тенденция определяет генеральную направленность эволюции, из которой возможны и исключения, особенно

когда речь идет об индивидуальных кристаллах алмаза.

Рассмотрим, как соотносятся между собой на PT -диаграмме область кристаллизации алмазов и области генерации кимберлитовых расплавов. PT -условия образования кимберлитовых магм рассчитывались на основе валового химического состава кимберлитов по разработанной нами методике [3]. Из рис. 3 видно, что по характеру расположения фигуративных точек составов изученные кимберлитовые тела можно разделить на две группы. Тренды трубок № 1, 2, 3 фактически являются непосредственным продолжением поля кристаллизации алмазов в область более высоких температур и давлений. На наш взгляд, это не случайно и свидетельствует о том, что алмазо- и кимберлитобразование, отличаясь термодинамическими параметрами, представляют собой звенья единого растянутого во времени петрологического процесса.

Для трубок № 4, 5, 6 наблюдается тенденция группирования точек в соответствии с конфигурацией солидуса системы перидотит — H_2O — CO_2 . Она слабо выражена для кимберлитов трубки № 4 (где подавляющее большинство точек составов лежит на продолжении «алмазного» тренда), более ясно проявлена для кимберлитов трубки № 5 и очевидна для трубки № 6, где кимберлитовые и «алмазные» тренды явно самостоятельны.

Эти две группы кимберлитов отличаются и по характеру алмазов. В первой преобладают додекаэдровиды, расположенные в эволюционном ряду слева от плоских октаэдров. Во второй группе в трубке № 4 резко преобладают октаэдры, в трубке № 5 к ним добавляется заметное количество кристаллов переходных форм ряда октаэдр — псевдокуб; последние становятся доминирующими в трубке № 6. Следовательно, во второй группе преобладают октаэдры и фор-

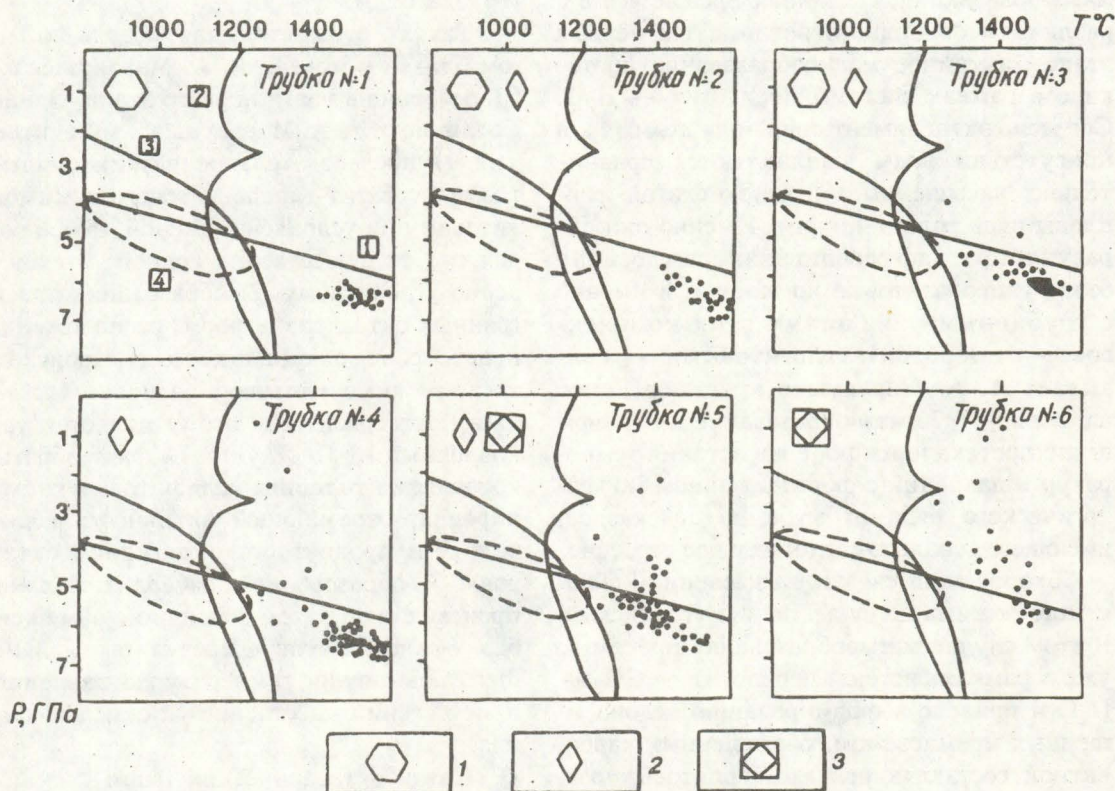


Рис. 3. Соотношения PT -параметров генерации кимберлитовых расплавов некоторых трубок и габитусных форм алмазов в них, с преобладанием:

1 — алмазов додекаэдрического габитуса; 2 — октаэдрического габитуса; 3 — алмазов ряда октаэдр-псевдокуб. Прочие условные обозначения см. на рис. 2

мы, расположенные в эволюционном ряду справа от них, причем этот сдвиг «вправо» тем больше, чем яснее проявлена для кимберлитов тенденция группировки составов в соответствии с конфигурацией солидуса системы перидотит — флюид.

Отсюда следует, что по крайней мере существенная часть плоскогранных октаэдров и переходных кристаллов ряда октаэдр — псевдокуб является собственно кимберлитовыми минералами, т.е. они кристаллизовались из кимберлитового расплава. На это указывают и включения магнезита в периферической части кристалла алмаза, свидетельствующие о том, что конечная стадия роста алмазов с ультраосновной ассоциацией включений характеризуется условиями, близкими к равновесию алмаз-магнетит [2], и обильные включения карбонатов во внешних зонах так называемых «кристаллов в оболочке».

Таким образом, отчетливо вырисовывается двухэтапность процесса природного алмазообразования, связанная прежде всего с различием флюидного режима. На первом этапе мантийное магмообразование протекало в рамках системы перидотит — H_2O . Согласно экспериментальным данным [4], в присутствии воды выплавляются сравнительно насыщенные кремнекислотой расплавы ряда толеит-пикрит. Именно они образуют при дифференциации расслоенные базит-гипербазитовые комплексы и именно с глубинными аналогами этих комплексов — гипербазит-эклогитовыми — связывает А. А. Маракушев кристаллизацию алмазов [6]. Алмазообразование на данном этапе протекало на фоне нарастания температур и давлений с формированием морфологического ряда от куба до додекаэдра, имеющего зонально-секториальное строение.

Второй этап связан с изменением флюидного режима на существенно углекислый. В этом случае магмообразование протекало уже в рамках системы перидотит — CO_2 — H_2O и привело к формированию недонасыщенных кремнеземом, обогащенных карбонатной составляющей кимберлитовых расплавов. Характер перехода от первого этапа ко второму может быть различным. Так, если он постепенный (добавка углекислоты незначительна и во флюиде $\text{H}_2\text{O} > \text{CO}_2$), то образующиеся кимберлиты бедны карбона-

том. В этом случае эволюционный тренд непосредственно продолжает тренд кристаллизации алмазов первого этапа в область более высоких температур и давлений. При этом, по-видимому, наследуется также и алмазоносность первого этапа, в кимберлитах преобладают додекаэдриды (трубки № 3, 4, 6). Если же флюидный режим менялся скачкообразно и $\text{CO}_2 > \text{H}_2\text{O}$, то образовывались высококарбонатные кимберлиты, в которых кристаллизовались алмазы октаэдрического габитуса. Алмазы первого этапа, формально являющиеся по отношению к кимберлитам ксеногенными, могут выступать в качестве затравок и обрастать октаэдрическими слоями (трубка № 1). К собственно кимберлитовому этапу следует отнести также груболаминарные октаэдры и псевдоформы додекаэдра и куба с волокнистым механизмом роста. Они преобладают в тех случаях, когда ведущая роль углекислоты проявлена наиболее отчетливо, а первый, «водный» этап магматизма редуцирован (трубка № 5).

Такая петрологическая модель во многом близка к модели А. А. Маракушева [5, 6], особенно в части первого этапа. Однако, в отличие от А. А. Маракушева, мы считаем, что: 1) последовательное развитие магматизма от базит-гипербазитового к кимберлитовому обусловлено сменой флюидного режима от существенно водного к существенно углекислому; 2) образование плоскогранных октаэдров и форм, расположенных правее их в эволюционном ряду, происходит в самом кимберлитовом расплаве (косвенным подтверждением этому является установленный И. П. Илупиным факт обратной корреляции толщины келифитовых кайм на пиробазах, отражающей активность воды и калия, и процентного содержания октаэдров); 3) образование кимберлитовых магм происходит не путем флюидного замещения базит-гипербазитов, а в результате дальнейшего повышения температур и давлений в присутствии существенно углекислого флюида.

Связь октаэдрических форм с существенно углекислой газовой фазой, а кубов и переходных форм с существенно водной подтверждается и данными по составу флюидной фазы в алмазах (по работам К. Мелтона и А. Жиардини). На рис. 4 для анализа

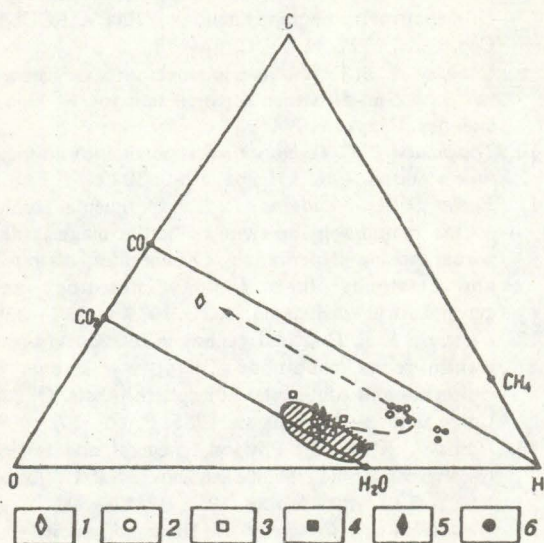


Рис. 4. Вариации химического состава флюидных включений в алмазах:

1 — уплощенные октаэдры (ЮАР); 2 — алмазы переходных форм (ЮАР); 3 — кубы (Африка в целом); 4 — кубы (Бразилия); 5 — октаэдры (Бразилия); 6 — алмазы переходных форм (Индия). Заштрихована область состава флюида из вулканических пород. Стрелками показаны направления изменений состава флюида для африканских (пунктир) и бразильских (точки) алмазов

химизма флюидов использована тройная диаграмма O — C — N, так как с ее помощью можно сравнить составы флюидов независимо от их компонентного состава. Кроме того, на диаграмму нанесены данные по составу газовой фазы в породах мантийного и корового генезиса.

Обращает на себя внимание тот факт, что различные вулканы (от базальтов до липаритов), приуроченные к самой разнообразной тектонической обстановке (траппы Сибири, андезитовые серии орогенных зон, базальты Байкальского рифта и Атлантики), образуют на диаграмме компактную область (овал), осью которой является коннода CO_2 — H_2O . Можно предположить, что крупномасштабный магматизм, независимо от геоструктурной обстановки его проявления, протекает при участии слабо варьирующего по составу флюида близкой к максимальной степени окисленности, т.е. в условиях стационарного потока летучих, обусловленного процессом глобальной дегазации Земли.

Вариации состава газовых включений в

алмазах значительно шире. Для африканских алмазов мы имеем весь ряд: куб — переходные формы — октаэдр. Составы флюидной фазы в кубических кристаллах попадают в основном в «магматический» овал и характеризуются максимальной степенью окисленности с преобладанием «водородной» составляющей (в данном случае воды). В переходных формах возрастает степень восстановленности флюида, по-прежнему с преобладанием «водородной» составляющей. Наконец, в октаэдрических кристаллах резко возрастает содержание «углеродной» составляющей ($\text{CO}_2 + \text{CO}$).

Для бразильских алмазов состав флюида определен лишь в кубах и микрооктаэдрах. Здесь разброс состава меньше, и для обеих габитусных форм точки попадают на границу «магматического» овала, однако и в этом случае при переходе от кубов к октаэдрам наблюдается обогащение флюидной фазы «углеродной» составляющей.

В целом кристаллы переходных форм и октаэдры (а именно они обычно преобладают в кимберлитах) образуют полосу, параллельную «магматическому» овалу, но смещенную в сторону более высоких содержаний углерода. Можно, таким образом, считать, что кимберлитовый магматизм развивается при участии флюида, аномально обогащенного углеродом (прежде всего, в виде CO_2 и CO). Поскольку суммарный объем кимберлитов всего мира ничтожен по сравнению с другими типами изверженных пород, можно предположить, что обогащение флюида углеродсодержащими компонентами проявляется в виде узколокальных флуктуаций на общем стационарном фоне дегазации Земли. В соответствии с экспериментальными данными, они приводят к местной карбонизации мантийного перидотита, в результате частичного плавления которого впоследствии возникают кимберлитовые расплавы.

Как отмечалось А. А. Маракушевым, выделяемые два этапа алмазопоявления могут быть очень длительными, что объясняет более древний возраст, по крайней мере, части алмазов. Однако следует особо подчеркнуть, что несмотря на это, они представляют собой неразрывные звенья петрологически единого процесса последователь-

ного развития глубинного флюидонасыщенного алмазоносного магматизма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буланова Г. П., Лескова Н. В., Павлова Л. А. Зональное распределение и эволюция состава сингенетических включений в алмазе // Физ. свойства и минералогия природного алмаза. Якутск: ЯФ СО АН СССР. 1986. С. 45—73.
2. Буланова Г. П., Павлова Л. А. Ассоциация магнетитового перидотита в алмазе из трубки «Мир» // Докл. АН СССР. 1987. Т. 295. № 6. С. 1452—1456.
3. Ваганов В. И., Соколов С. И. Термобарометрия ультраосновных парагенезисов. М.: Недра. 1988. 149 с.
4. Майсен Б., Беттчер А. Плавление водосодержащей мантии. М.: Мир, 1979. 273 с.
5. Маракушев А. А. Минеральные ассоциации алмаза и проблема образования алмазоносных магм // Очерки физ.-хим. петрологии. — М.: Наука, 1985. № 13. С. 5—58.
6. Маракушев А. А., Безмен Н. И. Эволюция метеоритного вещества, планет и магматических серий. — М.: Наука, 1983. 183 с.
7. Никишов К. Н. Петролого-минералогическая модель кимберлитового процесса. М.: Наука. 1984. 211 с.
8. Орлов Ю. Л. Полигенез и типоморфизм алмаза в кимберлитовых месторождениях // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1977. № 11. С. 64—73.
9. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. — Новосибирск.: Наука, 1974. 251 с.
10. Трофимов В. С. Геология месторождений природных алмазов. — М.: Недра, 1980. 302 с.
11. Egger D. H., Wendlandt R. F. Experimental studies on the relationship between kimberlite magmas and partial melting of peridotite // Kimberlites, diatremes and diamonds: their geology, petrology and geochemistry. Washington.; AGU, 1979. P. 330—338.
12. Haggerty S. E. Diamond genesis in relation to upper mantle redox conditions // Native elements in meteorites and continental lithosphere. Abstr. Of All-Union Conf. — Novosibirsk. 1985. P. 16—17.
13. Harris J. W. Recent Physical, chemical and isotopic research of diamond // Mantle xenoliths (ed. P. H. Nixon). New York.: J. Wiley & Sons, 1987. P. 477—500.
14. Mitchell R. H., Crockett J. H. Diamond genesis — a synthesis of opposing views // Mineral. Deposita. 1971. V. 6. N 4. P. 392—403.
15. Wyllie P. J. The origin of kimberlite // J. Geophys. Res. 1980. V. 85, 12. P. 6902—6910.

V. I. Vaganov

PETROLOGICAL MODEL OF DIAMOND FORMATION

Thermodynamic conditions of natural diamonds crystallization as well as generation of the kimberlite melt are calculated. Double stages of the diamond generation, caused by various fluid regime - mainly aqueous on the first stage and carbonatidic-aqueous on the second stage - are established.



ЦНИГРИ

ПОИСКИ АЛМАЗОНОСНЫХ ТРУБОК КОМПЛЕКСОМ АЭРО-НАЗЕМНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ

Методика основана на выявлении аэро и наземными электромагнитными методами аномальных значений магнитной проницаемости и электропроводности алмазоносных трубок.

Технология работ включает проведение площадных аэрогеофизических съемок электромагнитной аэрокомплексной станцией ЭМАКС на самолете АН-2, имеющей магниторазведочный канал с измерением вектора магнитной индукции магнитного поля Земли и электроразведочный канал с измерением эллипса поляризации низкочастотного электромагнитного поля.

Выявляемые аномальные характеристики полей детализируются наземными электромагнитными методами: дипольным индуктивным профилированием и зондированием, двухпетлевым индуктивным методом и методом естественного электромагнитного поля. Используются высокопроизводительные виды компьютеризированной электроразведочной аппаратуры.

Реализация методики позволяет выявлять перспективные участки по аномальным характеристикам магнитной проницаемости и электропроводности, связанные с алмазоносными трубками.

Результаты работ представляются в виде геоэлектрических профилей, разрезов и глубинных карт, профилей и карт аномального магнитного поля, схем геолого-геофизической интерпретации с выделением перспективных участков.

Методика опробована в Архангельской провинции с обнаружением алмазоносных трубок.

Вид реализации — инжиниринг.

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 «Б», ЦНИГРИ,
Телефон: (095) 313-18-18, Телетайп: 114142 АДУЛЯР,
Факс: (095) 315-27-01, Телекс: 411700 PTB SU TSNIIGRI 2901



ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

МЕТОДИКА ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ АЛМАЗОНОСНЫХ ТРУБОК ВЗРЫВА В СЛОЖНЫХ ОБСТАНОВКАХ

Ведущими учеными и специалистами ЦНИГРИ на основе детального изучения коренных месторождений алмазов Якутии и новой алмазоносной провинции в Европейской части России с учетом мирового опыта разработана эффективная методика локального прогноза алмазоносных трубок взрыва в сложных поисковых ситуациях при значительной мощности перекрывающих отложений. Методика обеспечивает прогноз и обнаружение «запечатанных» алмазоносных трубок при слабой контрастности их отражения в шлихо-минералогических и геофизических полях.

Методика основана на закономерностях размещения месторождений и критериях алмазоносности, выраженных в комплексе геологических, геофизических и минералогических факторов.

Технология включает морфоструктурный, литолого-фациальный анализ потенциально алмазоносных площадей, специальные виды шлихоминералогического опробования и анализа, специализированные магнитометрические и электроразведочные исследования оригинальной аппаратурой в аэро-, наземном и скважинном вариантах и интерпретацию их результатов.

Реализация технологии позволяет в сжатые сроки и при сравнительно небольших затратах выявить «аномалии трубочного типа» и обосновать места заложения буровых скважин или горных выработок.

Результаты работ представляются в виде комплекта специализированных карт масштаба 1:25 000 – 1:10 000 с выделением перспективных участков и размещением рекомендуемых к проходке скважин и выработок. Картографические материалы сопровождаются краткой пояснительной запиской.

Методика апробирована при локальном прогнозе и поисках погребенных алмазоносных тел на территориях Сибирской и Восточно-Европейской платформ, в том числе и в обстановках, аналогичных обрамлению блока Кимберли на Австралийском щите. Реализация методики привела к обнаружению ряда новых диатрем с промышленными запасами алмазов: Архангельской, Пионерской, Снегурочки, Чидвинской, Апрельской в Европейской части России и 30 лет Айхала – в Якутии.

Вид реализации – инжиниринг.

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 «Б», ЦНИГРИ
Телефон: (095) 313-18-18
Телетайп: 114142 АДУЛЯР
Факс: (095) 315-27-01
Телекс: 411700 PTB SU TSNIGRI 2901

УДК 553.411.001.57

СТРАТИФОРМНОЕ ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ — ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ РУДООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ

М. М. КОНСТАНТИНОВ (ЦНИГРИ)

Рассмотрено состояние моделирования рудообразующих систем применительно к стратиформным месторождениям золота. Охарактеризованы модели гидротермально-осадочного, вулканогенно-осадочного и метаморфогенного рудообразования. Показано значение пересмотра генезиса уникального месторождения Витватерсранд. Подчеркнута важность экспериментальных исследований по миграции золота и литолого-фациального анализа рудовмещающих комплексов.

Проблема сингенеза рудных и рудовмещающих формаций, в значительной степени разработанная для месторождений цветных металлов, для месторождений золота приобрела актуальность лет 15—20 назад в связи с резким изменением экономической конъюнктуры и вовлечением в отработку большеобъемных руд с низкими концентрациями металла.

В настоящее время как в нашей стране, так и за рубежом, идет активная разработка генетических моделей стратиформных золоторудных месторождений, с помощью которых не только можно было бы объяснить конкретные геологические ситуации, но и сформулировать эффективные критерии прогноза и поисков этого типа месторождений. Все разнообразие обсуждаемых в настоящее время вариантов генетических моделей может быть сведено к трем группам: гидротермально-осадочного рудообразования; вулканогенно-осадочного рудообразования; осадочно-метаморфического (метаморфогенного) рудообразования.

Модели гидротермально-осадочного рудообразования

Принципиальными следует считать высказывания ряда исследователей месторождения Витватерсранд, дающего около 50% всей мировой добычи золота, о возможном гидротермально-осадочном происхождении его руд. «Палеорусловая» модель, обще-

признанная в течение последних 30 лет, противоречит ряду фундаментальных представлений. Так, в связи с нахождением ископаемых остатков, подвергается все большему сомнению постулат о бескислородной атмосфере архея, с помощью которого снимались некоторые противоречия палеорусловой модели. Подтверждается справедливость высказывания В. И. Вернадского о том, что «... в данных современной минералогии мы не имеем ни одного факта, который бы указывал на изменения в составе атмосферы в ее современном состоянии... поэтому мы можем считать, что в пределах геологических эпох состав воздуха был в общих чертах тем, каким мы его наблюдаем ныне». По мнению физиков-теоретиков возможен механизм абиогенного накопления кислорода в атмосфере за счет расщепления H_2O и фотопроцессов [1].

Ряд других важных моментов не объясним моделью палеорусел:

- геохимические ассоциации $Au-S-Fe-As-C$ и $U-C-Ti$;
- обогащенность самородного золота ртутью (1—4%) и его мелкая размерность, не соответствующая размерности золота в россыпях и в целом отвечающая таковой в месторождениях архейских зеленокаменных поясов [12];
- обогащение золотом глинистых составляющих разреза (до 0,1—1 г/т) на площадях в сотни $км^2$;
- тектоническое развитие впадины Витватерсранд, во время которого выделяется шесть импульсов опускания, зафиксиро-

ванных несогласными налеганиями горизонтов конгломератов,

- завершение формирования впадины излиянием андезито-базальтов системы Вентерсдорп, «запечатавших» ее и перекрывших золотоносные горизонты, что говорит о высокой энергетике процесса формирования впадины;
- наличие в основании депрессии разломов, которые могли определять положение осевых частей палеорусел. Такие разломы близмеридионального простирания, с которыми пространственно совпадают конгломераты, установлены в пределах Оранжевой республики, где ведется поиск погребенных месторождений;
- наличие в основании впадины гранитоидов, вскрытых глубокими скважинами; верхние части гранитоидных тел изменены метасоматическими процессами, при этом содержания золота в метасоматитах достигают 5 г/т. Абсолютный возраст гранитоидов синхронен формированию рудовмещающих толщ Витватерсранда.

В настоящее время Р.Хатчинсоном выдвинута гидротермально-осадочная модель формирования золотоносных конгломератов [13]. Р. Хатчинсон обратил внимание на наличие латеральной зональности: вблизи рудоподводящих каналов развиты зоны сульфидизации, а на удалении — в области развития древних водорослевых скоплений — концентрируется золото. Им описаны также нитевидные структуры золота в алевролитовых пластах, являющиеся псевдоморфозами по древним водорослям, что говорит о хемогенной концентрации по крайней мере части золота.

Нам представляется, что обогащенные кремнеземом золотоносные гидротермальные растворы частично непосредственно цементировали русловые фации конгломератов, частично поступали в мелководный морской бассейн и обогащали золотом и кремнеземом горизонты кремнистых сланцев и песчаников. При тектонических импульсах происходили частичный размыв и переотложение золота, обогащавшего нижние горизонты, как и поступление новых порций растворов. Нараставшее прогибание

впадины и активизация структур растяжения обусловили вскрытие глубоких магматических камер и поступление лав андезито-базальтов, завершивших длительный период формирования рудоносной структуры.

Представляется, в первом приближении, что эта гипотеза снимает многие противоречия и ограниченность «палеорусловой» модели, сохраняя ее практическое значение при детальных поисках обогащенных рудоносных горизонтов. Важно подчеркнуть, что эта гипотеза открывает также принципиально новые подходы к прогнозу месторождений типа Витватерсранд в нашей стране.

Гидротермально-осадочная модель рудообразования разработана коллективом авторов на примере стратиформного золото-кварцевого оруденения во флишеидных пермо-карбоновых толщах Южного Верхоянья [6]. В этом исследовании выделим три принципиальных положения:

- золото-опалитовое вещество находилось *in situ* в еще недиагенезированном осадке и вместе с ним участвовало в гравитационной складчатости;
- формирование рудовмещающей толщи происходило в активном тектоническом режиме, с чем связаны характерные пятнистые текстуры пород, получившие название «мусорных» алевролитов;
- рудовмещающая толща алевро-песчаников на протяжении десятков километров характеризуется повышенными концентрациями золота, мышьяка и висмута; установлены осадочные послойные выделения арсенопирита.

В предпринятой автором разработке гидротермально-осадочной модели стратиформных золото-кварцевых месторождений [2], составляющих обширную группу, в том числе с крупными и уникальными объектами, наиболее важно исследование истории геологического развития палеоструктур: обоснование (с помощью литолого-фациального анализа) конседиментационного развития прогиба как структуры, определяющей рудное поле; установление активной роли конседиментационных разломов в размещении фаций и мощностей; установление верхних возрастных геологических реперов золото-кварцевого оруденения.

Модели вулканогенно-осадочного рудообразования

К настоящему времени достаточно убедительно обосновано эксгальационно-осадочное происхождение ряда золото-сульфидных месторождений [9], золотоносных железистых кварцитов [10], эпитермальных золото-серебряных месторождений, связанных с вулканическими постройками, формирующимися на дне морского бассейна [8]. Принципиальным в этом плане является исследование Томиша [16] по одному из крупнейших месторождений Голден Майл в архейском зеленокаменном поясе Австралии, ранее традиционно считавшемся эпигенетическим, связанным с зонами расланцевания. На основании палеофациального анализа и реставрации длительной и многоэтапной истории развития рудного поля этот автор обосновал положение о первоначальном накоплении золота на склоне палеовулкана в изолированной депрессии (рис. 1), последующем наложении складчатых и разрывных деформаций, определивших современный облик месторождения.

В обобщенном виде намечаются следующие позиции стратиформных вулканогенно-осадочных месторождений (рис. 2).

1. Близканальные месторождения, располагающиеся вблизи центра вулканической деятельности, связанные с завершающими ее гидротермальными эманациями. Они характеризуются интенсивными гидротермально-метасоматическими преобразо-

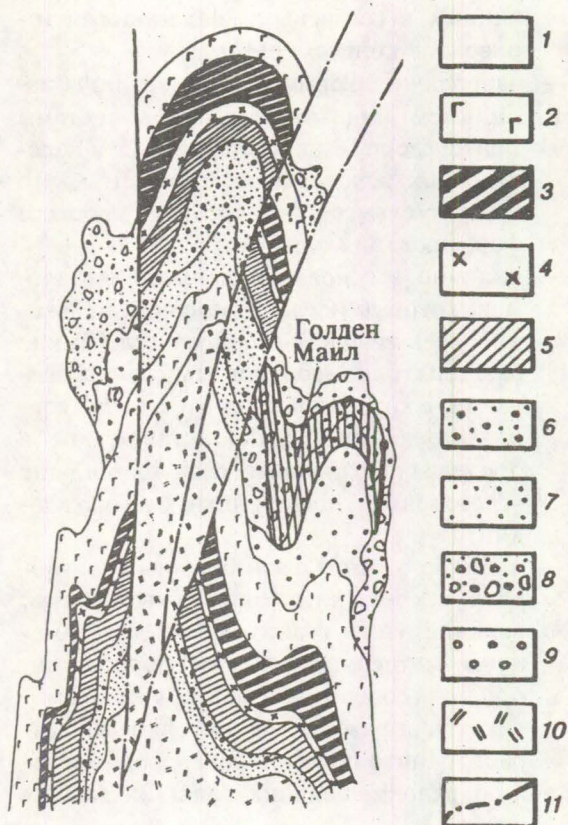


Рис. 1. Региональный разрез через месторождение Голден Майл (по Томишу, 1986).

1 — черные сланцы; 2 — долериты Голден Майл; 3 — базальты-I; 4 — базальты-II; 5 — серпентиниты; 6 — долериты Энт Энд; 7 — базальты-III; 8 — кварцево-долеритовые зеленокаменные породы; 9 — известковистые сланцы; 10 — фельзитовые туфы; 11 — крупные разломы

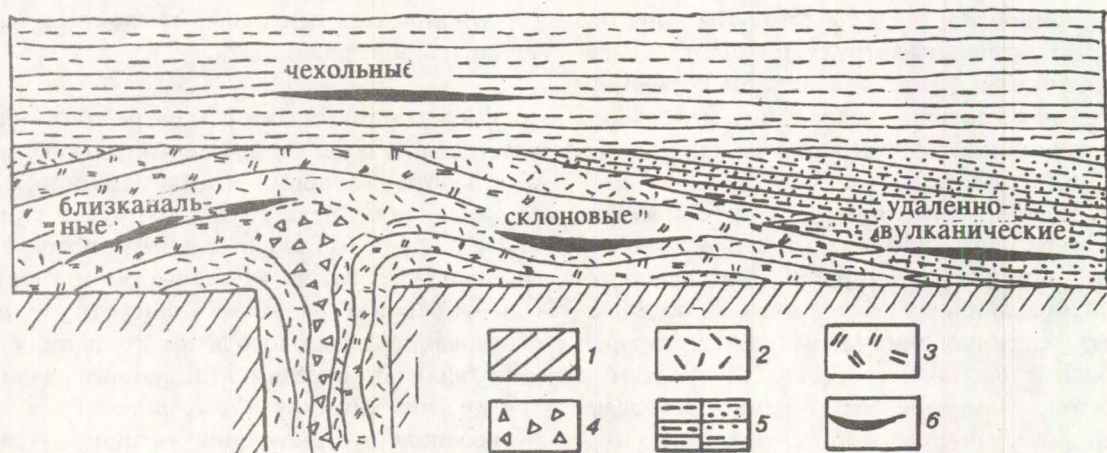


Рис. 2. Схема размещения стратиформного оруденения в связи с вулканическими сооружениями.

1 — породы фундамента; 2 — лавы; 3 — туфы; 4 — жерловые фации; 5 — глинистые сланцы (а), с туфовым материалом (б); 6 — рудные залежи

ваниями пород, иногда непосредственно переходят в крутопадающие «ножки» гидротермального происхождения.

2. Склонные месторождения, расположенные на склонах вулканов и локализуемые в палеодепрессиях с характерными обломочными, известковыми и кремнистыми фациями (лахаровых брекчий, известковых туфов, кремнистых сланцев и т.д.).

3. Удаленно-вулканические месторождения, формирующиеся на удалении от вулкана, в субмаринных глинистых фациях, обогащенных туфовым материалом. Такие месторождения (например, Пуэбло Вьехо в Доминиканской республике) утрачивают характерные признаки «вулканогенных», сохраняя с ними лишь пространственные ассоциации.

В этой связи интересно отметить, что некоторые золото-кварцевые месторождения в терригенных толщах, не относящиеся к стратиформным, (например, Ветренское в Центрально-Колымском районе), приурочены к туфитовым, либо вулканомиктовым горизонтам.

4. Чехольные стратиформные месторождения, связанные с частичным размытием уже сформировавшейся рудоносной вулканической постройки и переотложением в перекрывающей толще. Обогащение золотом перекрывающих горизонтов, даже и не достигающее промышленных концентраций, может явиться индикатором скрытых рудных залежей в вулканическом комплексе. Наибольший интерес представляет поиск «ореольных» залежей на основе палеофациального анализа вулканических образований. В этом смысле периферические части многих рудоносных вулканоструктур заслуживают дополнительного изучения.

Современные экспериментальные данные о высаживании микрочастиц золота бактериями и его сорбции глинистыми частицами [3, 7] позволяют поставить вопрос о возможности собственно-осадочных промышленных концентраций. Исходя из этих исследований, пик таких концентраций на палеофациальном профиле континентального склона Н. М. Страхова [5] должен приходиться на границе глинистых и карбонатных фаций. Эта часть склоновых отложений соответствует близконтинентальным периферическим частям угленосных, фос-

форитовых, марганцевоносных и железорудных бассейнов, а также центральным частям месторождений бокситов. Несомненно, проблема осадочного рудообразования для золота заслуживает дальнейшей разработки.

Модели осадочно-метаморфогенного рудообразования

Это направление наиболее детально разработано в трудах В. Г. Гарьковца, В. А. Буряка и многих других исследователей. В качестве элементов модели этого типа устанавливаются: фиксации золота биогенным веществом в осадочном процессе; накопление золота в сульфидах диагенетического этапа; возможность значительного экстрагирования золота из осадочных сульфидов на стадиях катагенеза и раннего метаморфизма; стадийное концентрирование золота в метаморфическом процессе (исследования Н. А. Созинова и Н. П. Ермолаева). Намечена и общая линия смены золотом «вещества-хозяина» в осадочно-метаморфическом процессе: биогенное вещество — сера — кремнезем. Основная проблема, препятствующая широкому признанию и практическому применению осадочно-метаморфической модели, — локальность рудных концентраций на фоне чрезвычайно широкого развития потенциально рудоносных геологических формаций и фаций регионального метаморфизма. Сложность выявления механизма локальных концентраций «внутри» модели и необходимость привлечения дополнительных факторов (термокупола, эпигенетические процессы и т.п.) являются слабыми сторонами осадочно-метаморфогенной гипотезы применительно к золоту в ее современном состоянии.

Все изложенное свидетельствует о том, что разработка генетических моделей стратиформного рудообразования находится в целом на качественном уровне, и только отдельные их «подэлементы» могут иметь количественное описание.

Отметим позиции, разработка которых имеет основное значение для создания генетических моделей стратиформного рудообразования применительно к золоту.

Эпохи рудонакопления. Возвращаясь к опыту, накопленному при изучении страти-

формных месторождений других металлов, следует отметить наличие четко проявленных эпох рудообразования, прослеживающихся в различных регионах. Так, для стратиформных месторождений типа Миссисипи-Миссури в доломитовых толщах выделяется эпоха D_3-C_1 , к которой приурочены месторождения Азии, Америки и других регионов. Важнейшие эпохи рудонакопления можно наметить и для стратиформных месторождений золота. Это: ранний и поздний протерозой (Хоумстейк в США, Енисейский кряж и др.), ордовик-силур (провинции западной Австралии, штата Невада, США и др.), верхний карбон-ранняя пермь (Восток России, Казахстан и др.), возможно, триас. Возникновение таких глобальных эпох стратиформного рудонакопления связывается с благоприятными условиями для формирования рудоносных геологических формаций, а в более широком плане, вероятно, с пульсационной моделью развития Земли, разрабатываемой Е. Е. Милановским и другими тектонистами.

Выделение глобальных и региональных эпох рудонакопления открывает новые подходы к прогнозированию месторождений. В этом плане очень интересное исследование выполнил Спенсер Титли [15]. Он выделил два цикла концентрации золота в осадочных породах фанерозоя: эоцен-олигоцен и юра-мел и показал, что они соответствуют периодам максимального накопления субмаринных колчеданных залежей. С. Титли считает, что такое совпадение объясняется обогащением в эти эпохи морских бассейнов золотом и, соответственно, первичным обогащением осадочных пород, претерпевших значительные перегруппировки при последующем метаморфизме.

Структурная позиция. Известна приуроченность оруденения к конседиментационным прогибам, в ряде случаев «обращенным» и осложненным штамповыми и купольными наложенными дислокациями. Наличие локальных замкнутых палеовпадин явилось, видимо, необходимым элементом первичного концентрирования рудного вещества, независимо от его дальнейшей более или менее сложной эволюции. Другой характерный структурный элемент — надвиги и межформационные срывы. Их развитие обусловлено, вероятно, повышенной анизот-

ропией части разреза, к которой приурочено оруденение. Детальное изучение надвигов и распределения минерализации на разведываемых месторождениях (например, Карлин) показывает, что первоначальное представление об экранирующей роли надвигов было ошибочным. Вероятно, их возраст послерудный.

Экспериментальные исследования. Дефицит геологических и экспериментальных данных о первично-осадочном концентрировании золота, роли соединений углерода и серы в этом процессе определяет уровень современных знаний. Многие исследования были сосредоточены в «радиусе действия» промышленных, иногда крупных месторождений и не являются, строго говоря, вполне корректными. Необходим «чистый эксперимент»: исследование буроугольных месторождений, горючих сланцев и т. п., без признаков наложенной гидротермальной деятельности.

Геохимические барьеры. Проблема геохимических барьеров как возможных промежуточных концентраторов золота в рудоносных толщах в стадии диагенеза и катагенеза имеет принципиальное значение. Ранее отмечалась приуроченность стратиформного золотого оруденения к палеоклиматическим областям смены гумидного климата аридным, проявленной в сочетании карбонатного и орогенного (углистого, битуминозного) вещества в рудоносных горизонтах широкого спектра рудных формаций [2]. В совокупности с данными В. А. Буряка и многих других исследователей о значительном выносе золота из областей первичного накопления на стадиях диагенеза и раннего катагенеза, это наблюдение позволяет предположить, что внутриформационные геохимические барьеры возникают при смене кислотно-щелочного режима, и в этих участках могут образоваться вторичные сингенетично-эпигенетичные концентрации металла.

Такие геохимические барьеры могли возникать на сопряжении прибрежно-морских и дельтовых, либо озерных и лагунных фаций. Так, палеогеография рудоносных верхнетриасовых медистых песчаников, включающих повышенные концентрации Pt, Ag, Au, определяется их приуроченностью к обрамлениям конусов выноса, как и фациям с повышенной известковистостью [11].

Детально исследовав палеоруслу золотоносных рифов месторождения Витватерсранд, А.Баттон [10] обосновал большое значение сочетания известково-карбонатного и органического материала как наиболее благоприятного фактора концентрации золота. Принимая гипотезу дельтового происхождения золотоносных конгломератов, этот исследователь допускает ведущую роль в карбонатообразовании известковистых водорослей, развивавшихся на поверхности галек. Образование галек связывается с периодами многоводья, а отложения карбонатного материала — с периодами малой обводненности. Отложение крупногалечного и дезинтегрированного материала, обогащенного органикой, на геохимическом барьере повышенной известковистости способствовало аккумуляции Au и U из растворов.

Проблема регенерации рудного вещества. При наличии несомненных данных о процессах растворения первичного золота в длительном полистадийном или полиэтапном рудном процессе, отсутствие надежных признаков различия регенерированного и привнесенного золота не позволяет количественно оценить значение процессов регенерации в сингенетично-эпигенетичном рудообразовании.

Фациальный анализ рудовмещающих формаций. Несомненно, большим тормозом в разработке проблемы является недостаточная литолого-фациальная, петрографическая и геохимическая исследованность рудоносных вулканических и, особенно, углестерригенных комплексов. В этом обстоятельстве кроется, по нашему мнению, причина того, что для таких месторождений чрезвычайно широк спектр генетических гипотез для одних и тех же объектов — от гипотезы газово-мантийных струй до гипотезы осаждения металла на дне морского бассейна.

Из сказанного очевидно, что разработка достаточно строгих генетических моделей стратиформного рудообразования примени-

тельно к золоту потребует еще значительных целеустремленных комплексных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов А.Ю. Кислород на Земле был всегда // *Химия и жизнь*. 1989. № 4. С. 33—36.
2. Константинов М.М. Золотое и серебряное оруденение стратиформного типа // *Тр. ЦНИГРИ*. 1985. Вып. 180. С. 3—12.
3. Овчаренко Ф.Д., Ульберг З.Р. Механизм биогенного формирования аутигенного включения золота в тонкодисперсных осадках // *Докл. АН СССР*. 1985. Вып. 284. № 3. С. 711—713.
4. Ручкин Г.В., Дерюгин Ю.Н. Золотоносность раннедокембрийских железистых кварцитов. Обзор ВИЭМС. Вып. 1. 1988. 55 с.
5. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М. — Наука. Ч. I, II. 1962.
6. Факторы локализации стратиформного золото-кварцевого оруденения. Константинов М.М., Косовец Т.Н., Орлова Г.Ю. и др. // *Геология рудных месторождений*. № 5. 1988. С. 59—69.
7. Фишер Э.И., Фишер В.П. Роль гумусовых кислот в процессах сорбции золота морскими осадками // *Литология и полезные ископаемые*, 1984. № 5. С. 77—82.
8. A caribbean epithermal gold deposits // *Mining J.*, 1988, 310, № 7974. 507 p.
9. Barnett E. Geology of Agnico-Ecaque gold deposits, Quebec // *Geol. Assoc. of Canada. Special Paper*, 1982. Vol. 25. P. 403—426.
10. Batton A. Transvaal and Hamersley basin / Review of Basin Development and Mineral deposits. *Mineral Sci. Vol. 8*. № 4, 1976.
11. Dill H.G. Diagenetic and Epigenetic U, Ba, and Base Metal Mineralization in the Arenaceous Upper Triassic «Burgsanstein», Southern Germany. *Mineralogy and Petrology*. 1988. № 39. P. 93—105.
12. Hutchinson R.W. Metallogeny of Precambrian gold deposits / Space and time relationships // *Econ. Geol.* 1987. 82. № 8. P. 1993—2007.
13. Hutchinson R.W., Viljoen R.P. Re-evaluation of gold source in Witwatersrand ores // *S. Afr., Geol.* 1988. 91 (2). P. 157—173.
14. Phillips G. Neil, Russell E. Myers, Judy A. Palmer. Problems with the placer model for Witwatersrand gold // *Geology*. 1987. V. 15. P. 1027—1030.
15. Titley S.R. Phanerozoic ocean cycles and sedimentary-rock-hosted gold ores // *Geology* // 1991. 19. № 6. P. 645—648.
16. Tomish S.A. An outline of the economic Geology of Kalgoorlie, Western Australia. // *Trans. Geol. Soc. S. Afr.*, 89. 1986. P. 35—55.

М. М. Konstantinov

STRATIFORM GOLD MINERALIZATION-ACHIEVEMENTS AND PROBLEMS OF OREFORMING SYSTEM MODEL CONSTRUCTION

State of oreforming system modelling applicable to stratiform gold deposits is considered. Models of hydrothermal, volcanic-sedimentary and metamorphogenetic oreforming systems are characterized. Significance of reconsideration of genesis of the unique Witwatersrand deposit is shown. Importance of experimental investigation of gold migration as well as lithological-facies analysis of ore enclosing complexes is emphasized.



ЦНИГРИ

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

**МЕТОДИКА ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗА ЗОЛОТОГО
ОРУДЕНЕНИЯ В ДОКЕМБРИЙСКИХ ТОЛЩАХ**

Ведущими учеными и специалистами ЦНИГРИ на основе изучения докембрийских золоторудных месторождений СНГ и обобщения мирового опыта разработана эффективная методика локального прогноза золотого оруденения в докембрийских толщах.

Методика основана на закономерностях размещения месторождений и прогнозно-поисковых критериях, выраженных в комплексе геологических и геофизических факторов.

Технология работ включает литолого-фациальный и литогеохимический анализ потенциально золотоносных толщ, специализированные магнитометрические и электроразведочные исследования и интерпретацию их результатов.

Реализация технологии позволяет в короткие сроки и при минимальных затратах выявить потенциально рудоносные зоны, оценить их прогнозные ресурсы, обосновать места заложения первоочередных буровых скважин или горных выработок.

Результаты работ представляются в виде комплекта специализированных карт масштабов 1:25 000 – 1:10 000, составляющих обоснование для прогноза, с выделением различных по перспективности участков и размещением рекомендуемых к проходке скважин и выработок. Картографические материалы сопровождаются краткой пояснительной запиской.

Методика апробирована при локальном прогнозе и поисках золотого оруденения в архейских и протерозойских структурах России и Украины, в том числе в обстановках, аналогичных Австралийскому и Канадскому щиту. Реализация методики привела к обнаружению новых промышленных месторождений золота и к расширению масштабов ранее известных рудопроявлений.

Вид реализации – инжиниринг, ноу-хау.

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 «Б», ЦНИГРИ
Телефон: (095) 313-18-18
Телетайп: 114142 АДУЛЯР
Факс: (095) 315-27-01
Телекс: 411700 PTB.SU TSNIGRI 2901

Отечественная ГЕОЛОГИЯ

Уважаемые коллеги!

Журнал <Отечественная геология>, основанный академиком И. М. Губкиным 60 лет назад, сохраняет лучшие традиции сотрудничества геологов разных стран и регионов.

В 1994 году журнал продолжит публикацию статей, посвященных развитию приоритетных направлений геологической науки и практики, передовым методам прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых. Будут освещаться результаты изучения геологического строения различных регионов, окраинных и внутренних морей и Мирового океана; развитие минерально-сырьевой базы, глубинное строение Земли, проблемы геоэкологии, экономика геологоразведочных работ в условиях рынка.

Учредители журнала — Комитет по геологии и использованию недр Российской Федерации, Российское геологическое общество, Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, Геолбанк — и редколлегия приглашают к сотрудничеству отечественных и зарубежных исследователей и предпринимателей, а также другие журналы.

Журнал публикует рекламу научных и производственных разработок на льготных условиях.

Подписка на 1994 год проводится через редакцию журнала. Цена подписки на год для индивидуальных лиц 2400 р., для организаций России 6000 р., для организаций стран СНГ 8000 р. с учетом почтовых расходов.

Оплату подписки просим переводить на счет ЦНИГРИ в Коммерческом Интерпрогрессбанке г. Москвы, р/с 208620 МФО 201508, корреспондентский счет 402161100 (для организаций) или высылать переводом по адресу редакции: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 б, ЦНИГРИ, редакция журнала <Отечественная геология>. Тел. 315-28-47.

Зарубежные читатели могут подписаться через АО <Международная книга> по адресу: Российская Федерация, 117049, г. Москва, ул. Б. Якиманка, 39 или через фирму <Факсон> по адресу: Российская Федерация, 115533, г. Москва, ул. Садовники, 4.

УДК 553.491

ОБСТАНОВКИ НАХОЖДЕНИЯ ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ФОРМАЦИЯХ

В. Д. КОНКИН, Г. В. РУЧКИН, О. Б. БУКИНГА, В. В. КУЗНЕЦОВ
(ЦНИГРИ)

Систематизированы литературные сведения и результаты исследований авторов по оценке платиноносности черносланцевых толщ различных регионов мира. Приведены краткие характеристики объектов Китая, Канады, Карелии, Джунгарского Алатау, Северного Прибайкалья и др. Дана типизация обстановок нахождения черносланцевых толщ с платинометалльным типом оруденения.

Углеродистые черносланцевые породы являются уникальным гесхимическим аккумулятором широкого спектра элементов — фосфора, ванадия, золота, серебра, свинца, цинка, меди и других. В последнее десятилетие в черносланцевых формациях выявлены месторождения, проявления и аномально высокие содержания элементов платиновой группы (ЭПГ) [1, 2, 3, 4, 6, 7, 11, 12, 13, 14 и др.]. Платина, палладий и другие ЭПГ сопровождаются молибденом, никелем, медью, цинком, ураном, ванадием, селеном, а также золотом и серебром. Набор перечисленных элементов определяет в целом состав руд этих комплексных объектов, но их содержания варьируют в широких пределах (от близких к кларковым для углеродистых пород до промышленных концентраций) как в разных месторождениях, так и в рудных телах одного и того же месторождения. По ассоциации ЭПГ с другими элементами могут быть выделены следующие типы платинометалльного оруденения в черносланцевых формациях: цинк-молибден-никелево-платиноидный, молибден-уран-ванадий-платиноидный и золото-платиноидный.

Учитывая широкое развитие черносланцевых пород в различных геологических ситуациях, выявление обстановок нахождения комплексного платинометалльного оруденения в черносланцевых формациях имеет актуальное значение для выработки научно обоснованных направлений прогноза и поиска рассматриваемого оруденения.

В основу настоящей работы положены

систематизированные литературные материалы, а также результаты исследований авторов по оценке платиноносности черносланцевых толщ некоторых колчеданонесных рудных районов Северного Прибайкалья, Енисейского края и Джунгарского Алатау.

Цинк-молибден-никелево-платиноидное оруденение в черных сланцах обнаружено в нескольких регионах мира в различных геологических обстановках.

В Южном Китае в черносланцевых толщах нижнего кембрия выявлено семь месторождений, одно из которых — Зунья — отрабатывается с 1985 г. с годовой продукцией от 500 до 1000 т концентрата, со средним содержанием (в %): Mo — 4, Ni — 4, Zn — 2; (в г/т): Au — 0,7, Ag — 50, Pt — 0,3, Pd — 9,4, Ir — 0,03.

Оруденение приурочено к нижнекембрийской флишоидной черносланцевой толще чехла Южно-Китайской платформы, которая фиксирует протерозой-кембрийское несогласие [10, 17], либо к базальным горизонтам чехла, перекрывающего интраконтинентальную или межкратонную рифтогенную структуру мезогеосинклинального типа [11] (рис. 1). Комплексные платинометалльные месторождения располагаются в южном борту структуры и, вероятно, контролируются глубинными разломами. Рудовмещающие толщи прослежены на протяжении 2000 км в девяти провинциях Южного Китая и на отдельных участках замещаются туфами основного состава.

В пределах черносланцевой толщи оруденение локализовано в рудоносном горизонте мощностью около 10 м. Он представ-

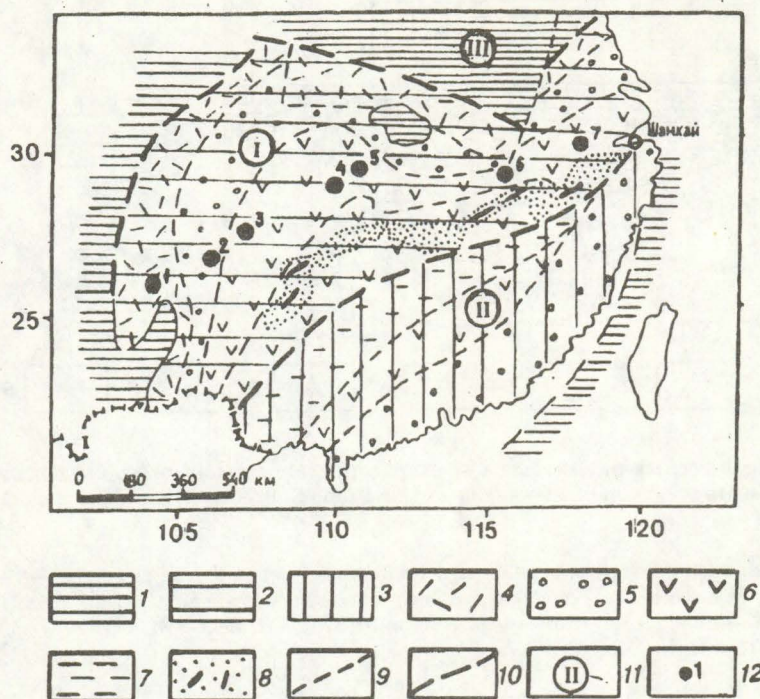


Рис. 1. Схема размещения месторождений Mo-Ni с ЭПГ руд юго-восточного Китая (R. M. Covey, C. Nansheng, 1991; Sato K., Ni R., Chao F., 1986; Лю Баоджан, 1991 и др. с дополнениями авторов на палеоструктурной основе):

1 — блоки дорифейских платформ (суша); 2 — южный блок платформы Янцзы; 3 — блок Каташия; 4—7 — фации осадков: 4 — прибрежно-мелководные, 5 — мелководного шельфа, 6 — глубоководного шельфа, 7 — глубоководные; 8 — область развития пород офиолитового комплекса; 9 — границы фаций; 10 — разрывные нарушения глубинного заложения (сутуровые швы); 11 — номера блоков (I — блок Янцзы; II — блок Каташия; III — Северо-Китайский блок); 12 — номера месторождений: 1 — Dezhe, 2 — Zhejin, 3 — Zunyi, 4 — Dayong, 5 — Cilli, 6 — Duchang, 7 — Lizhe

лен частым переслаиванием сульфидных слоев с фосфатонесными черными сланцами, содержащими конкреции карбонатов, углеродистыми аргиллитами и мелкозернистыми песчаниками. В основании горизонта залегают конгломераты, переслаивающиеся с песчаниками. Сульфидные слои на 90 % состоят из обломков сульфидных минералов и конкреций с подчиненным количеством фосфатных и карбонатных нодулей. В цементе отмечаются сульфиды, карбонатные фосфаты, кварц, карбонаты, кремнистый материал. Рудные минералы представлены пиритом, миллеритом, бравоитом, герсдорфитом, молибденитом и иордизитом, реже отмечаются сфалерит и халькопирит. В рудах некоторых проявлений установлены также пентландит, теннантит и виоларит.

В Канаде цинк-молибден-никелево-платиноидное оруденение выявлено в среднепалеозойском бассейне Селвин [17]. Рудный горизонт с комплексной минерализацией здесь приурочен к пограничным слоям карбонатной и черносланцевой толщ верхнего девона. Он прослежен на протяжении более 14 км и представлен углеродистыми терригенно-карбонатными, карбонатно-терригенными и углеродисто-кремнистыми сланцами. Оруденение локализовано в маломощных (5—15 см) сульфидных слоях. Среди сульфидов ведущее значение имеет вазсит. Содержание элементов в рудном горизонте составляет (в %): Ni — 5,9, Zn — 1, Mo — 0,25 — 0,4; (в г/т): Pt + Pd — 0,8.

Бассейн Селвин вмещает многочисленные девонские колчеданно-полиметаллические месторождения, также приуроченные к черносланцевым формациям — Говард-Пасс, Фаро, Грум и др. [10]. Платинометалльный рудонесный горизонт располагается в бортовой части этой структуры и, по нашей ре-

конструкции, находится в едином латеральном ряду с колчеданно-полиметаллическими месторождениями (рис. 2).

Необходимо указать, что колчеданонесные терригенные эвгеосинклинали или мезогееосинклинали, к числу которых принадлежит и бассейн Селвин, являются структурами, перспективными на обнаружение рассматриваемого платинометалльного оруденения. Высокие концентрации ЭПГ в ассоциации с молибденом, никелем и другими элементами установлены нами, а также другими исследователями в черносланцевых колчеданонесных толщах терригенных эвгеосинклиналей Северного Прибайкалья, Енисейского края и Джунгарского антиклинария (Текелийский рудный район).

В Олоkitском прогибе Северного При-

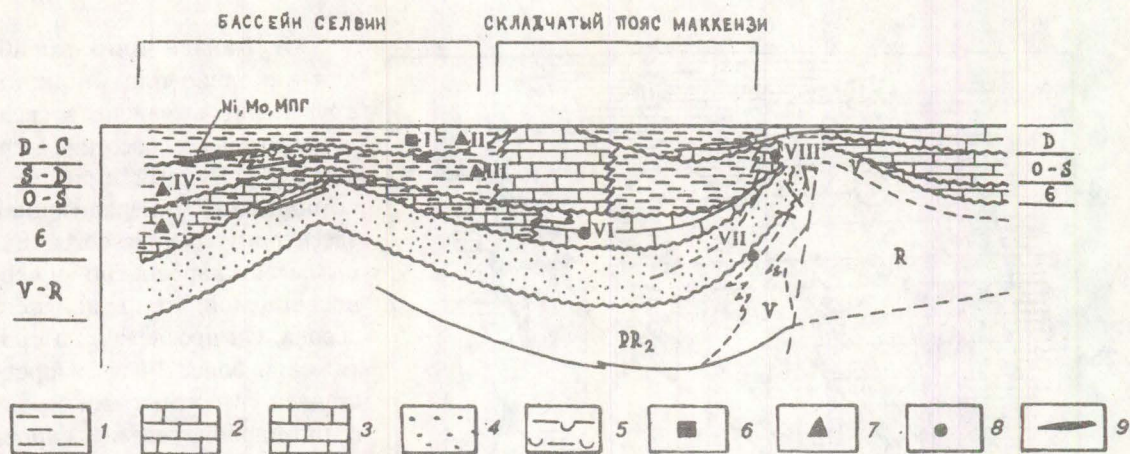


Рис. 2. Палеофациальный профиль размещения рудовещающих формаций свинцово-цинкового оруденения и уровней минерализации с ЭПГ, Ni и Mo в бассейне Селвин (Канада), (по John S. Brock, 1976, с добавлениями авторов):

1 — сланцы; 2 — карбонаты; 3 — филлиты; 4 — крупнозернистые песчаники; 5 — кремнистые сланцы; 6—8 — месторождения: 6 — стратиформное баритовое (Tea-1), 7 — свинцово-цинковые в сланцах (Howard Pass-III, Tom-II, Vangorda-IV, Faro-V и др.); 8 — свинцово-цинковые в карбонатах (Gayna-VII, Bear-VIII, Goz-VI и др.); 9 — уровень минерализации с МПГ, Ni и Mo

байкаля в рудовещающей черносланцевой толще рифея на юго-западном фланге Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения в отдельных горизонтах сульфидизированных черных сланцев содержания платины достигают 0,25 г/т, палладия 0,1 г/т. Такие же содержания зафиксированы в слоистых колчеданных рудах на выклинивании рудной залежи месторождения. В соседнем с Олоkitским Котерском прогибе на участках цинк-молибден-ванадиевых геохимических аномалий, среди туфогенно-углеродистых сланцев (рис. 3) содержания платины и палладия достигают 0,55 г/т, причем в 19 пробах из 35 содержания ЭПГ составляют более 0,1 г/т. Помимо платины и палладия присутствуют осмий, иридий, рутений и родий. Здесь же установлены высокие концентрации (до 13 г/т) золота, а в 12 пробах из 18 содержания золота превышают 1 г/т.

Вероятно, к этому же типу рудоносных структур следует относить и структуры Джаркаинагацкого поднятия Северного Казахстана. Здесь, по данным В. З. Фукса и М. Г. Харламова [9], в основании разреза средне-палеозойских впадин располагается пачка углисто-терригенно-карбонатных пород, несогласно залегающая на породах додевонского фундамента. В базальном горизонте пачки среди углистых грубозернистых пес-

чаников и гравелитов с пиритизированным и гидрослюдазированным цементом установлены прослойки мощностью 10—50 см, обогащенные (в г/т) платиной (до 1,58), палладием (до 1,14), иридием (до 0,8), а также Mo, Pb, Cu, Ag и As. Среди пород фундамента упомянутые элементы широко распространены в отложениях углеродисто-кремнистой формации кембрия, но в более низких (в г/т) концентрациях (Pt — до 0,6, Pd — до 0,1, Ir — до 0,8).

В районах центральной части США повышенные концентрации ЭПГ в ассоциации с молибденом и никелем установлены в девон-каменноугольных металлоносных черных сланцах Мекка Квори, Джоган Квори, Холанд и других, содержание платины в которых составляет от 0,06 до 0,2 г/т, а средние содержания молибдена — от десятков до тысячи г/т. Металлоносные сланцы тяготеют к скрытым глубинным разломам фундамента, фиксирующим систему рифтов или позднекембрийских авлакогенов (Рилфут, Хамблдет, авлакогены южной Оклахомы и др.) Мидконтинента США [15, 16].

Молибден-уран-ванадий-платиноидный тип комплексного платинометалльного оруденения в черных сланцах, представленный несколькими месторождениями и рудопроявлениями, выявлен в Онежском платформенном прогибе Карелии [1, 2, 3, 8 и др.].

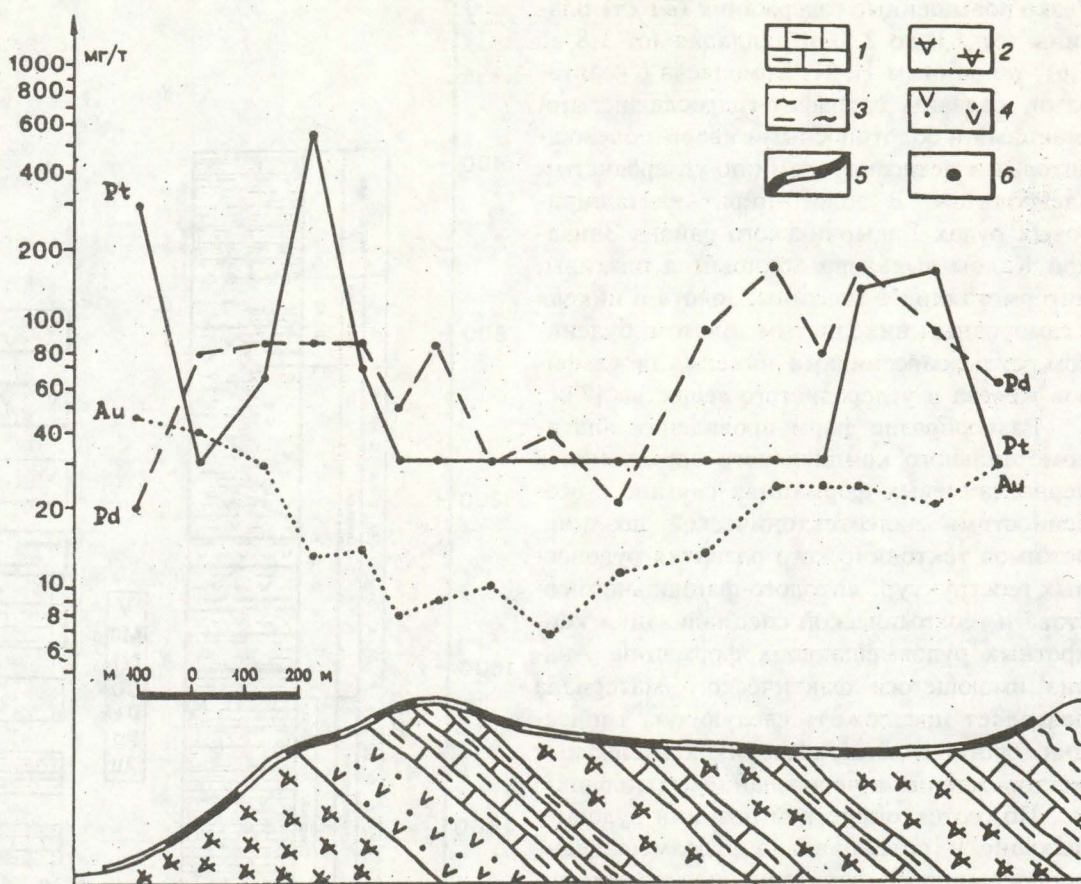


Рис. 3. Распределение платины, палладия и золота по разрезу черносланцевой толщи рифея. Котерский прогиб (Северное Прибайкалье). Составление разреза и отбор проб произведены В. Г. Филатовым (СБГРЭ):

1 — углисто-карбонатные, углисто-серицит-карбонатные сланцы; 2 — углисто-кремнистые сланцы; 3 — серицит-хлорит-карбонат-кварц-плаггиоклазовые и хлорит-серицит-карбонат-плаггиоклаз-кварцевые туфосланцы; 4 — туфопесчаники; 5 — интервалы опробования; 6 — групповые пробы

Рудоносной является ассоциация нижнепротерозойских шунгитсодержащих карбонатно-терригенных пород и ультрамафит-мафитовых вулканитов (рис. 4).

Оруденение преимущественно локализуется в базальных слоях углеродисто-сланцевой толщи на ее контакте с подстилающей доломитовой толщей, осложненной зонами складчато-разрывных деформаций. Разрывные структуры выполнены продуктами магмезиально-щелочно-карбонатного метасоматоза (альбит-флогопитовые, доломит-хромфенгит-роскоэлитовые, роскоэлит-хромфенгитовые и другие метасоматиты).

Минеральный состав руд многокомпонентен. В рудах установлено свыше 80 минералов разного класса и составов, включая ванадийсодержащие слюды (роскоэлит), настуран, уранинит, молибденит, халькопи-

рит, сфалерит, сульфиды, сульфоселениды, селенсульфиды и селениды платины и палладия. ЭПГ встречаются и в самородной форме. Постоянными компонентами руд являются V, U, Au, Ag, Pt, Pd, Cu, Mo, Zn, Pb, Bi, кроме того, в переменных количествах Cr, Ni, Co, Hg, Sn, Re и ряд других элементов. Профилирующие рудные компоненты — V и Pd. Ванадиевые руды представлены массивными хромфенгит-роскоэлитовыми слюдитами. Палладий и платина ($Pd : Pt = 10 : 1$) установлены в сульфидно-селенид-карбонатных породах, образующих густую сеть прожилков внутри зон ванадийсодержащих слюдитов.

Золото-платиноидное оруденение установлено на ряде месторождений золото-углеродистой формации [4, 5 и др.], приуроченных к мезогeosинклинальным прогибам.

Резко повышенные содержания (в г/т) платины (от 1,0 до 2,5) и палладия (от 1,8 до 5,6), по данным Н. П. Ермолаева с соавторами, связаны с графит-гидрослюдистыми сланцами и золотоносными кварц-полевошпатовыми метасоматитами по углеродистым алевролитам. В золото-пирит-арсенопиритовых рудах Бакырчикского района Западной Калбы выявлена ассоциация платины, интерметаллидов платины, золота и никеля с самородным никелистым золотом, буденитом, сульфоарсенидами никеля, дисульфидов железа и углеродистого вещества [7].

Разнообразие форм проявления платинометалльного комплексного оруденения в черносланцевых формациях связано с особенностями палеотектонической позиции, режимов тектонического развития рудоносных геоструктур, литолого-фациального состава и геохимической специализации конкретных рудовмещающих формаций. Анализ имеющегося фактического материала позволяет предложить следующую типизацию обстановок нахождения комплексных месторождений в черносланцевых толщах.

По геотектонической позиции рудовмещающие и потенциально рудовмещающие черносланцевые формации, несущие комплексное платинометалльное оруденение, приурочены к следующим геоструктурам:

- протоплатформенным прогибам щитов древних платформ (Онежский прогиб);
- колчеданоносным мезогeosинклинальным прогибам (терригенным эвгеосинклиналям), развивающимся в краевых частях древних платформ и срединных массивов (Олокитском, Енисейского края, Джунгарского Алатау, Южного Китая и др.);
- золотоносным интракратонным мезогедсинклинальным прогибам (Южно-Тяньшанской и Западно-Калбинской провинции и др.);
- структурам платформенных чехлов на плечах рифтогенных систем (Северо-Американская платформа);

Важная роль в контроле и размещении комплексного платинометалльного оруденения принадлежит длительно развивавшимся тектоническим структурам: зонам складчато-разрывных нарушений протоплатформенных прогибов, отражающих протоакти-

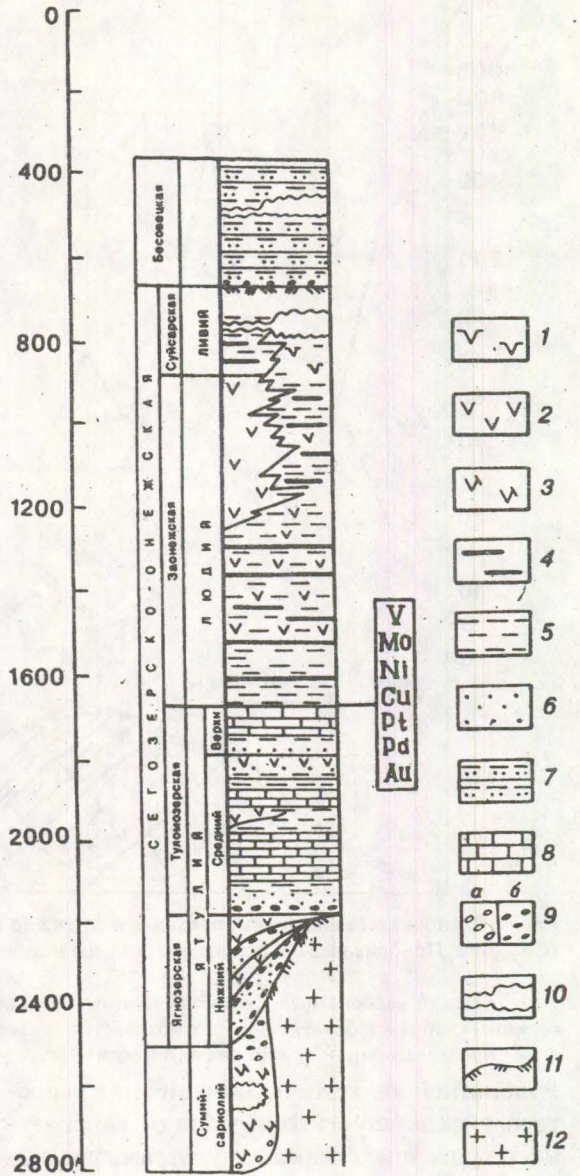


Рис. 4. Позиция комплексного медно-молибден-уран-благороднометалльного оруденения в стратиграфической колонке Онежского прогиба:

1 — лавы пикрит-базальтовые; 2 — лавы базальтовые; 3 — лавы андезито-базальтовые; 4 — метапелиты высокоуглеродистые и углеродистые; 5 — филлиты, алевролиты и аргиллиты; 6 — кварциты, кварцито-песчаники; 7 — турбидиты и другие ритмиты; 8 — доломиты, известняки, мраморы; 9 — конгломераты полимиктовые (а) и кварцевые (б); 10 — мощность (м) однородных интервалов разреза, не отраженных в колонке; 11 — элювий коры выветривания; 12 — породы докарельского фундамента, гранитоиды

визацию глубинных разломов фундамента; рифтогенным структурам, контролирующим положение рудоносных депрессий кол-

чеданно- и золотоносных мезогeosинклиналей; скрытым разломам фундамента древних платформ.

Аномально высокие содержания ЭПГ концентрируются во флишоидных углеродистых карбонатно-терригенных, углеродистых кремнисто-карбонатно-терригенных, углеродистых терригенно-кремнистых и углеродистых битуминозно-карбонатно-глинистых формациях различных тектономагматических циклов развития геоструктур. При этом в каждой из региональных геоструктур оруденение формируется на определенных стратоеуровнях.

В протоплатформенных прогибах оруденение размещается в вулканогенно-карбонатно-терригенной формации, расположенной в средней части вертикального ряда формаций, выполняющих протоплатформенный прогиб, и приурочено к контакту доломитовой и углеродистой терригенно-сланцевой субформаций этой формации.

В мезогeosинклинальных прогибах положение рассматриваемого оруденения определяется его приуроченностью к нескольким стратоеуровням: в основании вертикального ряда формаций (углеродистая глинисто-кремнистая формация с продуктами синхронного базальтоидного вулканизма Южного Китая); в средних частях вертикального ряда формаций в латеральной связи с колчеданно-полиметаллическим оруденением (колчеданоносные флишоидные углеродистые кремнисто-карбонатно-терригенные формации и слоистые колчеданно-полиметаллические руды — прогибы Северного Прибайкалья, Джунгарского Алатау, Селвин и др.); к нижним (золотоносная аспидно-фтанитовая, сопряженная с толеит-базальтовой формацией), средним (золотоносная вулканомиктово-терригенно-флишоидная формация — провинция Южного Тянь-Шаня) и верхним (золотоносная углесто-молассовая формация с постоянной примесью продуктов удаленного вулканизма — Западно-Калбинская провинция).

В структурах платформенных чехлов древних платформ, развитых на плечах рифтогенных систем, аномально высокие концентрации ЭПГ установлены в углеродистых терригенно-карбонатных и углеродистых кремнисто-глинистых формациях (Северо-Американская платформа).

Анализируя имеющиеся данные по геохимическим особенностям черносланцевых формаций, вмещающих комплексное платинометалльное оруденение, следует отметить довольно близкий геохимический спектр элементов, сопровождающих платиноидную минерализацию. К числу наиболее характерных элементов, установленных в аномальных концентрациях, независимо от геотектонической позиции рудоносных черносланцевых формаций, принадлежат молибден, никель, кобальт, ванадий и, конечно, ЭПГ, иногда цинк, свинец, вольфрам, мышьяк и фосфор. Обращает также на себя внимание приуроченность аномально высоких концентраций ЭПГ к горизонтам черных сланцев с повышенными содержаниями органического углерода (для платинометалльных горизонтов Холодинского месторождения $C_{орг} = 0,8—3\%$) и сульфидов, в том числе конкреционных форм выделения. По данным [5], содержания платины в диагенетических конкрециях эвксинских слоев юрских черносланцевых толщ Кавказа варьирует от 5 до 70, а палладия — от 3 до 30 г/т.

Проведенный анализ обстановок нахождения комплексной платинометалльной минерализации в черносланцевых толщах позволяет наметить признаки, дающие возможность выделять среди многообразных черносланцевых формаций те из них, в которых наиболее вероятно обнаружение рассматриваемого оруденения. К их числу относятся: развитие перспективных формаций в определенных типах геоструктур (протоплатформенные прогибы, колчеданно-золотоносные мезогeosинклинали, структуры чехлов древних платформ); размещение рудовмещающих черносланцевых толщ в зонах долгоживущих тектонических структур и глубинных разломов; приуроченность благоприятных углеродсодержащих толщ к определенным литолого-стратиграфическим уровням черносланцевых разрезов, характеризующимся наличием сульфидизированных слоев в углеродистых карбонатно-терригенных, кремнисто-карбонатно-терригенных, терригенно-кремнистых и битуминозных карбонатно-глинистых субформациях. Продуктивные черносланцевые толщи характеризуются наличием комплексных геохимических аномалий с различным сочетанием элементов (V, Mo, Ni, Pb, Zn, As, Co.

Р, ЭПГ и др.) с обязательным присутствием молибдена или никеля и фосфора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билибина Т.В., Мельников Е.К., Савицкий А.В. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геол. рудн. месторождений. 1991. N 6. С. 3—14.
2. Гурская Л.И. Стратиформный тип платинометалльного оруденения и вопросы его генезиса / Проблемы стратиформных месторождений: Тез. Межрегион. Конф. по стратиформным месторождениям. Ч. 1. Чита. 1990. С. 40—41.
3. Гурская Л.И., Терентьев В.М. Типы и эпохи развития платинометалльного оруденения в черносланцевых формациях: Тез. Докл. совещания: Геология и генезис месторождений платиновых металлов. М., апрель 1992. С. 42—43.
4. Ермолаев Н.П., Чиченов В.А., Хорошилов В.Л., Горячкин Н.А., Никифоров А.В. Золото- и серебро-платиноидные руды в углеродистых сланцах // Тез. Докл. Совещания: Геология и генезис месторождений платиновых металлов. Москва, апрель 1992. С. 46.
5. Жабин А.Г., Самсонова Н.С., Косавец Ю.Г. Платиноиды и золото в диагенетических пиритовых конкрециях юрских сланцев на Южном склоне Центрального Кавказа // Разведка и охрана недр, № 2, 1992, с. 2—3.
6. Казанцев М.М., Колотилов Л.И. Платиноносные формации Казахстана // Геолого-генетические особенности месторождений цветных и черных металлов Казахстана. Алма-Ата: КазИМС. 1990. С. 117—121.
7. Нарсеев В.А., Матвиенко В.Н., Фаворов В.А., Захаров А.В. Новый тип золото-платиновой минерализации // Тез. Докл. Совещания: Геология и генезис месторождений платиновых металлов. М., 1992. С. 48.
8. Полеховский Ю.С., Волошин Д.В. Новые природные системы платиноидов в метасоматитах Южной Карелии // Докл. АН СССР. 1990. Т. 315, № 3. С. 700—703.
9. Фукс В.З., Харламов М.Г. Перспектива обнаружения месторождений платиноидов в пределах Северо-Казахстанской платинометалльной рудной провинции и сопредельных территорий России: Тез. Докл. Совещания: Геология и генезис месторождений платиновых металлов. М. 1992. С. 93.
10. John S. Brock. Selwin-Mackenzie Zinc-Lead Province Yukon and Northwest Territories// Western. Miner. March. 1971. P. 9—16.
11. Chen Nansheng and Raymond M., Coveney Jr. Ores in Metal-Rich Shale of Southern China//US Geol. Surv. Circ. № 1037. 1989. P. 7—8.
12. R.M. Coveney Jr., C. Nansheng. Ni-Mo-PGE-Au-rich ores in Chinese black shales and speculation on possible analogues in the United States //Min. Deposits V. 26. № 2. 1991. P. 83—88.
13. Hilbert L., Carne R., Gregorie C., Paktune D. Sediment-Hosted Ni-Zn-PGE Mineralization in the Selwin Basen. Yuokon: a New Environment for Nickel and Platinum Group Mineralization // 8th IAGOD Symp. In Conjunct. with Int. Conf. Mineral Deposit Model. Ottawa. Aug. 12—18. 1990. Program and Abstracts. P. 111.
14. Lecher P.J., Hsu L.C. Possible controls on the distribution of hydrothermal Platinum group mineral in western North America //Geol. Soc. Amer. Abstr. with Programs 21: A131. 1989.
15. Orth Charles J., Quintana Leonard R., Gilmore James S., Barrick James E., Haywa Jill N., Spesshardt Scott A. Pt-Group Metal Anomalies in the Lower Mississippian of Southern Oklahoma //Geology. 1988. V. 16. №. P. 627—630.
16. Raymond M., Coveney Jr., Joel S. Leventhal, Michael D. Glascock and Joseph R. Hatch. Origins of Metals and Organic Matter in the Mecca Quarry Shale Member and Stratigraphically Equivalent Beds across the Midwest // Economic Geology. V. 82. 1987. P. 915—933.
17. Richard I. Grauch, Raymond M., Coveney Jr., James B. Murowchick and Chen Nansheng. Black Shales as Hosts for Unconventional Platinum Group Element Resorces. Exampels for Southern China and Yukon, Canada and Implications for US Resources // US Geological Survey Circular 1062: USGS Research on Mineral Resources. 1991. Program and Abstracts. P. 33..

V. D. Konkin, G. V. Rouchkin, O. B. Boukinga, V. V. Kouznetsov

PLATINUM-BEARING MINERALIZATION IN BLACKSHALE FORMATIONS - SETTINGS OF THEIR MANIFESTATION

Published information, and the author's estimation of platinum potential of blackshale formations in different regions of the world are systematized. Brief surveys of various platinum-bearing areas in China, Canada, Karelia, Djungar Alatau, Northern Baikal, etc. are presented. Typification of geological settings of platinum deposits manifestation in blackshale formations is given.

УДК 552.57

СВЯЗЬ СОСТАВА И МЕТАМОРФИЗМА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА С МЕТАЛЛОНОСНОСТЬЮ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ

И. Б. ВОЛКОВА (ВСЕГЕИ)

С позиций биогенного происхождения органического вещества (ОВ) рассматривается проблема его связи с рудообразованием в осадочных породах. Приводятся данные об изменениях роли ОВ в рудообразовании в зависимости от степени его метаморфизма.

Исходный состав и метаморфизм органического вещества (ОВ) осадочных пород во многом определяют его свойства и, в том числе, способность концентрировать различные элементы. В них находят отражение условия накопления и преобразования ОВ, что может быть использовано для восстановления фациальных и палеогеографических обстановок, характера и режима палеогеотермических изменений. При анализе металлоносности черных сланцев наряду с определением $C_{орг}$ в породах важным является выяснение состава и уровня постдиагенетического преобразования исходного органического материала. Это подчеркивается и в предложениях рабочей группы проекта 254 Международной геологической конференции «Металлоносные черные сланцы». В стандартном описании образцов из десяти основных пунктов два — петрография и геохимия — включают определение ОВ, установление его типа и термальной зрелости [5].

Роль ОВ в рудообразовании, связанном с углеродистыми формациями, выражается в нескольких основных аспектах:

- концентрация металлов путем ионного обмена или хелатообразования;
- восстановление металлов в нерастворимые формы путем окисления спиртов (гидроксильных групп) до альдегидов;
- бактериальное (при $t < 90^\circ\text{C}$) или небактериальное (при $t \geq 100^\circ\text{C}$) восстановление сульфатов до сульфидов за счет окисления ОВ [6].

Возможности проявления той или иной реакции зависят от типа ОВ и его метаморфизма. Так, растворимые гуминовые кисло-

ты, образующиеся из наземного (гумусового) растительного материала, очевидно, играют незначительную роль в сингенетичном накоплении металлов в морских сланцах, в которых преобладает сапропелевый тип ОВ. Растительный детрит не способствует миграции элементов, так как он является нерастворимым.

Различные растительные остатки, которые в основном составляют ОВ осадочных пород, подвергаются в седименто- и диагенезе неодинаковым процессам превращения. В результате образуются группы мацералов (органических компонентов) с разными свойствами. Например, витринит, представляющий собой остудневшие гелифицированные остатки высших растений, на ранних стадиях диа- и катагенеза содержит большее количество функциональных групп и, следовательно, является более реакционноспособным, чем фюзинит, образующийся за счет интенсивного первичного окисления ОВ в субаэробных условиях. Но в последнем лучше сохраняется растительная (пористая) структура и клеточные полости могут быть заполнены рудными минералами (например, коффинитом). В мацералах группы витринита чаще концентрируются германий, ванадий, кобальт и уран, которые химически связаны с ОВ. Наличие витринита также свидетельствует о восстановительной среде осадконакопления.

В изученных углеродисто-рудных толщах (Южное Верхоянье, Центральные Кызылкумы, Казахстан, Карело-Кольский регион) ОВ представлено преимущественно седиментогенным материалом угольного ряда. Миграционные формы ОВ — битумы играют в них подчиненную роль. В состав ОВ пород входят как остатки низших растений и микроорганизмов (сапропелевый тип), так и

остатки высших растений, подвергшиеся процессам гелификации и фюзенизации (гумусовый тип). Сингенетичность ОВ минеральной матрице подтверждается согласным залеганием органических включений с первичной слоистостью пород. В черных металлоносных сланцах, испытавших постседиментационные тектонические воздействия и гидротермальную эпигенетическую минерализацию, растительные фрагменты могут быть разрушены, смещены, разделены минеральными прожилками, а иногда замещены сульфидами.

Как известно, далеко не всегда наблюдается прямая корреляция $C_{орг}$ в породе с содержанием в ней рудных элементов. Однако такие данные, как повышение количества металлов в керогене по сравнению с исходной породой, а также прямые наблюдения в сканирующем электронном микроскопе и технологические испытания свидетельствуют о наличии в рудах и вмещающих породах химических элементов, непосредственно связанных с ОВ [4]. По-видимому, взаимозависимости металлоносности с составом и метаморфизмом ОВ имеют еще более сложный характер.

В изученных золоторудных месторождениях распространены рассеянные ОВ преимущественно смешанного сапропелево-гумусового типа. Присутствие остатков наземных растений свидетельствует о сравнительно неглубоководных условиях накопления углеродистых осадков, преобладании лагунных, прибрежно-морских фаций. Химические различия в исходном материале ОВ более отчетливо проявляются в диагенезе и раннем катагенезе. С увеличением углефикации или метаморфизма ОВ свойства мацералов сближаются, в них уменьшается содержание гетероатомов (Н, О) и увеличивается количество углерода (на органическую массу). Соответственно уменьшаются атомарные отношения Н/С и О/С, водородный и кислородный индексы, определяемые при пиролизе ОВ по методу Rock-Eval [6].

Для измерения степени углефикации ОВ в органической петрологии используется показатель отражения витринита, измеряемый по стандартной методике в отраженном поляризованном свете, в масляной иммерсии в штучовых аншлифах или аншлифах-брикетах из керогена [2].

С целью количественной оценки роли метаморфизма в концентрации элементов была проведена статистическая обработка данных с применением метода главных компонент и кластерного анализа. Составлены две выборки — по высокоуглеродистым породам (шунгитам) Карелии и угольным бассейнам (65 образцов) и по углеродисто-рудным толщам Западного Узбекистана (91 образец). По величине показателя отражения ОВ (R_0 , %) все породы были разделены на семь групп: ниже 1 (часть углей и углистых пород); 1—2; 2—3; 3—4; 4—5; 6 и выше; графитизированное ОВ. В первой выборке (с большим содержанием углерода в породе) фактор метаморфизма проявился в 1-й компоненте. Показатель отражения витринита положительно коррелируется с количеством алюминия, железа, титана. Из микроэлементов в 3-й компоненте отмечается положительная связь R_0 с никелем и серебром и отрицательная со свинцом и марганцем. Объясняется это, скорее всего, тем, что наличие никеля и серебра более характерно для высокометаморфизованных углеродистых пород Карело-Кольского региона, а марганец и отчасти свинец в несколько большем количестве присутствуют в менее углефицированных отложениях угольных бассейнов. В породах Центральных Кызылкумов, несмотря на колебания уровня метаморфизма в разрезе и на площади, преобладает ОВ антрацитового или близких к ней стадий. Связи металлоносности с метаморфизмом ОВ выявляются в общем виде. Так, в целом по Мурунтау в углеродистых породах меньшее значение имеют элементы, свойственные осадкам с биогенным ОВ. В Даугызтау, где, как известно, уровень метаморфизма пород ниже, в первой ведущей компоненте комплекс биофильных элементов — ванадий, хром, медь, молибден — играет большую роль [3]. Отчетливее проявляется связь метаморфизма ОВ с металлоносностью в локальных участках, испытавших контактовые и метасоматические изменения. По скважине СГ-10 в Мурунтау, изученной до глубины 3000 м, на горизонтах с графитовым ОВ отмечается существенное повышение содержания ряда элементов — серебра, золота, мышьяка, свинца и др. На Печенгском рудном поле по мере приближения к рудным телам показатель

отражения ОВ возрастает от 4 до 6% и непосредственно на контакте оно переходит в графит.

Уровень метаморфизма ОВ, по мнению Б. А. Блюмана [1], больше влияет на форму нахождения рудного элемента, чем его количество — с увеличением степени упорядоченности графитового ОВ возрастает доля несвязанного золота в породе.

Выявление связи металлоносности с метаморфизмом ОВ в черных сланцах затрудняется не только неоднократными этапами минерализации, но и неоднородностью постдиагенетических изменений. В большинстве случаев закономерности регионального (глубинного) метаморфизма осложняются контактовыми и гидротермальными изменениями ОВ. Если исключить их проявление и судить по региональному фону, то общий палеогеотермический режим на изученных месторождениях характеризовался температурами порядка 300—350°C. Геотермический градиент в целом был значительно выше, чем в типичных осадочных бассейнах. Однако по набору элементов и их соотношениям углеродистые толщи Центральных Кызылкумов близки к угленосным формациям. Наряду с петрологическими данными это свидетельствует о принадлежности черносланцевых толщ к «нормальным» первично-осадочным отложениям, в которых суще-

ствовали достаточно благоприятные условия для накопления палеобиогенного ОВ. Такое представление об их генезисе имеет большое значение для дальнейших исследований. В органических частицах пород — фоссилизированных реликтах живого вещества — отражаются все события той среды, в которой «они проводят свое время».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюман Б. А. Магматизм и региональный метаморфизм складчатых областей фанерозоя: парагенез и рудогенез: Автореф. докт. дисс. — СПб, 1992. 33с.
2. Волкова И. Б. Органическая петрология. — Л.: Недра. 1990. 299с.
3. Волкова И. Б. Рассеянное органическое вещество черносланцевых толщ и их металлоносность // Сов. геология. 1992. № 2. С. 62—66.
4. Волкова И. Б., Богданова М. В. О природе углеродистого вещества на примере некоторых золоторудных формаций // Сов. геология. 1980. N. 10. С. 90—93.
5. Huyck H. L. O. When is a metalliferous black shale not a black shale? Metalliferous black shales and related ore deposits // Proceed., 1989. U. S. working group meeting, Intern. Geol. Correlation program project 254. (U. S. Geol. Surv. Circ. 1058), 1990. P. 42—56.
6. Leventhal J. S. Roles of organic matter in ore deposits. Organics and ore deposits // Proceed. Denver region exploration geol. soc. symposium. 1986. P. 7—20.

I. B. Volkova

RELATIONSHIP OF MINERAL COMPOSITION AND METAMORPHISM OF ORGANIC SUBSTANCE WITH PRESENCE OF METAL IN BLACKSHALE FORMATIONS

A problem of relationship of organic substance with oreforming processes in sedimentary rocks is considered from the position of biogenic origin. Information about the role of organic substance in the oreforming process depending on the degree of its metamorphism is given.

УДК 553.2:552.53:551.263(470.4 + 574.1)

РУДОНОСНОСТЬ СОЛЯНЫХ КУПОЛОВ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ

В. М. НИКОЛЬСКИЙ (ГГП «Нижеволжскгеология»)

Изучено строение соляных куполов Прикаспийской впадины, даны сведения о наложенной минерализации в их кепроках серы, бора, ртути и цветных металлов.

Прикаспийская впадина является долго-развивающейся пограничной структурой, заложенной в рифейское время в зоне сочленения Уральской и Кавказской геосинклиналей с древней Восточно-Европейской платформой. По размерам площади (600×1000 км) и объему (толщина осадочных отложений 22—24 км) — это один из крупнейших осадочных бассейнов мира. Предполагается, что рифей-вендские и нижне-палеозойские отложения сохранились здесь в авлакогенах — Пачелмско-Саратовском, Сарпинском, Алексеевском, Яикском и Предмугоджарском [2, 8, 10].

Облик впадины определяют в основном герцинские геологические формации, составляющие до 60% ее осадочного выполнения: карбонатная рифогенная позднего девона — нижней перми, пермская соленосная и красноцветная карбонатно-терригенная пермо-триасовая. Триада подобных формаций имеет место во многих глубоких осадочных бассейнах, но ни в одном из них толщина солей не достигает таких значительных величин (4,5—5,0 км в среднем) как в Прикаспийской впадине.

Соленосная формация Прикаспийской впадины обычно рассматривается как комплекс отложений нормального (древнего) морского бассейна. Между тем, сложный минеральный состав солей и значительные гипергенные преобразования в них связаны, прежде всего, с разломной и солянокупольной тектоникой, не прекратившейся и в новейшее время.

В течение многих лет автор занимался изучением серы и серосодержащего сырья Прикаспия. Собранные материалы позволили составить карту солянокупольной текто-

ники Прикаспийской впадины в масштабе 1:1 000 000 и выявить некоторые закономерности в рудоносности соляных куполов. В каталог солянокупольных структур, по материалам геологических объединений «Гурьевнефтегазгеология», «Запказгеология», «Нижеволжскгеология», «Аэрогеология» и «Оренбурггеология», включены 2 118 соляных купола. С учетом геологического строения региона они объединены в семь солянокупольных зон (рис. 1).

Большинство соляных куполов во впадине выделены грави-и сейсморазведкой и не изучены бурением. Сведения о глубинах залегания и кепроках куполов приведены в таблице.

Солянокупольные структуры Прикаспийской впадины в большинстве своем имеют длительную историю развития, продолжающуюся и поныне. Летописью соляного купола является кепрок, под которым мы понимаем гипергенные образования, соленосных отложений, образованные над ядром соляного купола в период его роста. Они включают закономерный комплекс пород и минералов, в котором постоянно присутствуют ангидрит, гипс, кальцит, доломит, сульфиды железа, реже — пирокластический материал и битумы и не всегда встречающиеся, но очень характерные для комплекса, самородная сера, бораты, барит, флюорит, целестин, киноварь, галенит и сфалерит. Следовательно, кепроки соляных куполов Прикаспийской впадины отвечают понятию геологической формации, так как имеют свой парагенный ряд минералов, четкий литологический состав пород, структурные формы и перспективы на обнаружение различных полезных ископаемых.

Литология кепрока зависит в первую очередь от состава и количества нерастворимого остатка солей, подвергшихся гиперге-

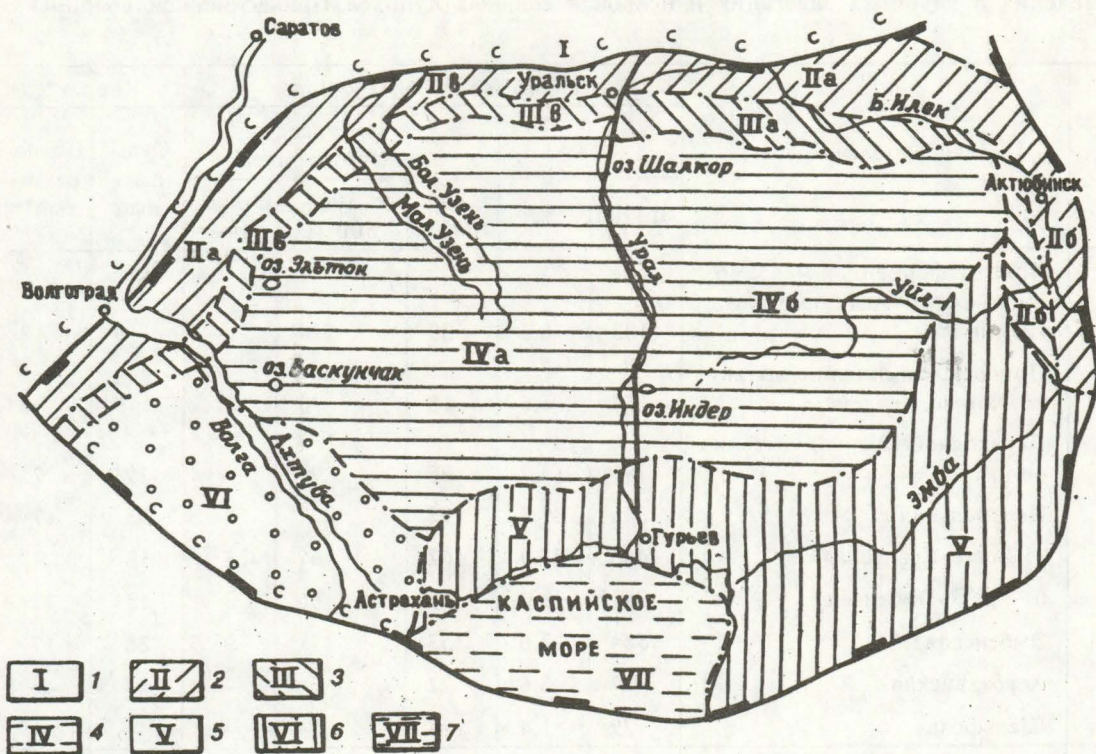


Рис. 1. Схема расположения структурных зон солянокупольной тектоники Прикаспийской впадины (масштаб 1:6 000 000)

Структурные зоны: 1 — приплатформенная зона малоамплитудных соляных брахиантиклиналей (сс — граница распространения солей); 2 — прибортовые зоны линейно-вытянутых соляных антиклиналей: а — северная Уральско-Оренбургская, б — восточная Актобинская, в — западная Волгоградско-Саратовская; 3 — зоны переходной соляной тектоники: а — северная Уральско-Оренбургская, б — восточная Актобинская, в — западная Волгоградско-Саратовская; 4 — центральные зоны развития зрелых соляных куполов: а — западная Волго-Уральская, б — восточная Уральско-Эмбенская; 5 — юго-восточная Эмбенская зона соляных куполов; 6 — Астраханская зона соляных куполов; 7 — морская шельфовая зона соляных куполов Каспийского моря (расшифровка обозначений I—VII приведена в таблице)

незу: при резком преобладании в них сульфатов (что характерно для Прикаспийской впадины в целом) образуется сульфатный кепрок; при значительном содержании в солях глинистых минералов кепрок приобретает терригенно-сульфатный облик (восточная часть Прикаспийской впадины). Пирокластические породы обнаружены в солях и кепроке ряда соляных куполов, приуроченных к долговечным глубинным разломам (Индер, Азгир). Однако роль вулканического материала в строении кепроков Прикаспия изучена очень слабо.

Породы кепрока редко обнажаются на поверхности. Из 2118 соляных куполов Прикаспийской впадины лишь 22 относятся к числу открытых (см. таблицу). Почти все они контролируются крупными глубинными

разломами: Азгирским (Баскунчак, Азгир, Бесшоки, Новобогатинск, Станция 2, Карашунгыл), Уральским (Январцевский, Шалкар, Индер, Джамантау, Черная речка), Эмбенским (Кумыстобе, Замятина, Жилаңсаид). От эрозии в них сохранились в основном сульфатные породы, образующие характерные зоны окисления и причудливый карстовый рельеф.

Более 600 соляных куполов имеют глубину залегания соляного ядра до 500—600 м. Многие из них были выведены на предплиоценовую поверхность размыва, в зоне гипергенеза которой образованы полноразвитые кепроки с серной, борной и рудной минерализацией. Из 85 проявлений самородной серы, установленных на сегодняшний день, 38 находятся в кепроке соляных

Сведения о глубинах залегания и кепроках соляных куполов Прикаспийской впадины

№	Солянокупольные зоны	Количество соляных куполов					Кепрок*	
		всего		в том числе с залеганием ядра			Сульфатный	Полноразвитый**
		штук	%	до 1000 м	до 500—600 м	Открытые		
I.	Приплатформенная малоамплитудных соляных брахиантуклиналей	133	6,3	30	114	—	9	2
II.	Прибортовая линейно-вытянутых антиклиналей	158	6,5	18	10	5	9	3
III.	Переходной соляной тектоники	291	13,7	36	75	—	19	12
IV.	Центральная	346	39,9	192	327	8	33	17
	а) Волго-Уральская	465	21,9	162	161	5	18	5
	б) Урало-Эмбенская	381	18,0	30	166	3	15	12
V.	Эмбенская***	584	27,6	153	171	9	36	17
VI.	Астраханская	77	3,6	22	28	—	47	—
VII.	Шельфовая	29	1,4	—	—	—	—	—
	ИТОГО:	2118	100,0	451	622	22	153	51

Примечания: *) Данные выборочные.
 **) Карбонатно-сульфатный.
 ***) Изучена лучше других зон.

куполов, б — в сульфатно-карбонатных отложениях соляных антиклиналей, остальные — преимущественно в неоген-четвертичных терригенных отложениях на поверхности солянокупольных структур. Борная минерализация выявлена на 26 соляных куполах. Проявления свинца, цинка и меди — единичные.

Серный тип разреза кепрока наиболее характерен для Волго-Уральской подзоны Центральной зоны развития зрелых соляных куполов (Безымянный, Богатыревский, Бирюковский, Северо-Баскунчакский, Азгирский, Малое Богдо и др.). Он весьма близок к сероносным кепрокам Примексиканской впадины [1].

Фронтом образования кепрока на развитых соляных куполах является «слой» ангидритового «песка», залегающего непосредственно на соляном зеркале купола (рис. 2). Он имеет мощность 20 м и представляет собой погруженную в крепкий рассол рыхлую минеральную массу, состоящую

из зерен ангидрита, галита, обломков гипса, глинистых частиц, редких кристаллов боратов, барита, целестина, пирита (до 900 г/м³). Встречены единичные зерна киновари (Восточный Азгир).

Выше залегают плотные ангидриты светло-серого и голубовато-серого, реже коричневатого-серого цветов с брекчиевидной, строматолитоподобной, энтеролитовой (нижняя часть зоны), порфировидной и нодулярной (верхняя часть зоны) структурами при массивной и линзовидной текстурах пород. В ангидритах присутствуют: целестин, доломит, пирит, битум, самородная сера (редко). Чаще других обнаруживается парagenный доломит, который по системе субпараллельных трещин замещает ангидрит, образуя ангидрито-доломитовые породы (купола Бирюковский, Бесшоки, Вак-Тау), внешне напоминающие ритмично-слоистые отложения. По микротрещинам в ангидритах происходила и их гидратация с образованием тонких слоев биотитоподобного

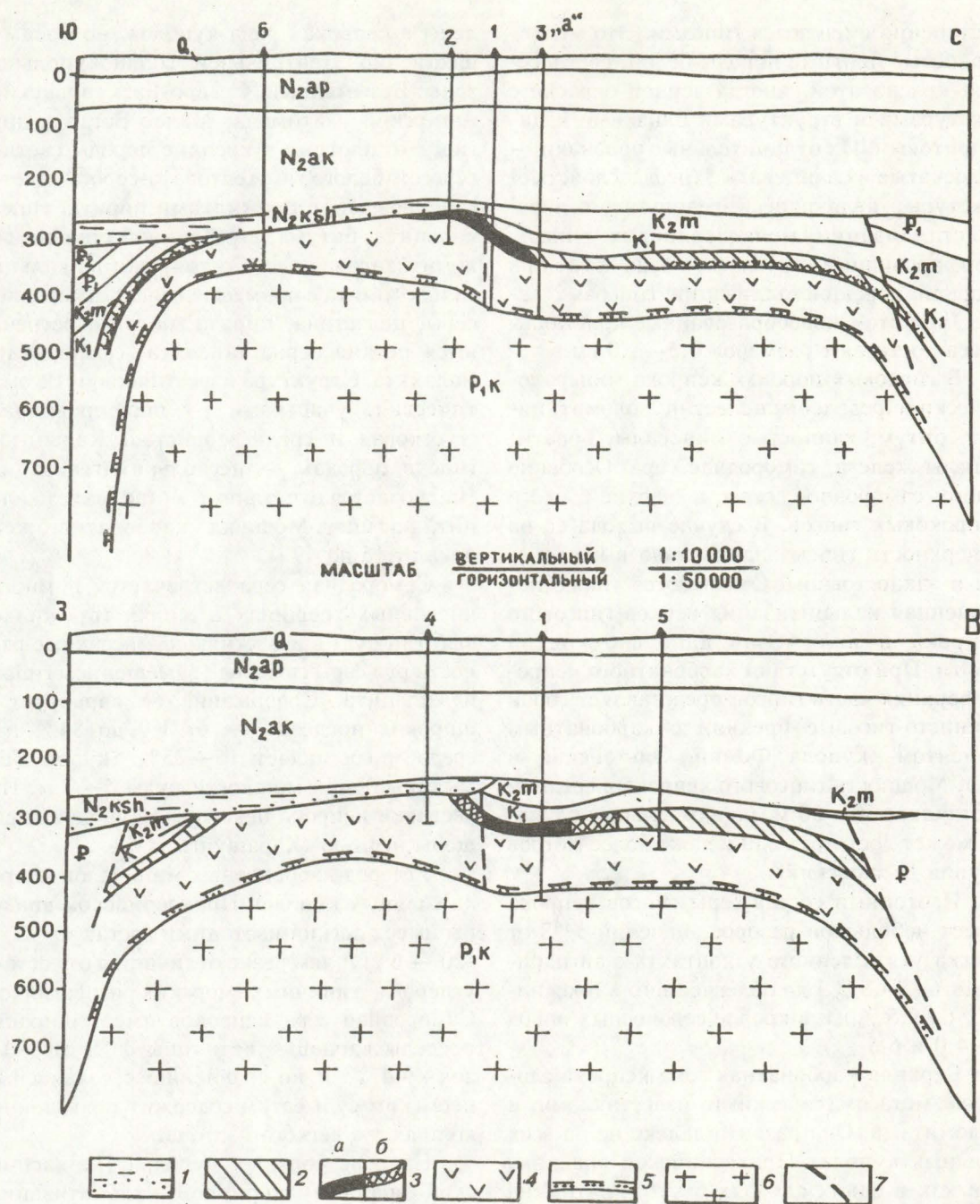


Рис. 2. Геологические разрезы соляного купола «Безымянный» в Саратовской области:

1 — аллювиальные отложения кушумской свиты (Палео-Большой Узень); 2 — карбонатная зона кепрока; 3 — серная руда: а — установленная, б — предполагаемая; 4 — сульфатная зона кепрока (гипс-ангидритовая порода); 5 — «ангидритовый песок»; 6 — соль; 7 — разрывные нарушения

гипсового шпата. Нередко слои вторичного доломита и биотитоподобного гипса «секут» ангидриты под углом 30—45°. В трещинках и пустотках таких зон присутствуют капельно-жидкие углеводороды.

Мощность ангидритового кепрока в

среднем составляет 70—80 м, но может достигать 200 м. По изотопному составу серы ангидриты кепрока не отличаются от ангидритов подстилающей соленосной толщи Прикаспия: $\delta^{34}S = +12 + 14 \text{ ‰}$.

Вверх по разрезу ангидриты кепрока

постепенно сменяются гипсами. Это мелкозернистые плотные породы белой, светлосерой, красноватой, иногда черной окраски с текстурами и структурами близкими к ангидритовым. Их отличительные признаки — полосчатые и сланцеватые (псевдослоистые) текстуры, являющиеся результатом перекристаллизации мелкозернистых гипсов. Порфиroidные структуры образуются при сборной перекристаллизации гипсовых зерен; при этом новообразованные кристаллы гипса достигают размеров 0,5—1,0 см.

В гипсовых породах кепрока минералогически определены: целестин, доломит, пирит, битум, глинистые минералы, бораты, окислы железа, самородная сера. Особенно много самородной серы в верхней части кепроковых гипсов. В случае выхода ее на поверхность гипсы значительно выщелочены и закарстованы. Отмечаются также повышенная кальцитизация верхов гипсового кепрока и включения капельно-жидкой нефти. При отсутствии карбонатного кепрока верхняя часть гипсов представляет собой глинисто-гипсовые брекчии с карбонатным цементом (купола Фомин, Эльтонский и др.). Мощность гипсового кепрока в среднем составляет 50—60 м, но в отдельных случаях может достигать 330 и даже более метров (купол Дьяковский).

Изотопный состав серы гипсов кепрока имеет небольшой разброс значений $\delta^{34}\text{S}$ от слегка утяжеленного у контакта с ангидритами (+14,8 ‰) до облегченного в прожилках (+9,5 ‰) и в кровле сероносных пород (+4,0 и 6,5 ‰).

Верхняя карбонатная зона кепрока сложена метасоматическими известняками и доломитами. Она развита далеко не на всех соляных куполах Прикаспийской впадины, так как в одних случаях была уничтожена эрозией (Индерский, Южно-и Восточно-Баскунчакские, Эльтонский, Искровский, Фоминский, Дьяковский и др.), а в других, видимо, не формировалось вовсе из-за слабого роста соляного купола, закончившегося образованием ангидритового или ангидритогипсового кепрока, без метасоматического преобразования гипсов. Последнее особенно касается глубокопогруженных соляных куполов (свыше 1000 м). Вопрос этот не изучен.

Метасоматические известняки установ-

лены в кепроках ряда куполов, но преимущественно Центральной солянокупольной зоны: Безымянный, Северо-Баскунчакский, Азгирский, Сатимолла, Малое Богдо и другие. Это плотные и крепкие породы светлосерого, белого и желтовато-серого цвета, кавернозные, с прожилками пирита, гипса, кальцита, битума, в различной степени доломитизированные. Состоят они из кальцита и доломита с примесью гипса, самородной серы, целестина, пирита, битума, встречаются редкие зерна галенита, сфалерита и малахита. Структура известняков метасоматическая, участками — порфиroidная, сгустковая и среднезернистая. Кальцит и гипс в породах — нескольких генераций. Наблюдается отчетливый метасоматоз кальцита по гипсу. Мощность карбонатного кепрока от 15 до 49 м.

Самородная сера встречается в многочисленных трещинах и жилах (прожилковый тип руд) в известняках; массивные разности руд серы связаны с замещением гипсов и кальцита. Содержание ее варьирует в широких пределах — от 1,0 до 84% и в среднем составляет 15—25% (купол Безымянный) при мощности руды 5—7 м. Известняки кепрока некоторых куполов насыщены нефтью (Карашунгыл).

Углерод карбонатных минералов кепрока соляных куполов Прикаспийской впадины имеет легкий изотопный состав ($\delta^{13}\text{C} = -20 \text{ — } 6 \text{ ‰}$), чем резко отличается от состава углерода типичных морских известняков. Самородная сера кепроков имеет широкие пределы вариаций величины $\delta^{34}\text{S}$ от +1,3 до +9,4 ‰ и по сравнению с соленосным пермским сульфатом содержит повышенное количество легкого изотопа.

На ряде соляных куполов Прикаспийской впадины вторичной кальцитизации, сульфатизации и сульфидизации подвержены не только породы кепрока, но и перекрывающие их песчано-глинистые и мел-мергельные отложения (Безымянный, Баскунчакский, Богатыревский, Бирюковский и др.). Это зона «ложного кепрока», она имеет мощность до 6 м и различный характер преобразования пород: песчаников — в песчанистые известняки, глины — в глинистые известняки, мергелей — в фарфоровидные известняки и доломиты. Характерно сильное окремнение пород (от 3,0 до 40% SiO_2),

повышенные содержания в них титана (до 0,1%) и никеля (до 0,01%), наличие многочисленных прожилков кальцита, гипса, пирита.

Зона ложного кепрока служит геохимическим барьером для восходящих металлонесных растворов. На этом барьере кристаллизуются пирит (до 15000 г/м³), целестин (до 3000 г/м³), сфалерит (до 350 знаков на 1 м³), барит, флюорит, халькопирит, киноварь.

Борный тип разреза кепрока наиболее ярко выражен в Урало-Эмбенской подзоне Центральной зоны развития зрелых соляных куполов (Индер, Сатимола и др.). По материалам ГИГХС'а (А. С. Соколов, Ф. С. Ульмасвай) и нашим наблюдениям Индерский бороносный купол имеет следующий разрез кепрока (сверху-вниз):

- 0,0—10,0 м — верхние белые гипсы. Очень плотные тонкозернистые породы с массивной структурой, сланцеватой текстурой, с редкими тонкими прослоями глин, с желваками и линзами ангидрита размером от 0,25 × 0,50 до 1,0 × 1,5 м. В небольшом количестве в гипсах присутствуют ангидрит, кальцит, целестин, пирит;
- 10,0—13,0 м — ритмичное переслаивание коричнево-серых карбонатизированных гипсов и глин. Преобладают гипсы, содержащие кальцит, доломит (реже), редкие зерна ангидрита, целестина и пирита;
- 13,0—43,0 м — серые и розовые бороносные гипсы с многочисленными линзами и неправильной формы телами глин и карбонатов. Глины гидрослюдистые (преобладает иллит), монтмориллонитовые, реже каолинитовые, лейкофиалитовые и хлоритовые. Они содержат обломки вулканического стекла, пироксенов, полевых шпатов, кварца и в ряде линз представлены пепловыми туфами. Характерны пламенивидная форма внедрения глин в гипсы, лимонитизация и брекчирование пород. В штокообразных брекчированных глинистых телах содержатся крупные обломки и глыбы ангидрито-карбонатных пород. Карбонаты представлены в основном кальцитом, реже магнезитом и доломитом;
- 43,0—55,0 м — нижние белые ангидриты и гипсы, переходящие в основании в ангидрито-галитовые породы. Ангидриты мелкозернистые, плотные, массивные. Гипсы тонкозернистые, чешуйчатые с примесью карбоната, целестина, борацита и гидроборацита.

Суммарная мощность кепрока от 50—60 до 100—150 м.

Бороносны в кепроке как гипсы, так и, особенно, глинисто-гипсовые карбонатизированные брекчии. По характеру боратового оруденения руды подразделяются на три типа: 1) ашаритовые (среднее содержание

16—24%), 2) улекситовые (среднее содержание 18—32%). 3) гидроборацитовые (среднее содержание 16—27%). Второстепенные бораты в рудах: иниоит, индерборит, колеманит, борацит. В богатых рудах содержание В₂O₃ составляет 9—12, а в бедных 4—7%. Рудные тела имеют мощность от 1—2 до 15—20 м, очень прихотливые очертания и нередко связаны корнями с галогенными боратами соленосной толщи. Разрез соляного ядра следующий:

- 100—300 м — каменная соль светлосерая разнокристаллическая с тонкими (1,0—4,0 мм) прослойками ангидрита и включениями полигалита, сильвина и карналлита;
- 300—450 м — сильвинитовые, полигалитовые, карналлитовые, глазеритовые, каинитовые соли, переслаивающиеся с галитом и замещающиеся галопелитом (иногда это витрокластические туфы) с гидроборацитом. Соли содержат редкие минералы преображенскита, ашарита, хильгардита, калиборита и других боратов;
- 450—750 м — каменная соль с прослойками ангидрита (1—3 мм), включениями калийных и магниевых солей, боратов;
- 750—775 м — сильвинитовые, сильвинит-полигалитовые, каинит-сильвинитовые, редко карналлитовые соли с примесью борных минералов;
- 775—900 м — каменная соль с тонкими прослоями (1—2 мм) ангидрита, с включениями калийных, магниевых солей и боратов;
- 900—1050 м — карналлит-кизеритовые, сильвинит-кизеритовые, полигалит-сильвинитовые и сильвинитовые соли с включениями боратов;
- 1050—1100 м — каменная соль с прослоями ангидрита (1—3 мм) и ангидрито-глинистой породы, с включениями калийных и магниевых солей, боратов;
- 1100—1120 м — ангидрит серый, скрытокристаллический, плотный с прослоями галита;
- 1120—1200 м — каменная соль с прослойками ангидрита (1—2 мм), с включениями карналлита, кизерита, сильвинита, полигалита, ашарита, борацита.

В целом бораты концентрируются в солях калийно-магниевого состава. Наиболее бороносны два типа руд: 1) калибаритовый в сильвините с сульфатом калия и 2) борацит-преображенскитовый в кизерит-карналлитовых солях. Бороносные линзы солей имеют мощность от первых метров до 10—20 м. Содержание В₂O₃ в них в среднем составляет 0,2—0,4, но может достигать 1,85—2,90%.

Единственное рудопроявление свинца в Прикаспийской впадине известно с давних пор на горе Большое Богдо, являющейся растущим соляным куполом в южной части Баскунчакского соляного массива. Он при-

урочен к Азгирскому глубинному разлому и состоит из четырех соляных куполов: Северного, Южного и Восточного Баскунчакских, а также Вак-Тау. Все купола несут серную минерализацию, причем в первом из них она наблюдается в частично сохранившейся карбонатной части кепрока, а на Восточно- и Южно-Баскунчакских куполах, где карбонатный кепрок уничтожен, обильно осернены четвертичные песчаные сильно загипсованные глины, перекрывающие гипсы кепрока и дислоцированные в мелкие пологие складки. Толщина осерненных линз от 0,5 до 2,5 м, содержание серы в них от 1—2 до 40—50%.

Надкепроковые образования красноцветной (пестроцветной) формации горы Большое Богдо представлены сильно измененными карбонатно-терригенными нижнетриасовыми отложениями, образующими до 110 слоев и линз пород, объединяемых в четыре толщи (сверху-вниз): известняково-глинистую сероцветную (35—40 м), верхнюю — глинистую пестроцветную (70—80 м), песчаниково-конгломератовую (30—35 м) и нижнюю — глинистую пестроцветную (80—85 м).

Многие разности пород при изучении в шлифах оказываются не нормально осадочными, а существенно метасоматическими образованиями. Реликты слабо измененных первичных осадочных пород сохранились в них лишь в части шлифов. Повсеместно отмечается: слюдисто-альбит-кварцевое замещение с сопутствующей сульфидизацией глинисто-известковистых пород, их расщепление и брекчирование, кристаллизация рассеянного порфиробластического кварца с сопутствующим полевым шпатом; ожелезнение, кальцитизация, огипсование и битуминизация глин, алевролитов и мергелей. В местах наиболее интенсивных изменений образовались массивные кварцевые псевдопесчаники и псевдоконгломераты (описание шлифов выполнено П. Ф. Иванкиным и Н. И. Назаровой).

Точечное опробование пестроцветных и сероцветных пород горы Большое Богдо показало их повышенную (в 10—100,0 раз выше кларковой) металлонность по свинцу, марганцу, стронцию, цинку, меди, никелю, молибдену, серебру и мышьяку. Она повсеместна в ожелезненных прослоях по-

род, содержащих до 7—10% пирита и до 30—40% лимонита.

Известняково-глинистая сероцветная пачка пород горы Большое Богдо почти нацело заражена свинцом (0,001—0,5%). Видимый галенит содержится в органогенных детритовых известняках, сильно перекристаллизованных и лимонитизированных. Он заполняет пустотки выщелачивания и образует характерные кубические кристаллы со штриховкой на гранях и пластинках, часто вместе с лимонитом, пиритом, кальцитом и, реже, битумом. Выщелоченные остатки фауны в ряде случаев замещены кальцит-флюоритовыми агрегатами, а створки раковин — халькопиритом. Выделяется от двух до четырех линз метасоматических известняков мощностью от 0,04 до 0,25 м со средним содержанием свинца 0,11—0,50%.

В шлихах из русел временных водотоков, дренирующих гору Большое Богдо, выявлены галенит, англезит, флюорит, куприт, золото (знаки, единичные знаки), барит (до 200 г/м³). В донных пробах из них содержатся те же рудные элементы, что и в ожелезненных разностях коренных пород. Контакт нижней глинистой пестроцветной пачки пород с солями массива вскрыт рядом картировочных скважин. Во всех случаях он не имеет признаков размыва.

В переходной зоне солянокупольной тектоники наиболее ярким по продуктивности является купол Кенкияк в восточной части Прикаспийской впадины. Это относительно развитый соляной массив овальной антиклинальной формы размером 5 × 22 км и мощностью солей до 3000—3500 м. Он покоится на карбонатном рифогенном основании, обрамляется пермо-триасовыми красноцветными отложениями и выходит в наиболее приподнятых частях на предюрскую поверхность размыва.

Кепрок купола залегает на глубине 280—700 м и имеет мощность от 1—2 до 200 м, в среднем 80 м. Он представлен ангидритами, гипсами и терригенными породами, значительно карбонатизированными в верхней части разреза. Рудная минерализация выражена в интенсивном осернении черных, сильно пиритизированных и карбонатизированных аргиллитов и аргиллитоподобных расщепленных глин, содержащих прослои и линзы гипсов, ангидритов, песча-

ников, известняков и мергелей, также осерненных, но в значительно меньшей степени. Она установлена в интервалах глубин от 459 до 516 м по ряду скважин и характеризуется обильными включениями кристаллов самородной серы в аргиллитах, сохранивших гнездовидные скопления тяжелой нефти. Мощность по скважинам осерненных и пиритизированных зон, к сожалению, не опробованных, от 12 до 35 м.

Прибортная зона соляных антиклиналей в западной части Прикаспийской впадины характеризуется широким развитием магниевых бишофитовых солей. Они прослежены здесь на 500 км вдоль крупного Нижне-Волжского глубинного разлома от Мокроусовской и Лиманской площадей Саратовского Заволжья на севере до Городовиковской площади Астраханской области на юге. При этом наиболее мощные пласты и линзы бишофита (до 10—15 м) выявлены в Волгоградской области (Наримановское месторождение), где межсоловые подземные воды представлены сверхкрепкими рассолами хлор-магниевого типа [4].

В восточной части Прикаспийской впадины соляные антиклинали наиболее типичны для Актюбинского Приуралья. Здесь развита сероносная Подгорненская антиклиналь. Она имеет меридиональное простирание и асимметричное строение: восточное пологое (20—30°) крыло надвинуто на западное крутое (60—65°) по взбросу с амплитудой 500—600 м. Протяженность антиклинали 18 км. В ее приподнятой южной части над артинским сводом в местах выклинивания солей сохранился терригенно-сульфатный кепрок с характерным метасоматическим осернением.

Насчитывается от одного до четырех-пяти осерненных горизонтов на глубине 125—340 м и разделенных безрудными известняками, мергелями и глинами. Залежи серы приурочены к метасоматическим известнякам по гипсам. Они имеют мощность 4,12—6,28 м, содержание серы 9—18%. Руды известняковые и мергелистые с прожилковой вкрапленной и гнездовой структурами. Состав: кальцит и сера (95%), гипс, ангидрит, доломит, целестин, арагонит, стронцианит, пирит, гауерит [11].

Приплатформенная зона малоамплитудных брахиантиклиналей выделяется в

западной и юго-западной части Прикаспийской впадины. Это зона выклинивания солей, которые зачастую представлены в ней ангидритом. На ряде площадей ангидритизация развивается по доломитизированным известнякам карбонатной рифогенной формации. При этом ангидриты подвергаются огипсованию, осернению, сульфидизации.

Наиболее интересный разрез вскрыт Марьевской скважиной (804 м) в Саратовском Заволжье к северу от г. Ершова. Непосредственно под неоген-четвертичными песчано-глинистыми отложениями долины Палео-Кушума (470 м) здесь залегают сильно измененные породы карбонатной рифогенной формации верхнего карбона — нижней перми. В верхней части разреза (470—670 м) они представлены почти нацело ангидритизированными и огипсованными доломитами и доломитизированными известняками. Ниже по разрезу сульфатизация ослабевает, преобладают метасоматические доломиты и доломитизированные органогенные известняки, битуминизированные и осерненные.

Серная минерализация встречается в интервале 680—750 м в почти исключительно сульфатизированных доломитах. Она рассеяна в породе, но образует 11 осерненных горизонтов мощностью от 0,1 до 0,6 м с содержанием серы от 11 до 80%. Суммарная мощность осерненных горизонтов составляет 3,25 м при среднем содержании серы 17,6%. Характер оруденения прожилково-вкрапленный, но в интервале 748—749 м образовались массивные руды замещения серой кальцита. Кальцитизация доломитов наблюдается по всем осерненным горизонтам. Карбонатные породы разреза сильно пиритизированы и битуминизированы, содержат повышенное количество меди (0,001—0,006%), никеля (до 0,008%), стронция (0,3—0,5%) и лития (до 0,05%).

Необходимость выделения Эмбенской и Астраханской солянокупольных зон диктуется особенностями геологического строения подсолевого ложа, наличием под ними подсолевых погребенных поднятий и Нижне-Волжского выступа фундамента. Эмбенская зона характеризуется мозаичным расположением соляных куполов, меньшей, чем в Центральной зоне, глубиной залегания подсолевых отложений, нефтяным разрезом

надсолевых и подсолевых (Тенгиз, Каратон) пород. Астраханская зона отличается развитием куполов над крупнейшим по размерам (100—200 км) подсолевым Астраханским сводом, ячеистым расположением соляных куполов, интенсивной неотектоникой, газовым и газо-конденсатным разрезом подсолевых и надсолевых отложений.

Кепроки соляных куполов в Эмбенской и Астраханской зонах изучены очень слабо. В первой из них они нередко несут серную минерализацию (Искине, Карашунгул, Макат, Сагиз, Каратон и др.), а также имеют проявления цинка (сфалерит в кепроке купола Буйшунас) и меди (малахит в кепроке купола Южный Искине), оставшиеся не опробованными. Отдельные соляные купола Астраханской зоны сероносны (Владимирский).

Прикаспийская впадина — один из крупнейших нефтегазоносных бассейнов. Характерной его особенностью является максимальное заражение подсолевых отложений сероводородом и другими неуглеводородными компонентами — углекислотой, гелием, ртутью. Особенно впечатляющи запасы газовой серы (сероводорода) в Прикаспийской впадине, по количеству которых она не имеет себе равных в мире. Достаточно сказать, что только на Астраханском своде эти запасы в четыре-пять раз превышают запасы самородной серы Предкарпатского сероносного бассейна. Среднее содержание сероводорода в карбонатной рифогенной формации Астраханского газоконденсатного месторождения составляет 24,6%, т. е. в этом смысле оно уникально.

Сероводород — основа для самородной серы, формирующейся в конце процесса эпitherмального рудообразования. В гидротермальном процессе отложение самородной серы является результатом обогащения рудоносных гидротерм серой по мере приближения к поверхности. Низкая температура кипения серы (119,5°C) и ее высокая летучесть обуславливают некоторый отрыв метасоматических серных залежей от более глубоких рудопоявлений металлов — меди, свинца, цинка, золота и серебра [3]. Киноварные руды могут отлагаться вместе с серой и сульфидами железа, подстилая серные залежи. Поэтому не случайна столь разнообразная рудная минерализация (вплоть до

промышленных скоплений) в кепроках соляных куполов Примексиканской и Днепровско-Донецкой впадин: реальгар, киноварь, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, гауерит [1, 7, 10]. Все эти минералы проявляются в кепроках соляных куполов или в перекрывающих терригенных и карбонатно-терригенных отложениях и в Прикаспийской впадине.

Подземные воды Прикаспийской впадины являются рудоносными, особенно в зонах глубинных разломов. Они несут повышенные количества (в мг/л): бора до 900, свинца — 12,5, цинка — 23,6, меди — 2—5, стронция — до 500, рубидия — 11—15 и цезия — 1—3. В газовом составе вод много водорода (4—10%), сероводорода (до 40—50%), углекислоты (10—15%). Аномально и термальное поле солей во впадине. В 1985 г. скважина на Мынтобинском подсолевом поднятии (к северу от Астраханского свода) на глубине 4733 м вошла в соль и через 20 м была закрыта по причине слома бурового инструмента из-за высокой температуры на забое, достигавшей 246°C. Это поднятие находится в зоне Азгирского глубинного разлома, где западнее в ядре соляного купола Азгир вскрыты прослои туффитов толщиной до одного и более метра и установлено значительное (15—20%) количество пирокластического материала в самой соли. В составе пирокластов — вулканическое стекло, цеолиты, тенардит, гиллебрандит и редкий боросиликат — сирлезит, встреченный ранее только в Калифорнии [9]. Пирокластические породы обнаружены также на куполах Индер и Акжар, в подсолевых отложениях Астраханского и Тенгизского поднятий, на Карасальской моноклинали.

Парагенез серы, нефти, газа и руд металлов в Прикаспийской впадине изучены недостаточно. С региональных прогнозных позиций можно предположительно говорить о следующем:

1. Площади с преимущественным развитием нефтяных месторождений занимают восточную, юго-восточную и, частично, южную части территории.

2. В северной, западной и юго-западной частях впадины преобладают газовые и газоконденсатные залежи с высоким содержанием сероводорода (Оренбургское, Карачаганакское, Астраханское).

3. Крупные бороносные солянокупольные структуры развиты в центре Прикаспийской впадины (Индер, Сатимола).

4. Самородная сера (наиболее яркие проявления) тяготеет к Волго-Уральской подзоне Центральной зоны развития зрелых соляных куполов.

5. Перспективны на руды металлов при- бортовые зоны соляных куполов, периферия Астраханского свода и солянокупольные структуры с полноразвитым кепроком, приуроченные к глубинным разломам (Баскунчак, Азгир, Мынтобе и другие).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейтс Р.Л. Геология неметаллических полезных ископаемых. — М.: Мир, 1965. 346 с.
2. Валеев Р.П. Тектоника и минерагения рифея и фанерозоя Восточно-Европейской платформы. — М.: Недра, 1978. 135 с.
3. Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования (Под ред. Власова Г.М.). — М.: Наука, 1971. 360 с.
4. Деревягин В.С., Свидзинский С.А., Сефлецкий В.И. и др. Нижнепермская галогенная формация

Северного Прикаспия. — Изд. Ростовского госуниверситета, 1981. 280 с.

5. Диаров М.Д., Тухфатов К.Т. и др. Калийные соли Казахстана. — Алма-Ата: Наука, 1983. 214 с.
6. Китык В.И., Белоус И.Р. и др. Ртутоносность соляных куполов Днепровско-Донецкой впадины. — Киев: Наукова Думка, 1981. 166 с.
7. Минеральные ресурсы развитых капиталистических стран. М.: Мингео СССР, Союзгеолфонд, 1982. 400 с.
8. Неволин Н.Б. и др. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности солянокупольных бассейнов материков по геофизическим данным. — М.: Недра, 1977. 344 с.
9. Новые данные по геологии соленосных бассейнов Советского Союза. Сб. статей / Под ред. Яншина А.Л., Мерзлякова Г.А. — М.: Наука, 1986. 232 с.
10. Особенности формирования и размещения залежей нефти и газа в подсолевых отложениях Прикаспийской впадины / Под ред. Кирихина Л.Г. и Федорова Д.Л. — М.: Недра, 1984. 144 с.
11. Пермская система земного шара. Международный конгресс // Тезисы докладов / Под ред. Чувашова Б.И. — Свердловск, 1991. 286 с.
12. Структурные особенности и перспективы нефтегазоносности осадочного комплекса Прикаспийской впадины // Сб. статей / Под ред. Айзенштадта Г.Е. - А., Слепакова Г.И. — Л.: ВНИГРИ, 1979. 189 с.

V. M. Nikolsky

MINERALIZATION OF SALT DOMES OF PRI-CASPIAN DEPRESSION

Pri-caspian salt dome structure is studied; information about sulphur, boron, mercury and base metal imposed mineralization in their cap rock is given.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 681.518:553.411

ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ РОССЫПНЫХ И КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

И. А. ЧИЖОВА, Ю. А. ЭПШТЕЙН, Е. В. МАТВЕЕВА, А. Г. ГОРЕЛОВ,
Н. А. КРУПНИК (ЦНИГРИ)

На основе технологии гибридной экспертной системы «Астра» разработаны специализированные экспертные системы, предназначенные для прогноза и поисков коренных («ГЕОКОНС») и россыпных («Алдан», «Малык-Сиен») месторождений золота и функционирующие на ПЭВМ IBM PC / AT.

Опыт показывает, что многие эффективные решения лежат вне сферы экспертных знаний, поэтому распространение систем, основанных только на таких знаниях, не дает должного эффекта. Более перспективны так называемые гибридные системы, основанные как на знаниях, так и на математических моделях. Идея их создания обсуждается последние два—три года и уже получила ряд экспериментальных подтверждений.

Экспертная система (ЭС) «Астра» предназначена для решения с помощью ЭВМ геологических задач, традиционно связанных с привлечением экспертов. Она разрабатывалась в качестве «пустой» экспертной системы. Основными компонентами ее являются:

БД (база данных), представляющая собой совокупность многопризнаковых моделей на разных металлогенических уровнях, разработанных геологом-экспертом на основании первичной геологической информации, собственных заключений о связях и закономерностях геологических факторов;

БЗ (база знаний), состоящая из знаний эксперта и закономерностей, полученных в результате математической обработки базы данных с помощью блока приобретения знаний (БПЗ);

БПЗ (блок приобретения знаний), включающий в себя комплекс программ для классификации объектов, оценки информа-

тивности признаков и построения решающих правил для идентификации объектов;

РЛБ (расчетно-логический блок), обеспечивающий вычисление параметров, необходимых для получения результирующего заключения;

БПР (блок принятия решений), обеспечивающий получение результирующего заключения;

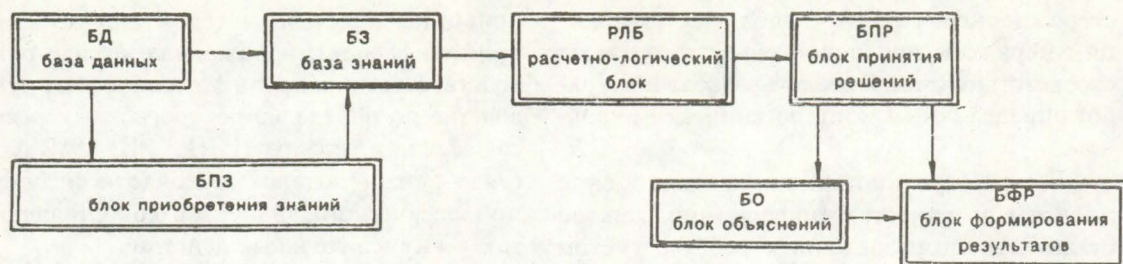
БО (блок объяснений), позволяющий проанализировать процесс принятия решения;

БФР (блок формирования результатов), позволяющий в удобной форме получить результат экспертизы с рекомендацией по дальнейшему изучению объекта.

Схема их взаимодействия представлена на рисунке. Отметим особенности некоторых блоков.

Наибольшую сложность при проектировании прикладных экспертных систем представляет разработка адекватной, непротиворечивой модели проблемной области, что связано в основном с вопросами извлечения, структуризации и представления знаний. Для этой системы специально была создана иерархическая база данных «Лист» (разработчики программного обеспечения СУБД «Лист» — И. А. Чижова, С. А. Пархоменко, Т. А. Попов), обеспечивающая быстрый доступ к нужной информации по объектам на всех металлогенических уровнях.

База знаний ЭС «Астра», помимо знаний экспертов, содержит информацию о закономерностях, полученных при математи-



ческом анализе имеющейся базы данных. Она включает в себя:

- базу факторов с оценкой значимости;
- базу правил для идентификации объектов;
- список вопросов к пользователю;
- список возможных результирующих заключений;
- список рекомендаций.

Для получения знаний об объекте возможно использование различных математических методов: статистических, линейного программирования, теории игр и др. Особенностью блока приобретения знаний является комплекс программ по логико-информационному анализу данных, составляющих прогнозирующую систему «Астра». Основные достоинства разработанных программ: обеспечение возможности выделения системы информативных признаков относительно решаемой задачи (например, системы поисковых критериев) и оценка их значимости, построение простых правил для идентификации объектов на основе полученных оценок. При этом учитывается особенность геологической информации, используемой при формировании прогнозных критериев: основная часть данных носит бинарный характер, т. е. фиксируется наличие или отсутствие признаков у объектов. Поэтому в программах системы прогнозирования «Астра» реализованы алгоритмы, специально разработанные для случая, когда данные могут быть и количественными, и бинарными.

Система прогнозирования «Астра» (автоматизированная система, основанная на теории распознавания) позволяет решать основные задачи, возникающие при формировании ППК, а именно:

- выделять критерии, характеризующие перспективность объектов и определять их взаимосвязь;

- оценивать на их основе перспективность любого объекта.

В результате работы ЭС по каждому диагностируемому объекту выдается заключение о его принадлежности к одному из выделенных классов. Классы объектов выделяются по некоторому целевому свойству (продуктивности, масштабности оруденения и т. д.). По мере формирования результирующего заключения возможно подключать блок объяснений с целью расшифровки процесса принятия решения.

ЭС «Астра» в диалоговом режиме быстро и надежно проводит экспертизу объектов, даже если знания об объекте не полные. Для общения с системой никаких специальных знаний по программированию не требуется.

Технология ЭС «Астра» позволяет создавать надежные специализированные экспертные системы. Ниже дается описание экспертных систем для прогноза и поисков коренных и россыпных золотых объектов.

Экспертная система «ГЕОКОНС» (разработчики Ю. А. Эпштейн, И. А. Чижова, А. Г. Горелов, Г. Н. Кричаев, В. А. Мальцев) является первой ЭС, посвященной прогнозу и поискам близповерхностного золото-серебряного оруденения в континентальных вулканогенных поясах Востока России. Она функционирует на современных персональных компьютерах типа IBM PC/AT, что объясняет ее широкое распространение, поскольку подобные ПЭВМ имеются в большинстве организаций. Система действует в диалоговом режиме и по принципам работы является гибридной (расчетно-логической). Последовательность действий максимально приближена к цепи операций эксперта-консультанта и обеспечивается взаимодействием шести блоков и подблоков и оптимизацией диалога. Анализ геологического материала ведется на четырех уровнях: «рудный район», «рудный узел», «рудное поле», «ме-

сторожение». При этом соблюдается принцип иерархии признаков объекта, а также соответствия стадий геологоразведочных работ определенным металлогеническим уровням.

Блок «Изученность» служит для оценки полноты и качества информации каждой стадии геологоразведочных работ с учетом ландшафтных и технических условий их проведения. Итоговые заключения блока предусматривают не только абсолютно положительную или абсолютно отрицательную оценки, но и наиболее распространенный на практике вариант недостаточной полноты или не во всем качественной изученности, хотя ее и может хватить для положительной оценки объекта. Оптимизация действия ЭС в этом блоке достигается прерыванием диалога при получении ответов о невыполнении важнейших работ соответствующих стадий.

С помощью блока «Геология» определяется присутствие или отсутствие поисковых критериев и признаков, выясняются их совмещения и сочетания, решается вопрос о наличии рудоносных объектов рассматриваемого уровня, проводится типизация последних. Существенным положительным качеством системы является значительная оптимизация диалога, достигаемая применением программного комплекса «Консультант» (разработчик В. А. Мальцев), который позволяет путем постоянного вычисления текущей вероятности во время диалога вести выбор наиболее существенной для рассматриваемой ситуации группы вопросов, и ограничиваться для заключений необходимым и достаточным их минимумом. Таким образом, при сотнях вопросов, заложенных в базу знаний на каждом металлогеническом уровне, диалог может ограничиться одним-трем десятками.

По мнению авторов, четкости диалога способствует система ответов на большинство вопросов по типу «да», «нет», «не знаю». При разработке ЭС авторы старались использовать имеющиеся или разработать новые типизации объектов и их признаков, базирующиеся на сравнительно простой, легко считываемой с карт или других документов информации. В этом блоке имеется подблок оценки прогнозных ресурсов. При его создании использовались известные

принципы подсчета методом аналогий или прямого расчета, изложенные в ряде руководств, в том числе и в Методическом руководстве по определению прогнозных ресурсов золота и серебра (ЦНИГРИ, 1982 г.). В связи с этим подблок включает как операции логического анализа и сопоставлений, так и вычислительные действия.

Технологический блок и блок геолого-промышленной оценки имеются только для «Месторождений», поскольку вопросы оценки технологических качеств руды и предварительного расчета кондиций возникают главным образом со стадиями поисково-оценочных работ. В технологическом блоке содержится очень простой опрос, позволяющий отнести месторождение к тому или иному технологическому типу. Геолого-промышленная оценка проводится в другом выше названном блоке, построенном на использовании номограмм В. В. Стефановича, трансформированных в уравнения. Результатом работы является заключение о целесообразности экономического освоения объекта. В блоке предусмотрен учет изменения экономической ситуации.

Блок «Рекомендации» сформирован для накопления и анализа информации о составе проведенных работ («Изученность»), а также вопросов с ответом «не знаю» («Геология»). Таким образом проблемы изученности объекта получают оценку не только по видам работ, но и по задачам, что также является существенным преимуществом данной ЭС перед другими.

Для дальнейшего развития и улучшения системы перерабатывается блок «Геолого-промышленная оценка», создается банк заложенной в компьютер графической и табличной информации с возможностью ее различной трансформации и обработки в компьютере, пополняется банк данных информацией по новым объектам.

Экспертная система для россыпных объектов разрабатывалась на основе данных по эталонным объектам юго-восточной части Алданского и Средне-Берелехского района Верхояно-Чукотской золотоносной провинций. Для моделирования в первом случае были выбраны уровни россыпного поля и перспективной долины; во втором случае — уровень россыпного узла.

При построении экспертной системы

«Алдан» (разработчики Е. В. Матвеева, И. А. Чинова, Н. А. Крупник) использовалась региональная база данных россыпных объектов Юго-Восточной части Алданского шита. Многопризнаковые модели россыпных объектов области активизации древнего шита разработаны на базе широкого круга геологических критериев и признаков. На основе анализа базы данных с помощью системы прогнозирования «Астра» (разработчик И. А. Чинова) построена база знаний экспертной системы для решения следующих геологических задач:

- сокращенный вариант поисков перспективного поля;
- полный вариант поисков перспективного поля;
- россыпное поле определенного района (четыре типа);
- россыпное поле с определенным показателем линейной продуктивности составляющих поле россыпей;
- при неудовлетворительной изученности объекта — определение перспективности, исходя из наличия благоприятной морфоструктурной обстановки.

ЭС «Алдан» состоит из трех блоков: поиска, прогнозной оценки и оценки изученности. В результате экспертизы возможно получение следующих заключений:

- оценка прогнозных ресурсов по категории P_2 ;
- оценка перспективности объекта для выявления россыпей «алданского» типа;
- оценка степени изученности (в случае недостаточной изученности рекомендуется рациональный комплекс геологоразведочных работ, проведение которых повысит надежность полученного в результате экспертизы заключения);
- оценка морфоструктурной обстановки, благоприятной для выявления мелкозалегающих аллювиальных россыпей.

ЭС «Малык-Сиен» (разработчики Е. В. Матвеева, Ю. И. Гольдфарб, И. А. Чинова, Н. А. Крупник) создана для россыпных узлов Средне-Берелехского района Верхояно-Чукотской золотоносной провинции. Она построена как и ЭС «Алдан» на основе машинной обработки базы данных средствами прогнозирующей системы «Астра». От-

личительной ее особенностью является то, что многопризнаковые модели БД построены на основе оптимального комплекса ППК. Полученные в результате обработки предметные модели содержат отличительные признаки и сгруппированы также по трем подсистемам геологических задач: поиска, прогнозной оценки и оценки изученности. На объектах они отражают:

- насыщенность золоторудными проявлениями;
- морфоструктурную обстановку;
- величину пострудного среза;
- площадь межинтрузивных зон;
- удельную площадную продуктивность;
- оценку изученности в зависимости от обнаженности территории.

В результате система выдает заключения по следующим вопросам:

- характеристика объекта оценки относительно перечисленных выше геологических задач;
- перспективность территории на уровне узла;
- прогнозные ресурсы по категории P_3 ;
- оценка степени изученности объекта с рекомендуемым комплексом геологоразведочных работ.

Разработанные экспертные системы были отлажены на эталонных объектах и протестированы на контрольных; прогнозные оценки ресурсов сравнивались с экспертными оценками; полученные результаты удовлетворительны.

Таким образом на основе предложенной технологии разработаны специализированные экспертные системы «ГЕО-КОНС», «Алдан», «Малык-Сиен», обеспечивающие использование знаний квалифицированных экспертов при экспресс-оценке россыпных и коренных объектов золота. Эти системы могут быть использованы в производственных геологических организациях: для обучения специалистов, не имеющих высокой квалификации и опыта работы; обеспечения квалифицированных заключений при прогнозе и оценках; помощи экспертам в оперативном получении предварительных заключений и подсчетов, выявления основных недостатков имеющихся материалов по объектам оценки.

Дальнейшее совершенствование экспертных систем предполагается проводить путем пополнения базы знаний дополнитель-

ными количественными геологическими характеристиками и графической информацией, а также развития методов их анализа.

I. A. Chizhova, Ju. A. Epshtein, E. V. Matveeva, A. G. Gorelov, N. A. Kroupnik

EXPERT SYSTEMS FOR PREDICTION AND PROSPECTING OF PLACER AND LODGE GOLD DEPOSITS

Based on the technology of the «ASTRA» hybrid expert system specialized expert systems designed for prediction and prospecting for lode («GEOKONS») and placer («ALDAN», «MALYK-SIEN») gold deposits have been worked out. These are run IBM PC / AT on computers.



ЦНИГРИ

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА В РОССЫПЯХ И КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

Методика основана на изучении удельного электросопротивления и анизотропии объема горных пород методами частотных электромагнитных зондирований и переходных процессов, дающих площадную и поглубинную информацию о геоэлектрическом строении и геологических особенностях исследуемой среды, связанных с объектами поисков.

Технология работ.

проведение профильных или площадных съемок методами частотных или временных электромагнитных зондирований с использованием мобильной и компьютеризированной аппаратуры;

задание электромагнитного поля осуществляется кондуктивно или индуктивно, измеряются различные компоненты электромагнитного поля, реагирующие на электрические характеристики исследуемой геологической среды;

Реализация методики позволяет картировать элементы строения и морфологию коренных пород (плотика), литологию перекрывающих отложений, выделять потенциально рудоносную часть исследуемого объема горных пород до глубин 0,3–0,5 км.

Результаты работы представляются в виде геоэлектрических разрезов, поглубинных карт "эффективных" удельных электросопротивлений, геолого-геофизических интерпретационных схем с выделением перспективных участков.

Методика опробована на россыпных месторождениях золота в Юго-Восточной Якутии, Западной Сибири

Вид реализации – инжиниринг.

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 «Б», ЦНИГРИ
Телефон: (095) 313-18-18
Телетайп: 114142 АДУЛЯР
Факс: (095) 315-27-01
Телекс: 411700 PTB SU TSNIGRI 2901



ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ ЗОЛОТОРОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

На основе обобщения обширных материалов по изучению россыпей золота на территории Российской Федерации и зарубежных стран разработаны методические основы и приемы рационального комплексирования геологоразведочных работ при региональном и локальном прогнозировании различных типов золотороссыпных месторождений.

Методика основана на анализе геологических обстановок и морфо-структурного районирования, выделении комплекса прогнозно-поисковых критериев (геологических, геоморфологических, геохимических, геофизических) для каждой конкретной геологической обстановки.

Технология работ заключается в проведении специализированного комплекса исследований для конкретных регионов с учетом стадийности геологоразведочного процесса.

Реализация методики дает возможность, опираясь на разработанные прогнозно-поисковые критерии и признаки, обосновать рациональный комплекс работ для каждого геолого-промышленного типа месторождений россыпного золота, что позволяет выполнять геологоразведочные работы и сопутствующие им исследования с наибольшей эффективностью.

Результаты работ представляются в виде комплекта карт, схем и геологических разрезов соответствующих масштабов с выделением перспективных площадей и участков для постановки поисковых работ с указанием мест заложения поисковых выработок (скважин, шурфов). Текстовое приложение содержит оценку прогнозных ресурсов россыпного золота на перспективных объектах и параметры ожидаемых россыпных месторождений.

Методика апробирована при производстве геологоразведочных работ в различных регионах СНГ. Ее реализация привела к обнаружению ряда новых промышленных месторождений россыпного золота как в традиционных районах золотодобычи, так и на новых площадях, ранее считавшихся малоперспективными.

Вид реализации — инжиниринг, ноу-хау.

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 «Б», ЦНИГРИ
Телефон: (095) 313-18-18
Телетайп: 114142 АДУЛЯР
Факс: (095) 315-27-01
Телекс: 411700 PTB SU TSNIGRI 2901



ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Ведущими специалистами ЦНИГРИ на основе изучения золотоносных кор выветривания и обобщения материалов геологоразведочных организаций, а также анализа данных по различным регионам земного шара разработана эффективная методика прогноза, поисков и оценки месторождений золота в корях выветривания.

Методика базируется на выявленных закономерностях размещения золотоносных кор выветривания и эволюционно-генетической взаимосвязи гипогенных и гипергенных месторождений золота. Методика учитывает многообразие геолого-технологических типов руд золота в корях выветривания, что определяет специфику их изучения, поисков, геолого-экономической оценки, а также применение при эксплуатации прогрессивных технологических способов обработки руд.

Технология работ включает использование комплекса методов прогнозирования, поисков и оценки прогнозных ресурсов золота месторождений кор выветривания применительно к конкретным стадиям геологоразведочных работ и включает специализированные геолого-геоморфологические, лито-геохимические и технологические исследования, нетрадиционные методы опробования и обработки проб.

Реализация методики позволяет расширить перспективные площади как в новых, так и в старых золотоносных районах, в том числе в пределах горных отводов действующих предприятий. Методика обеспечивает выявление потенциально рудоносных зон в корях выветривания, разбраковку месторождений по геолого-генетическим типам, оценку прогнозных ресурсов, выбор оптимальных способов опробования и эксплуатации.

Результаты работ представляются в виде комплекта специализированных карт и разрезов различных масштабов составляющих обоснование прогноза. Картографические материалы сопровождаются пояснительной запиской.

Методика реализована с высокой эффективностью при поисках и оценке золотоносных кор выветривания на Урале и Салаирском кряже.

Вид реализации — инжиниринг, ноу-хау.

Адрес:	113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 «Б», ЦНИГРИ
Телефон:	(095) 313-18-18
Телетайп	114142 АДУЛЯР
Факс:	(095) 315-27-01
Телекс:	411700 PTB SU TSNIGRI 2901

УДК 553.81.001.57

МНОГОФАКТОРНЫЕ МОДЕЛИ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

В. Е. МИНОРИН, П. К. КЛОЧКОВ, Л. А. ЛЕБЕДЕВА, В. А. СКОСЫРЕВ
(ЦНИГРИ)

На основе статистической обработки разведочных данных по отечественным россыпям и изучения зарубежных месторождений построены многофакторные модели россыпей алмазов. С их использованием разработаны наиболее полные классификации россыпей, в т.ч. по главным факторам, определяющим выбор рациональных систем разведки, плотности сети разведочных выработок и необходимого объема проб.

Многофакторные модели созданы на примере 30 аллювиальных россыпей (участков) Якутии и Урала пяти геоморфологических типов: русловых, долинных, террасовых, ложковых и карстово-эрозионных долин. Предварительно путем линейного тренд-анализа параметров алмазоносности выявлены неоднородные участки внутреннего строения россыпей и закономерности изменчивости алмазоносности по мере удаления от питающих коренных или промежуточных источников. Достаточно протяженные разнородные участки россыпных месторождений, относящиеся к различным классификационным группам россыпей, выделены в самостоятельные участки, залежи.

Раздельно рассматриваются россыпи ближнего, умеренного сноса и россыпи дальнего сноса и переотложения (фактор питающего источника). Для россыпей ближнего и умеренного сноса (рисунок, а), питающихся алмазами из недалеко расположенных коренных месторождений, характерны незначительная сортировка алмазов, закономерное падение содержания и увеличение средней массы зерен алмазов с удалением от коренных источников, согласно зависимостям:

$$c = c_0 e^{-a\sqrt{l}}, \text{ при } a = 0,3-0,5, \dots, \quad (1)$$

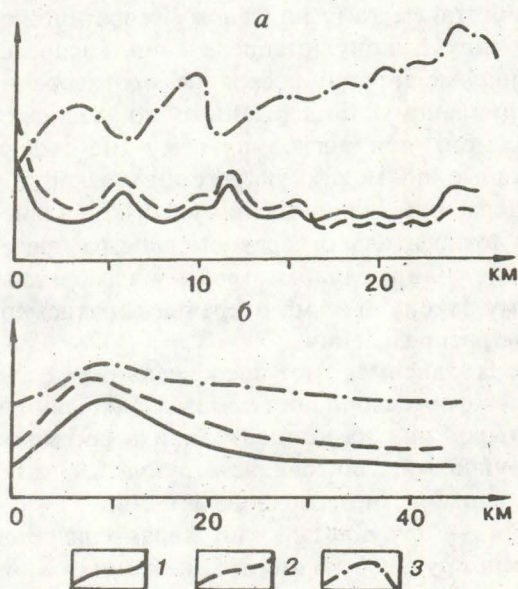
$$d = d_0 e^{a\sqrt{l}}, \text{ при } a = 0,2-0,3, \dots, \quad (2)$$

где: c_0 и d_0 — значения содержания и средней массы зерен вблизи источника,

мг/м³ и мг; a — параметр, характеризующий скорость изменения содержания (или массы) алмазов; l — расстояние от начала россыпи (источника), км.

Вблизи коренного источника весовое и количественное содержания алмазов в аллювии максимальные, а средняя масса зерен минимальная, близкая первоисточнику.

Россыпи дальнего сноса и переотложения (рисунок, б) питаются алмазами далеко расположенных коренных и близких промежуточных источников и характеризуются сортировкой алмазов. Для них закономер-



Закономерности изменчивости параметров алмазоносности россыпей ближнего (а) и дальнего (б) сноса

1 — содержание алмазов в каратах на 1 м³; 2 — количество зерен алмазов в 1 м³; 3 — средняя масса зерен алмазов в мг

ным является относительно замедленное падение как содержания, так и средней массы алмазов по мере удаления от промежуточного источника:

$$c = c_{oe}^{-a\sqrt{l}}, \text{ при } a = 0,15—0,30, \dots, (3)$$

$$d = d_{oe}^{-a\sqrt{l}}, \text{ при } a = 0,10—0,15, \dots, (4)$$

В начале аллювиальной россыпи, вблизи промежуточных источников весовое, количественное содержания, а также средняя масса зерен алмазов обычно максимальные. Площадной характер промежуточных источников, сортированность алмазов и замедленная скорость падения алмазоносности способствуют в этом случае большей их протяженности по сравнению с россыпями ближнего сноса.

Для создания многофакторных моделей аллювиальные россыпи алмазов классифицируются по следующим (генетическим, концентрационным, морфологическим, горно-техническим, вещественным) факторам, влияющим на выбор технических средств и методики разведки (таблица).

Изменчивость мощности песков и содержания алмазов по выработкам характеризуются, кроме коэффициентов вариации, соответствием тому или иному теоретическому типу (закону) распределения. Распределение мощностей песков не противоречит нормальному (выдержанные по мощности россыпи) или логнормальному (не выдержанные по мощности россыпи) закону, а содержания — нормальному, логнормальному (относительно неравномерное распределение) или трехпараметровому логнормальному закону (весьма и крайне неравномерные распределения).

В зависимости от преобладания тех или иных форм скопления алмазов, выделяются четыре типа их концентрации в россыпях: струйчатый, линзовидно-струйчатый, линзовидный и гнездово-линзовидный:

I — струйчатый тип характеризуется доминирующей концентрацией алмазов относительно крупных и средних по размеру в струях, доля обогащенных алмазами линз и гнезд незначительная; бедные участки с содержанием ниже минимального уровня для оконтуривания россыпи отсутствуют или редко фиксируются в одиночных выработках.

Россыпи этого типа, с относительно выдержанным распределением алмазов, эффективно опробуются по линиям шурфов и скважин при больших расстояниях между ними;

II — линзовидно-струйчатый тип характеризуется преимущественной концентрацией алмазов в струях при подчиненной, но значительной доле линз и незначительной — отдельных гнезд; преобладают струи и линзы средних размеров, относительно узкие; в подчиненном количестве присутствуют бедные участки мелких размеров. Россыпи с невыдержанным распределением алмазов надежно опробуются по линиям шурфов при меньших расстояниях между ними;

III — линзовидный тип отличается концентрацией алмазов главным образом в линзах при подчиненной доле отдельных струй и гнезд; бедные участки встречаются редко. В россыпях этого типа, с невыдержанным и весьма невыдержанным распределением алмазов, разведочные шурфы располагаются как по линиям, так и по прямоугольной сети;

IV — гнездово-линзовидный тип характеризуется концентрацией алмазов в небольших линзах и гнездах; широко распространены бедные участки, приводящие иногда к прерывистости месторождения. Россыпи с весьма невыдержанным распределением алмазов разведываются обычно по плотной прямоугольной сети или по линиям горных выработок с непрерывным опробованием в траншеях и подземных горных выработках.

В пределах россыпного месторождения сложного генезиса возможны разные типы концентрации алмазов, что устанавливается на участках детализации.

Многофакторная модель известного или ожидаемого россыпного месторождения формируется путем набора из совокупности указанных классификационных групп (см. таблицу) разных факторов, которые установлены или ожидаются в данном месторождении. Например, модель: 1.1; 2.2; 3.1; 4.3; 5.3; 6.2; 7.3; 8.4; 9.3; 10.4; 11.1; 12.1; 13.1; 14.1; 15.2 характеризует россыпь ближнего сноса, долинную, относительно выдержанную по алмазоносности (струйчатый тип) со средним уровнем содержания алмазов средней крупности, высоким содержанием ювелирных камней, весьма неравномерным трехпараметровым распределением этих со-

КЛАССИФИКАЦИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ ПО ФАКТОРАМ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИМ МЕТОДИКУ РАЗВЕДКИ

А. По генетическим, геоморфологическим факторам и типу концентрации алмазов

1. Генетические особенности, тип питающего источника	2. Геоморфологический тип россыпей	3. Характер (тип) концентрации алмазов
1.1. Россыпи ближнего сноса, питающиеся от коренного источника	2.1. Русловой, в аллювии русла и низкой поймы	3.1. Относительно выдержанное распределение в широких протяженных струях (струйчатый тип), промышленный контур россыпи практически совпадает с геологическим
1.2. Россыпи умеренного сноса, сформированные в благоприятных геологоструктурных условиях	2.2. Долинный, в аллювии русла, низкой и высокой поймы, иногда 1 террасы	3.2. Невыдержанное распределение, концентрация преимущественно в нешироких струях, реже в линзах (линзовидно-струйчатый тип), промышленный контур не совпадает с геологическим
1.3. Россыпи дальнего сноса и переотложения, питающиеся из промежуточных источников дальнего сноса	2.3. Террасовый, в аллювии цокольных террас	3.3. Невыдержанное распределение, концентрация преимущественно в коротких струях, линзах (линзовидный тип), россыпи сложные, внутри встречаются бедные участки
	2.4. Ложковый, в аллювиально-пролювиальных отложениях днища ручья и частично в делювии склонов	3.4. Весьма невыдержанный, концентрация преимущественно в линзах и гнездах (гнездово-линзовидный тип), россыпи сложные, прерывистые, иногда с несколькими залежами
	2.5. Карстово-эрозионных депрессий, в аллювиальных, пролювиальных отложениях карстово-эрозионных долин, воронок	

Б. По основным концентрационным факторам алмазоносности

4. Уровень весового содержания алмазов	5. Крупность алмазов, доминирующие по массе, классы крупности, мм	6. Качество алмазов — выход ювелирных камней, %	7. Коэффициент вариации содержания алмазов, % (по валовым пробам горных выработок)
4.1. С весьма высоким содержанием	5.1. Весьма крупные, доминирующие классы от -16 до +8 мм, от -8 до +4 мм	6.1. С весьма высоким, более 60%	7.1. С относительно неравномерным, близким к нормальному распределением, 50—80%
4.2. С высоким содержанием	5.2. Крупные, от -8 до +4, от -4 до +2 мм	6.2. С высоким содержанием, 30—60%	7.2. С неравномерным логнормальным распределением, 80—120%
4.3. Со средним уровнем содержания	5.3. Средней крупности, от -4 до +2, от -2 до +1 мм	6.3. Со средним содержанием, 15—30%	7.3. С весьма неравномерным, двух-или трехпараметровым логнормальным распределением, 120—180%
4.4. С низким содержанием	5.4. Мелкие, от -2 до +1, от -1 до +0,5 мм	6.4. С низким содержанием, 5—15%	7.4. С крайне неравномерным, трехпараметровым логнормальным распределением, около 200% и более
4.5. С весьма низким содержанием	5.5. Очень мелкие, менее 1 мм	6.5. С весьма низким содержанием, менее 5%	

Продолжение таблицы

В. По морфологическим факторам и размерам

8. Длина россыпи	9. Ширина россыпи	10. Мощность песков	11. Изменчивость, коэффициент вариации мощности песков
8.1. Весьма крупные, около 100 км и более	9.1. Весьма широкие, в среднем более нескольких сотен метров	10.1. Очень большой мощности, десятки метров	11.1. Относительно выдержанные, с нормальным распределением, 20—50%
8.2. Крупные, несколько десятков км	9.2. Широкие, в среднем первые сотни (100—200) м	10.2. Большой мощности, в среднем 5—10 м	11.2. Невыдержанные, с постепенной умеренной изменчивостью, логнормальным распределением мощности, 50—80%
8.3. Средние, от нескольких км до первых десятков км	9.3. Средней ширины, 50—100 м	10.3. Нормальной мощности, в среднем 2—4 м	11.3. Весьма невыдержанные, с резкой контрастной (около 10-кратной и более) изменчивостью мощности, 50—80% и более
8.4. Мелкие, от первых км до нескольких км	11.4. Узкие, в среднем менее 50 м	10.4. Малой мощности, в среднем 1—2 м	
10.5. Очень мелкие, от сотен метров до первых км		10.5. Очень маломощные, десятки сантиметров, обычно 0,5—0,7 м	

Г. По основным горно-техническим и вещественным факторам

12. Глубина залегания (мощность торфов, вскрыши), м	13. Льдистость песков, %	14. Промывистость (глинистость) песков, %	15. Обогащаемость (выход тяжелой фракции) песков, %
12.1. Приповерхностные россыпи, вскрыша практически отсутствует, от 0 до первых метров; возможна проходка канав, траншей	13.1. Слабодлистые, до 10%, льдистость не учитывается	14.1. Отличная; глинет, выход шлама (-0.2 мм) в среднем 10%, гальки — 25%	15.1. Легкая: а — содержание тяжелой (более 3.2 г/см ³) фракции до 15% при незначительном содержании промежуточной (2,8—3,2 г/см ³) фракции; б — содержание промежуточной фракции до 15% при незначительном содержании тяжелой
12.2. Мелкозалегающие, до 20 м; вскрыша песков возможна горными выработками — шурфами	13.2. Льдистые, более 10%, льдистость учитывается	14.2. Хорошая; шлам с примесью тощих глин — 20%, гальки — 40%	15.2. Трудная: а — содержание тяжелой фракции более 15—20% при незначительном содержании промежуточной; б — содержание промежуточной фракции — 15—20%, при незначительном содержании тяжелой
12.3. Глубокозалегающие, более 20 м; необходима проходка буровых скважин, шахт		14.3. Средняя; слабо глинистые пески, шлама с примесью глин средней вязкости — 40%, гальки — 30%	
		14.4. Слабая; глинистые пески, шлама с вязкой глиной — 70%, гальки — 10%	
		14.5. Трудная; сильно глинистые пески, шлама с вязкой пластичной глиной — 85%, гальки 0—10%	

держаний, мелкую по длине, средней ширины, с малой, но выдержанной мощностью выходящих на дневную поверхность слабодистых песков, отличной промывистости и трудной обогатимости.

Модель ожидаемого слабо изученного месторождения должна включать в себя совокупность из групп главных факторов (морфологический тип, уровень содержания, крупность алмазов, длина, ширина, глубина залегания россыпи и мощность пещков), позволяющую планировать, например, поисково-оценочные работы на россыпи.

Каждая классификационная группа россыпей предъявляет свои требования к тем или иным вопросам методики поисково-оценочных и разведочных работ. Глубокозалегающие россыпи требуют применения буровых скважин или подземных горных выработок, однако россыпи с низким уровнем содержания и (или) крупными алмазами не могут быть надежно разведаны скважинами и нуждаются в увеличении размера проб, а россыпи с весьма неравномерным распределением алмазов — в сгущении горных выработок и т.д.

V. E. Minorin, P. K. Klochkov, L. A. Lebedeva, V. A. Skosyrev

MULTIFACTOR MODELS OF DIAMOND PLACERS AS AN INSTRUMENT FOR DETERMINATION OF OPTIMUM WAY OF EXPLORATION WORK

Based on the statistical processing of exploration data from Russian deposits and on information about foreign deposits multifactor models of diamond placers are constructed. With their help the most complete placer classifications are worked out, including classifications based on the main factors determining the choice of rational systems of exploration work, density of exploration network, and necessary amount of samples.



ЦИНГРИ

ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ РАБОТЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АЛМАЗОВ МЕТАМОРФОГЕННОГО ТИПА

Создана прогнозно-поисковая модель месторождения метаморфогенного типа. На этой основе разработан комплекс прогнозных критериев и поисковых методов на новый генетический тип алмазных месторождений. Методика работ позволяет вести целенаправленные планомерные поиски, начиная с регионального прогноза, вплоть до выявления отдельных месторождений и рудных тел, с минимальными материальными затратами.

Методика апробирована на уникальном месторождении алмазов в Северном Казахстане. Отечественных и мировых аналогов не имеется.

Вид реализации — ноу-хау, инжиниринг.

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

УДК 553.411

ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНО-КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ УРОВНЕЙ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ УЧАСТКОВ НЕДР НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В. Г. ДЗЯЛОШИНСКИЙ, В. И. ЛОБАЧ (ЦНИГРИ)

На примере одного из золоторудных месторождений проведено последовательное выделение структурно-концентрационных уровней минерализованных участков: минерализованная зона (месторождение) — продуктивная залежь — рудное тело — рудный столб. Установлена их пространственная связь с зонами развития средне-интенсивно проявленных тектонитов и сопровождающих эти зоны продуктивных метасоматитов. Использование выделенных элементов концентрационной совокупности (КС) объекта позволило увеличить подсчитанные запасы руд на 20 %.

Особенности концентрирования золота на различных структурных уровнях определяются многообразием геологических обстановок формирования и выявления месторождений с прожилково-вкрапленным и штокерковым золото-сульфидным оруденением в углеродистых терригенных комплексах. В связи с этим при решении методических задач разведки и оценки таких месторождений большое значение приобретает определение геологических границ различных структурных уровней в пределах минерализованных участков. Большой объем фактического материала, на котором базируются результаты приведенных ниже исследований, позволяет считать разработанные авторами принципы подхода к данному вопросу приемлемыми для абсолютного большинства аналогичных месторождений.

Рассмотрим в качестве примера объект, расположенный в пределах складчатой области Срединного Тянь-Шаня и приуроченный к периферической части активизированного «жесткого» срединного массива, где в пределах крупной синклинали структуры наибольшее развитие получили рудоносные углеродистые ($C_{\text{орг}} = 0.2\text{—}1.4\%$) часто известковистые, хорошо отсортированные алевропелитовые отложения венда. В них проявлены интенсивные динамометаморфические процессы — расщепление, гофрировка, будинаж, брекчирование, катаклаз и милонитизация пород, сопровожда-

ющиеся развитием продуктивных гидротермально-метасоматических образований при значительной рудозакранивающей роли пологих взбросо-надвигов [2].

Позиция месторождения определяется его приуроченностью к крутопадающей минерализованной зоне смятия, осложненной и частично перекрытой мощной (до 300 м) складчатой взбросо-надвиговой структурой, где фиксируются участки резкого изгиба складчато-разрывных дислокаций, виргаций осей и ундуляции шарниров складок, осложняющих крыло крупной синклинали.

В пределах минерализованной зоны смятия на месторождении выделяется шесть кулисообразно расположенных продуктивных залежей¹, приуроченных к участкам сопряжения и пересечения пологих взбросо-надвиговых и крутопадающих взбросо-сдвиговых складчато-разрывных дислокаций, разделенных «блок-будинами» менее нарушенных пород. Морфологически продуктивные залежи представляют собой полого- или крутопадающие (иногда их комбинации) минерализованные зоны гофрировки, будинажа, брекчирования, катаклаза или милонитизации пород, которые не только локализуют промышленные руды, но и определяют форму, размеры, а иногда и особенно

1 Под «продуктивными залежами» понимаются выделяемые в общих контурах месторождения пространственно разобщенные зоны развития продуктивных гидротермально-метасоматических образований, каждая из которых включает одно или несколько рудных тел, в т. ч. и предполагаемых, и может быть вскрыта и отработана самостоятельно.

сти внутреннего строения рудных тел. Последние в пределах продуктивных залежей обычно тяготеют к их висячему, реже и к лежащему боку, соизмеримы с ними по параметрам и не всегда четко ограничиваются тектоническими швами.

Характерно многообразие морфологических типов рудных тел, среди которых преобладают сложные Г-, Т- и V-образные залежи, линзовидные и жилообразные тела, штокверковые зоны с различными углами падения. Если для пологих, простых по форме плаще- и лентообразных рудных тел характерны низкие содержания золота и прожилково-вкрапленные текстуры руд, то крутопадающим и комбинированным, сложным по форме рудным телам свойственно столбовое распределение золотой минерализации. Здесь фиксируются преимущественно крутопоставленные концентрационные, реже пологонаклонные, морфологические рудные столбы с преобладающими вкрапленно-прожилковыми, полосчатыми, брекчиевыми и сложными текстурами руд. Руды месторождения представлены несколькими разновозрастными продуктивными минеральными ассоциациями, наложенными на предрудные альбит- и серицит-карбонатные метасоматиты, и сопровождаются комплексными геохимическими ореолами Au, W, Mo, Pb, Ag, Zn, Ba, Co и Ni [1]. Продуктивная минерализация фиксируется в виде рассеянной пятнистой или субпослойной вкрапленности золотоносного пирита (от 1 до 60, в среднем 6—9%), а также прожилков, реже жилообразных тел шеелит-пирит-карбонатного, пирит-калишпат-кварц-карбонатного и пирит-карбонатного составов. Золото преимущественно мелкое, свободное и связано с пиритом. Доля тонкодисперсного золота не превышает 20—30%.

Представленная геолого-структурная модель месторождения по сути является вербальной, поэтому она не полностью отвечает требованиям функциональности и прагматичности. По нашему мнению, таким требованиям должна отвечать модель, в которой элементы геологического строения месторождения приведены в соответствие с концентрационной структурой неоднородности. В полной мере это удалось осуществить на основе концепции концентрационной неоднородности рудных объектов [3]. На пер-

вом этапе такого подхода создается модель-отклик объекта в виде диаграммы концентрационного эффекта (КЭ), позволяющая выделить основные элементы концентрационной неоднородности или концентрационные совокупности (КС), а для целей геометризации этих элементов — определить их нижние ограничивающие содержания полезного компонента, отвечающие, в первом приближении, возможным оконтуривающим лимитам (бортовому содержанию, минимальному содержанию в оконтуривающем пересечении и т.п.). Форма диаграммы КЭ по исследуемому месторождению характеризуется отчетливой куполообразностью и слабым осложнением ее сводовой части [3], что может указывать на наличие рудоконтролирующей структуры, существенно влияющей на форму оруденения на уровне концентрации КС₀. Незначительное осложнение купольной части диаграммы КЭ в области содержаний золота 6.0—24.0 усл. ед. может служить указанием на то, что процессы, способствующие формированию локально-обогащенных участков руд, характеризуются пространственно-временной обособленностью. Кроме того, отчетливая куполообразность сводовой части диаграммы КЭ свидетельствует о преобладании закономерной составляющей в содержаниях золота и возможности надежной геометризации различных уровней минерализации (КС₀ и КС₁) в относительно компактные тела. Здесь приведена указанная модель в табличной форме (табл.1).

Опираясь на результаты интерпретации модели КЭ, можно приступать к построению модели структуры концентрационной неоднородности месторождения. Прежде всего, отметим, что такая модель, удовлетворяющая целям и задачам детальной разведки, может быть получена при минимальном расстоянии между разведочными пересечениями 30—40 м.

Анализ размещения рудных тел, продуктивных залежей, а также рудных столбов позволил достаточно уверенно установить их пространственную приуроченность к зонам развития средне-интенсивно проявленных тектонитов и сопровождающих их продуктивных метасоматитов, контуры развития которых, за редким исключением (маломощные рудные тела с высокими содержа-

1. Концентрационная модель золото-сульфидного месторождения с
прожилково-вкрапленным оруденением

Нижние ограничивающие содержания золота, усл. ед.	0.3 1.0 2.4 6.0 24.0 49.0					
Концентрационные совокупности (КС) и соответствующие им структурные уровни	КС ₀ — минерализованная зона					
	КС ₁ — продуктивная залежь					
	КС ₂ — рудное тело					
	КС ₃ — рудный столб					
	КС ₄ — бонанц					
	КС ₅ — гнездо					
Области содержания золота	геохим. уровня	убогих	бедных	рядовых	богатых	очень богатых
Тип прерывистости	компактный		компактно- разобщенный		разобщенный	
Накопленные относитель- ные запасы: руды/металла	99.0	74.0	46.4	20.0	3.0	0.5
	100	96.7	86.7	62.8	24.5	8.0
Коэффициент диспропор- ции в изменении запасов руды и металла	7.9		2.7	1.1	2.8	16.0

ниями золота), определяют границы указанных выше образований. Рассмотрим эти геологические признаки с их разделением по интенсивности проявления для последующего выделения геологических границ оруденения по уровням его концентрации.

В пределах минерализованной зоны в целом и отдельных продуктивных зон месторождения по интенсивности тектонической нарушенности пород можно выделить участки: слабой гофрировки, средней-интенсивной гофрировки (плойчатости), реже и расланцевания, разлинзования (линзового будинажа) и расланцевания; брекчирования (дробления), катаклаза или милонитизации пород, которые сопровождаются различными по продуктивности метасоматитами. В тех случаях, когда наблюдается выпадение отдельных промежуточных зон тектонитов, границы продуктивных зон и рудных тел выделяются еще более уверенно.

Рассматривая информативные минералогические признаки, отметим, что руды месторождения представлены тремя разновозрастными продуктивными минеральными ассоциациями, в составе которых при документации визуально фиксируется резко ограниченное количество возможных минералов-концентраторов золота: пирит, карбонаты (преимущественно доломит и железистый кальцит), кварц и полевые шпаты.

«Сквозными» минералами во всех продуктивных минеральных ассоциациях являются пирит (концентрирует до 85—95% золота) и карбонаты, а альбит и калишпат с кварцем фиксируются соответственно лишь в ранней и второй ассоциациях. Поэтому наиболее информативными минералогическими признаками золото-сульфидного оруденения на месторождении могут являться пиритизация, а также суммарная (гнездообразная, пятнистая, прожилковая и т.д.) наложенная (в отличие от стратифицированных карбонатных прослоев) карбонатизация вмещающих пород. Они превалируют во всех продуктивных минеральных ассоциациях и легко картируются при документации горных выработок в абсолютных (процентных) или относительных величинах.

Присутствие таких информативных минералогических признаков позволяет, при наличии соответствующих «тектонитов», визуально оконтуривать продуктивные зоны и рудные тела по уровням концентрации оруденения, а также выделять основные минеральные типы и текстуры руд. Необходимо лишь рассмотреть совокупность выбранных признаков.

С этой целью отстраиваются и сравниваются гистограммы интенсивности прояв-

2. Геологическое обоснование границ основных структурно-концентрационных уровней

Признаки оруденения (визуально)	Продуктивная залежь		Рудное тело				Рудный столб
Содержания Au	убогие		низкие			рядовые	богатые
Содержания пирита, %	1—3	визуально отсутствует	3—10		1—3	3—10	3—10 и более
Объем карбонатных прожилков, гнезд жильных тел, %	5—10	10—30	10—30	5—10	10—30	10—30	30 и более
Степень тектонической нарушенности	Средняя-интенсивная гофрировка (плочатость) реже рассланцевание или слабый будинаж			Преобладает разлинзование (линзовой будинаж)		Брекчирование; дробление катаклаз и милонитизация	
Текстуры	Вкрапленные, прожилково-вкрапленные, пятнистые		Вкрапленно-прожилковые, сетчато-прожилковые			Сетчато-прожилковые, брекчиевые	Сложные, полосчатые, брекчиевые
Основные минеральные комплексы	Слабо продуктивный пирит-альбит-карбонатный		Слабо продуктивный пирит-альбит-карбонатный и пирит-калиншпат-карбонатный часто развитые обособленно			Продуктивный пирит-кпш-карбонатный и пирит-альбит-карбонат. совмещенный	Продуктивный пирит-кпш-карбонат. совмещенный с пиритом карб.

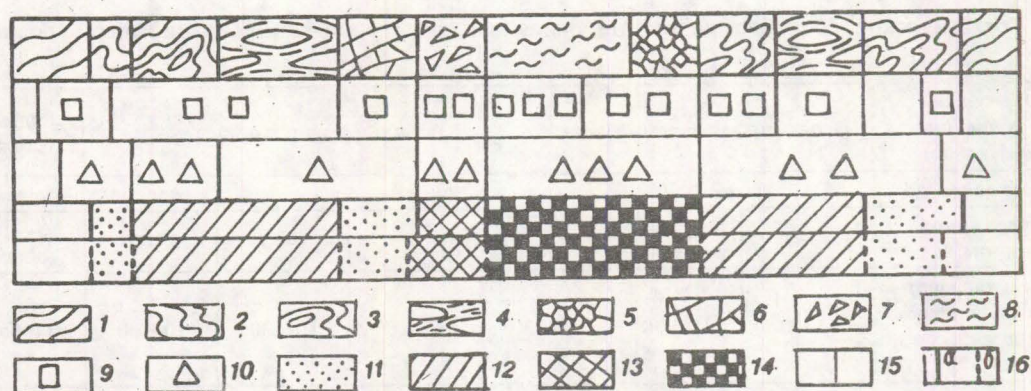
ления возможных минералов-признаков и «тектонитов» с данными опробования, является круг минералов-концентраторов (в нашем случае пирит и карбонаты) золотого оруденения и составляется таблица различных вариантов совокупностей (табл.2). Ограничения руд с убогими низкими (бортовыми), рядовыми и высокими содержаниями устанавливаются соответственно в тех местах, где наблюдается полное «перекрытие» всех рассматриваемых признаков (факторов) оруденения, проявленных с различной степенью интенсивности (рисунок).

Поскольку все эти факторы наличия определенной концентрации оруденения сопряжены в пространстве, то при «выпадении» хотя бы одного из них или при его недостаточно интенсивном проявлении резко нарушаются и отмеченные выше прямые корреляционные связи между интенсивностью проявления продуктивных метасоматитов и «тектонитов» с концентрациями оруденения. Здесь следует отметить, что не имеет практического значения, какой пирит (сингенетичный, колчеданный, гидротермально-осадочный или продуктивный гид-

ротермально-метасоматический) будет рассматриваться в данной схеме, тем более, что зачастую при документации геологических наблюдений почти невозможно отделить продуктивные генерации пирита от непродуктивных.

В этом случае даже при значительных (до 30—60%) концентрациях пирита, но при отсутствии существенной тектонической нарушенности пород и наложенного продуктивного гидротермально-метасоматического процесса (в т.ч. и наложенной карбонатизации) будет отсутствовать промышленная золотая минерализация.

Рассмотренный способ геологического обоснования границ минерализованных зон, продуктивных залежей рудных тел и столбов основан на значительном объеме изученных рудных пересечений на ряде месторождений. Сопоставимость выделяемых геологических границ с данными бороздового опробования является весьма высокой (85—95%). Разработанный метод позволяет не только существенно повышать надежность оконтуривания рудных тел, не имеющих четких геологических границ, но и, анали-



Упрощенная схема выделения геологических границ оруденения (по совокупности признаков, вынесенных с документации геологических наблюдений по горной выработке:

Интервалы развития рудовмещающих пород: 1 — рудовмещающих слабо дислоцированных; 2 — средне-или интенсивно гофрированных; 3 — интенсивно гофрированных и слабо будинированных; 4 — разлинзованных (линзовый будинаж) и рассланцеванных; 5 — брекчированных; 6 — интенсивно трещиноватых; 7 — катаклазированных; 8 — катаклазированных и милонитизированных; 9 — интервалы развития сульфидной вкрапленно-прожилковой минерализации (количество знаков соответствует ее интенсивности проявления — слабой, умеренной, сильной); 10 — интервалы развития карбонатных гнездово-пятнистых, прожилковых и жилообразных образований (количество знаков соответствует их интенсивности проявления — слабой, умеренной, сильной). Содержания золота в рудах: 11 — убогие; 12 — бедные; 13 — рядовые; 14 — богатые; 15 — границы интервалов развития в различной степени дислоцированных, сульфитизированных и карбонатизированных пород, вынесенные на схему в соответствии с их привязкой относительно линии бороздowego опробования; 16 — границы оруденения с различными уровнями его концентрации, выделенные по геологическим признакам (а) и по данным опробования (б)

зируя интервалы опробования в разведочных пересечениях, существенно сократить их объемы, а также визуально выделять природные минеральные разновидности (сорта) руд.

Использование структурно-концентрационной модели показывает ее высокую разрешающую способность. Так, при морфологическом анализе геометризованных концентраций доказано, что принятая на стадии предварительной разведки сеть опробования может быть существенно скорректирована по следующим направлениям:

- длина секционных проб увеличена до 2—3 м с одновременным уменьшением их сечения до 5×3;
- шаг позабойного опробования увеличен в 3—4 раза, т.е. расстояние между пробами может составлять 9—12 м.

Вследствие большого объема опробования, использование указанных рекомендаций, согласно проведенным расчетам, дало существенную экономию в затратах уже при детальной разведке.

Оконтуривание рудных тел с учетом

связи оруденения с пологой зоной взбросо-надвига позволило изменить общую оценку промышленной части оруденения в сторону увеличения запасов руд по категории $C_1 + C_2$ и прогнозных ресурсов категории P_1 (на 20%) и повысить эффективность геологоразведочных работ на месторождении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геотектоническая позиция, состав и рудоносность углеродистой терригенно-флишовой формации венда Тянь-Шаня. / К.С.Сагындыков, В.Г.Дзялошинский, В.И.Романов и др. Стратифицированные рудоносные формации докембрия и раннего палеозоя Тянь-Шаня. — Фрунзе: Илим, 1989. С. 14—27.
2. Дзялошинский В.Г., Емельянов С.И., Романов В.И. Роль гидротермального и дислокационного метаморфизма в формировании вольфрам-золото-сульфидных месторождений Среднего Тянь-Шаня и особенности их поисков // Тр. ЦНИГРИ. 1987. Вып. 217. С. 53—57.
3. Лобач В.И. Изучение концентрационной неоднородности — важное направление совершенствования методологии разведки месторождений золота // Тр. ЦНИГРИ. 1987. Вып. 221 С. 45—53.

V. G. Dsjaloshinsky, V. I. Lobach

PRINCIPLES OF DELINEATION OF STRUCTURAL-CONCENTRATION LEVELS OF MINERALIZED AREAS, WORKED OUT ON THE BASIS OF INFORMATION GAINED FROM NUMBER OF GOLD-SULPHIDE DEPOSITS

Based on the information gained from one gold deposit, successive delineation of structural concentration levels of mineralized areas is carried out, namely: mineralized zone (deposit) - productive ledge - orebody - ore shoot. Their spatial interrelation with zones of medium-intensive manifestation of tectonites and accompanying productive metasomatites is ascertained. Taking into consideration the mentioned elements of mineral deposit concentrations made it possible to increase the calculated reserves by 20%.



ЦНИГРИ

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

**ОКОНТУРИВАНИЕ В МЕЖСКВАЖИННОМ И
МЕЖВЫРАБОТОЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ
ЗОЛОТОРУДНЫХ ЗОН МЕТОДОМ ЧАСТОТНОГО
РАДИОВОЛНОВОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ (ЧРП)**

Методика основана на изучении методом ЧРП электропроводности золоторудных объектов в межскважинном и межвыработочном пространстве и выделении зон, обогащенных полезным компонентом, на основе корреляционных связей электропроводности и содержания рудного вещества.

Технология работ включает радиопросвечивание объема геосреды на нескольких частотах между двумя скважинами (выработками) при расстоянии между ними до 500 м и между стоянками в скважине и поверхностью до 200–300 м.

Реализация методики позволяет оконтуривать в рудных зонах участки разного содержания рудного компонента.

Результаты работ представляются в виде прогнозных планов изолиний «эффективных» электропроводностей по рудным зонам с выделением контуров разного содержания рудного компонента в проекции на вертикальную или горизонтальную плоскости.

Методика апробирована при разведке золоторудных месторождений Восточной Сибири.

Вид реализации — инжиниринг.

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 «Б», ЦНИГРИ
Телефон: (095) 313-18-18
Телетайп: 114142 АДУЛЯР
Факс: (095) 315-27-01
Телекс: 411700 PTB SU TSNIGRI 2901

УДК 550.84.092:553.411

ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ АММОНИЯ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

В. Б. ЧЕКВАИДЗЕ, С. А. МИЛЯЕВ (ЦНИГРИ)

На золоторудных месторождениях золото-серебряного типа в вулканогенных породах (Берегово, Карамкен) и золото-углеродистого типа в терригенных породах (Наталкинское, Ветренское, Бакырчик) выявлены вторичные ореолы рассеяния, превышающие по ширине в 3—8 раз мощность рудных зон. Уровень концентрации аммония в ореолах превышает фоновые значения в 50—100 раз на месторождениях эпitherмального типа и в 5—20 раз на объектах золото-углеродистого типа. Формирование вторичных ореолов аммония обязано как процессам разложения первичных аммонийсодержащих минералов в зоне гипергенеза, так и перераспределению слабо связанных эндогенных форм накопления аммония (растворы в пленочных водах, пары и газы в порах и трещинах и др.).

В последние годы появилось значительное число работ, посвященных эндогенным ореолам аммония, сопровождающим золоторудные месторождения. Такого рода ореолы установлены на рудных объектах США, Канады, Мексики и других регионов, в том числе расположенных и на территории бывшего Союза [1—3, 5, 7, 9]. Исследованиями охвачены разнотипные золотые месторождения, залегающие в вулканитах, углеродисто-терригенных и известковистых породах. Первичные ореолы аммония тяготеют к верхним частям рудоносных зон с предпочтительной локализацией в висячих боках рудных тел. Нередко устанавливаются минеральные формы накопления аммония в виде аммониевого полевого шпата (баддингтонита), аммониевой слюды, аммонийсодержащих иллита, алунита, ярозита.

По поводу источников аммония доминирует представление о заимствовании его гидротермальными растворами из подстилающих осадочных толщ, содержащих органическое вещество. Определенное значение придается также породам, содержащим калиевые минералы, в которых калий в той или иной степени может быть изоморфно замещен аммонием. Разложение этих минералов под воздействием гидротерм приводит к высвобождению аммония и вовлечению его в процессы рудообразования [9].

Исследователи единодушно отмечают благоприятные предпосылки использования первичных ореолов аммония при поисках золоторудных месторождений. В то же время высказываются опасения, что в зоне выветривания возможно существенное понижение концентраций указанного компонента в связи с гипергенными процессами и, вследствие этого, уменьшение его индикаторных свойств [8].

Проведенные нами исследования на ряде золоторудных месторождений России (Карамкен, Наталкинском, Ветренском), Украины (Береговском) и Казахстана (Бакырчикском) показали, что в зоне гипергенеза формируются отчетливые вторичные ореолы рассеяния аммония, характеризующиеся определенной спецификой на разнотипных объектах, но в целом достаточно выдержанные по своим морфологическим особенностям и распределению содержаний. Все это позволило рассматривать аномальные геохимические поля названного компонента в качестве важного поискового критерия золоторудных объектов, скрытых под покровом рыхлых осадков.

Исследованные месторождения относятся к двум типам золоторудных объектов, залегающим, соответственно, в вулканогенных породах (золото-серебряная формация — по классификации Н.А.Фогельман и Н.К.Курбанова, 1991) и в терригенных породах, обогащенных в той или иной мере

углеродистым веществом (золото-углеродистая формация).

Опробование на указанных месторождениях проводилось по профилям, намеченным вкрест простирания рудоносных структур, из верхних почвенных горизонтов с глубины 0,2 м. Расстояние между пунктами пробоотбора по профилю составило 20 м. Отобранные пробы высушивались и просеивались через сито 0,25 мм. Для анализа готовилась породная суспензия из фракции менее 0,25 мм путем смачивания ее дистиллированной водой в соотношении 1:1 (20 г пробы на 20 мл воды при $T = 20^{\circ}\text{C}$). Замеры NH_4^+ проводились на приборе И-115М с помощью ионо-селективного электрода с чувствительностью определения 0,2 мг/л. По графикам, построенным на основании калибровочных кривых, активность измеренных ионов NH_4^+ пересчитывалась на их концентрацию в пробе. Обратимся к рассмотрению результатов проведенных исследований.

Золото-серебряная формация. Береговское месторождение расположено на территории Западной Украины в пределах вулканического пояса Восточных Карпат. В рудовмещающем разрезе пород верхнеэоценового возраста чередуются толщи кислых вулканитов и терригенных осадков, нередко содержащих примесь туфогенного материала. Практически все породы претерпели гидротермальные изменения, причем до глубины 100—150 м от поверхности господствуют минеральные ассоциации аргиллизитов (кварц, алунит, каолинит, ярозит, гидроксиды железа), а глубже — минеральные ассоциации, близкие пропилитам (адуляр, альбит, светлая слюда, сидерит, анкерит, эпидот). Рудные тела представлены, главным образом, жилами и штокверками. Первые нередко протягиваются на глубину до нескольких сотен метров и часто остаются не оконтуренными. Вторые развиты лишь на верхних горизонтах месторождения, имеют воронкообразную форму и быстро выклиниваются на глубину. По мнению ряда исследователей, штокверковые тела наследуют форму трубок взрыва. По составу жильные тела золото-полиметаллические, а штокверки — существенно золотые, причем самородное золото в них ассоциирует с кварцем,

каолинитом и диккитом. Штокверки приближены к поверхности и иногда выходят под наносы. Жильные рудные тела в большинстве своем находятся в слепом залегании на глубинах от 50—100 до 350 м.

Изученный район расположен в слабовсхолмленной местности и относится к зоне гумидных ландшафтов с хорошо развитыми бурными почвами. Мощность рыхлых образований колеблется от 1—1,5 м на водоразделах и крутых склонах до 30—50 м на горизонтальных площадках и вогнутых склонах гор, где преобладают делювиальные и коллювиальные отложения.

Проведенные работы позволили выявить в почвах над известными телами контрастные ореолы рассеяния NH_4^+ . Максимальные содержания иона аммония отмечаются над штокверковыми телами (рис. 1). Над рудным телом, расположенным на глубине 50 м от поверхности, максимальная концентрация иона NH_4^+ составила 14 мг/л при фоновой концентрации $0,28 \times 1,4^{\pm 1}$ мг/л. Ширина вторичного ореола рассеяния NH_4^+ — 160 м, что в два раза превышает размер рудного тела. Над вторым штокверковым телом, залегающим на глубине 80—90 м от поверхности, максимальные содержания NH_4^+ составили 5 мг/л, а размеры вторичного ореола близки к размерам рудного тела.

Жильные тела на глубинах более 100 м от поверхности также фиксируются ореолами NH_4^+ с максимальными концентрациями от 2 до 3 мг/л, которые из-за сближенного положения жильных тел сливаются в единую обширную аномалию. Размеры последней с учетом аномалий над штокверковыми зонами составляют в поперечнике 600—800 м.

На рис. 2 представлено распределение иона NH_4^+ над жильными телами в западной части месторождения. Здесь верхняя кромка промышленных руд над наиболее мощной жильной зоной (№6) расположена на глубине 150 м от поверхности. Ряд более мелких жил фиксируется в северо-западной части профиля на глубинах 300—350 м. Мощность рыхлых отложений в пределах исследованного профиля составляет 10—15 м. Вторичный ореол рассеяния аммония отмечается только над проекцией жилы 6. Ширина аномалии 160 м, максимальная концентрация

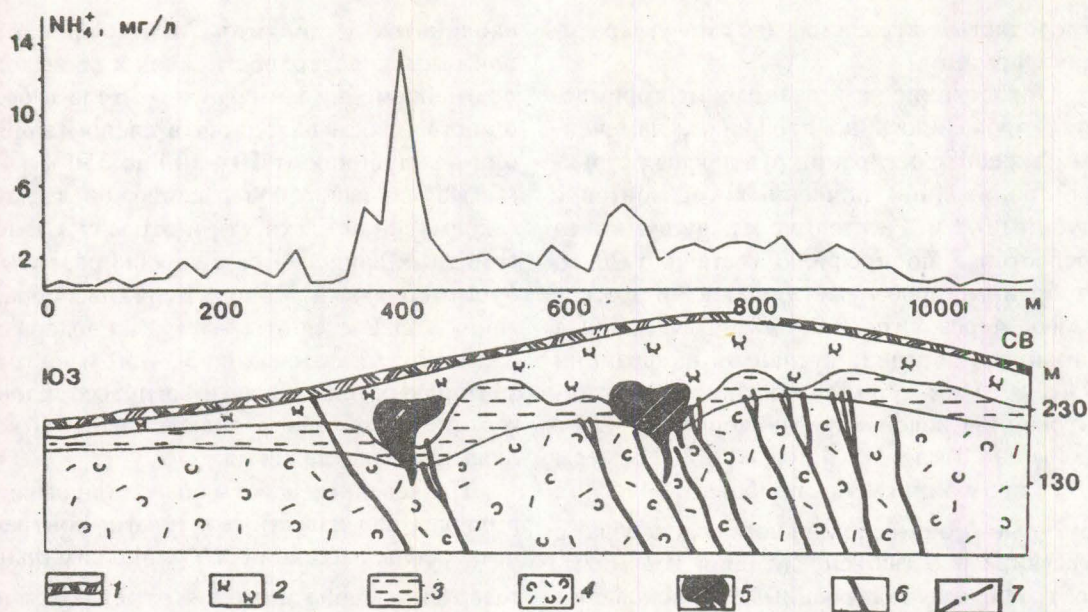


Рис. 1 График распределения иона аммония над штокверковыми и жильными телами Береговского месторождения:

1 — почвенный горизонт, 2 — туффиты, 3 — алевролиты, аргиллиты, 4 — вулканиты кислого состава, 5 — штокверковые рудные тела, 6 — рудные жилы, 7 — тектонические нарушения

NH_4^+ — 2 мг/л. В северо-западной части профиля аномалии аммония наземной литохимической съемкой не фиксируются вероятно из-за увеличения глубин залегания рудных жил и незначительного масштаба оруденения.

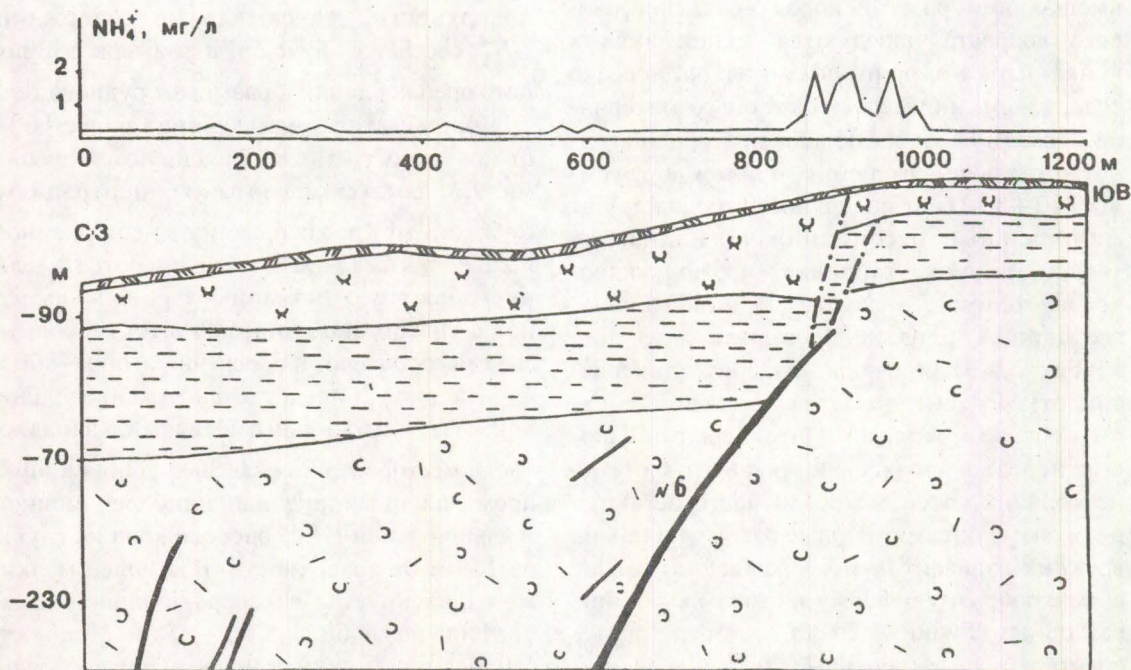


Рис. 2. График распределения иона аммония по профилю над слепыми жилами Береговского месторождения.

Условные обозначения см. на рис. 1

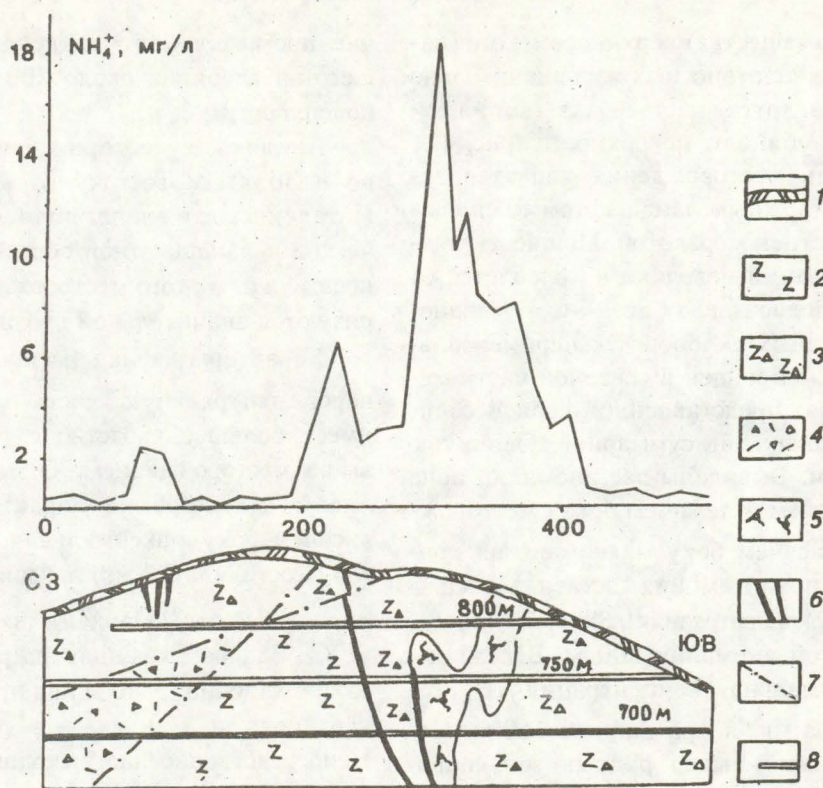


Рис. 3. График концентраций аммония по профилю через жилу Главную месторождения Карамкен:

1 — почвенный горизонт, 2 — дациты, 3 — автомагматические брекчии андезитов, 4 — туфобрекчии риолитов, 5 — гидротермальные брекчии, 6 — рудные жилы, 7 — тектонические нарушения, 8 — штольни

Месторождение Карамкен расположено на северо-востоке России в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Рудовмещающие толщи сложены вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами кислого и среднего состава верхнемелового возраста. Породы претерпели площадную пропилитизацию и более локально проявленные вблизи рудных тел процессы аргиллизации, гидрослюдизации и адуляризации. Золотоносные кварцевые жилы характеризуются весьма слабой эрозией.

По ландшафтно-геохимическим условиям площадь месторождения принадлежит к горно-таежным районам с развитой островной многолетней мерзлотой. Мощность рыхлого покрова в среднем 1,5—2 м, почвы слаборазвитые, грубоскелетные.

На рис. 3 показано распределение NH_4^+ в почвах над основным рудным телом месторождения. Жила Главная представлена двумя ветвями, одна из которых выведена на дневную поверхность (верхнерудный ин-

тервал). Максимальная концентрация в пределах этой части жилы составляет 6,8 мг/л, при фоновых значениях $0,33 \times 1,3^{\pm 1}$ мг/л. Вторая ветвь находится в слепом залегании (80 м от поверхности). Максимальная концентрация NH_4^+ над ней характеризуется величиной 19,8 мг/л. Общая ширина вторичного ореола рассеяния аммония равна 300 м. Асимметричная форма графика распределения иона NH_4^+ , обусловлена избирательным накоплением аммония в висячем боку рудных тел. В северо-западной части профиля над тремя сближенными рудными телами незначительного масштаба также отмечается аномалия NH_4^+ , с максимальной концентрацией 2, 2 мг/л. Ширина аномалии — 60 м.

Золото-углеродистая формация. Месторождение Наталкинское расположено в пределах Центрально-Колымского региона. Ведущий тип рудных тел — жилы и жильные зоны, залегающие в толще терригенных и туфо-терригенных пород (с примесью уг-

леродистого вещества) верхнепермского возраста. Часть золотоносных жил значительно эродирована, другая часть — залегает на той или иной глубине от поверхности (рис. 4).

Площадь месторождения характеризуется горно-таежным ландшафтом со сплошной многолетней мерзлотой. Мощность рыхлых образований невелика и колеблется от 1—2 м на водоразделах до 3—6 м у подножия залесенных склонов. Экспериментальный профиль пройден в северной части месторождения, представленной серией сближенных рудных зон, суммарной мощностью более 100 м. Выявлены две аномалии иона NH_4^+ в висячем и лежащем боках месторождения. В висячем боку максимальная концентрация иона аммония составила 2 мг/л при фоновых концентрациях $0,38 \times 1,2 \pm 1$ мг/л. Ширина этой аномалии 200 м. В лежащем боку максимальная концентрация NH_4^+ составила 1,3 мг/л при ширине 160 м. Непосредственный выход рудных зон сопровождается падением концентраций NH_4^+ до значений ниже фоновых (0,2—0,25 мг/л). Кроме того, в юго-западной части профиля выявлена небольшая аномалия шириной 100 м с максимальной концентрацией NH_4^+ равной 1,1 мг/л. По имеющимся минералогическим данным, на этом участке месторождения можно предполагать нали-

чие промышленного оруденения, залегающего на глубинах около 200 м от дневной поверхности.

Ветренское месторождение расположено в 50 км к востоку от месторождения Наталкинское в аналогичной с ним геологической и ландшафтной обстановке. Золотоносные жилы этого месторождения характеризуются значительной эрозией (рис. 5).

Характер графика распределения NH_4^+ через центральную часть месторождения имеет большое сходство с рассмотренным выше месторождением. Отмечается отчетливый «двухгорбый» характер кривых. В висячем боку максимальная концентрация NH_4^+ составила 2,1 мг/л (фоновые содержания — $0,4 \times 1,3 \pm 1$ мг/л), в лежащем — 2 мг/л. Зафиксированная ширина аномалий соответственно — 80 м над проекцией висячего бока и 120 м — в лежащем боку. Непосредственно над выходом рудных жил отмечается падение концентраций иона аммония до 0,22 мг/л.

По результатам геохимического опробования штольневых горизонтов 760 м выявлено небольшое рудное тело, которое на поверхности в юго-западной части профиля фиксируется слабой аномалией NH_4^+ (максимальная концентрация 1,1 мг/л). Форма

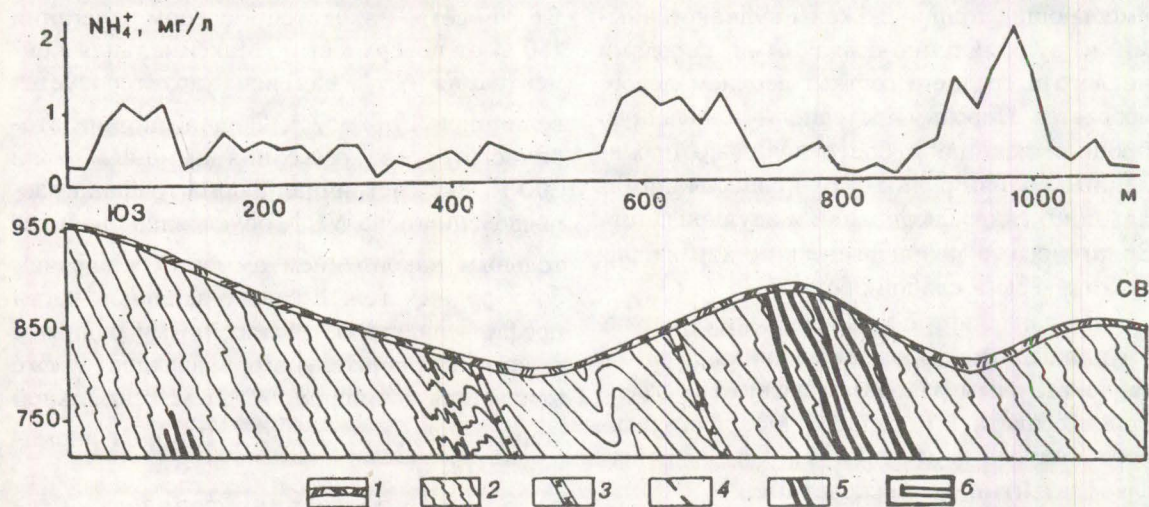


Рис. 4. Характер распределения иона аммония через Наталкинское месторождение:

1 — почвенный горизонт, 2 — углисто-глинистые сланцы, 3 — дайки плагиогранит-порфиров, 4 — тектонические нарушения, 5 — рудные жилы, 6 — штольни

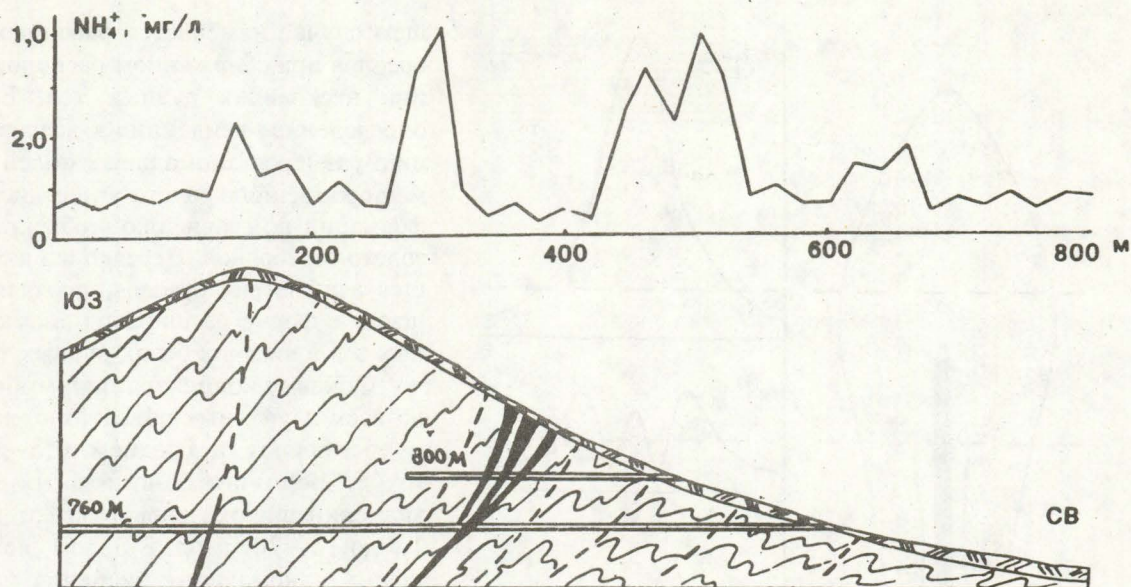


Рис. 5. График распределения аммония по профилю через Ветренское месторождение:

Условные обозначения см. на рис. 4

графика NH_4^+ над слепым телом имеет один максимум.

Месторождение Бакырчик расположено в Восточном Казахстане. Вмещающие породы представлены углеродсодержащими алевролитами, песчаниками и аргиллитами каменноугольного возраста. Рудные тела линзовидной и лентовидной формы состоят

из скоплений вкрапленных золотоносных сульфидов — главным образом, арсенопирита и пирита. Известны как эродированные тела, так и залегающие на глубинах в десятки и первые сотни метров от поверхности. Площадь месторождения по своим климатическим особенностям относится к степной семиаридной зоне. Мощность рыхлых обра-

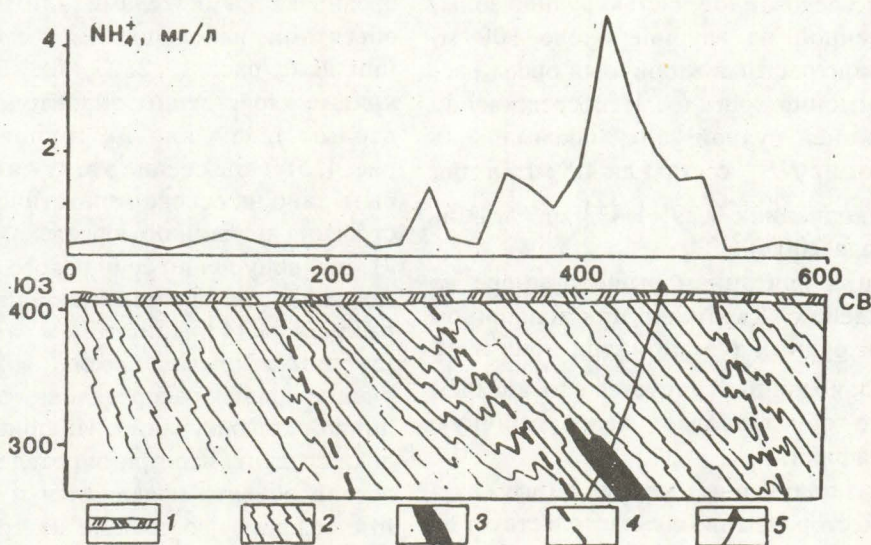


Рис. 6. График распределения аммония над слепым телом месторождения Бакырчик:

1 — почвенный горизонт, 2 — углеродсодержащие алевролиты, 3 — рудное тело, 4 — тектонические нарушения, 5 — скважина

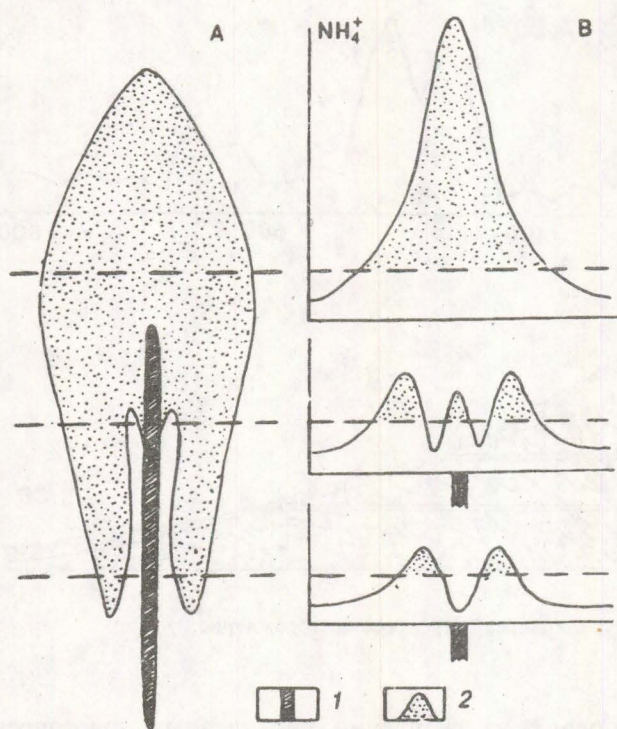


Рис. 7. Модель первичного ореола аммония золоторудного месторождения и теоретические графики его содержаний на различных уровнях оруденения по вертикали:

1 — рудное тело, 2 — первичный ореол аммония

зований на изученном участке в среднем составляет 2,5—3 м.

Над исследованной частью рудной зоны, расположенной на глубине около 100 м, выявлен контрастный вторичный ореол рассеяния аммония (рис. 6). Непосредственно над проекцией рудной зоны максимальная концентрация NH_4^+ составила 4,8 мг/л при фоновых значениях $0,29 \times 1,4 \pm 1$ мг/л. Ширина ореола 200 м.

Как и в описанном выше примере по месторождению Карамкен при наклонном залегании рудных тел аномалии иона NH_4^+ избирательно концентрируются в их висячем боку, что обуславливает асимметричную форму графика.

Анализ полученных данных по всем изученным месторождениям свидетельствует об устойчивом проявлении ореолов аммония в обрамлении золоторудных тел обоих рассмотренных типов оруденения. Размеры ореолов варьируют от первых десятков до многих сотен метров в поперечнике. В об-

щем случае намечается расширение ореолов при сближенном расположении нескольких рудных тел. Есть определенная тенденция к возрастанию размеров аномальных полей на месторождениях золото-углеродистой формации по сравнению с объектами золото-серебряной. Нередко наблюдается асимметрия ореолов, проявляющаяся в форме расширения аномальных зон в висячих боках рудных тел.

Фоновые концентрации аммония на всех изученных объектах близки и составляют в среднем 0,3—0,4 мг/л. Величины аномальных его значений широко варьируют от 1—1,5 до 15—20 мг/л. В целом, повышенные аномальные значения иона аммония характерны для месторождений золото-серебряного типа. Внутри каждого типа намечается тенденция к возрастанию размеров и интенсивностей аномальных полей с переходом от мелких к средним и крупным объектам.

В морфологическом отношении кривые распределения аммония во вторичных ореолах можно подразделить на две основные группы: мономодальную и бимодальную. Кривые первой группы обычно устанавливаются над слабо эродированными телами или над рудными объектами, находящимися в слепом залегании (см. рис. 1, 2, 3, 6). Бимодальные кривые свойственны значительно эродированным телам или их группировкам (см. рис. 4, 5). Объяснение этому явлению может быть дано на основе гипотетической модели строения первичного ореола аммония (рис. 7), при допущении ее близкого соответствия модели распределения «элементов широкого рассеяния» [4]. При этом, в зависимости от глубины вскрытия ореола, возможно получение кривых распределения аммония различной конфигурации. Из приведенной модели следует, что при определенном уровне эрозии объекта появляются и полимодальные графики, состоящие из трех максимумов. Два крайних из них характеризуют отгонку аммония в стороны от мест концентрации оруденения. Средний максимум отражает накопление аммония непосредственно в рудном теле на верхних его уровнях.

Сопоставление содержаний аммония в изученных вторичных ореолах рассеяния с имеющимися в литературе данными по первичным ореолам золоторудных и полиметаллических месторождений выявляет их существенные различия. Если по результатам ионо-потенциометрического анализа уровень содержаний аммония составляет обычно единицы и первые десятки г/т, то применительно к эндогенным продуктам вполне обычны значения в сотни г/т, а иногда и на 1—2 порядка выше. В составе эндогенных ореолов аммоний распространен преимущественно в «связанной» форме в виде аммониевых минералов или изоморфных примесей к щелочам в полевых шпатах, слюдах и т. д. [6, 10]. Для его высвобождения с целью последующего анализа требуется глубокая химическая обработка проб с разложением аммонийсодержащих минералов.

Методика ионо-потенциометрических определений аммония во вторичных ореолах рассеяния, при которой он извлекается из пробы путем растворения в дистиллированной воде, указывает на слабо связанные, «обменные» формы распределения аммония в породах и минералах зоны гипергенеза. В качестве таких форм могут служить сорбированные накопления аммония на тех или иных минеральных сорбентах, растворы в пленочных водах, пары и газы в порах и трещинах и т. д. О существовании подобных форм свидетельствуют результаты ионо-

потенциометрического анализа проб из рудовмещающих пород на уровнях заведомо ниже зоны гипергенеза (рис. 8). Выявление отчетливых ореолов аммония в обрамлении рудных тел указывает на присутствие воднорастворимых соединений аммония и в эндогенной обстановке.

Изложенное приводит к таким выводам:

1. Получены положительные результаты апробации ионо-потенциометрического метода (на основе селективных электродов) с целью выявления вторичных ореолов аммония на золоторудных месторождениях. В сравнении с традиционно используемыми для определений аммония методами ИКС и ЭПР данный метод выгодно отличается простотой подготовительных операций с пробами, производительностью и экспрессностью выполнения анализов.

2. На типичных представителях двух формационных типов золоторудных месторождений (золото-серебряного и золото-углеродистого) в почвенном покрове над рудными телами установлены вторичные ореолы рассеяния аммония, с превышениями концентраций этого компонента над фоном в 5—20 раз на объектах золото-углеродистого типа и в 50—100 раз на месторождениях золото-серебряного типа. Ширина ореолов иногда сопоставима с мощностью рудных зон, но чаще превышает ее 3—8 раз.

3. Морфологические особенности кривых распределения аммония над рудными

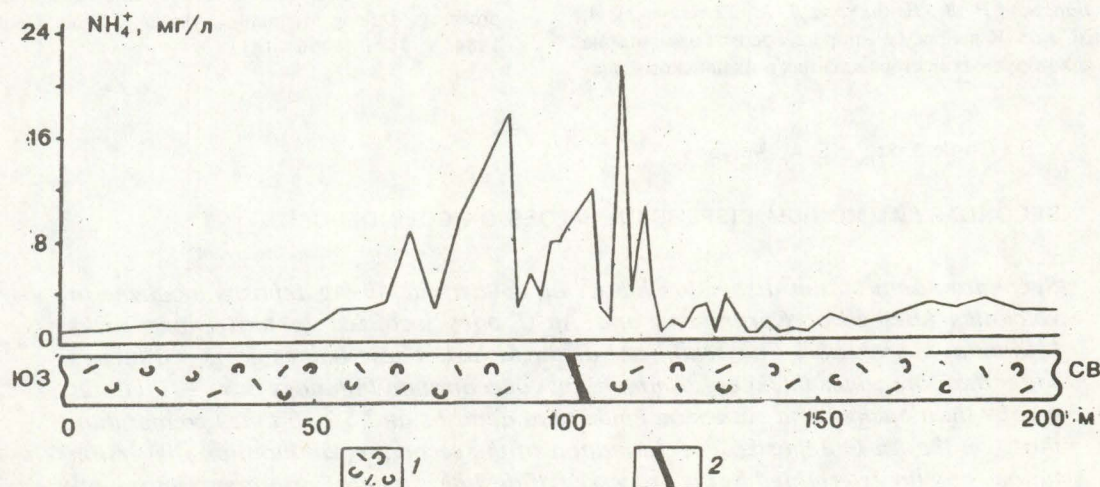


Рис. 8. Первичный ореол аммония в обрамлении рудной жилы на горизонте 130 м Береговского месторождения:

1 — кислые вулканыты, 2 — рудная жила.

телями в значительной мере зависят от глубины их эрозионного среза. Слепые и слабо эродированные тела фиксируются одним максимумом значений аммония, иногда несколько смещенным в сторону висячего бока. Значительно эродированные рудные объекты отмечаются бимодальными кривыми, максимумы которых сдвинуты в висячий и лежащий бока рудных тел. Объяснение этому явлению может быть дано на основе гипотетической модели строения первичного ореола аммония в обрамлении золоторудного тела.

4. Формирование вторичных ореолов аммония обязано как процессам разложения первичных аммонийсодержащих минералов в зоне гипергенеза, так и перераспределению слабо связанных эндогенных форм его накопления. Наличие последних подтверждается обнаружением ионо-потенциометрических аномалий аммония в обрамлении рудных тел на значительных глубинах ниже зоны выветривания.

5. Вторичные ореолы аммония представляют практический интерес при поисках золоторудных месторождений, перекрытых чехлом рыхлых отложений и находящихся к тому же в слепом залегании. Достигнутая глубина индикации руд под покровом элювиоделювия составляет 10—15 м, но она не является предельной. По форме кривых распределения аммония возможен прогноз степени эродированности ожидаемого рудного тела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсуков В. Л., Банникова Л. А., Галузинская А. Х. и др. К вопросу о природе ореолов аммония на золоторудных месторождениях и их поисковое значение // Тез. Докл. к 4 Всес. геох. совещ., Т. 2. М., 1988. С. 9—10.
2. Матяш И. В., Багмут Н. Н., Бойко Д. В. О возможном участии аммония в геохимическом переносе золота // Геологический журнал, 1987, 47, 5. С. 133—136.
3. Матяш И. В., Некрасов И. Я., Багмут Н. Н. Азотсодержащие парамагнитные центры в калиевых полевых шпатах из золоторудных месторождений // Минерал. журн., 1988, 10, 1. С. 91—93.
4. Трофимов Н. Н., Рычков А. И. Геохимические поля элементов широкого рассеяния и поиски глубокозалегающих рудных месторождений. М.: Недра, 1979.
5. Barsukov V. L., Kozerenko S. V., Baranova N. N., Bannikova L. A. Investigation techniques and nature of ammonium haloes on the gold deposits // Methods of geochemical prospecting. Abstracts to International Symposium of Geochemical prospecting. — Prague. 1990. P. 105.
6. Benton L. M. NH_4^+ geochemistry near sedimentary exhalative deposits in Selwyn Basin: a possible exploration tool // In Yukon Exploration and Geology. Dept. Indian Affairs and Northern Development. 1983. P. 45—54.
7. Bloomstein E. I., Kydd R. A. and Levinson A. A. Development of ammonium geochemistry as a new technique in precious and base metals exploration (abstract) // J. Geochem. Explor. 1987. V. 29. P. 386.
8. Kydd R. A., Levinson A. A. Ammonium halos in lithogeochemical exploration for gold at the Horse Canyon carbonate — hosted deposit, Nevada, U.S.A.: use and limitations. // Appl. Geochem. 1986. №1. P. 407—417.
9. Ridgway S., Appleton S. D., Levinson A. A. Ammonium geochemistry in mineral exploration — a comparison of results from the American cordilleras and southwest Pacific. // Appl. Geocem. 1990. №5. P. 475—489.
10. Sterne E. J., Zantop H. and Reynolds R. S. Clay mineralogy and carbon — nitrogen geochemistry of the Lik and Competition Creek zinc-lead-silver prospects. Delong Mountains, Alaska // Econ. Geol. 1984. V. 79. P. 1406—1411.

V. B. Chekvaidze, S. A. Milyaev

SECONDARY AMMONIUM DISPERSION HALOES ON GOLD DEPOSITS

Secondary ammonium dispersion haloes on epithermal Au-Ag deposits localized in volcanics (Beregovo, Karamken) and Au-C ones localized in terrigenous rocks (Natalka, Vetrenskoe, Bakyrchik) are distinguished. These haloes are 3 - 8 meters wider than ore zones thickness. Ammonium concentration in haloes is 50 - 100 times greater than background values on epithermal deposits and 5 - 20 times greater than those on the Au-C deposits. The formation of the secondary ammonium dispersion haloes was predetermined by the processes of desintegration of primary ammonium-bearing minerals in the hypergenesis zone as well as by the redistribution of weakly bonded endogenic ammonium accumulations (solutions in pellicular waters, vapour and gases in pores and joints and so on).

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 552.08.53

СТРУКТУРНО-ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РУДНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В. И. СТАРОСТИН (МГУ)

Основой анализа является взаимосвязь структуры твердых тел с их физическими и механическими характеристиками. Приводятся характеристика и методы определения основных генетических типов анизотропии.

Структурно-петрофизический анализ (СПА) — учение о строении, физических и механических свойствах горных пород и руд и палеотектонических условиях их формирования. Это метод реконструкции петрофизической обстановки и палеотектонических полей напряжения разномасштабных геологических структур на различных этапах их образования. Он базируется на изучении физико-механических свойств, генетических типов анизотропии упруго-прочностных параметров и взаимосвязи петрофизических характеристик с геохимическими, минералогическими и литологическими свойствами кристаллов, мономинеральных агрегатов и полиминеральных пород.

Основой анализа является теоретически установленная и экспериментально доказанная взаимосвязь структуры твердых тел (кристаллических и аморфных) с их физическими и механическими характеристиками. Эта связь устанавливается и в кристаллах, и в мономинеральных агрегатах, и в полиминеральных породах.

В кристаллах анизотропия упругих, прочностных и пьезоэлектрических свойств полностью соответствует анизотропии кристаллической решетки [1—3]. Наиболее полно это исследовано на кристаллах силикатных и карбонатных минералов. Развитие двойников роста и внутренние дефекты кристаллов понижают абсолютные значения всех отмеченных выше свойств. В кристаллах, имеющих зональное строение в зависимости от наличия элементов-примесей, га-

зово-жидких включений, развития деформационных ламелей и других дефектов, колебания упругих свойств составляют 0—15%, а пьезоэлектрических — 0— $n \times 10^4\%$.

В аморфных образованиях (халцедоне, вулканических стеклах, колломорфных выделениях сфалерита, марказита и других минералов) анизотропию физико-механических свойств определяют неоднородности строения, флюидальные, ликвационные и деформационные текстуры и структуры, колломорфная полосчатость, наличие газово-жидких включений, присутствие пепловых и пылевидных частичек, неравномерное распределение второстепенных и примесных элементов и их соединений. Пределы колебаний значений анизотропии свойств в аморфных твердых телах (в %): упругих — 0—20, пьезоэлектрических — 0— $n \times 10^3$, прочностных — 0—200, фильтрационных — 0— $n \times 10^4$.

В полиминеральных горных породах петрофизические характеристики зависят от процентного соотношения различных минеральных видов, слагающих породу; размеров зерен и характера связи между ними; наличия межзерновых и внутризерновых дислокаций; текстурно-структурного облика и степени вторичных преобразований породы.

Наиболее информативными при СПА являются три группы физико-механических свойств: упруго-прочностная, плотностная и фильтрационная. Упруго-прочностная включает свойства, влияющие на формирование геологических структур: скорости продольных V_p , поперечных V_s , ультразвуковых волн, коэффициент Пуассона μ , мо-

дугль Юнга E , модуль сдвига G , твердость T_v , прочность на сжатие $R_{сж}$, температура Дебая θ и др.

Плотностная группа свойств — одна из фундаментальных характеристик твердого, жидкого и газообразного вещества, слагающего земную кору. Именно плотность контролирует явления гравитационной дифференциации магматического расплава, процессы соляной тектоники, динамику образования структур гравитационного оползания и влияет на ход многих других геологических процессов. В эту группу входят: плотность ρ , объемная масса $V_{об}$, удельный вес γ , коэффициенты петрохимического $K_{пх}$ и температурного K_t разуплотнения вещества,

Фильтрационная группа контролирует масштабы и динамику течения гидротермальных и гидротермально-пневматолитовых процессов и включает: пористость P (общую $P_{об}$, эффективную $P_{эф}$, дифференцированную P_d), условно-мгновенное насыщение A , постоянную насыщения B и проницаемость Pr .

Методика определения всех перечисленных свойств подробно описана во многих руководствах [2, 4, 5, 6].

Анизотропия физико-механических свойств возникла в твердых телах, слагающих земную кору, на разных этапах их эволюционного развития; выделяется четыре ее основных генетических типа: напряженного состояния, сингенетический (петроструктурный), пластически-деформационный (пластического течения) и хрупко-деформационный (кливажно-брекчиевый).

Анизотропия напряженного состояния появляется в твердых породах только в период приложения к ним силовых воздействий (силового поля). Это может быть нагрузка вышележащих толщ, давление перемещающегося блока пород, внедряющегося магматического расплава или протрузии. После снятия нагрузки анизотропия исчезает.

Ее масштабы можно оценить экспериментально по деформированию образцов пород и руд с помощью прессов и камер для высокого давления, а также по натурным измерениям на глубоких горизонтах рудников, в туннелях и глубоких скважинах. Абсолютные значения современных сжимающих напряжений в верхней части земной коры достигают 30—50 МПа. Часто абсо-

лютные значения горизонтальных напряжений превосходят вертикальные в 1,5—2 раза. При экспериментах возникает анизотропия напряженного состояния для упругих свойств при нагрузках, не превышающих предела упругости, т. е. во всем интервале, где действует закон Гука.

Сингенетическая анизотропия возникает в момент формирования твердого тела: в магматических породах — при их раскристаллизации (или затвердевания для стекол) из расплава; в осадочных — в процессе седиментации; в метаморфических — либо при полной перекристаллизации, либо при кристаллизации из метаморфогенного расплава. Она определяется термодинамическими условиями образования исследуемых твердых тел. В обстановке поверхностных и приповерхностных горизонтов земной коры большое влияние на ее формирование оказывают гравитационные силы. В глубинных зонах (в катазоне) определяющее значение имеет неоднородное силовое поле, создающее разномасштабные складки пластического течения. В магматических телах абиссальной, гипабиссальной и поверхностной фаций существенное влияние при формировании анизотропии различных физико-механических свойств оказали динамика становления магматических комплексов, региональные поля напряжений, особенности процессов затвердевания, стадийность формирования крупных плутонов и внутренняя динамика развития отдельных комплексов.

Для последнего случая можно отметить, что на ранних стадиях становления комплексов существует равномерное давление на вмещающие породы по всему периметру интрузий. После затвердевания внешнего каркаса продолжающееся давление магматического расплава создает иную тектоническую обстановку: главные сжимающие усилия концентрируются в апикальной части массива. В последующие стадии, когда доступ магмы прекращается, механизм поперечного изгиба перестает функционировать, возникает обстановка растяжения за счет сокращения на 5—10% объема магматического тела при его затвердевании и удалении флюидной составляющей. В результате всех отмеченных процессов в породах формируются ориентированные текстуры и структуры, традиционно называемые прототектони-

ческими. Комплексный петрофизический анализ позволяет разделить их по стадиям процесса и выделить ранне-, средне- и позднепротектонические элементы общей структуры.

Следующие два типа анизотропии связаны с деформационными процессами. Один обусловлен пластическим течением вещества, а другой хрупким разрушением твердого тела.

Пластическо-деформационный тип анизотропии возникает в твердых телах при их преобразованиях в двух геологических ситуациях: в приповерхностном и поверхностном горизонтах земной коры и на глубинах в мезозоне. Для первой характерны низкие давления и температуры; влияние на деформационные процессы гравитационных сил и перемещение вещества в водонасыщенном состоянии. Типичные структуры в этих условиях — складки оползания и выдавливания. Возникают ориентированные в соответствии с характером течения вещества текстуры пород и руд. В них доминируют плоскостное, линейное и комбинированное расположение частиц. Подобное строение отражается в анизотропии физико-механических свойств пород и руд.

Отличие анизотропии данного типа от рассмотренной ранее сингенетичной заключается в том, что и текстурно-структурный облик пород, и их анизотропия возникают позже образования пород, после процессов диагенеза, в иной палеотектонической обстановке. Примерами могут служить соляные диапиры, деформированные терригенно-карбонатные тонкослоистые породы.

Пластическо-деформационный тип возникает часто в зонах шовной складчатости, в мезозоне. Здесь он вызван кливажным течением вещества. Отличие этого типа от сингенетичного метаморфического состоит в степени преобразования пород. Если в метаморфических образованиях полностью отсутствуют структурные элементы и петрофизические параметры исходных осадочных или магматических образований, то при пластически-деформированном типе всегда присутствуют реликтовые текстуры и структуры материнских пород. Ориентировка зерен породы при этом образует две системы: связанную с реликтами их исходного расположения и новообразованную, возникшую

под влиянием термодинамических процессов мезозоны.

Хрупко-деформационный тип анизотропии вызван развитием в твердых телах микротрещин и зонок катаклаза. Он характеризует приповерхностные деформации и развит в породах с низкими значениями коэффициента Пуассона. С повышением температуры процессы перекристаллизации вещества обычно приводят к релаксации напряжений и таким образом препятствуют образованию микротрещин. Наиболее благоприятными условиями для появления анизотропии этого типа являются достаточно сильные, но кратковременные тектонические напряжения, отсутствие нагретых флюидных потоков и кварцево-полевошпатовый состав деформируемых пород.

Таким образом, кристаллы, аморфные вещества, мономинеральные агрегаты и полиминеральные породы с момента образования и на всех стадиях их эволюции вплоть до современного состояния обладали разной анизотропией физико-механических свойств, которая менялась в связи с преобразованиями этих твердых тел. Элементы, возникшие в периоды наиболее интенсивных палеотектонических воздействий, при этом частично консервировались. Выявление масштабов объемной анизотропии пород и руд и установление ее генетической природы дают возможность глубже понять закономерную эволюцию петрофизической среды структурообразования, наметить связь физико-механических параметров с геохимическими характеристиками, геодинамическим типом рудоносной структуры и механизмом ее образования. Все это позволяет рационально вести поиски и разведку месторождений полезных ископаемых.

Упругая анизотропия и методы ее определения. Анизотропные среды могут быть выявлены при изучении любого физического или механического свойства твердых тел. Проблемы заключаются в практической реализации этого, возможностях современной аппаратуры, выборе метода интерпретации полученных результатов; необходимы экспрессность, надежность (воспроизводимость), простота, невысокая стоимость и большая геолого-генетическая информативность по сравнению с другими приемами, уже используемыми в геологии.

Всеми этими качествами обладают ультразвуковые методы изучения структуры и свойств твердых тел. Создана серийная, недорогая, простая в эксплуатации аппаратура. Она столь разнообразна, что позволяет исследовать минеральное вещество на микроуровне (ультразвуковая микроскопия), в образцах различных размеров (от нескольких миллиметров до десятков сантиметров), как на обнажениях и в горных выработках, так и в скважинах установками акустического каротажа.

Теоретические аспекты акустических методов разработаны в серии фундаментальных трудов по физической и молекулярной акустике. Исследованы закономерности распространения, отражения и преломления различных типов упругих волн в анизотропных средах; определены способы расчета упругих параметров; намечены основные закономерности взаимосвязи акустических характеристик со строением твердых тел.

Главный теоретический вывод, подтвержденный экспериментально, — положение о том, что в силовом поле минеральные вещества в процессе их образования и преобразования приобретают анизотропные свойства, которые фиксируются в их молекулярном, микроскопическом и макроскопическом строении. При этом в направлении действия максимальных главных нормальных напряжений σ_1 (растягивающие усилия) в твердом теле будут возникать наибольшие значения упругих параметров (скоростей волн, модулей упругости), а в направлении действия минимальных напряжений σ_3 (сжимающие усилия) — наименьшие значения этих параметров. Это положение в сочетании с представлениями о генетических типах упругой анизотропии и составляет основу петрофизического метода восстановления палеотектонических полей напряжений.

Технически объемную анизотропию (индикатрису упругих параметров) можно получить тремя способами: сечений, шара и пластинки.

Комплексный тектоно-петрофизический анализ позволяет установить полигенность, полихронность, длительность, механизмы деформирования и геодинамические режимы сжатия и растяжения при формиро-

вании парагенетических ассоциаций рудоносных геологических структур [4—7]. В качестве классификационных признаков предлагается использовать петрофизические свойства среды, термодинамические условия структурообразования, полихронность палеотектонических обстановок, механизмы деформирования, структурные парагенезисы, глобальные и региональные геотектонические позиции.

По тектоническим режимам образования все многообразие геологических структур в земной коре можно условно разделить на две серии, сформированные тектоническими силами, действовавшими соответственно в вертикальном и горизонтальном направлениях. В каждой серии по способу приложения сил и механизмам деформирования выделяются классы, подклассы и группы. Первая серия, представленная сбросовыми типами палеотектонических полей напряжения с крутоориентированным минимальным главным нормальным напряжением, состоит из шести основных классов: блокового, магматического внедрения, гравитационного расслоения, диапирового, рифтогенного (трогового) и взрывного (гидравлического).

Вторая серия, представленная режимами сдвигового типа и развитая в областях и зонах латерального сжатия, включает также шесть наиболее распространенных классов: сдвиговых разломов, кливажный, будинажный, ротационный, надвиговый (продольного сжатия) и вязкого течения. Главным объективным фактическим материалом, позволяющим классифицировать геодинамические режимы, являются созданные ими структурные парагенезисы. Они представляют собой сочетание складок, разрывов, кливажа, линейности, систем трещиноватости, жил альпийского типа и прочих структур, объединенных общностью плоскостных и линейных элементов симметрии, которые обусловлены генетическим единством.

Для поисковых целей особый интерес представляет проблема соотношения петрофизических и геохимических аномалий. Было установлено, что при проведении поисковых и прогнозно-металлогенических исследований в областях, сложенных метаморфизованными вулканогенно-осадочными комплексами, необходимо выделять три

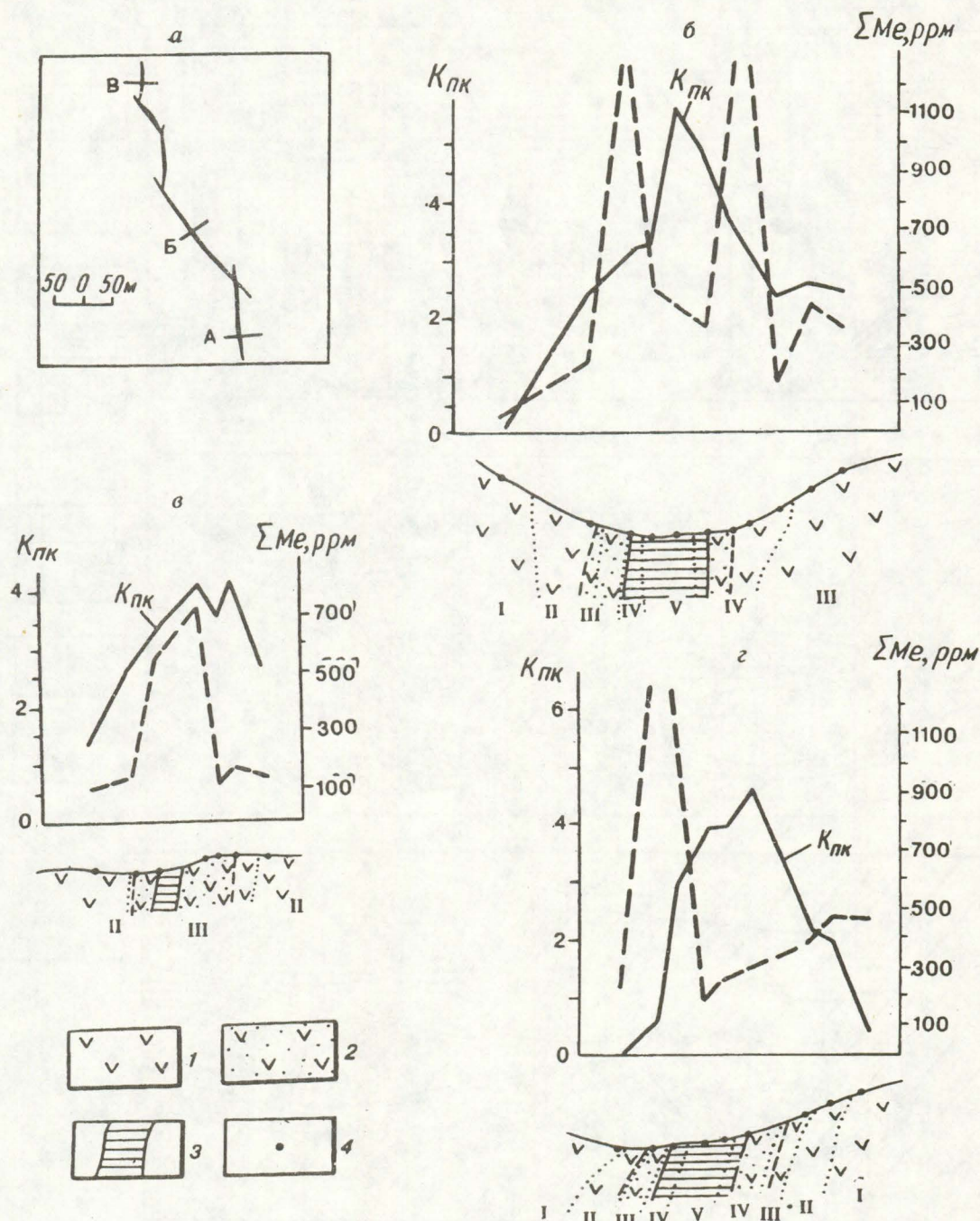


Рис. 1. Взаимоотношение петрофизических и геохимических аномалий на примере рудной зоны полиметаллического жильного месторождения Злетово, Югославия [5]:

a — план рудной зоны; *б, в, г* — профили через рудную зону по линиям А, Б, В; миоценовые андезиты: 1 — слабо измененные, 2 — интенсивно измененные; 3 — рудная зона; 4 — места отбора проб; I—V — петрофизические группы пород, выделенные при помощи кластерного анализа (см. таблицу): I, II — упругие, малопористые, слабо измененные породы, выполняющие роль экранов для гидротермальных потоков, III—V пористые, хрупкие и проницаемые трещиноватые породы в разной степени минерализованные, ΣMe — сумма металлов Cu и Mo

типа петрофизико-геохимических зон: вулканогенно-осадочный, вулканогенно-жиль-

но-метасоматический и метаморфогенно-гидротермальный.

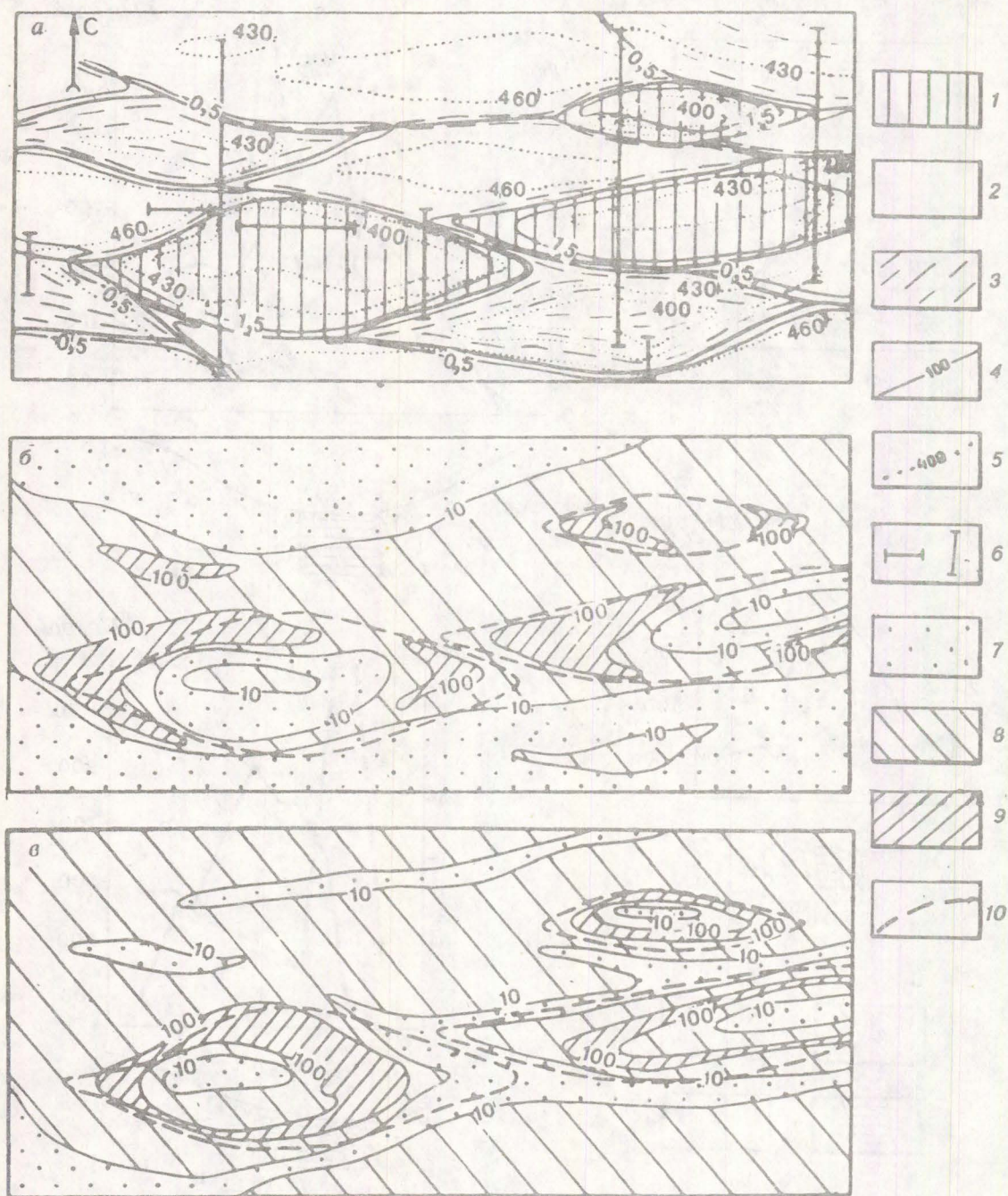


Рис. 2. Метаморфогенно-гидротермальный тип взаимоотношений петрофизических и геохимических аномалий на примере Тишинского колчеданно-полиметаллического месторождения, Рудный Алтай (по И. В. Викентьеву из [6]):

а — структурно-петрофизическая схема горизонта; блоки-будины повышенной (1) и пониженной (2) жесткости; 3 — участки пластичных пород и межбудиные зоны рассланцевания; 4 — изолинии (1,5—0,5) значений $K_{пк}$; 5 — изолинии θ , К (400—430—460); 6 — профили детального геохимического и петрофизического опробования; б, в — схемы распределения содержаний меди и цинка соответственно, усл. ед.: 7 — 10; 8 — 10—100; 9 — 100; 10 — контуры жестких блоков

Петрофизические группы пород рудного района Злетово

Петрофизические группы пород	Пористость, %	Плотность, г/см ³	$E \cdot 10^{-4}$ МПа	θ , К	$K_{пк}$
I	2,8	2,61	6,08	395	0,1
II	4,4	2,57	4,91	364	0,8
III	8,6	2,49	3,12	324	2,9
IV	9,8	2,41	2,85	291	3,6

Зоны первого типа, встречающиеся в межвулканических депрессиях, выполненных ритмично переслаивающимися вулканогенно-осадочными толщами, формировались в обстановке латерального сжатия и представлены протяженными лентами слоистых руд и аналогичных по форме ореолов. Физико-механические свойства пород и руд подчеркивают ритмичное строение рудовмещающих комплексов.

Второй тип приурочен к вулкано-купольным и линейным разломным структурам. Рудные тела и геохимические ореолы имеют грибообразную и линейную формы. В пористых и проницаемых породах этих структур формировались обширные геохимические ореолы. По периферии последних развиты жесткие, упругие литологические разности. В период рудообразования сжимающие усилия действовали в вертикальном направлении, а растягивающие — в горизонтальном. Ореолы Cu, Co и Mo развивались в породах с повышенными значениями $P_{эф}$, A , $K_{пк}$ и низкими упругими свойствами (таблица, рис. 1).

Третий, метаморфогенно-гидротермальный тип развит в зонах активных тектонических движений. В этих условиях происходили ремобилизация и переотложение рудного вещества, образовавшегося либо осадочным, либо жильно-метасоматическим способом. Особенности новообразованных рудных скоплений: нечеткие контуры; разный элементный состав аномалий и исходных рудных тел; незакономерное по отношению к первичным залежам положение метаморфических ассоциаций минералов; развитие аномалий в пористых и трещиноватых породах на границах с участками, сложенными прочными и малопористыми образованиями (рис. 2).

Итак, структурно-петрофизический

анализ рудных полей и месторождений предназначен для изучения палеотектонических деформаций, реконструкции полей напряжения на последовательных этапах развития геологической структуры и выявления роли физико-механических свойств горных пород в формировании полигенных и полихронных рудных залежей. Он базируется на определении и сравнении абсолютных значений и объемной анизотропии упругих свойств, пористости, параметров насыщения, твердости и прочности кристаллов, минералов, пород и руд и используется в комплексе с детальным геологическим картированием, тектонофизическими и микроструктурными исследованиями.

Структурно-петрофизический анализ применим при изучении месторождений твердых полезных ископаемых, сформировавшихся и (или) претерпевших существенные преобразования в различных термодинамических обстановках и относящихся к различным генетическим и минеральным типам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беликов Б. П., Александров К. С., Рыжова Т. В. Упругие свойства породообразующих минералов и горных пород. — М.: Наука. 1970.
2. Продайвода Т. Т. Аппаратура и методика изучения акустической анизотропии горных пород // Физика Земли. 1982. №3. С. 99—105.
3. Прос З. Изучение анизотропии упругих свойств горных пород при всесторонних давлениях на шаровых образцах // Исследование физических свойств минерального вещества Земли при высоких термодинамических параметрах. — Киев. 1977. С. 56—66.
4. Старостин В. И. Структурно-петрофизический анализ эндогенных рудных полей. — М.: Недра. 1979.
5. Старостин В. И. Геодинамика и петрофизика рудных полей и месторождений. — М.: Недра. 1984.

6. Старостин В. И. Палеотектонические режимы и механизмы формирования структур рудных месторождений. — М.: Недра. 1988.
7. Старостин В. И., Макеева И. Т. Петрофизиче-

ские исследования на месторождениях полезных ископаемых // Итоги науки и техники. Сер. Рудные месторождения. М., 1990. Т. 22.

V. I. Starostin

STRUCTURAL-PETROPHYSICAL ANALYSIS OF ORE FIELDS AND DEPOSITS

The analysis is based on relationship between solid bodies structure and their physical-mechanical properties. Characteristics and methods of determination of the main genetic types of anisotropy are given.

Представляем новую книгу «НАУКА — ЗОЛОТУ»

Многие годы формирование и функционирование «валютного цеха» страны оставались практически неизвестными не только широкой общественности, но и специалистам, исследующим природные ресурсы. Блеск золота гасился режимами секретности, так же как и достижения науки, обеспечивавшей выявление и эффективное использование валютных минерально-сырьевых ресурсов. Книга профессора Г. П. Воляровича «Наука — золоту», более полувека занимающегося научным обеспечением геологоразведочных работ на валютные полезные ископаемые, показывает роль людей науки в создании и развитии отечественной золотодобычи. Рождение и борьба идей, их реализация и воплощение в тонны геологических запасов и добываемого металла, новые рудники и города рассматриваются в книге как труд конкретных людей и групп исследователей. Автор книги — заслуженный деятель науки и техники России, первооткрыватель месторождений — создал увлекательное «свидетельство очевидца», интересное как для профессионалов, так и для широкого круга не посвященных в тайны геологии и золотодобычи людей.

Книга выходит в свет в I кв. 1994 г. ограниченным тиражом и распространяется только по предварительным заявкам, направленным по адресу:

113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ, отдел маркетинга и информации

Телетайп: 114142 АДУЛЯР

Телефон: (095) 315-43-47

Fax: (095) 315-27-01

УДК 553.491.8:552.321.6(571.56)

СТРОЕНИЕ ДУНИТОВОГО ЯДРА КОНДЕРСКОГО МАССИВА И ГЕНЕЗИС ПЛАТИНОНОСНЫХ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В. М. ШАШКИН, С. О. ЖЕЛДАКОВА (ЦНИГРИ)

Изучены структурно-текстурные особенности платиноносных дунитов ядра Кондерского массива, типоморфные признаки породообразующих и акцессорных минералов, а также ориентировки осей индикатрисы оливинов по площади дунитового ядра. Предлагается геолого-генетическая модель формирования минерально-петрографической зональности дунитового ядра Кондерского массива и критерии оценки глубины его эрозионного среза.

Кондерский массив расположен в восточной части Алданского щита и входит в состав платиноносных щелочно-ультраосновных комплексов Алданской провинции. Особенности геологического строения массива и связанной с ним платинометалльной минерализации посвящено значительное число публикаций, отражающих различные точки зрения на генезис платиноносных щелочно-ультраосновных комплексов [1, 7, 11]. В зависимости от представлений авторов о природе ультраосновных пород по-разному оцениваются и перспективы обнаружения в пределах массива промышленного платино-металльного оруденения.

Решению этой проблемы в значительной мере может способствовать детальное изучение внутренней структуры дунитового ядра и текстурно-структурных особенностей платиноносных дунитов.

Кондерский массив имеет концентрически-зональное строение. Центральная дунитовая часть массива диаметром 5 км сменяется в контактовой зоне оливинитовой, верлитовой и затем оливинит-клинопироксеновой оторочками мощностью в первые сотни метров. Выполненное геологическое картирование и изучение 312 шлифов показало, что дуниты представлены среднезернистыми (1—2 мм), крупнозернистыми (2—7 мм), пегматоидными (более 7 мм), порфировидными разностями с протогранулярной, порфирикластической и гранобластовой структурами и содержат переменное количество хромшпинелидов.

Все текстуры дунитов несут те или иные признаки пластических деформаций: полосы излома, сдвига в оливинах, облачное, мозаичное или блоковое угасание зерен, обилие тройных сочленений с образованием полигональнозернистых агрегатов, простое или полисинтетическое трансляционное двойникование с изменением ориентировки индикатрис в двойниках между одноименными осями от 0 до 75°. В зависимости от всех этих признаков и соотношения в породах нео-и протозерен выделяются различные типы структур пород.

В дунитах с порфириобластической структурой неомассты образуют крупные порфировые выделения на фоне более мелкозернистой основной массы. Для них характерен свежий облик и практически одновременное угасание по всей площади зерна. Края их часто неровные, и иногда включают блоки с другим угасанием. В основной массе преобладают протозерна с трансляционным двойникованием, мозаичным или облачным угасанием. Границы между зернами неправильные, тройные сочленения, хотя и встречаются, но часто нарушены и имеют реликтовый характер.

Порфировые выделения дунитов с порфирикластической структурой представлены в различной степени деформированными протозернами с двойниками скольжения, облачным или мозаичным угасанием, неровными границами. В основной массе развиты более мелкие неомассты с прямолинейными ограничениями и тройными сочленениями. Иногда неомассты образуют агрегаты линейной прожилковоподобной морфологии, не имеющие, как правило, резких ограниче-

ний. Присутствуют также пластинчатые зерна форстеритов, образовавшиеся за счет трансляционного перемещения отдельных блоков протозерен.

Основные признаки протогранулярной структуры — крупные и примерно одинаковые размеры зерен оливина, близкие к линейным ограничениям зерен, слабое развитие деформаций.

Для *гранобластовой* структуры характерен мелкий размер зерен, представленных хорошо ограниченными кристаллами с обилием тройных сочленений. Хромшпинелиды образуют в них мелкие, как правило, также хорошо ограниченные кристаллы, приуроченные часто к тройным сочленениям. Эти особенности указывают на существование отчетливой зависимости между зернистостью дунитов и типом структур.

Среди пород ядра, особенно в его центральной части, наиболее развиты крупнозернистые дуниты. Мелко-среднезернистые дуниты с гранобластовыми структурами тяготеют к эндоконтактной зоне, среднезернистые занимают промежуточное положение.

Характерной особенностью дунитов с порфиробластической структурой является отсутствие корреляции между зернистостью основной массы, содержанием в них хромшпинелидов, размером их зерен и количеством порфиробластов в породах. Порфиробластовые разности дунитов наблюдались как в центральной, так и в приконтактной зонах массива (рис. 1).

В ряде случаев отмечалось пересечение средне-крупнозернистых дунитов мелкозернистыми с образованием прожилков мощностью 2—3 см, протягивающихся на расстояние в десятки сантиметров. По простиранию прожилки постепенно могут переходить во вмещающие их дуниты. По форме они напоминают прожилковидные мелкозернистые агрегаты необластов в порфирокластических дунитах, описанные выше, и отвечают, вероятно, определенному этапу процесса перекристаллизации дунитов при пластических деформациях.

В приконтактных зонах дунитового ядра встречены полосчатые разности дунитов, что приводится авторами некоторых работ в качестве доказательства расслоенности массива. Линзовидные и прожилковидные тела

дунитовых пегматитов мощностью 10—20 см встречены и в среднезернистых, и в средне-крупнозернистых дунитах. В ряде случаев они сложены «вмятыми» друг в друга сфероподобными образованиями, напоминающими шаровую отдельность. «Шары» представлены монокристаллами форстерита размером до 7 см или крупнозернистыми, почти пегматоидными, дунитами (устье реки Распадок), облекаемыми скорлуповато рассланцованной основной массой. В цементирующих «шары» дунитах зернистость пород не меняется, достигая, как и в шарах, 15 мм. Крупнозернистый характер этих пород противоречит тому, чтобы отнести их к продуктам закалки магматического материала. Размещение «шаровых» дунитов как в непосредственной близости от эндоконтактных зон дунитового ядра (ручьи Двуглавый, Трехглавый), так и на значительном удалении от них (устье ручья Распадок), но всегда в зоне влияния крупных разрывных нарушений, позволяет однозначно связывать их формирование с сининтрузивными тектоническими подвижками остывающей дунитовой массы Кондерского ядра, сопровождающимися процессами перекристаллизации пород.

Состав форстеритов в дунитах весьма постоянен и колеблется в сравнительно узких пределах (7—10% фаялитовой молекулы). Направленного изменения составов форстеритов внутри дунитового ядра, свидетельствующего о наличии скрытой расслоенности, не выявлено.

Богатство форм взаимоотношений, наблюдаемое между разновидностями дунитов, свидетельствует о длительной истории формирования пород дунитового ядра в меняющихся геодинамических и термодинамических условиях. Вместе с тем, при большом разнообразии наблюдается определенная направленность их кристаллизации, проявляющаяся в увеличении зернистости дунитов к центру массива.

В распределении хромшпинелидов в дунитах также отмечается ряд закономерностей. В мелко-среднезернистых дунитах их содержание не превышает 1% (объемная доля). В центральных частях массива со средне- и крупнозернистыми разностями пород количество хромшпинелидов возрастает. Участки с максимальным их содержанием

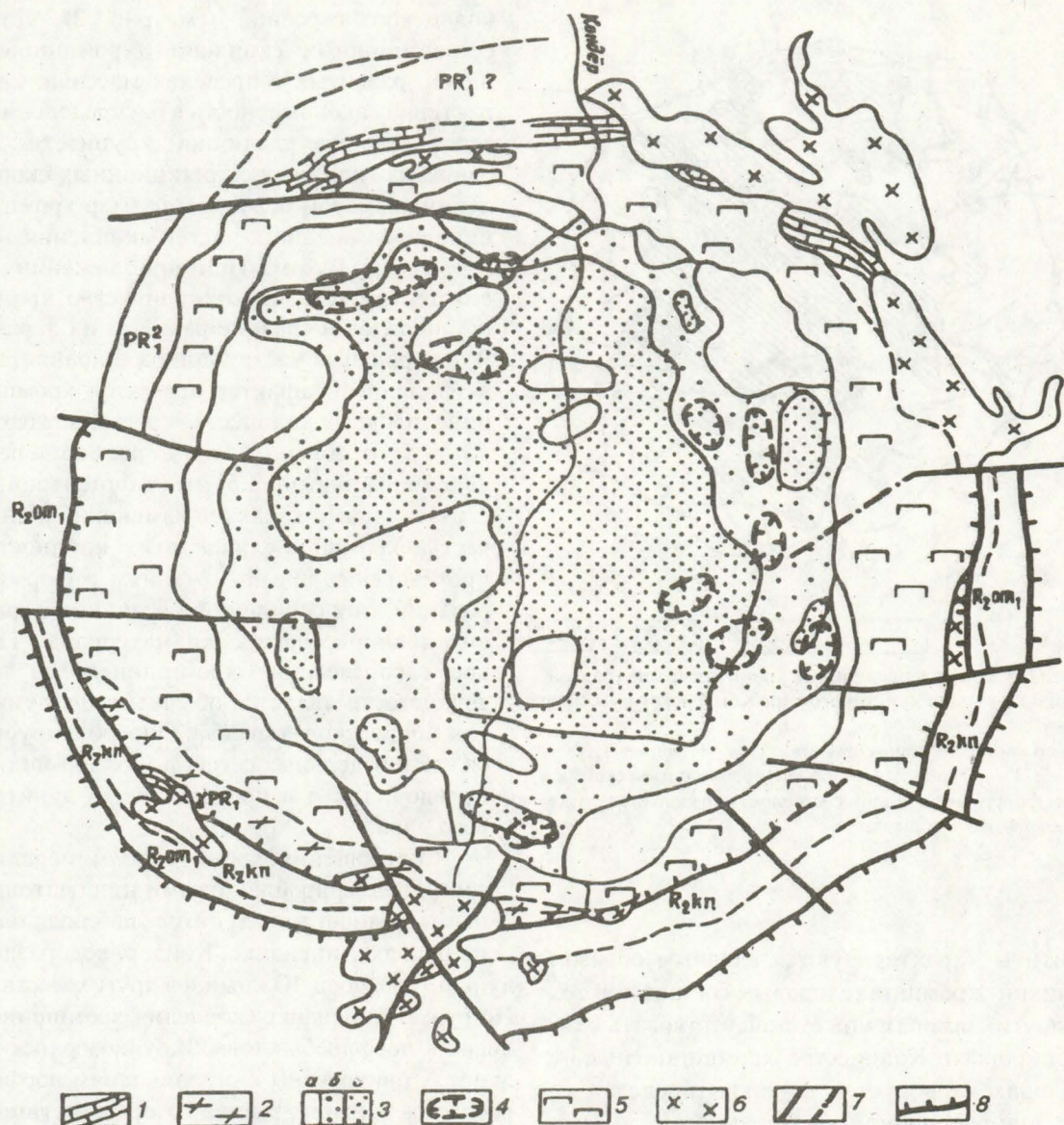


Рис. 1. Геологическая схема массива Кондор:

R_{2om1} — нижнеомнинская подсвита рифея — алевролиты, туфоалевролиты, песчаники, аргиллиты; R_{2kn} — кондорская свита рифея — песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгло-брекнии, гравелиты; PR_1^2 — нижний протерозой — доломитовые, форстеритовые, бруситовые мраморы; PR_1^1 — нижний протерозой — гнейсы, гранитогнейсы, плагиогнейсы; 1 — нижний протерозой — кальцифиры; 2 — ранний протерозой — гнейсовидные плагиограниты; 3 — дуниты: а — мелкозернистые, б — среднезернистые, в — крупнозернистые; 4 — участки развития порфиробластов форстерита в дунитах; 5 — оливиновые клинопироксениты, оливинсодержащие клинопироксениты, клинопироксениты, плагиоклазсодержащие клинопироксениты, косевиты, габбро; 6 — кварцевые субщелочные диориты, кварцевые монцодиориты, гнейсовидные плагиограниты; 7 — разрывные нарушения: а — достоверные, б — предполагаемые, 8 — надвиги

образуют здесь зону, близкую по морфологии к кольцевой (рис. 2).

Шлировые выделения хромитовой минерализации наблюдаются, как правило, среди полей дунитов, обогащенных вкрапленными хромшпинелидами. Последние характеризуются наличием водосодержащих минераль-

ных фаз, среди которых наиболее часто встречаются серпентин, брусит, серпофит, реже хлорит, флогопит, амфибол. Хромититы при этом имеют характерный сероватобелый цвет и близки хромититам, известным на Урале под названием «седых». Масивные и густо вкрапленные (сливные) хро-

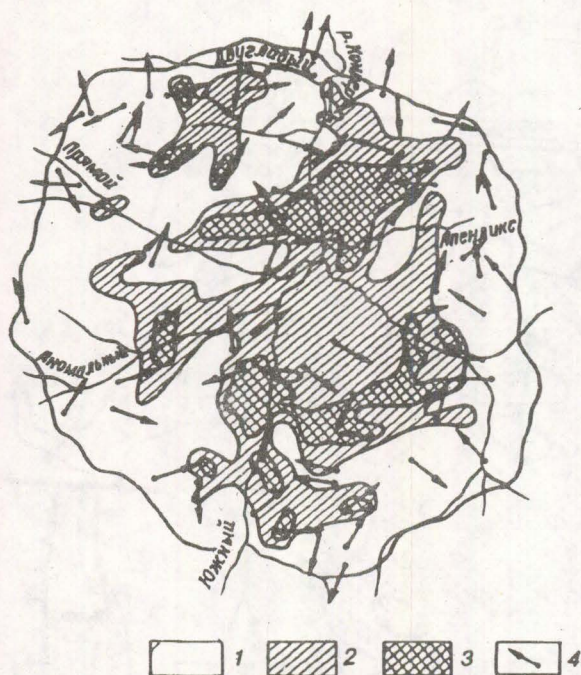


Рис. 2. Схема распределения хромитовой минерализации по площади дунитового ядра Кондерского массива:

содержание хромшпинелидов, %: 1 — менее 3; 2 — 3—5; 3 — более 5; 4 — ориентировка оптической оси. Nm форстеритов (длина стрелок определяется углом наклона оси к горизонту)

мититы характеризуются главным образом оливин-хромшпинелидовым составом. В тех и других шлирах может присутствовать клинопироксен. Количество хромшпинелидов в шлирах варьирует в широких пределах — от шлироподобной вкрапленности до массивных хромтитов. Определенных закономерностей в распределении сливных и «седых» хромтитов по площади дунитового ядра выявить не удалось. Масштабы развития водосодержащих силикатных фаз, связанных с шлирами хромтитов, весьма невелики и отмечаются главным образом в цементирующей хромшпинелиды силикатной матрице и в виде тонкой каймы вокруг тел хромтитов. Это свидетельствует о весьма ограниченном объеме флюидной составляющей, участвующей в формировании тел хромтитов.

Морфология участков с повышенной (более 5 мм) крупностью зерен в центре массива также обнаруживает элементы

кольцевого строения (см. рис. 2). Для сегрегационных скоплений хромшпинелидов, развитых в пределах массива, характерна закономерность в распределении зерен хромита различной крупности. В одном из типичных сегрегационных скоплений размером 0,2×0,5 м размер хромшпинелидов внешних частей скопления не превышает 0,5 мм. При приближении к его центру возрастают количество хромшпинелидов и средние размеры их зерен. В центральных частях шлира сохраняется вкрапленный характер агрегатов хромшпинелидов; их количество составляет около 50% от объема породы, размер зерен увеличивается до 2,5 мм. Концентрически-зональный характер изменения количества хромшпинелидов и их крупности противоречит предположениям о формировании этих скоплений в результате гравитационной сортировки материала. Такое распределение хромшпинелидов по зернистости является обычным для дунитов Кондерского массива. Оно фиксируется как в отдельных сегрегациях хромшпинелидов, так и в пределах всего дунитового ядра.

Соотношения хромитовой минерализации с порфиробластовыми и пегматоидными разностями дунитов наблюдались по ручьям Аппендикс, Кондер, водоразделу руч. Трезубец-Южный и в других местах. По ручью Аппендикс скопления хромшпинелидов в порфиробластовых крупнозернистых дунитах приурочены к ограничениям порфиробластов оливина, размер которых достигает 3 см. В самих порфиробластах встречаются лишь отдельные мелкие зерна хромшпинелидов. В скоплениях хромшпинелиды представлены хорошо ограненными кристаллами размером 0,3—3 мм, реже встречаются округлые корродированные зерна. В ряде случаев струйчатые выделения хромшпинелидов отчетливо приурочены к двум направлениям, расходящимся под углом 60°, фиксирующим, вероятно, прототрещиноватость пород.

Шлировые выделения хромшпинелидов часто бывают тесно связаны пространственно с небольшими телами пегматоидных дунитов. Так, в районе траншеи 200 по правому борту реки Кондер есть жилоподобный шлир мощностью до 5 см и протяженностью 50 см. В 40 см от него в дунитах появляются

порфириобласты форстерита размером до 1 см. При удалении от шлира на 1 м количество порфириобластов оливина крупнозернисто-пегматоидной размерности возрастает до 60—70% и более. При этом порфириобласты оливина иногда сливаются и образуют участки пегматоидных пород с причудливыми неправильными границами.

Описанная пространственная ассоциация шлиров хромититов с пегматоидными дунитами обычна, но отмечается далеко не всегда (если исключить возможность наличия под шлирами на глубине нескрытых тел пегматоидных дунитов). Вместе с тем, все наиболее крупные шлировые тела хромититов (более 0,5 м) пространственно тяготеют к полям развития пегматоидных разновидностей пород, располагаясь в средне-крупнозернистых и крупнозернистых дунитах. Дополнительные материалы о характере распределения хромитовой минерализации в пределах других платиноносных массивов позволяют предположить, что выявленная тенденция имеет характер закономерности и присуща всем массивам платиноносных дунитов. Так, наиболее обильные крупные тела хромититов (более 0,5 м) наблюдаются в пределах тех массивов, где широко разви-

ты тела дунит-пегматитов (Нижне-Тагильский, Качканарский и др.), и отсутствуют в массивах, сложенных мелко-и среднезернистыми дунитами (Инаглинский, Чадский, Сейнаровский и др). Поэтому формирование шлировых выделений хромшпинелидов и пегматоидных дунитов, по-видимому, можно связывать с одним и тем же процессом.

По особенностям состава хромшпинелиды дунитов относятся главным образом к феррихромпикотитам (таблица). Какой-либо зональности в изменении их состава по площади дунитового ядра выявить не удалось. Состав хромшпинелидов варьирует как в составе акцессорной вкрапленности, так и от шлира к шлиру, не подчиняясь каким-либо закономерностям, что подтверждает ранее сделанный вывод об отсутствии скрытой расслоенности внутри дунитового ядра.

Как и хромшпинелиды, форстериты дунитов существенным образом различаются по своим типоморфным особенностям. На рис. 3 показан характер распределения форстеритов с трансляционными двойниками скольжения по площади дунитового ядра.

Двойники скольжения почти не фиксировались в форстеритах оливинитов, развитых в эндоконтактных зонах тектонически

Химический состав хромшпинелидов дунитов Кондерского массива по данным микрзондового анализа, мас% (аналитик М. М. Ботова)

FeO	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	Σ
34,56	51,13	0,51	0,69	5,68	5,33	97,9
25,95	54,87	0,67	0,55	10,56	6,57	99,17
25,92	54,58	0,72	0,54	10,39	6,77	98,52
26,44	58,20	0,78	0,43	6,91	8,09	100,85
23,44	59,62	0,82	0,45	7,56	7,78	99,67
27,70	55,21	0,83	0,53	8,54	7,13	99,94
28,23	54,42	0,82	0,46	6,95	7,35	98,23
26,00	55,73	0,78	0,52	9,09	6,00	98,12
26,55	54,73	1,13	0,39	10,55	5,85	98,80
24,03	61,95	0,79	0,47	9,60	4,13	100,97
23,30	62,93	0,67	0,65	9,53	3,50	100,58
23,59	61,25	0,74	0,52	8,90	3,87	98,87
23,46	62,83	0,54	0,58	8,56	3,61	99,58
34,75	51,93	0,88	0,50	7,32	5,27	100,65
35,29	50,13	0,88	0,54	7,85	5,40	100,09
34,36	51,11	0,83	0,46	7,24	5,29	99,29
47,70	38,19	1,36	0,42	7,75	2,82	98,24

нарушенной части массива. Их количество значительно возрастает на некотором удалении (200—300 м) от эндоконтакта, в дунитовой части интрузии. В пределах площадей развития дунитов с большим числом трансляционных двойников в форстеритах часто отмечается значительное количество зеркал скольжения (верховья ручья Южный). Вместе с тем, в дунитах зон серпентин-флогопитового прожилкования двойники скольжения в форстеритах отсутствуют (ручей Безмянный). Наиболее крупные поля, в пределах которых отсутствуют двойники скольжения, совпадают с участками порфириобластовых, крупнозернистых разностей дунитов.

Развитие флюидных включений характерно для форстеритов дунитов центральной части массива, особенно его восточного «блока» (см. рис. 3). Отмечаются локальные

участки, в которых насыщенность форстеритов включениями достигает особенно больших величин (см. рис. 3). Они образуют в этих случаях плотную мелкую сыпь, наблюдающуюся практически по всему объему центральной части зерен. В участках зерен, насыщенных включениями, встречен своеобразный морфологический тип их скоплений — «очковый». По периферии скоплений обильные мелкие включения постепенно переходят в практически пылевидные образования, а к центру их размер возрастает, достигая в самых крупных включениях первых микрон. Такие дуниты с очковыми сегрегациями включений в форстеритах еще более локальны в пределах массива (см. рис. 3). Специального изучения состава флюидных включений не производилось. По аналогии с дунитами Нижне-Тагильского массива можно предположить, что они имеют существенно водородный состав с переменным количеством воды [5].

На рисунке 2 представлены результаты изучения 84 ориентированных шлифов, отобранных в пределах дунитового ядра. В трех шлифах было произведено изучение оптической ориентировки всех зерен форстеритов. Данные исследований, полученные по шлифу 427 (40 замеров), приведены на рис. 4.

Диаграмма ориентировки проекций оптической оси N_p форстеритов имеет один наиболее интенсивный главный максимум при отсутствии значимых дополнительных. Типом узора диаграммы оси N_p является комбинация максимума с частично поясовым рассеиванием осей. Диаграммы ориентировки N_m и N_g характеризуются наличием нескольких второстепенных максимумов, располагающихся в виде поясов. Их узор отвечает S-тектониту. Наибольшее число проекций оси N_m располагается в области углов падения не превышающих 45 градусов. Это подтверждается результатами изучения ориентировки оси N_m в форстеритах по площади дунитового ядра (см. рис. 2).

На диаграмме рассланцованности дунитов наиболее значимые максимумы располагаются также в области углов падения до 45°, а их азимуты падения, в основном, соответствуют наиболее интенсивным максимумам для осей N_m и N_g . Это, по всей вероятности, говорит о том, что оптические оси оливина N_m и N_g располагаются боль-

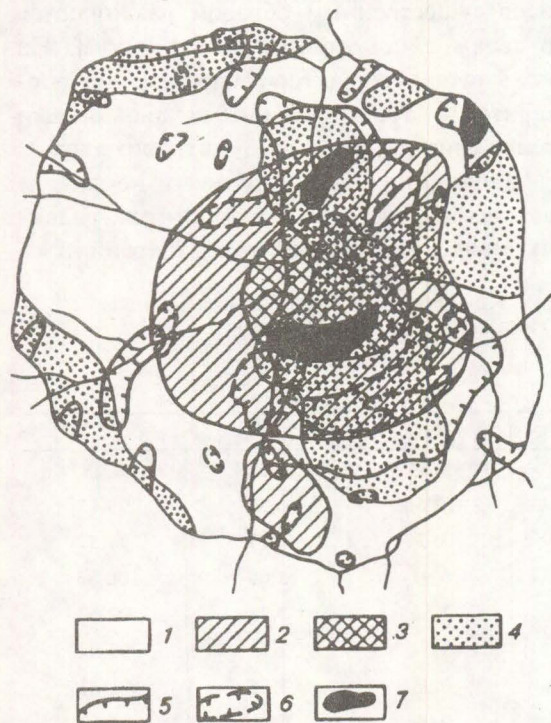


Рис. 3. Геолого-генетическая модель формирования дунитового ядра Кондерского массива:

зоны: 1 — низкотемпературных пластических деформаций, 2 — пластического течения рудных фаз дунитов при ограниченной подвижности форстеритов, 3 — высокотемпературного пластического течения вещества, 4 — площадь с низкой частотой встречаемости двойников скольжения; 5 — участки с содержанием хромшпинелидов в дунитах более 5%; 6 — участки, обогащенные флюидными включениями; 7 — дуниты с очковым типом включений

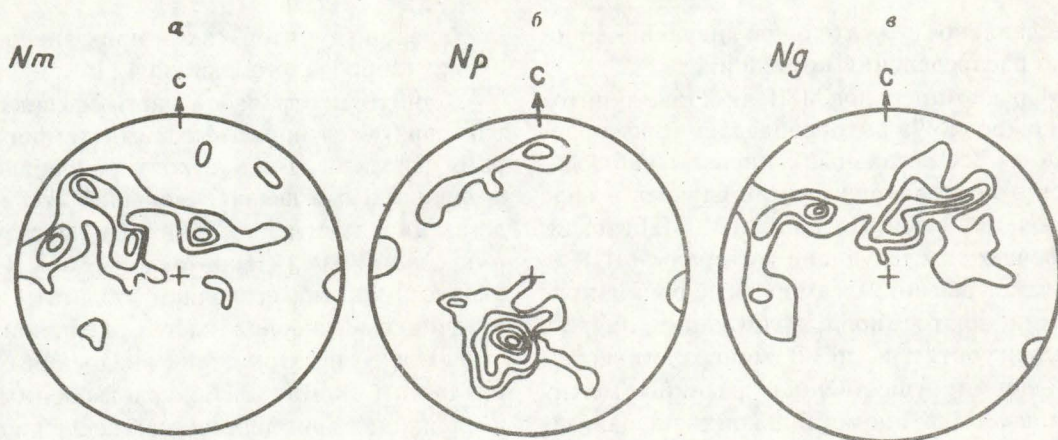


Рис. 4. Ориентировка оптических осей форстеритов в шл. 427 по замерам 40 зерен:

a — ось Nm, изолинии 2,4 — 4,8 — 7,2%; *б* — ось Nr, изолинии 2,4 — 4,8 — 7,2 — 9,6 — 12,0 — 14,4%;
в — ось Ng, изолинии 2,4 — 4,8 — 7,2 — 9,6%

шей частью в плоскости рассланцевания. Последнее дает основание предположить, что процессы, вызвавшие наблюдающуюся ориентировку зерен форстеритов, и рассланцевание пород взаимосвязаны.

Исходя из имеющихся данных, можно заключить, что в процессе геологического развития дунитовый шток испытывал сжимающие одноосные вертикальные усилия. При этом плоскость NmNg располагается в плоскости рассланцованности, т.е. почти перпендикулярно действию силы, а плоскости NmNr и NgNr параллельно действию силы, т.е. удлинение кристаллов оливина параллельно рассланцованности и перпендикулярно действию сжимающих сил. Скользящие дифференцированные движения в решетке оливина при пластических деформациях совершались в плоскости второго пинакоида.

Преобладание асимметричных типов узоров диаграмм можно объяснить возникновением их в результате пластического течения в ходе простого сдвига [3], что возможно в условиях тектонического перемещения дунитового ядра.

Наличие платинометалльной минерализации в рудах устанавливается только по результатам опробования. Она содержится в гнездово-вкрапленных и прожилково-вкрапленных хромит-платинометалльных и собственно платинометалльных рудах, ассоциирующих с телами пегматоидных дунитов, а также в виде акцессорной вкраплен-

ности. Размер рудных тел хромит-платинометалльного типа в большинстве случаев не превышает 1 м. Содержание платины в хромитовых рудах различных типов — густо-вкрапленных, массивных, брекчиевых сильно варьирует от десятых долей грамма на тонну до десятков граммов. Более высокие содержания платиноидов отмечаются в «седых» хромититах (десятки граммов на тонну). В «сливных» хромититах по данным химико-нейтронно-активационного анализа (аналитики Т.Д.Крылова, Г.Ч.Витоженц) содержания колеблются в пределах 1 г/т, что значительно больше фона платины в дунитах Кондерского массива (230 мг/т по данным 60 анализов).

Платинометалльная минерализация, ассоциирующая с пегматоидными дунитами, распределена также весьма неравномерно и может локализоваться как в самих небольших телах пегматоидных дунитов, так и в непосредственной близости от них, в хромитовых средне-крупнозернистых дунитах. Содержание платины достигает, по штучным пробам, десятков грамм на тонну. Но рядом с весьма богатыми пробами обычно встречаются пробы со сравнительно невысокими содержаниями. Для дунитов с повышенным содержанием минералов платиновой группы (МПГ) характерно высокое содержание в форстеритах флюидных включений, и в частности «очкового» типа. Однако не все дуниты с обилием включений имеют высокие содержания МПГ, что может быть

обусловлено значительной неравномерностью распределения последних.

Среди минералов МПГ в составе дунитов резко (более 95%) преобладает изоферроплатина. Все остальные минералы наблюдаются в подавляющем числе случаев в виде включений в ней. По данным М. М. Ботовой, встречаются следующие минералы МПГ (в порядке убывания): самородный осмий, иридомин, платосмирин, эрликманит, лаурит, холлингуортит и др. В минералогическом отношении существенной разницы между составом платинометалльной минерализации, связанной с пегматоидными дунитами и хромититами, не выявлено. Наибольшее значение с точки зрения россыпеобразования имеет платина «хромитового» морфологического типа, что было установлено ранее [9,10] и подтверждено впоследствии при изучении типоморфных особенностей шлиховой платины по площади массива. По данным В.В.Столяренко, с хромшпинелидовой, минерализацией связано до 80% от общего количества шлиховой платины россыпеобразующих классов крупности [8].

Все это позволяет заключить, что закономерности распределения платины и хромитовой минерализации в пределах дунитового ядра в значительной степени тождественны, что обусловлено общностью формирования оруденения (хромитового и платинометалльного) с вмещающими их дунитами.

По приведенным данным и обобщению опубликованных материалов можно предположить, что внутренняя структура дунитового ядра и зональность в распределении хромитовой минерализации сформированы при внедрении дунитового штока в раскаленном твердопластичном состоянии.

В эндоконтактных частях массива при внедрении дунитов преобладали пластические деформации, идущие при сравнительно низких температурах — трансляционное скольжение, двойникование, излом (до 600° для сухих дунитов) [13]. В результате этого, в контактовой зоне были сформированы мелко-среднезернистые разности дунитов с незначительным количеством мелких хромшпинелидов, с большим количеством трансляционных двойников скольжения в форстеритах. На самом контакте последние были уничтожены в ходе последующей перекри-

сталлизации дунитов, связанной с внедрением тел габброидного состава [2].

Дуниты центральной части массива характеризуются более высокими температурами формирования и, вероятно, флюидонасыщенностью в связи с меньшей степенью дегазации дунитового вещества по сравнению с дунитами эндоконтактных зон. Имеющиеся данные позволяют полагать, что источником основной части флюидной составляющей на этом этапе внедрения были различные компоненты, растворенные в дислокациях кристаллической решетки оливинов.

Пластическое течение дунитов осуществлялось по механизму миграции границ зерен одного минерала [13] с формированием мономинеральных агрегатов. Концентрация зерен хромшпинелидов началась в прожилково-вкрапленных струйчатых, линзовидно-прожилковых выделениях и тончайших прожилках, в которые «отгонялось» рудное вещество до тех пор, пока оно не приобретало массы, достаточной для самостоятельного перемещения. Шлировые выделения хромитов, которые формируются в этих условиях, можно назвать автохтонными. Они наблюдаются в полях повышенной фоновой вкрапленности хромшпинелидов и часто ассоциируют с телами пегматоидных дунитов.

При достаточной массе рудного вещества последнее может приобретать способность к самостоятельному перемещению на значительные расстояния и достигать зоны низкотемпературных пластических деформаций. Шлиры хромитов вне полей повышенной вкрапленности хромшпинелидов в этом смысле являются «аллохтонными» образованиями.

Различные физические свойства силикатных и рудных фаз определяют дифференцированное их поведение в условиях пластических деформаций: на границе зон высокотемпературного и низкотемпературного пластического течения силикатное вещество будет подчиняться законам низко-, а рудное — высокотемпературного течения. Как более подвижное, оно может нагнетаться из зоны высокотемпературного течения в постоянно возникающие, открывающиеся и закрывающиеся трещины в более проницаемых дунитах зоны их низкотемпературного течения с последующим формированием

различных морфологических типов шлиров и брекчиевых руд. В каких-то объемах этот процесс возможен и для дунитового вещества. Тогда в зоне их низкотемпературного пластического течения могут формироваться дунитовые жилы и прожилки различной зернистости. В результате указанных процессов в переходной области формируется кольцевая зона, насыщенная шлировыми выделениями хромшпинелидов, располагающихся на фоне их обильных крупных вкраплений.

Поведение платинометалльной минерализации в ходе этих процессов аналогично поведению хромшпинелидов и подчинено тем же закономерностям. Однако значительно большее влияние на нее оказывает режим флюидных компонентов. В ходе проявления пластических деформаций флюидная составляющая «отжимается» из форстеритов в межзерновое пространство на участки концентрации рудной массы. Вероятно, в дальнейшем миграция рудно-флюидной смеси осуществляется совместно, и в случае закрытости системы формируются платиносодержащие шлиры «седых» хромититов. Водно-силикатные фазы являются продуктом взаимодействия флюидов с силикатами при понижении температур.

При большей степени открытости системы флюиды, пройдя то или иное расстояние, могут отделиться от хромититовой массы. По мере их охлаждения происходит перекристаллизация дунитов с образованием пегматоидных и миароловых разностей и дунит-пегматитов, содержащих водные силикаты, хромдиопсид и другие минералы. С этими же разностями дунитов могут быть связаны массивные самородки платины. Хромитовое вещество после отделения флюидов образует шлиры сливных слабо платиноносных хромититов.

Изложенные данные позволяют сделать вывод, что основные закономерности в строении дунитового ядра не противоречат модели метаморфического перераспределения вещества в ходе подъема горячего дунитового штока в верхние горизонты земной коры при большой роли процессов перекристаллизации пород на заключительных этапах становления массива. Подтверждается ранее высказанная точка зрения А.А.Ефимова и И.Ф.Таврина о близости Алданского и

Уральского типов платиноносных интрузивных комплексов [4]. Предложенная модель формирования дунитового ядра массива имеет много общего с моделью, разработанной О. К. Ивановым для платиноносных массивов Урала. Ограниченность развития шлиров хромититов в дунитах массивов, находящихся в самой разнообразной геологической обстановке и на различных уровнях эрозионного среза, делает маловероятным формирование коренных месторождений платино-хромитового минералого-геохимического типа, а также генетически связанных с ними месторождений МПГ в дунит-пегматитах.

Обобщение данных о строении платиноносных концентрически-зональных комплексов позволяет предложить критерии оценки глубины эрозионного среза дунитовых ядер с широким развитием протогранулярных дунитов, что имеет большое значение при определении россыпной платиноносности. Сформулированные ниже критерии отражают различную степень метаморфического разделения вещества на разных по глубинности уровнях дунитового штока.

1. Глубоко эродированные массивы характеризуются широким развитием в их составе крупнозернистых разностей дунитов, занимающих около 50% площади дунитовых ядер. Часты шлировые выделения хромититов размером более 0,5 м и редковкрапленные хромитовые руды с содержанием хромшпинелидов более 5%. Обычны — разновидности дунитов с крупными кристаллами и зернами хромшпинелидов размером свыше 5 мм. Характерна высокая степень структурности в распределении хромитовой минерализации в виде кольцевых зон, отражающая особенности проявления высокотемпературных пластических деформаций и продолжающая концентрически-зональный структурный мотив во внутреннем строении дунитовых ядер. С увеличением глубины эрозионного среза кольцевые зоны расширяются и смещаются в сторону контакта дунитовых ядер.

2. Умеренно эродированные дунитовые ядра характеризуются преобладанием среднезернистых разностей дунитов, слагающих более 50% их площади, отсутствием или крайне незначительным количеством шлиров хромититов с размерами, как правило,

не превышающими 0,5м, более мелкими зернами хромита (менее 3 мм) и низкими их содержаниями (менее 3%), а также малой степенью оструктуренности в распределении хромитовой минерализации по площади дунитовых ядер.

3. Слабо эродированные массивы отличаются широким развитием мелкозернистых разностей пород, как правило, с гранобластовыми структурами и мелкой рассеянной аксессуарной вкрапленностью хромшпинелидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонцев С. Н., Малич К. Н. О физико-химических условиях образования железо-титановых окислов из пород Кондерского щелочно-ультраосновного массива // Докл. АН СССР, 1987. Т. 296, N 6, С. 1466—1468.
2. Богомолов М. А. Метаморфизм и другие вопросы физико-химической петрологии. — М.: Наука, 1968.
3. Де Текс Е. Структурная петрология. Элементы структурной геологии. М., 1967. С. 375—412.
4. Ефимов А. А., Таврин И. Ф. О генетическом единстве платиноносных дунитов Урала и Алданского щита // Докл. АН СССР. 1978. Т. 243. N 4. С. 991—994.
5. Заварицкий А. Н. Коренные месторождения платины на Урале. Материалы по общей и прикладной геологии. 1928. Вып. 108.
6. Казаков А. Н. Динамический анализ микроструктурных ориентировок минералов. — Л.: Наука, 1987.
7. Орлова М. П. Геологическое строение и генезис Кондерского ультрамафитового массива (Хабаровский край). Тихоокеанская геология. 1991. №1. С. 80—88.
8. Особенности строения и формирования платиноносной россыпи. В. В. Столяренко, Н. Н. Тучнина, В. М. Шашкин, Г. Д. Малых // Тр. ЦНИГРИ. Вып. 227. 1988. С. 16—20.
9. Разин Л. В. Платиноносность массивов ультраосновных и щелочных пород инаглинского типа. Тектоника и закономерности размещения полезных ископаемых Якутии. Якутск. 1984. С. 41—45.
10. Рудашевский Н. С., Мочалов А. Г. Состав включений хромшпинелидов в зернах платиноидов из пород ультрамафических формаций // Геология и геофизика. 1985. №8. С. 56—70.
11. Шнай Г. К. К формационному расчленению пород дунитовых ядер в массивах ультраосновного щелочного состава. Формационное расчленение, генезис и металлогения ультрабазитов. Свердловск. 1985. С. 117—118.
12. Carter N. L. Steady State flow of rocks // Rev. Geophys. And Space Physics. 1976. Vol. 14. N3. P. 301—360.
13. Stocker R. L., Ashby M. F. On the Rheology of the Upper Mantle // Rev. Geophys. And Space Phys. 1973. Vol. 11. P. 391—426.

V. M. Shashkin, S. O. Zheldakova

STRUCTURE OF DUNITE CORE OF THE KONDERSKY MASSIF AND ORIGIN OF PLATINUM-BEARING ALKALINE-ULTRABASIC FORMATIONS

Structural-textural features of platinum-rich dunites of the Kondersky massif are studied along with the distribution of tipomorphic signs of rock-forming and accessory minerals and optical axes orientation of olivine in dunite core. Geological-genetic model of mineral- petrographic zoning of dunite core (the Kondersky massif) formation and criteria of determination of its erosional cut depth are suggested.

УДК 553.411 + 548.4

ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ АМЕТИСТОВОЕ (КАМЧАТКА) – ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЯ И ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ

А. Г. ГРАНОВСКИЙ (Ростовский госуниверситет)

Рассмотрена возможность использования термобарогеохимических параметров минералообразования для целей локального прогноза золото-серебряных руд одного из месторождений Камчатки. Приведены данные о температурных условиях формирования основных минеральных ассоциаций, составе растворов включений в минералах и рассчитаны показатели флюидоактивности проб из рудных зон на разных гипсометрических уровнях месторождения. Показаны способы количественной оценки интенсивности проявления типов руд и прогноза оруденения на глубину.

Вопросам генезиса малоглубинных золото-серебряных месторождений, связанных с вулканическими поясами окраин континентов и островных дуг, посвящено большое число работ в нашей стране и за рубежом. Достаточно полно изучены *РТ*-параметры минералообразования, состав и концентрация компонентов рудообразующих растворов для разных типов месторождений, установлены основные закономерности флюидного режима минералообразующих систем. Однако термобарогеохимические данные для локального прогноза оруденения в качестве поисковых признаков используются редко, и то обычно для установления общих закономерностей процесса рудообразования. В этом случае они не являются формализованными, что затрудняет применение их для конкретной оценки пространственных параметров рудных тел, а это, по-существу, и является основной задачей локального прогноза. Наиболее эффективным для этих целей является создание прогнозно-генетических моделей, где в качестве элементов модели, в комплексе с другими признаками, используются термобарогеохимические параметры рудообразующих растворов в пространственно-временных координатах. К числу таких параметров следует отнести прежде всего термобарические интервалы образования минералов, ограничивающие возможность существования тех или иных ассоциаций и позволяющие выявить участки

их локальных концентраций. Наиболее достоверны результаты оценки температур методом гомогенизации индивидуальных включений с определением соотношения фаз и состава компонентов, однако он трудно осуществим для малопрозрачных минералов и систем включений небольшого размера, которые типичны для большинства гидротермальных рудных месторождений. Кроме того, анализ единичных включений зачастую не позволяет статистически охарактеризовать параметры образования минералов и выделить предшествующие и наложенные процессы формирования руд.

Оптимальным для данного типа объектов представляется метод вакуумной декриптометрии монофракций минералов и минеральных ассоциаций рудных жил и вмещающих пород, применяемый в комплексе с определением температуры гомогенизации индивидуальных включений. Установленные методом гомогенизации генетические системы включений идентифицируются на вакуумных декриптограммах большого количества проб с определением температурного интервала и максимума декрепитации, объема и интенсивности газовыделения в каждом интервале. При этом рассматриваются раздельно эффекты, связанные с декрепитацией включений, дегидратацией, диссоциацией и фазовыми переходами в анализируемых минералах.

Наиболее интересным и важным для целей локального прогноза является показатель, отражающий скорость декрепитации включений в конкретном температурном

интервале и определяемый отношением объема газов, выделившихся при декрепитации системы включений, к ширине температурного интервала газовыделения. Данный показатель, называемый нами показателем флюидоактивности, по своей сущности близок к приводимому ранее в литературе показателю флюидоносности [1, 2]. В общем виде он соответствует количеству флюидной фазы, блокированной определенным объемом кристаллизующегося минерала в конкретном интервале температур, и отражает интенсивность процесса кристаллизации минералов, а также уровень преобразования вмещающих пород при их пропаривании гидротермальными растворами. Сравнение по этому показателю генетически однотипных систем включений в пробах из рудных тел и околорудноизмененных пород позволяет оценить относительную интенсивность процессов образования минеральных ассоциаций. Картирование данного признака по горизонтальным и вертикальным сечениям рудных жил дает возможность количественно охарактеризовать интенсивность проявления в пространстве той или иной минеральной ассоциации с последующей оценкой продуктивности разных горизонтов месторождения.

Количественный состав, вернее, соотношение компонентов растворов включений в минералах является другим важным признаком, используемым для определения условий зонального распределения минеральных типов руд. Применение хроматографического анализа газов дифференцированно для температурных интервалов декрепитации разных систем включений, а также химический анализ водных вытяжек из включений дают возможность оценить содержание основных газовых компонентов — CO_2 , H_2O , O_2 , N_2 , CO , CH_4 , H_2 , а также ионов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} и др.

В данной работе на основе термобарогеохимического картирования в комплексе с минералогическим и геохимическим рассмотрена возможность локального прогноза золото-серебряного оруденения одного из сложных, полистадийных месторождений Камчатки, для которого особое значение имеет информация о распространении руд на глубину и пространственном взаимоотношении продуктивных ассоциаций.

Месторождение Аметистовое расположено в северной части полуострова Камчатка и является одним из золото-серебряных объектов Тклаваямского рудного поля Ичигин-Уннейваямского вулканогенного района, входящего в состав Корякско-Центрально-Камчатского вулканического пояса [3]. Магматизм района обусловлен развитием двух вулканогенных комплексов, первый из которых — уннейский, сложен породами кислого состава внутрикорового происхождения, второй — ичигинский представлен породами среднего состава, имеющими глубокий генезис [3]. Золото-серебряное оруденение пространственно и по времени связано с породами ичигинского комплекса [4], которые принимают участие в строении вулканоструктуры центрального типа и представлены лавами, реже туфами дацитов, андезито-дацитов, андезитов и субвулканическими телами диоритовых порфиритов, андезитов и дацитовых порфиритов, маркирующих жерла палеовулкана и вмещающих оруденение. Строение рудного поля определяется системой радиальных и северо-западных нарушений, разбивающих территорию на ряд блоков, ступенчато опущенных к центральной части вулканоструктуры. Гидротермальные образования представляют собой сближенные системы жил радиально-лучистого и концентрического строения, крутого падения, выполненные практически одними и теми же минеральными ассоциациями. На месторождении выявлено несколько систем жил, из которых рассматриваются три — Ичигинская, Чемпион и Юника, изученные на разных гипсометрических уровнях и с разной степенью детальности.

Формированию оруденения предшествовали интенсивные метасоматические преобразования пород, которые выразились в площадной пропилитизации всей вулканоструктуры, калишпатизации апикальных частей субвулканических тел в пределах рудного поля, образовании линейных зон гидрослюдисто-серицит-кварцевых метасоматитов, близких по времени формирования к золоторудному процессу. Сопряженными с оруденением являются тела монокварцитов, являющиеся по сути связующим звеном между пропилит-адуляровым комплексом пород и оруденением. Все рудные жилы расположены в пределах субвулканических

тел, преимущественно диоритовых порфиров, выклиниваясь при переходе в эффузивные породы, и представляют собой жилы и жильные зоны с промышленным содержанием золота и серебра, образовавшиеся путем выполнения трещинных полостей мощностью от 1 до нескольких метров. Формирование оруденения происходило в результате последовательного образования четырех минеральных комплексов, соответствующих стадиям минералообразования.

Допродуктивная *пирит-кварцевая* стадия представлена сероватым сливным, мелкозернистым кварцем с убогой вкрапленностью пирита, магнетита, количество которых не превышает 1—2%. Структура агрегатов гранобластовая, мозаичная, иногда друзовидная. Ассоциация образует зоны окварцевания, жилы, прожилки и часто присутствует в виде обломков в более поздних агрегатах. На вакуумных декриптограммах проб кварца этой ассоциации отчетливо фиксируется эффект газовой выделения в интервале температур 460—360°C. Гомогенизация первичных включений в кварце, определяемая визуально, происходит при температуре 345—370°C в жидкую фазу. Более поздние, вторичные системы включений в кварце декрепитируют при температурах 340—240 и 220—160°C и, вероятно, обусловлены наложенными процессами последующих стадий. В составе газов первичных включений преобладают CO_2 и H_2O , причем максимум CO_2 фиксируется на более глубоких горизонтах жил Ичигинской рудной зоны, а минимум на верхних горизонтах жилы Чемпион. Анионная часть растворов включений хлоридно-гидрокарбонат-

ная, катионная — калиево-натриево-кальциевая (таблица). Значение pH растворов водных вытяжек несколько смещено в кислую область и составляет 4—6 ед. Для минералов этой ассоциации характерно присутствие незначительного количества углеводородов, что фиксируется выделением метана при температуре около 400°C.

Сульфидно-кварцевая ассоциация, соответствующая второй стадии минералообразования, представлена пирит-кварцевой и сфалерит-галенит-халькопирит-кварцевой минерализацией с довольно частым присутствием пирротина и марказита, образовавшегося по более раннему пириту. Среди жильных минералов, кроме кварца, присутствуют кальцит, хлорит, глинистые минералы, адуляр в виде гнезд и прожилков. Текстурный рисунок ассоциации разнообразен, но обычно это прожилковые, реже вкрапленные выделения, часто с полосчатостью и элементами крустификации, сменяющиеся к центральным участкам жил сливным и гребенчатым, часто прозрачным кварцем. Температура декрепитации кварца этой ассоциации лежит в интервале 300—480°C с максимумами при 380° для проб пирит-кварцевого состава и 350°C для галенит-сфалерит-сульфидно-кварцевой минерализации (рис. 1).

Гомогенизация крупных (до 0,1 мм) первичных включений с содержанием газовой фазы до 25—30% объема происходит при 290—310°C. Мелкие включения (0,06 мм), приуроченные к этой же зоне кристалла, гомогенизируются при 320°C. В составе газов включений этой группы значительную роль играет CO_2 (наряду с H_2O),

Результаты химического анализа тройных водных вытяжек из кварцев разных минеральных ассоциаций

Минеральная ассоциация	Количество проб	Химический состав растворов в мг-экв. на 100 г образца									
		Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	F^-	Σ катион.	Σ анион.
Пирит-кварцевая (дорудная)	3	0,043	0,012	0,183	0,045	0,039	0,201	0,037	нет	0,283	0,277
Сульфидно-кварцевая	3	0,068	0,226	0,108	0,066	0,052	0,078	0,327	нет	0,468	0,457
Золото-сульфидно-хлорит-кварцевая	4	0,037	0,075	0,03	0,030	0,057	нет	0,150	нет	0,232	0,207
Золото-каолинит-кварцевая	5	0,042	0,057	0,012	0,042	0,03	0,04	0,05	0,004	0,153	0,124

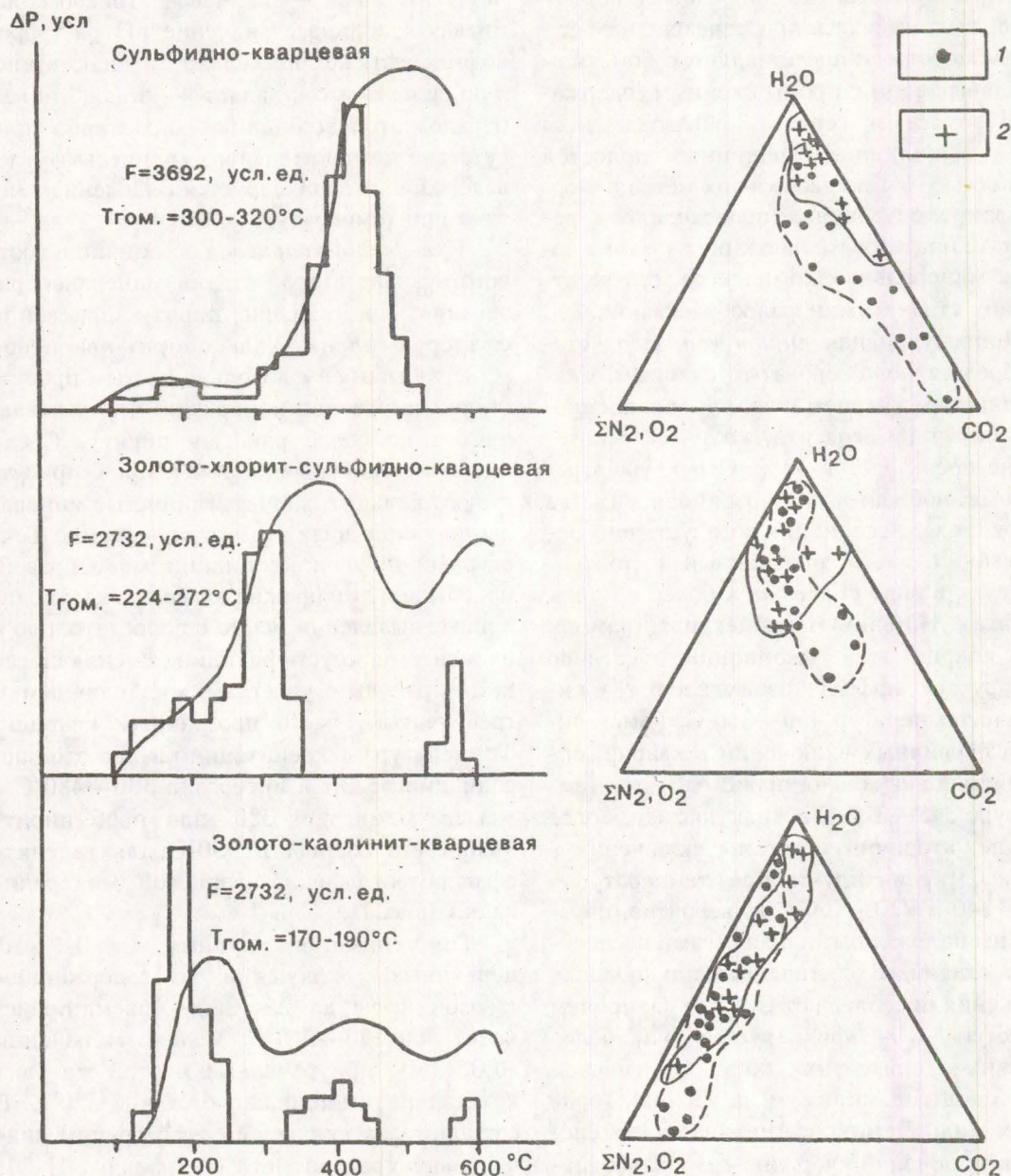


Рис. 1. Типовые декриптограммы с характеристикой флюидоактивности (F), температурой гомогенизации и диаграммы состава газов включений в кварце продуктивных ассоциаций:

фигуративные точки газохроматографических анализов проб кварца: 1 — Ичигинской рудной зоны; 2 — рудной зоны Чемпион, ΔP — приращение давления в капсуле декриптометра при эффектах декрепитации

достигая на нижних горизонтах величины 30%. Состав растворов включений гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатный, натриево-кальциево-калиевый (см. таблицу) с величиной pH 5—7. Золото-каолинит-хлорит-сульфидно-кварцевый минеральный комплекс соответствует наиболее продуктивной третьей стадии и включает ряд ассо-

циаций, отражающих фациальную изменчивость условий минералообразования в зависимости от глубины формирования, особенностей вмещающих пород и физико-химических параметров растворов. Золото-сульфидно-хлорит-кварцевая ассоциация этой стадии широко распространена практически во всех рудных телах. Она существен-

но хлорит-кварцевая со значительным количеством рудных минералов (до 30%), из которых наиболее распространенными являются пирит, галенит, сфалерит, менее — адуляр, халькопирит, магнетит, гематит, в зоне окисления — гидрослюда, глины, гетит, церуссит и другие. Для этой ассоциации характерно наличие темно-зеленых, ярких почковидных, полосчатых крупнокристаллических агрегатов жильного хлорита. Текстуры руд полосчатые, вкрапленные, прожилковые, массивно-вкрапленные. На декриптограммах кварца (см. рис. 1) выделяется четкий пик в интервале 220—380°C с максимумами декрепитации 290—340°C для верхних и 320—360°C для нижних горизонтов месторождения. Гомогенизация первичных включений в агрегатах друзовидного, гребенчатого кварца составляет 207—230°C, а в пробах грубополосчатых массивных агрегатов 250—270°C. В составе газов включений в минералах начинает возрастать содержание N_2 , O_2 , однако локально на глубоких горизонтах сохраняется высокий режим CO_2 . Калий в растворах водных вытяжек начинает преобладать над натрием. В составе анионов доминирует сульфат-ион, появляется фтор и уменьшается содержание Cl^- и HCO_3^- , pH водных вытяжек близконеутрален — 5—6.

Другая продуктивная ассоциация этой стадии — золото-каолинит-кварцевая широко распространена на верхних горизонтах месторождения, где она весьма малосульфидна. В отдельных участках рудных жил количество сульфидов возрастает. Среди них главными являются пирит, галенит, сфалерит с подчиненным количеством халькопирита, сульфидов и сульфосолей серебра, блеклых руд. Жильные минералы, кроме кварца, представлены каолинитом, реже гидрослюдами, а на глубоких горизонтах дикситом, серицитом. Характерными для этой ассоциации являются тонкополосчатые, фестончатые, ритмично-полосчатые, колломорфно-полосчатые текстуры, хотя нередко появление брекчиевых, прожилковых, вкрапленных, друзовидных текстур. На декриптограммах (см. рис. 1) эта ассоциация четко проявляется в виде пика газовой выделения в интервале 140—280°C с максимумом 160—180°C. Наличие более высокотемпературных эффектов декрепитации

280—360, 360—440°C обусловлено присутствием в пробах минералов более ранних ассоциаций. В полированных пластинках кварца разнообразные по форме и размерам первичные и первично-вторичные включения приурочены к друзовидным кристаллам, зональным участкам полосчатых разностей, прожилковым и массивным агрегатам. Общим для них является газовой-жидкий (водный) состав с содержанием газа 12—17% и температурой гомогенизации в жидкую фазу 170—190°C. В составе газов включений в кварце преобладает H_2O , N_2 при незначительной концентрации CO_2 , CH_4 . По данным анализа водных вытяжек, в растворе практически отсутствует гидрокарбонат-ион и возрастает содержание сульфат-иона. В катионной части растворов K^+ доминирует над Na^+ Ca^{2+} , а pH несколько снижается по сравнению с более ранними стадиями и составляет 4—6 ед. Максимальное развитие эта ассоциация имеет на верхних горизонтах рудной зоны Чемпион.

Золото-акантит-каолинит-кварцевая ассоциация обычно пространственно совмещена с золото-каолинит-кварцевой и приурочена к ритмичным тонкополосчатым агрегатам кварца, каолинита с видимой вкрапленностью пирита и прерывистыми полосками и линзами тонкой вкрапленности акантита, сульфосолей серебра, науманита, агиларита, фрейбергита, плагионита. Золото-пираргирит-акантит-кварцевая ассоциация близка по составу предыдущей, но несколько разобщена с ней пространственно, присутствуя на самых верхних горизонтах периферийных участков месторождения. По термобарогеохимическим условиям образования, две последние ассоциации близки золото-каолинит-сульфидно-кварцевой и соответствуют ее наиболее низкотемпературным разновидностям. Основным различием являются вариации минерального состава сульфидов и сульфосолей серебра, обусловленные различной глубиной, особенностями вмещающих пород и фациальной изменчивостью растворов.

Заключительная, карбонат-кварцевая стадия представлена белым мелкозернистым, иногда друзовидным аметистовидным кварцем, секущим кварц-сульфидные агрегаты продуктивных стадий и содержащим в пустотах гнезда кальцита, реже вкраплен-

ность пирита, антимонита, киновари. Температурный интервал декрепитации кварца составляет 60—240°C с максимумом при 140—160°C. Замеры температур гомогенизации включений в кварце подтверждают, что минимальные параметры минералообразующих растворов характеризуются некоторым возрастанием активности CO_2 , снижением концентрации серы, покислением растворов до pH 4—5 и увеличением содержания в растворах Na^+ по отношению к K^+ .

Процесс формирования месторождения характеризуется дискретностью выделения минеральных ассоциаций на фоне, в общем, единого эволюционного характера минералообразования. Допродуктивная существенно кварцевая стадия отличается довольно высокими температурами (до 370°C), повышенным содержанием в растворах углекислоты, высокой активностью хлора и величиной pH 4—5. В процессе кристаллизации минералов этой стадии возрастала активность серы, происходило уменьшение кислотности растворов и образование сульфидов железа, в меньшей степени меди и цинка.

Околожильное окварцевание, так же как и ранняя пирит-кварцевая минерализация в жилах, характеризуется близкими температурными и химическими параметрами. Состав растворов был в основном углекисотно-водный, а в участках интенсивного проявления пирит-кварцевой минерализации отмечается некоторое снижение углекислоты. Вторая допродуктивная сульфидно-кварцевая стадия минерализации близка по своим параметрам и составу к ассоциациям предрудной первой стадии. Растворы были также углекисотно-водными, но режим углекислоты неоднократно менялся, что подтверждается разбросом значений на диаграммах (см. рис. 1). В составе растворов возрастало значение K^+ и увеличивалась концентрация сульфат-иона. Кислотность растворов включений в минералах этой стадии снижалась, достигая в участках интенсивного сульфидообразования величины pH 6—7 и совпадала с уменьшением концентрации CO_2 , ионов Na^+ , Cl^- , образованием высокосернистых сульфидов в виде вкрапленности в кварце и кальцита — в виде гнезд и прожилков. Преобразование пород растворами этой стадии привело к появлению метасоматических хлорита, альбита,

цеолита и других минералов. Вероятной формой переноса золота в этих условиях являлись хлоридный и гидросульфидный комплексы, распад которых при изменении физико-химических параметров приводил к образованию вкрапленного, интерстиционного золота, а также включений золота в сульфидных минералах.

Основная масса золото-серебряной минерализации сформировалась в течение третьей стадии, которая представлена несколькими ассоциациями. Их образование связано с фациальным изменением состава растворов и сменой *TP*-параметров. Минерализация этой стадии возникла при переменных параметрах, что отражает широкий интервал температур от 350 до 100—140°C разнообразных парагенезисов минералов в рудах. Отложение сульфидов и золота в начале стадии происходило из сравнительно кислых (pH 4—5) и горячих порций (около 300°C) растворов, с относительно высокой концентрацией CO_2 , возможно, в результате распада гидросульфидных и хлоридных комплексов (золото-хлорит-сульфидно-кварцевая ассоциация). При этом происходила дегазация растворов в трещинных зонах, связывание CO_2 в кальците и подщелачивание растворов, увеличение сурьмянистости блеклых руд к концу стадии на фоне падения температуры. Большую роль при локализации золото-серебряного оруденения играли явления резкого падения давления, пересыщения и образования коллоидного раствора, последующая эволюция которого (расслоение, образование геля, раскристаллизация), возможно при взаимодействии с истинными растворами, привела к образованию характерных полосчатых текстур рудных жил. Формирование месторождения завершилось образованием кварц-кальцитовая ассоциации в виде полосчатых, зернистых, гребенчатых, жеодовых агрегатов, реже аметистовидного кварца, при температурах 240—80°C из углекисотно-водных растворов при низкой концентрации сульфидной серы и высоком режиме кислотности и азота.

Установленные термобарогеохимические параметры свидетельствуют о сложном режиме формирования месторождения (рис. 2). В пределах каждой из стадий наблюдается снижение температуры растворов, падение

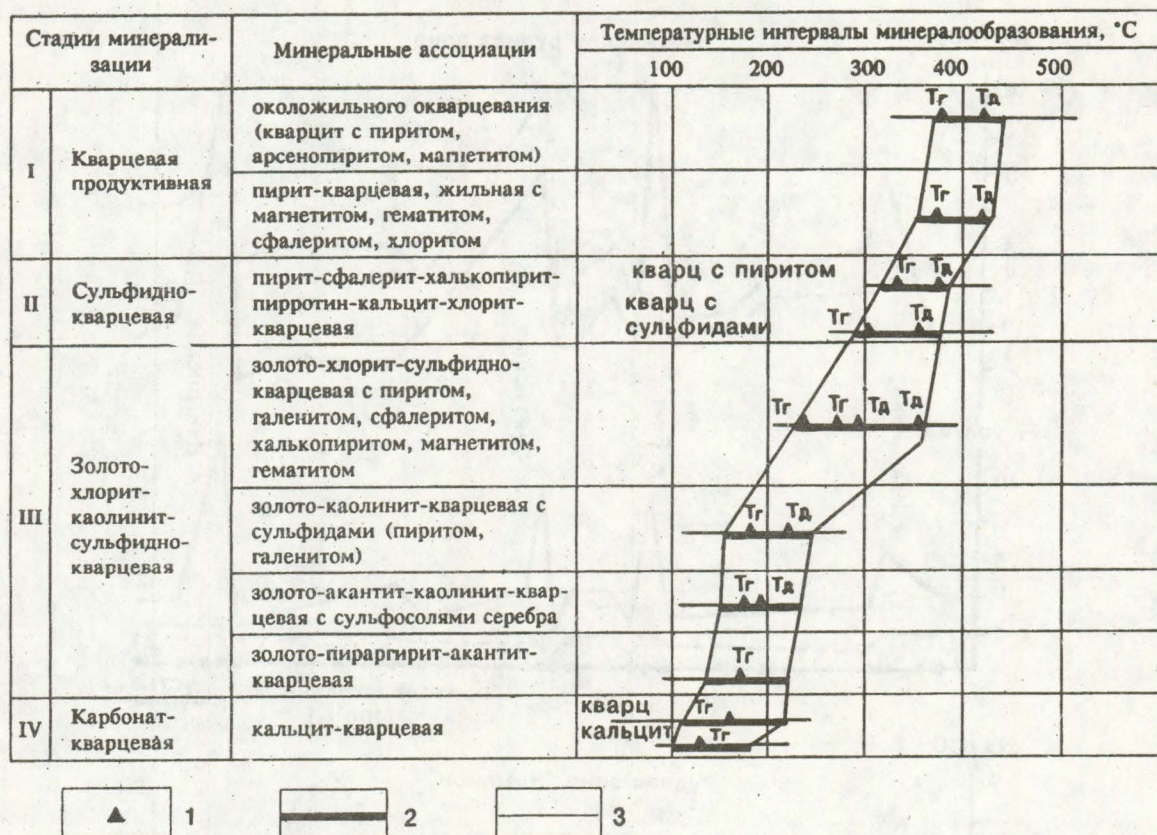


Рис. 2. Термобарогеохимическая схема образования минеральных ассоциаций месторождения Аметистовое:

1 — средние значения температур гомогенизации (Tr) и декрепитации (T); температурные интервалы минералообразования: 2 — по большинству проб, 3 — по отдельным пробам

концентрации CO_2 , колебание значений pH, активности кислорода и других компонентов. Эти изменения проявлены в целом закономерно от ранних к поздним минеральным ассоциациям, но в конкретных участках рудоносных зон смена параметров происходила неравномерно, что обусловило сложные взаимоотношения ассоциаций в пределах рудных тел на разных уровнях глубинности. Картирование установленных термобарогеохимических признаков по разрезам рудных жил (данные опробования керна скважин, штольневых горизонтов и поверхности) и по простиранию позволило построить термобарогеохимические диаграммы и схемы пространственных взаимоотношений основных золотосодержащих минеральных ассоциаций для трех рудных зон месторождения.

Ичигинская рудная зона, объединяющая ряд жил, в верхней части на уровне горизонта штольни 3 представлена несколь-

кими ассоциациями. Наиболее широко проявлена сульфидно-кварцевая, с температурой декрепитации минералов около 400°C и высоким значением показателя флюидоактивности проб, достигающим нескольких тысяч условных единиц. Основной продуктивной ассоциацией этого уровня глубинности является золото-хлорит-сульфидно-кварцевая, с температурой образования $260\text{--}420^\circ\text{C}$ по данным декрепитации и $250\text{--}310^\circ\text{C}$ по результатам гомогенизации включений. Флюидоактивность минералов этой ассоциации ниже предыдущей и колеблется от сотен до первых тысяч условных единиц. Поздние низкотемпературные ассоциации продуктивной стадии проявлены незначительно, а во многих пробах вообще отсутствуют. Интенсивность их развития, судя по показателю флюидоактивности, составляет десятки единиц. По простиранию Ичигинской рудной зоны в отдельных участках наблюдается резкое увеличение флю-

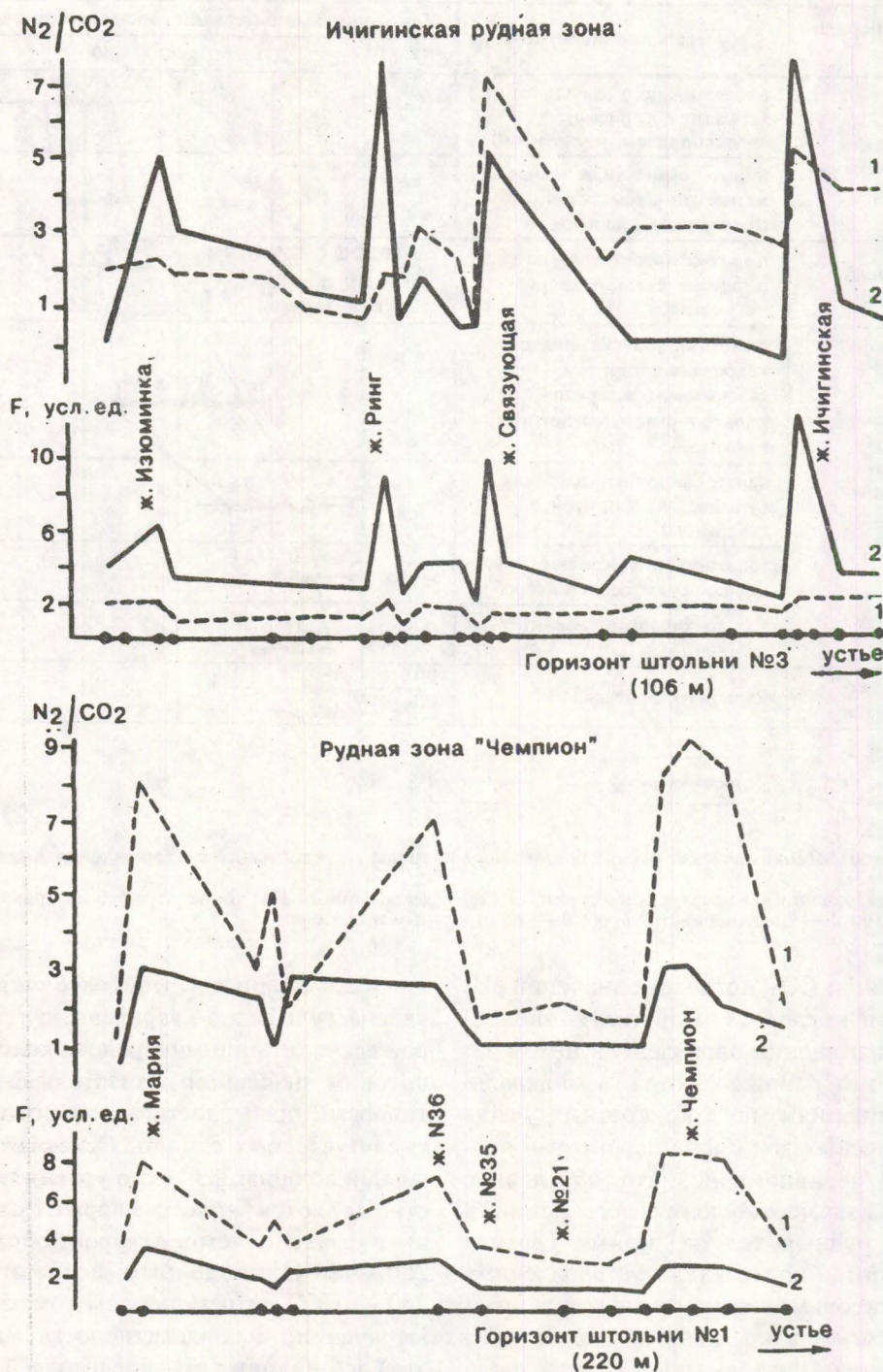


Рис. 3. Соотношение газов включений и показателя флюидоактивности проб разных типов руд по простиранию рудных зон

минеральные типы руд: 1 — золото-каолинит-кварцевый; 2 — золото-хлорит-сульфидно-кварцевый, F — показатель флюидности в условных единицах

идоактивности минералов (рис. 3), совпадающее с перепадами температур и скачкообразным снижением во включениях CO_2 при

увеличении концентрации легких газов — N_2 , O_2 . Интенсивность проявления низкотемпературных золотосодержащих ассоциа-

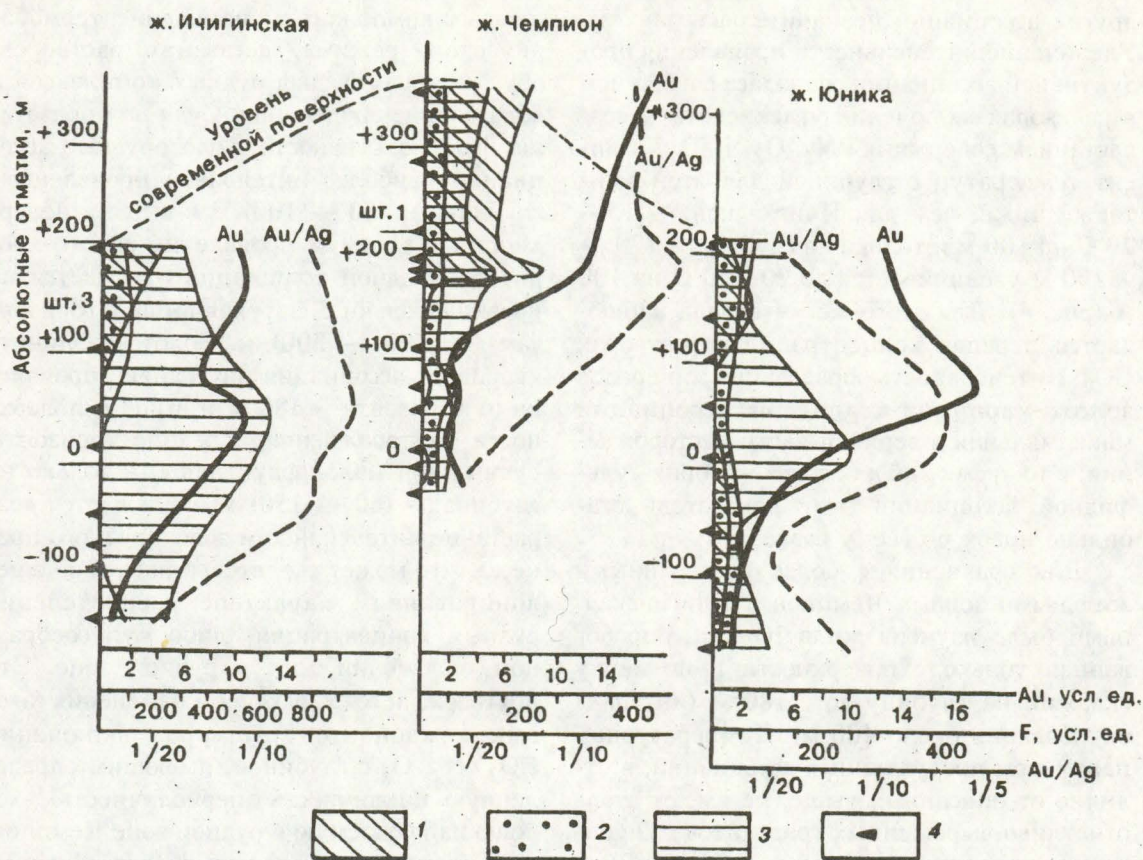


Рис. 4. Уровни глубинности проявления продуктивных ассоциаций рудных жил месторождения по величине флюидоактивности проб:

минеральные ассоциации: 1 — золото-каолинит-кварцевая; 2 — золото-хлорит-сульфидно-кварцевая, 3 — сульфидно-кварцевая; 4 — точки опробования (значения содержаний Au и Au/Ag приведены по данным анализов штучных проб)

ций по простираанию Ичигинской зоны на этом уровне глубинности незначительна (см. рис. 3), хотя и несколько возрастает на восточном фланге зоны. Значительно более контрастно изменяются параметры минералообразования по вертикальному разрезу. Температурный градиент образования продуктивных ассоциаций до глубины 300 м составляет 20—30°C на 100 м, достигая максимума (40°C/100 м) на уровне горизонта штольни и выше к поверхности. Содержание CO₂ по отношению к другим газам до глубины +50 м резко падает сопряженно с температурой. Интенсивность проявления продуктивных ассоциаций, определяемая по показателю флюидоактивности проб, показана на рис. 4. Максимум проявления золото-хлорит-сульфидной ассоциации для Ичигинской зоны отмечается на уровне горизонта штольни, снижаясь к поверхности и на

глубину до горизонта 0 м, затем несколько возрастает на глубине от -100 до -150 м. Значения интенсивности другой, золото-каолинит-кварцевой, ассоциации для Ичигинской зоны незначительны по всему разрезу и только выше горизонта штольни к поверхности резко возрастают (см. рис. 4). Интенсивность кристаллизации минералов сульфидно-кварцевой допродуктивной ассоциации довольно высока по всему разрезу, но максимум ее фиксируется на уровне горизонта +50 м, а к поверхности и на глубину снижается в 1,5—2 раза.

Другая рудная зона — Чемпион — рассмотрена нами на глубину до 375 м. Температуры образования минеральных ассоциаций в ней ниже, чем для Ичигинской зоны. Наиболее интенсивно, практически во всех пробах, проявлена каолинит-кварцевая ассоциация, а флюидоактивность минералов

других ассоциаций незначительна (рис. 3). Увеличение интенсивности проявления продуктивной ассоциации совпадает с падением в растворах включений углекислоты и возрастанием содержания N_2 , O_2 , H_2O . Градиент температур с глубиной для этой зоны также ниже, чем для Ичигинской — 15—20°C на 100 м и только на глубине +170 — +190 м увеличивается до 20—40°C на 100 м (рис. 4). Для этого же интервала наблюдается перепад концентраций в растворах CO_2 . Интенсивность образования минералов золото-каолинит-кварцевой ассоциации максимальная в верхней части месторождения, в то время как для золото-хлорит-сульфидной ассоциации этот показатель стабильно низок по всему разрезу.

Для сравнения с более разведанными жильными зонами Чемпион и Ичигинская, нами была изучена жила Юника, опробованная только с поверхности и по керну скважин на глубину до -180 м (интервал опробования около 400 м). Температурные параметры продуктивных ассоциаций, в отличие от описанных выше, не имеют столь отчетливо выраженных градиентов с глубиной и по величине близки к Ичигинской жиле. Колебания CO_2 и других газов также соответствуют по уровню глубинности Ичигинской зоне. Интенсивность проявления продуктивных минеральных ассоциаций невелика. Максимальные значения сосредоточены на горизонте +140 м. К поверхности золото-каолинит-кварцевая ассоциация количественно резко убывает, а золото-хлорит-сульфидная несколько возрастает (см. рис.4). На глубоких горизонтах (ниже горизонта 0 м) отмечается незначительное увеличение интенсивности минералообразования продуктивных стадий. Значения флюидоактивности минералов сульфидно-кварцевой стадии повторяют конфигурацию распределения аналогичных показателей в Ичигинской зоне, но количественно уступают им в два раза.

Флюидный режим рассмотренных рудных зон по результатам проведенных исследований характеризуется рядом общих закономерностей, к числу которых относятся: существенно углекислотно-водный состав растворов, минералообразование при температурах 370—140°C в течение нескольких стадий, колебание содержаний солевых и

газовых компонентов, изменение термобарического режима, дегазация растворов, обусловившая распад рудных комплексов и образование оруденения. Судя по показателю флюидоактивности, золоторудные ассоциации наиболее интенсивно проявлены с глубины + (50 — 100) м и выше к поверхности. Максимум проявления золото-хлорит-сульфидной ассоциации отмечается на уровне штольни 3, затухая выше к горизонтам + (200 — 300) м. Золото-каолинит-кварцевая ассоциация интенсивно проявляется от горизонта +180 м и выше к поверхности месторождения. Средние горизонты рудных зон малопродуктивны, и только на глубинах - (60 — 150) м наблюдается возрастание интенсивности золоторудного процесса, что может свидетельствовать об эшелонированном характере распределения рудных концентраций, либо кулисообразном положении жил в рудной зоне. Это подтверждается характером изменения газовых компонентов растворов включений CO_2/N_2 , O_2 с глубиной, имеющим определенную цикличность (периодичность), хорошо наблюдаемую в рудной зоне Чемпион.

Установленные по термобарогеохимическим данным уровни глубинности распространения основных типов руд месторождения позволяют считать, что перспективы проявления продуктивных ассоциаций для Ичигинской зоны связаны с горизонтами выше штольни 3 и на глубине +50 м, где наблюдается интенсивное развитие сульфидно-кварцевой ассоциации. Жильная зона Чемпион вскрыта горизонтом штольни 1 и горными выработками на поверхности в своей самой продуктивной части. Жила Юника по своим термобарогеохимическим параметрам близка к жиле Ичигинская и распространение продуктивного оруденения предполагается до глубины +100 м с максимумом на горизонте +140 м, а также на глубоких горизонтах уровня от -100 до 260 м.

Комплекс термобарогеохимических исследований, в совокупности с данными о минеральном составе оруденения, позволил выявить ряд информативных признаков, использование которых эффективно как для генетического моделирования, так и для локального прогноза золото-серебряного оруденения на разных стадиях геолого-разведочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Труфанов В.Н., Графовский А.Г., Грановская Н.В. и др. Прикладная термобарогеохимия. Изд-во Ростовского ун-та. 1992. 276 с.
2. Труфанов В.Н., Графовский А.Г., Ушак А.Т. и др. Термобарогеохимический способ поиска гидротермальных рудных месторождений. Авт. Свид. 1505227 от 1 мая 1989 г.
3. Хворостов В.П., Зайцев В.П. Рудоносные магматические комплексы Ичигин-Уннейваймского района. // Тихоокеанская геология 3. — Владивосток: АН СССР, 1983. С. 42—48.
4. Хворостов В.П., Орешин В.Ю. Минералого-геохимические особенности золото-серебряного месторождения / Геологическое строение и полезные ископаемые Камчатки // П. Камчатский, ПГО «Камчатгеология», 1983, С. 129—132.

A. G. Granovsky

"AMETISTOVOE" GOLD-SILVER DEPOSIT (KAMCHATKA) —
THERMOBAROGEOCHEMISTRY AND LOCAL FORECAST

Possibility to implement thermobarogeochemical parameters for local prediction of gold-silver ores on one deposit in Kamchatka is considered. Data on temperature conditions of main mineral associations formation, composition of solutions in mineral inclusions are given, fluid-activity of samples from mineralized zones at different levels within ore deposit is calculated. Methods of quantitative valuation of intensity of ore types manifestation and mineralization forecast for deep horizons are considered.

АТОМНО-ЭМИССИОННАЯ СПЕКТРОГРАФИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ 15 ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В САМОРОДНОМ ЗОЛОТЕ И САМОРОДНОМ СЕРЕБРЕ

Разработанная в ЦНИГРИ количественная метрологически аттестованная методика атомно-эмиссионного анализа гарантирует высокую точность, чувствительность и производительность прямого определения элементов-примесей в самородном золоте и серебре из навески 5 мг.

Методика заключается в сжигании предварительно очищенной от поверхностных загрязнений анализируемой пробы вместе с вспомогательным сплавом в дуге переменного тока и измерении интенсивности спектральных линий определяемых элементов фотографическим способом.

Регистрация спектрограмм на объединенных в оптический блок кварцевом и дифракционном спектрографах обеспечивает одновременное количественное определение меди, цинка, олова, свинца, мышьяка, железа, сурьмы, висмута, теллура, хрома, марганца, кобальта, никеля, платины, палладия с высокой чувствительностью из одной навески.

Интервал определяемых содержаний элементов-примесей 0,0001 — 0,002%. Определение содержаний элементов-примесей в самородном золоте и серебре количественным спектрографическим методом позволяет решать некоторые вопросы генезиса рудных и россыпных месторождений золота, определения глубинности образования золоторудных месторождений и их связей с изверженными породами определенного состава. В россыпном золоте — позволяет установить состав продуктивных минеральных ассоциаций рудных месторождений, питающих россыпи, а также число и типы материнских рудных месторождений.

Содержание элементов-примесей необходимо для правильного выбора оптимальных схем извлечения и аффинажа золота и серебра.

Наш адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ, отдел маркетинга и информации

Телефон: (095) 315-43-47

Fax: (095) 315-27-01

МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ ЭКСПЕРТНЫЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СОВЕТ ПО ГЕОЛОГИИ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Приказом Роскомнедра образован Межведомственный экспертный научно-методический совет (МЭНМС) по геологии алмазов, благородных и цветных металлов, являющийся экспертно-консультативным органом Комитета Российской Федерации по геологии и использованию недр.

Деятельность МЭНМС направлена на повышение эффективности разработок и внедрения прогрессивных методов и методик прогноза, поисков, разведки, технологической и геолого-экономической оценки месторождений указанных видов полезных ископаемых, включая их техногенные скопления.

Основные задачи МЭНМС:

- экспертиза всех видов разработок в области методов и методик прогноза, поисков, разведки, технологической и геолого-экономической оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов, включая экспертизу научно-технических программ, отдельных этапов их выполнения, окончательных отчетов по важнейшим НИР, проектов методических рекомендаций и руководств;
- выборочная экспертиза проектов геологоразведочных работ по поискам, оценке и разведке месторождений, а также отчетов по ним в части их методического обеспечения и геологической результативности;
- экспертиза всех материалов, содержащих оценку прогнозных ресурсов по отдельным регионам и по Российской Федерации в целом;
- экспертиза методических материалов, предлагаемых для реализации за рубежом на лицензионных и иных основах, с оценкой стоимости соответствующих разработок;
- научно-методическое сопровождение внедрения методов и методик в геологоразведочное производство с оценкой их эффективности;
- разработка предложений для Роскомнедра по научно-методическому опережению, сопровождению и обслуживанию геологоразведочных работ на алмазы, благородные и цветные металлы.

Экспертизы и консультации, выполняемые МЭНМС по заказам Роскомнедра и других ведомств, представляются в форме экспертных заключений и рекомендаций, используемых для научно-методического регулирования соответствующих видов деятельности.

Экспертные заключения МЭНМС на разработки, предлагаемые к внедрению в геологоразведочное производство в форме методик, методических руководств и методических рекомендаций, служат официальным подтверждением целесообразности утверждения соответствующих документов Роскомнедра и другими ведомствами.

МЭНМС функционирует при ЦНИГРИ.

Заявки на экспертизу направлять по адресу:

113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 «Б», ЦНИГРИ, МЭНМС

Телефон секретаря: (095) 315-28-38

Факс: (095) 315-27-01

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ



УДК 550.812.14

БИОГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ЗОЛОТО-МЫШЬЯКОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Г. В. СЕДЕЛЬНИКОВА, Р. Я. АСЛАНУКОВ, О. В. ВОРОНИНА,
Е. Е. САВАРИ, Г. И. КАРАВАЙКО

Приведены результаты полупромышленных испытаний технологии биогидрометаллургической переработки упорных золото-мышьяковых концентратов ряда месторождений с различным содержанием мышьяка и углистых веществ. Извлечение золота из продуктов биоокисления достигает 92—96%, серебра — 70—95%. Полученные данные использованы для оценки и сравнения капитальных и эксплуатационных затрат на биогидрометаллургическую переработку концентратов. Результаты полупромышленных испытаний показали высокую экологическую эффективность биогидрометаллургической технологии.

Большие запасы благородных металлов сосредоточены в рудах сульфидно-прожилково-вкрапленного типа, в которых золото и серебро в субмикроскопическом виде заключено в сульфидных минералах, прежде всего арсенопирите и пирите.

В мировой практике упорные золото-мышьяковые руды и концентраты перерабатывают с применением процессов пирометаллургии и биотехнологии. Основным недостатком пирометаллургических методов является образование пыле-газовых выбросов и получение продуктов, которые требуют обезвреживания и специального захоронения. Использование гидрометаллургических методов — автоклавного и бактериального выщелачивания обеспечивает вовлечение в эксплуатацию месторождений золото-мышьяковых руд, не загрязняя окружающую среду токсичными соединениями мышьяка и серы. Эти технологии получили распространение в США, Канаде, ЮАР и др. странах.

Нами проведены исследования по биогидрометаллургической переработке концентратов различного состава и географии. Все исследованные концентраты относились

к категории упорных, т. к. значительная часть золота (до 90%) находилась в тонковкрапленном состоянии в сульфидах и не извлекалась цианированием (табл. 1).

Содержание золота в концентратах составляло от 25,4 до 117,3 г/т, серебра от 2 до 800,4 г/т, мышьяк находился в количестве от 2 до 23,7 % в форме арсенопирита — основного золотоносного минерала. Вторым золотосодержащим минералом являлся пирит, присутствовавший в концентратах в различных соотношениях с арсенопиритом. В концентратах месторождений Бакырчик, Неждановское и Майское сорбционно-активного органического углерода содержалось соответственно 15,3, 8,1 и 3,8%.

Бактериальное окисление сульфидов проводили с использованием бактерий *Thioferrooxidans*. Культивирование бактерий осуществляли непрерывно на концентратах, измельченных до крупности 90—95% класса — 50 мкм в условиях, благоприятных для их интенсивного развития при pH = 1,5—2,5, температуре 28—355 °C, Eh = 600—700 мВ, Т:Ж = 1:4—5. Продолжительность окисления составляла 60—120 часов в зависимости от состава концентратов. На рис. 1 приведены показатели окисления основного золотосодержащего сульфида — арсенопирита одного из наиболее

1. Состав и технологические показатели биогидрометаллургической переработки золото-мышьяков их концентратов

Месторождение (государство)	Содержание, г/т, %			Извлечение, %			
	золото	серебро	мышьяк	цианирование		бактериал. выщел. + цианирование	
				золото	серебро	золото	серебро
Дарасун (Россия)	53,1	77,6	2,0	87,5	50,0	98,4*	81,6
Олимпиадинское (Россия)	63,3	30,4	3,7	46,2	49,3	96,0	80,0
Бакырчик (Казахстан)	54,5	3,8	4,8	12,6	—	94,0*	—
Нежданинское (Россия)	25,4	800,4	4,8	38,4	45,0	94,8*	95,2
Майское (Россия)	70,0	12,0	5,7	6,0	37,2	94,6*	70,0
Большевик (Казахстан)	117,3	2,0	8,1	10,7	—	93,0	85,4
Тахтаровка (Казахстан)	93,5	30,8	9,3	9,3	12,1	95,0	89,0
Биран (Узбекистан)	31,5	203,5	13,4	61,2	49,6	93,0	85,0
Саяк (Казахстан)	68,0	5,0	23,7	65,7	—	92,0	80,0
Пезинок (Словакия)	26,8	5,6	9,65	3,5	—	89,0*	46,9

Примечание: * — результаты полупромышленных испытаний

сложных по составу концентратов месторождения Биран в зависимости от продолжительности бактериального выщелачивания. После 120 часов процесса содержание мышьяка в сульфидной форме в продуктах бактериального выщелачивания снижается до 0,35—0,4%. При этом арсенопирит окисляется на 96,2—97%.

Разработанные технологические параметры выщелачивания обеспечили высокую степень бактериального окисления арсено-

пирита (96—98%) во всех исследуемых концентратах.

В процессе окисления сульфидов мышьяка и железо переходили в раствор, из которого выпадали в осадок в форме нерастворимых соединений — арсенатов железа. Устойчивость последних зависела от соотношения в растворе железа и мышьяка. Наиболее устойчивые формы α -арсенатов¹ получены при их соотношении 4—5:1.

В результате бактериального окисления концентратов золото практически полностью остается в твердых продуктах выщелачивания. Изучение их сорбционной активности показало, что углистые вещества пассивировались на 50—80% в зависимости от интенсивности и продолжительности процесса бактериального выщелачивания. Несмотря на это, продукты бактериального выщелачивания концентратов обладали повышенной способностью поглощать кислород и цианид, которые необходимы для растворения золота в цианидах. Для устранения этого отрицательного явления разработаны режимы аэрации пульпы в щелочной среде или ее электрохимической обработки перед цианированием. Продолжительность аэрации составляет 6—24 часа, электрохимической обработки при аналогичных результатах 1—2 часа. Применение

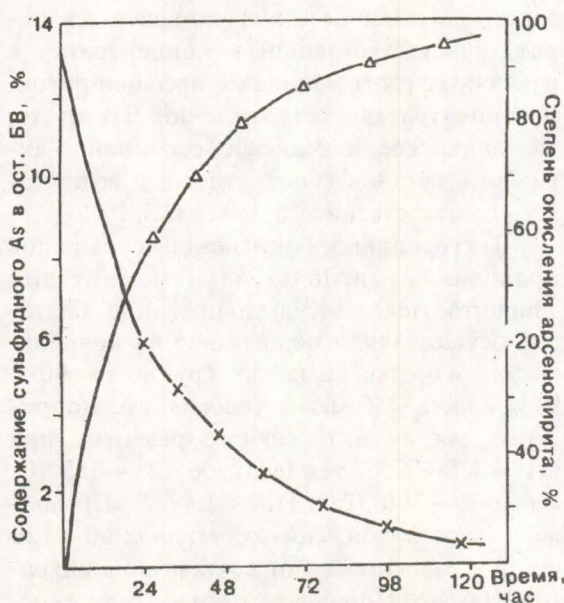


Рис. 1. Кинетика выщелачивания концентрата месторождения Биран

¹ Исследования по диагностике мышьяксо-содержащих продуктов выполнены Р.А.Амосовым.

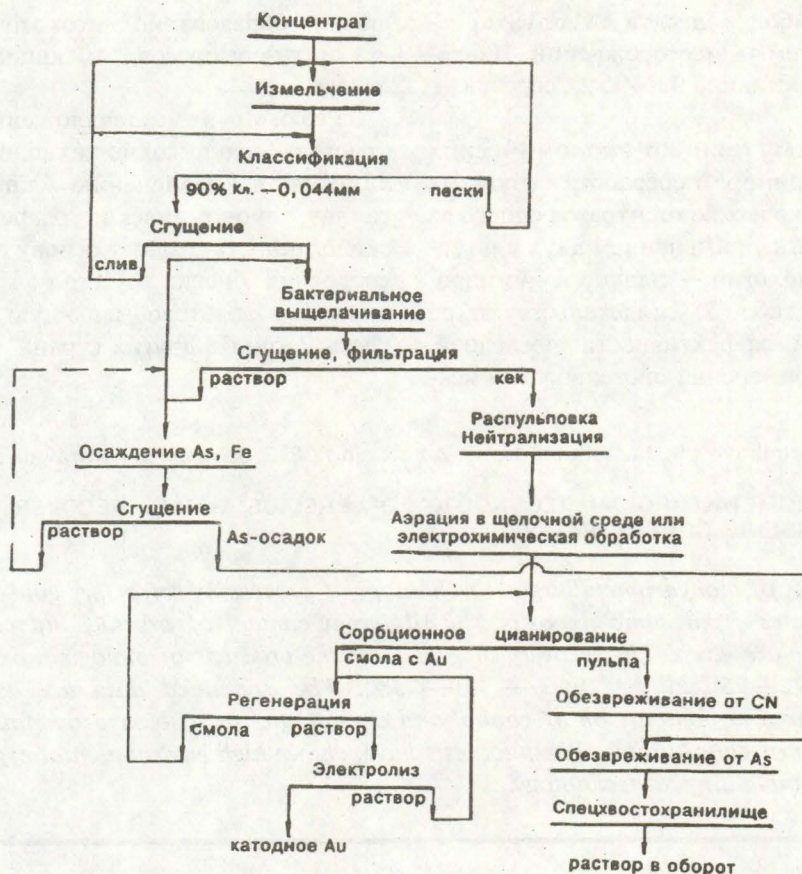


Рис. 2. Технологическая схема биогидрометаллургической переработки золото-мышьяковых концентратов

этих процессов позволяет сократить расход цианида в 1,5—3 раза (до 5—9 кг/т), продолжительность цианирования в 1,2—2 раза и повысить извлечение благородных металлов из концентратов на 2—10%. Показатели извлечения золота и серебра из концентратов различного состава приведены в табл. 1.

На рис. 2 приведена технологическая схема биогидрометаллургической переработки золото-мышьяковых концентратов,

которые включают: бактериальное окисление сульфидных минералов - носителей золота и «освобождение» тонкодисперсного золота и серебра, электрохимическую обработку кека бактериального выщелачивания, цианирование и сорбцию благородных металлов на ионнообменную смолу, регенерацию последней и электрохимическое выщелачивание золота.

Биогидрометаллургическая технология прошла полупромышленную проверку на

2. Сравнительные технико-экономические показатели переработки золото-мышьяковых концентратов с применением плавки и биогидрометаллургии (в ценах 1991 г.)

Наименование	Единица измерения	Плавка в жидкой ванне	Биогидрометаллургия
Годовое производство	тыс. т	85,0	85,0
Извлечение из концентрата:			
золота	%	96,0	95,7
серебра	%	84,0	70,2
Капитальные затраты	млн руб.	89,1	25,2
Годовые эксплуатационные расходы	млн руб.	26,2	13,1
Себестоимость переработки	р/т	308,0	154,0

конcentратах более десяти эксплуатируемых и разведываемых месторождений. Извлечение золота составило 92—96%, серебра — 70—95%.

Результаты технико-экономических расчетов на примере переработки упорных золото-мышьяковых концентратов одного из месторождений с применением двух альтернативных технологий — плавки и биогидрометаллургии (табл. 2) свидетельствуют об экономической эффективности последней. Кроме того, применение биотехнологии иск-

лючает образование высокотоксичных пыле- и газовыбросов, имеющих место при плавке.

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что высокие технологические показатели по извлечению благородных металлов, экономическая эффективность и экологичность создают основу для широкого внедрения биогидрометаллургической технологии в золотодобывающую промышленность России и других стран.

G. V. Sedelnikova, R. Ja. Aslanukov, O. V. Voronina, E. E. Savari, G. I. Karavaiko

BIOHYDROMETALLURGICAL TECHNOLOGY OF PRECIOUS METALS RECOVERY FROM GOLD-ARSENIC CONCENTRATES

Pilot tests of biohydrometallurgical technology of processing refractory gold-arsenic concentrates from some deposits with different content of arsenic and carbonic substance are given. The recovery of gold from the products of biological oxidation attains 92—96% while silver — 70—95%. The obtained data are used for estimation and comparison of capital and operating costs of biohydrometallurgical treatment of concentrates. The pilot tests have shown high environmental efficiency of hydrometallurgical technology.



ЦНИГРИ

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

АТТЕСТАЦИЯ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Аттестация проводится на стадии создания новых образцов бурового инструмента, а также при испытаниях и сравнительной оценке его различных типов.

В условиях Тырныаузской испытательной станции ЦНИГРИ с высокой точностью оцениваются и выявляются все положительные и отрицательные стороны создаваемого или намечаемого к применению бурового инструмента. Возможность быстро и эффективно проводить испытания и аттестацию нового и серийно выпускаемого бурового инструмента позволяет получать необходимые данные производственным геологическим организациям, разработчикам и заводам-изготовителям для совершенствования своей продукции.

Вид реализации — инжиниринг.

Адрес:
Телефон:
Телетайп
Факс:

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

УДК 622.772:622.342

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

А. С. ТИМОШЕНКО, Н. В. ФИЛИМОНОВ, В. В. ЦАРЕВ (Тульское НИГП)

Изложены результаты лабораторных и полупромышленных испытаний по отработке параметров технологии переработки первичных руд нижних горизонтов. Изучен вещественный состав, разработана комбинированная гравитационно-сорбционно-флотационная схема переработки руд, обеспечивающая комплексное использование минерального сырья. Даны рекомендации по водообороту, очистке стоков, обеспечивающих бессточную технологию переработки золотосодержащих руд.

Действующая на золоторудном месторождении обогатительная фабрика перерабатывает в настоящее время окисленные руды верхней зоны по технологии, включающей гравитационное обогащение и сорбционное цианирование гравеоконцентратов и хвостов гравитации с выдачей в качестве товарной продукции шлихового и катодного металла.

На примере представительной пробы нижних горизонтов месторождения разработана рациональная схема переработки руд, которая проверена в полупромышленном масштабе.

По минеральному и химическому составу, а также характеристике присутствующего в них золота руды относятся к малосульфидному золотокварцевому типу. Минеральный состав приповерхностной части месторождения и руд глубоких горизонтов аналогичен. Преобладающими породообразующими минералами являются кварц, полевые шпаты, волластонит, кальцит, пироксены. Рудные минералы представлены, в основном, пиритом, марказитом, в незначительной степени пирротином.

Следует отметить, что для рудных минералов, в частности, золотосодержащих пиритов, характерна тонкая вкрапленность в породообразующих минералах (кварце, волластоните). Общее содержание сульфидов в руде колеблется на уровне 2%. Второй характерной особенностью руд является их волластонитовая минерализация. Первый

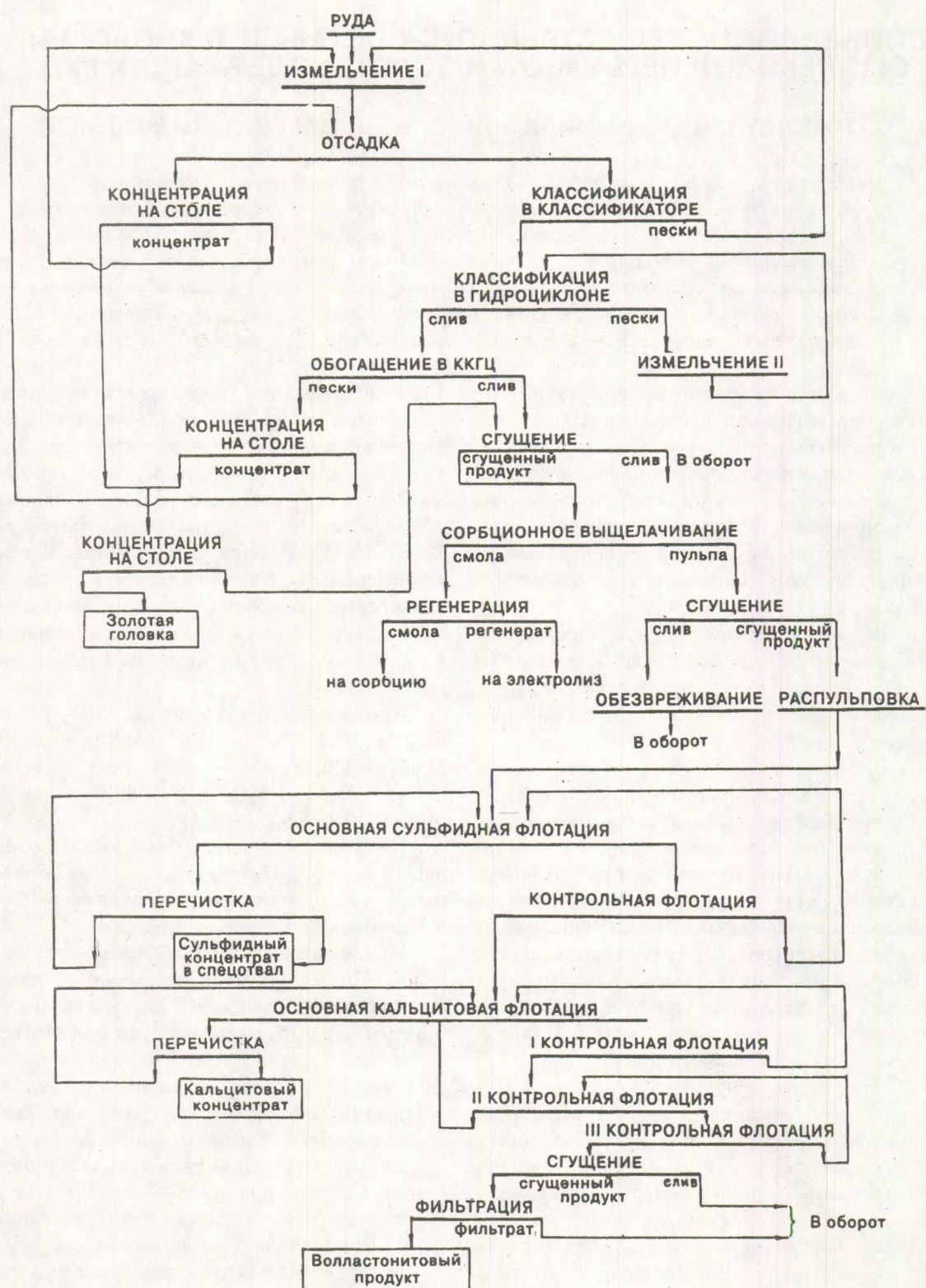
тип минерализации характерен для верхних горизонтов и представлен молочно-белой разновидностью без видимых примесей других минералов с размером зерен от 0,008 до 5 мм. С глубиной содержание волластонита растет, а размеры уменьшаются до 1—2 мм. Изменяется и цвет минерала до темносерого, вследствие присутствия тонкодисперсных сульфидов. В целом, волластонит характеризуется тесной ассоциацией и взаимопрорастанием с кварцем и полевыми шпатами.

Химический состав руды, %: SiO_2 — 37,4; CaO — 32,1; CO_2 — 12,2; Al_2O_3 — 6,35; MgO — 1,6; Fe_2O_3 — 1,91; FeO — 1,16; TiO_2 — 0,48; Na_2O — 0,3; K_2O — 1,12; MnO — 0,1; $\text{S}_{\text{общ}}$ — 1,19.

Промышленно-ценным компонентом является золото. Более половины его от общего содержания находится в сростках, в основном, в ассоциации с кварцем и пиритом.

Минералогическим изучением установлено, что сульфиды не вскрываются даже при тонком измельчении 99% класса минус 0,08 мм. До 20% золота в руде содержится в свободной форме, а 80% связано с сульфидами. Золотоносность пирита составляет 12,4, волластонита 3,35 г/т. Размеры свободных золотинок колеблются в широком диапазоне от 0,03 до 0,25 мм. С глубиной размеры золота закономерно изменяются в сторону их уменьшения и соответственно снижается доля свободного золота.

Лабораторные исследования явились основой для технологической схемы переработки руды в укрупненных (полупромышленных) условиях непрерывного поточного процесса. Технологическая схема перера-



ботки руды представлена на рисунке. Для измельчения руды рекомендуется двухстадийное измельчение. Крупность слива I стадии измельчения составляет 70—75% класса минус 0,08 мм, II стадии — 98%. Удельная производительность мельниц по вновь образованному классу минус 0,08 мм составила 0,9 т/м³·ч. В поточных условиях отработана развернутая гравитационная схема обогащения с применением различного оборудования: отсадки, короткоконусного гидроциклона, концентрационных столов, позволяющая стабилизировать процесс и получить извлечение золота в гравитационный концентрат 37,9%. Получена также возможность выделения золотой «головки» из гравитационного концентрата с извлечением в нее 96,3% золота. Выход «головки» при этом составляет 0,011%. Гравитационный концентрат с извлечением в него золота 11,6% является товарным золотосодержащим концентратом, удовлетворяющим требованиям ТУ.

Хвосты гравитационного обогащения после сгущения направляются на сорбционное цианирование в следующих условиях: продолжительность 9 ч.; Ж:Т = 1:1 (50% твердого); концентрация цианида 0,07—0,09%, извести 0,01—0,03%; загрузка смолы АМ-2Б 2%. В жидкой фазе хвостов сорбционного цианирования золото не обнаружено. Следовательно, продолжительность процесса сорбции золота на смолу 9 ч. и загрузка ее 2% являются оптимальными. Следует отметить удовлетворительное протекание процесса цианирования в плотной пульпе. При этом от руды на сорбент извлекается 53,7% золота. Гравитационный концентрат с выходом 0,6% после выделения золотой головки может цианироваться вместе с хвостами гравитационного обогащения, не ухудшая в целом показатели сорбционного выщелачивания. Абсолютные содержания золота в кеках цианирования при этом повышаются на сотые доли процента. Суммарное извлечение золота по гравитационно-цианистой схеме с учетом цианирования гравитационного концентрата составляет 90,6%.

Насыщенный сорбент подвергается регенерации с последующей загрузкой отрегенированного сорбента в процесс сорбционного цианирования. Регенерация проведена по стандартной схеме, включающей последова-

тельно операции: кислотная обработка — сорбция тиомочевинной — десорбция золота — водная отмывка — щелочная обработка. Кислотная обработка проводилась при комнатной температуре 17—19°C, остальные операции — при нагреве растворов до 57—60°C. На регенерацию поступала насыщенная смола со средней емкостью по золоту 3—5 мг/г. Операцию кислотной обработки проводили при pH = 1,0, скорости пропускания раствора 5 л/ч., продолжительности 1 ч. Операцию сорбции тиомочевинной проводили при средней скорости пропускания раствора 1,8 л/ч. Раствор, содержащий 20 г/л H₂SO₄ + 90 г/л CS(NH₂)₂, пропускался в продолжении 1 ч. Десорбция золота проводилась при скорости пропускания раствора 1,4 л/ч в продолжении 4 ч. Остаточное содержание золота на регенерированной смоле составило 0,1 мг/г; серебра и меди не обнаружено; цинка 0,2 мг/г; железа 0,8 мг/г.

Кеки сорбционного цианирования, содержащие около 30% волластонита, относятся к категории бедных волластонитовых руд [1]. После сгущения и отмывки (сгущенный продукт) они доводятся до 22% твердого и направляются на флотацию. В этом случае волластонитовый концентрат является камерным продуктом флотации (использован принцип обратной флотации).

Лабораторные исследования показали необходимость проведения сульфидной флотации, так как при ее отсутствии все сульфиды остаются в камерном продукте. На хвостах сульфидной флотации проводилась кальцитовая флотация. Кальцит является вредной примесью волластонитового концентрата. С целью более полного удаления кальцита было проведено три контрольные операции на хвостах основной кальцитовой флотации.

Сульфидная флотация проводилась в обычных для нее условиях с бутиловым ксантогенатом и вспенивателем Т-80. Кальцит флотировали олеатом натрия в содовой среде.

Хвосты III контрольной кальцитовой флотации представляют собой волластонитовый продукт.

Анализируя результаты полупромышленных испытаний волластонитового цикла флотации, следует отметить, что волласто-

нитовый продукт с содержанием 45% волластонита и извлечением минерала 88,8% при выходе 59,5% может быть использован в производстве строительной керамики и малоответственных изделий. Полученный кальцитовый концентрат, содержащий 78% кальцита при выходе 38% и извлечением 78%, удовлетворяет требованиям ГОСТ 9179-77 [2], представляет собой товарный продукт и может быть использован как строительная известь. Кальцитовый концентрат не содержит золота, в волластонитовом продукте содержание его находится на уровне 0,2—0,3 г/т. Сульфидный концентрат с содержанием золота 3—4 г/т в количестве 2,5% рекомендуется направлять в спецотвал или на извлечение золота в отдельном цикле.

В процессе полупромышленных испытаний были изучены сточные воды в цикле сорбционного цианирования и во флотационном цикле. Показана возможность использования сточных вод в многократном обороте после предварительного их кондиционирования по взвешенным веществам с помощью полиакриламида. Для хвостов гравитационного обогащения расход последнего составляет 120 г/т. Прослежена динамика изменения солевого состава оборотных вод. Установлено, что общая минерализация их

с увеличением кратности циклов возрастает в 1,3 раза.

Сточные воды, полученные в узле сорбционного цианирования, являются высокотоксичными, и для их обезвреживания установлен расход активного хлора в количестве 1,6 кг/т. Пройдя очистку, они могут быть использованы в голове процесса.

Сточные воды, полученные в цикле волластонитовой флотации, также могут быть использованы в цикле флотации при организации поциклового водооборота.

Проведенные технологические исследования в условиях непрерывного поточного процесса позволили отработать режимные параметры технологической комбинированной гравитационно-сорбционно-флотационной схемы, обеспечивающей высокое извлечение золота, а также малоотходную и бессточную технологию переработки руды при комплексном использовании минеральных ресурсов.

Разработанная технология рекомендуется для переработки малосульфидных золотосодержащих руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волластонит. — М.: Наука, 1982. 275 с.
2. ГОСТ 9179-77. Известь строительная. Технические условия.

A. S. Timoshenko, N. V. Filimonov, V. V. Tsarev

PECULIARITIES OF MINERAL COMPOSITION AND TECHNOLOGY OF COMPLEX PROCESSING OF GOLD-BEARING ORES

Laboratory and pilot test results of treatment of primary ores from lower horizons are stated. Mineralogical composition is studied, combined gravity sorptive flotation flowsheet of ore treatment ensuring comprehensive utilization of mineral products is worked out, recommendations pertinent to water circulation, sewage treatment ensuring water wasteless technology of gold-bearing ores treatment are given.

АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 622.2

ПЕРСПЕКТИВЫ ГОРНЫХ РАБОТ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ

Ю. Т. СМЕРНОВ (ЦНИГРИ)

Приведены сведения о современном состоянии горно-разведочных и добычных работ в отрасли; охарактеризованы факторы, влияющие на их технико-экономический уровень.

Сформулированы направления рационализации затрат на горно-разведочные работы, основные положения концепции развития НТП в области горных работ и первоочередные задачи НИОКР на ближайшую перспективу.

В течение последних пяти лет отмечается тенденция к существенному сокращению масштабов геологоразведочного производства, систематическому снижению физических объемов работ, в том числе объемов проведения горных выработок. Тем не менее, горные работы продолжают оставаться одним из основных видов геологоразведочных работ, обеспечивающим наиболее достоверную геологическую информацию, надежные данные для промышленной оценки многих типов месторождений твердых полезных ископаемых и проектирования горнодобывающих предприятий. Кроме того, из горных выработок осуществляется попутная добыча ценных видов металлических и нерудных полезных ископаемых и плановая добыча пьезооптического и камнесамоцветного сырья. Горные работы имеют важнейшее значение при поисках и разведке радиоактивных, редких, цветных и благородных металлов, а также природных камней. Им принадлежит решающая роль в новой сфере деятельности предприятий геологической отрасли, связанной с добычей твердых полезных ископаемых.

На территории Российской Федерации, богатой разнообразными видами минерального сырья, традиционно выполняются большие объемы горно-разведочных работ. В начале 90-х годов удельный вес объемов проведения горных выработок в системе геоло-

гического ведомства России в общем объеме по Мингео СССР составлял (в %): подземных выработок — 45, шурфов — 69, открытых выработок — 76. Затраты на горно-разведочные работы в России по видам полезных ископаемых распределялись следующим образом (в %): медь и никель, свинец и цинк — 6, олово — 16, прочие цветные и редкие металлы — 6, благородные металлы — 47, алмазы — 7, горнорудное сырье (плавиковый шпат, слюды, асбест и др.) — 11, прочее сырье (горно-химическое, черные металлы, стройматериалы и др.) — 7. Таким образом, объемы горно-разведочных работ в стоимостном выражении по всем приоритетным для России на перспективу видам твердых полезных ископаемых (золото, алмазы, медь, свинец и цинк, олово, вольфрам, марганцевые и хромовые руды; плавиковый шпат, уголь и некоторые другие) составляли около 90 %.

На протяжении длительного периода времени годовые объемы проведения подземных горно-разведочных выработок в России неуклонно возрастали. В одиннадцатой пятилетке они стабилизировались на уровне 92–87 тыс. м. Годовые объемы проходки шурфов наращивались до второй половины 60-х годов (до 660–770 тыс. м), а открытых выработок — до 1980 г. (до 10 млн м³), затем стали постепенно снижаться, составив в 1985 г. соответственно 255 тыс. м и 9,2 млн. м³ (без учета организаций союзного подчинения). В течение двенадцатой пя-

тилетки объемы проведения подземных выработок снизились в 1,9 раза (до 45,3 тыс. м в 1990 г.), шурфов — почти в 1,7 раза (154 тыс. м), открытых выработок — в 1,6 раза (5,8 млн м³). Общая сметная стоимость горно-разведочных работ уменьшилась при этом всего на 16 % (с 68,8 до 57,8 млн р.). За тот же период удельный вес горных работ в общей стоимости полевых геологоразведочных работ за счет средств госбюджета снизился с 5,4 до 4,1 %. В 1991 г. объемы горно-разведочных работ в натуральном выражении по отношению к уровню предыдущего года сократились по отдельным видам на 20—23 %, а их стоимость резко возросла — более чем в 1,5 раза.

В 1991 г. всеми предприятиями, перешедшими под юрисдикцию геологического ведомства Российской Федерации, пройдено 1,12 тыс. м вертикальных шахтных стволов; 44,12 тыс. м других подземных выработок (горизонтальных, наклонных, восстающих, камерных и т.д.); 147,02 шурфов (включая расчески из них); 5,7 млн м³ открытых выработок общей сметной стоимостью 109,7 млн р. При этом затраты на подземные работы составили 45,6 %, шурфовые — 12,4 % и открытые работы — 42 %.

Наиболее крупные объемы горно-разведочных работ всех видов выполнены предприятиями Якутского ГПП и Севвостгеолкома (кроме шурфовых работ), Иркутского и Дальневосточного ГПП, корпораций «Кварцсамоцветы» и концерна «Геологоразведка», Приморского, Красноярского, Бурятского и Камчатского (кроме подземных работ) ГПП, на долю которых пришлось 100 % лимита средств на пьезооптическое и радиоактивное сырье, 85 % — на благород-

ные металлы, 79 % — на алмазы, 59 % — на цветные металлы и т.д.

Причинами уменьшения физических объемов проведения горных выработок (помимо общей дестабилизации экономики страны) явились: сокращение доли ассигнований как на предварительную и детальную разведку (почти на 2 % только за один год), так и на геологоразведочные работы на металлургическое сырье и алмазы (около 8 % за шесть последних лет), а также завершение работ на целом ряде крупных рудных объектов.

Принимая во внимание сложившуюся экономическую ситуацию, ретроспективную динамику изменения объемов горно-разведочных работ и направленность деятельности федерального геологического ведомства (согласно концептуальным положениям «Государственной программы изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России»), можно ожидать, что в 1993 г. произойдет стабилизация объемов работ, а с 1994 г. вероятен постепенный их рост (после определенной экономической стабилизации и соответствующей подготовки производства) с достижением к 2000 г. оптимального уровня, необходимого для выполнения заданий Программы по наращиванию минерально-сырьевой базы России (табл. 1).

Горно-разведочные выработки практически всегда выполняют свое геологическое назначение. Однако выполнение планируемых (согласно геологическим заданиям) объемов горных работ сопряжено с определенными трудностями, обусловленными как разнообразием и сложностью условий производства, так и несовершенством применяемых технологий и технических средств, невысоким уровнем организации работ и управления ими.

1. Объемы горно-разведочных работ в 1990—1992 гг. и на перспективу

Виды выработок	Объемы проходки по годам						
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	2000
Вертикальные шахтные стволы, тыс. м	1,0	1,1	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5
Другие подземные выработки, тыс. м	56,7	44,1	19,8	20,0	25,0	30,0	50,0
Шурфы, тыс. м	191,5	147,0	65,6	60,0	70,0	80,0	100,0
Открытые выработки, млн м ³	7,2	5,7	2,3	2,5	3,5	5	7,5

В последние пять лет ситуация в области горных работ осложнилась в связи с переориентировкой направленности работ в отрасли на начальные стадии геологоразведочного процесса, ограниченностью ассигнований, децентрализацией управления и изменением его структуры, переходом к новым экономическим и правовым отношениям в народном хозяйстве, особенностями формирования минерально-сырьевой базы России, а также из-за роста цен и тарифов, дефицита материально-технических ресурсов.

На технико-экономический уровень горно-разведочных работ, помимо способов и средств их производства, влияет целый ряд факторов конъюнктурного, географо-экономического, природно-климатического, горно-геологического, организационно-технического, социального и экологического характера.

Конъюнктурные и географо-экономические факторы (потребность в отдельных видах сырья и их стоимость, ориентировка на наращивание запасов полезных ископаемых в определенных регионах или вблизи конкретных горнодобывающих предприятий, другие особенности формирования минерально-сырьевой базы и управления ею) непосредственно влияют на характер и объемы работ, а через них — и на технико-экономические показатели.

Следует ожидать, что значение этих факторов не уменьшится и в будущем. Это объясняется, в первую очередь, государственным суверенитетом России, необходимостью наличия собственной развитой минерально-сырьевой базы. Они закреплены в законодательных актах о недрах и использовании сырья, им подчинены задачи и функции Роскомнедр, региональных геологических учреждений и предприятий, новые условия хозяйствования и т. п.

К числу весьма неблагоприятных факторов относятся большая территориальная рассредоточенность месторождений полезных ископаемых и низкая концентрация работ на каждом из них, малый фронт работы на отдельных горно-разведочных объектах (штольнях, шахтах) или производственных участках. Негативное влияние этих факторов на технико-экономический уровень горно-разведочных работ может возрасти в связи с переориентацией деятельности

предприятий Геологического Комитета (за счет средств госбюджета или государственного внебюджетного фонда воспроизводства минерально-сырьевой базы) в сторону региональных геолого-геофизических исследований, геологосъемочных работ, поисковых и поисково-оценочных работ и с предстоящим проведением разведочных работ за счет средств предприятий (в том числе геологических), имеющих лицензии на право разработки разведываемых месторождений.

К неблагоприятным факторам относятся также приуроченность участков горных работ преимущественно к горно-таежным и тундровым зонам; сезонность шурфовых и открытых работ на большинстве объектов и подземных работ на многолетнемерзлых россыпях; отсутствие развитой инфраструктуры; слабая обеспеченность геологических предприятий современной техникой.

Можно констатировать, что в двенадцатой пятилетке произошла как бы стабилизация влияния на технико-экономический уровень горно-разведочных работ всех перечисленных выше факторов и особенностей условий производства, реальных возможностей геологических предприятий и научно-исследовательских организаций. В этот период продолжалось наращивание масштабов применения прогрессивных технологий проходки и крепления выработок, а также рост технической оснащенности, упорядочение проектирования и организации работ. Однако позитивное влияние научно-технического прогресса едва компенсировало продолжающееся ухудшение горно-геологических условий, снижение физических объемов и концентрации работ, повышение цен и тарифов, ужесточение требований безопасности и охраны окружающей среды, адаптацию к новым условиям хозяйствования и т. п. Поэтому технико-экономические показатели проведения горно-разведочных выработок всех видов за пятилетие существенно не улучшились, а стоимость единицы работ возросла на 36—47 % (табл. 2). В 1991 г. при тех же показателях проходки стоимость единицы горных работ резко повысилась: 1 м подземной выработки — в 2 раза (1025 р.), 1 м шурфа — в 1,7 раза (92,6 р.) и 1 м³ открытой выработки — в 1,8 раза (8,08).

Из сказанного следует, что к началу 90-х годов в горно-разведочной практике

сложилась обстановка, когда возможности повышения эффективности проведения выработок (в масштабе отрасли в целом) на базе применяемых методов, технологий и технических средств, форм организации работ и управления оказались в значительной степени исчерпанными. Между тем, одновременное использование целого ряда научно-технических достижений ЦНИГРИ и других организаций на многих важнейших объектах стабильно обеспечивало высокие технико-экономические показатели горных работ (в 1,5—2 раза превышающие среднеотраслевые или базовые на данном объекте).

Все это требует комплексного подхода к решению проблемы повышения эффективности производства горно-разведочных работ. В современных условиях акценты должны быть направлены на рационализацию затрат при ведении горных работ на приоритетные для Российской Федерации виды полезных ископаемых.

Рационализация затрат на горно-разведочные работы предполагает:

- снижение удельных объемов горных работ на единицу выявленных прогнозных ресурсов или промышленных запасов сырья за счет повышения геологической информативности других, менее трудоемких и дорогостоящих видов работ;
- оптимизацию соотношения различных видов работ в геологоразведочном про-

цессе и плотности поисково-разведочных сетей;

- наиболее рациональное комплексирование горных работ с буровыми и геофизическими и, в частности, более широкое применение подземных скважин взамен части горных выработок (главным образом рассечек);
- замену одних видов выработок другими, более экономичными (например, глубоких траншей на многолетнемерзлых россыпях — подземными выработками; мелких шахт и шурфов на коренных месторождениях — соответственно глубокими шурфами и наклонными стволами);
- наиболее полное использование возможности попутной добычи и реализации минерального сырья при производстве горно-разведочных работ всех видов;
- оптимизацию систем подземных горных выработок (схем расположения и параметров) не только с учетом требований геологических заданий и техники безопасности, но и требований наиболее эффективной эксплуатации современного дорогостоящего оборудования, а также комплексного использования выработок (объектов) в целях разведки и промышленного освоения месторождений;
- выбор и применение в каждом конкретном случае наиболее целесообразных технологических способов, комплектов

2. Технико-экономические показатели горнопроходческих работ в геологических организациях России в двенадцатой пятилетке (кроме организаций союзного подчинения)

Показатели	Годы		
	1985	1989	1990
Темпы проведения подземных выработок (без вертикальных стволов шахт), м/бриг.-мес.	162,5	160,1	153,2
Производительность труда: проходчика подземных выработок, м/чел.-мес.	13,8	15,8	15,3
подземного рабочего, м/чел.-мес.	8,5	9,7	9,3
рабочего при проходке шурфов, м/чел.-мес.	24,8	29,8	27,2
рабочего при проходке открытых выработок, м ³ /чел.-мес.	379,0	440,0	455,0
Сметная стоимость, р.: 1 м подземной выработки	343,0	438,0	505,0
1 м шурфа	40,2	48,7	54,8
1 м ³ открытой выработки	3,14	4,53	4,43

(комплексов) оборудования, форм организации труда и режимов работы, обеспечивающих в данных условиях достижение наилучших показателей работ;

- улучшение качества проектирования горных работ, т.е. более строгое обоснование видов, количества и параметров выработок, мест их расположения, других инженерных решений на основе сопоставления альтернативных вариантов и использования научно-технических достижений;
- строгое соблюдение принятых в проектах технологических регламентов со своевременной корректировкой отдельных технологических параметров при непредвиденных заранее изменениях условий производства работ.

Горнодобычные работы в системе геологического ведомства России в отличие от горно-разведочных весьма небогаты опытом, традициями и особенно научно-техническими достижениями. Промышленная добыча минерального сырья на месторождениях с подсчитанными запасами до последнего времени велась лишь в системе ГПП «Кварцсамоцветы». Остальные геологические предприятия в той или иной степени занимались попутной добычей некоторых ценных видов полезных ископаемых. С 1990 г. горнодобычные работы начали разворачиваться другими предприятиями, и в первую очередь, концерном «Геологоразведка», Севвостгеолкомом и ГПП «Якутскгеология».

Непосредственными мотивами появления нетрадиционной для отрасли сферы деятельности послужили (кроме предприятий б. НПО «Кварцсамоцветы») определенная самостоятельность геологических предприятий в связи с их переходом на хозрасчет (1987—1988 гг.), с одной стороны, и финансовая неустойчивость производственных структур, связанная с переходом к рыночным отношениям (1989—1990 гг.) и сокращением бюджетных ассигнований, — с другой. До последнего времени организация добычных работ сдерживалась не только слабым технико-технологическим обеспечением, но и в весьма большой степени отсутствием правовой базы. С появлением в 1992 г. соответствующих правовых основ, отраженных в Законе РФ о недрах и Федеральном Договоре, добычное направление в гео-

логической отрасли должно более успешно развиваться, что будет способствовать: увеличению массы ценного минерального сырья и продуктов его переработки; созданию товарного производства; привлечению дополнительных инвестиций (в том числе зарубежных); освоению прогрессивных технологий и технических средств; созданию дополнительных рабочих мест; более рациональному использованию материально-технических и трудовых ресурсов; укреплению инфраструктуры и улучшению соцкультбыта; демонополизации горнодобывающего сектора; экономической стабилизации производства в целом. Поэтому геологические предприятия должны иметь собственную минерально-сырьевую базу, позволяющую с максимальной эффективностью реализовать плоды труда работников отрасли — геологическую информацию о месторождениях полезных ископаемых.

Минерально-сырьевая база геологических предприятий России включает около 175 сравнительно небольших мелкозалегающих месторождений, на которых ведется или планируется добыча различных полезных ископаемых, а также техногенные залежи (отвалы). Однако в эксплуатации находится пока не более половины объектов. Разработка производится, как правило, открытым способом на карьерах малой мощности. В ближайшей перспективе интерес могут представить еще около 60 месторождений коренного золота, многие из которых предназначены для подземной разработки.

В 1991 г. предприятиями отрасли добыто: около 0,5 т золота; более 200 т серебряно-свинцового и 130 т оловянного концентрата; 2 тыс. т угля и 30 тыс. т торфа; значительное количество пьезокварца и оптического флюорита (230 тыс. м³ рудной массы, включая горный хрусталь и прозрачный жильный кварц); 22 т исландского шпата; 6 тыс. т гранулированного и молочно-белого кварца; 260 кг драгоценных, полудрагоценных камней (благородный опал, хризолит, демантоид, турмалин, хромдиопсид); 275 т поделочных камней (агат, офиокальцит, родонит, чароит, лазурит, нефрит, сердолик); 24,5 тыс. м³ (9,1 тыс. т) декоративных камней (змеевик, микрокварцит, гранат, мраморизованный известняк, яшма, иризирующий андезит, вулканический туф)

и 10 тыс. м³ пемзы; 10 тыс. т цеолита; 12 тыс. т озерного сапропеля; около 5 тыс. м³ бишофита; 6 тыс. т бентонитовой и 50 тыс. м³ полигорскитовой глины; 100 тыс. м³ щебня (из отвалов). Общий объем извлеченной горной массы составил 5,3 млн м³, что соизмеримо с годовым объемом проходки открытых горно-разведочных выработок.

Вследствие недостаточности средств, опыта и оборудования, невысокого сегодняшнего спроса на многие виды сырья, а также правового нигилизма, наращивание объемов горнодобычных работ идет пока замедленными темпами.

Необходимость обязательной рентабельности добычи полезных ископаемых в геологической отрасли выдвигает целый ряд новых задач в части научно-методического обеспечения горнодобычных работ, технологий и технических средств.

Принимая во внимание современное состояние работ, а также складывающиеся новые особенности и тенденции, концепция развития научно-технического прогресса на горных работах в отрасли (и НИОКР, в частности) на ближайшую перспективу может базироваться на следующих общих положениях.

1. Несмотря на различные источники финансирования, разведочные и добычные горные работы должны рассматриваться как взаимосвязанный комплекс с единой технической политикой, предусматривающей использование по возможности одинаковых технологий, технических средств и материалов.

2. На горных работах всех видов целесообразно применение преимущественно серийного оборудования общепромышленного или межотраслевого назначения; оправданным может быть создание и освоение производства лишь остродефицитного специального оборудования первых типоразмеров, без которого невозможно или небезопасно выполнение тех или иных технологических процессов.

3. Главное внимание должно уделяться разработке и совершенствованию ресурсосберегающих и безопасных технологий, не требующих больших объемов финансирования (в отличие от создания нового оборудования) и обеспечивающих высокую эффективность конечных результатов горного про-

изводства (т.е. достижение минимума затрат, например, на единицу выявленных прогнозных ресурсов или запасов, добытого сырья) с учетом соблюдения требований природоохранного характера. С этой точки зрения подлежат пересмотру действующие методические, инструктивно-нормативные и другие документы, направленные на рост темпов проходческих работ, повышение производительности труда в отдельных процессах и операциях и снижение их стоимости и т.п. (т.е. не учитывающие общую эффективность горных работ).

4. Решающим фактором при формировании технической политики (в том числе направлений и тематики НИОКР) становится реальный и потенциальный спрос геологических предприятий на научно-техническую продукцию (технология, технические средства и т.д.).

5. Научно-техническая продукция должна создаваться с учетом реальности ее реализации на предприятиях отрасли, а также комплексности использования научно-технических достижений.

6. Для ускорения исследований и разработок и широкомасштабного внедрения их результатов целесообразно профилирование научных организаций и производственных предприятий по видам научно-технической продукции, а также создание в крупных регионах базовых научно-технических центров (в составе: НИИ и производственные предприятия).

В рамках проблемы совершенствования технологий горных работ и технических средств их производства исследования и разработки должны быть нацелены на решение следующих первоочередных задач.

1. Усовершенствование методов управления горным давлением (на основе современной геодинамической модели напряженно деформированного состояния пород) и акустического геоконтроля породного массива и блоков природного камня, включающее разработку соответствующих рекомендаций и портативных систем контроля состояния нарушенности пород и оценку их физикомеханических свойств. Решение этой задачи будет способствовать правильному выбору схем расположения и параметров подземных выработок, технологических параметров буровзрывных работ и крепления различных

выработок, параметров отбойки природного камня, а также оперативной оценке свойств пород и качества каменного сырья.

2. Усовершенствование методов управления действием взрыва с целью обеспечения минимальной нарушенности породного массива за контуром выработок при ведении горных работ при поиске, разведке и разработке месторождений, включающее разработку соответствующих технологий буровзрывных работ. Это позволит резко уменьшить вывалы пород в выработках и значительно расширить возможности безопасного применения горной крепи облегченных конструкций (набрызгбетонной, штанговой, сталеполимерной и т. п.).

3. Усовершенствование способов крепления горных выработок с целью замены рамной крепи из высокосортной древесины, включающее разработку конструкций несущей и ограждающей крепи из композиционных материалов (сталеполимеров, пластифицированной низкосортной древесины), а также инвентарной штанговой крепи.

4. Повышение эффективности и конкурентноспособности горно-разведочных работ на россыпных месторождениях ценного сырья (золото, олово, алмазы и др.) с учетом необходимости соблюдения природоохранных требований и возможности попутной добычи полезных ископаемых, в т. ч. разработка рекомендаций по применению рациональных технологий и технических средств горнопроходческих работ.

5. Создание специального оборудования первых типоразмеров для поисково-разведочных горных работ, не выпускаемого смежными отраслями промышленности (вибробезопасные бурильные установки для подземных работ; грейферные и буровые шурфопроходческие установки; рабочие органы к базовым землеройным машинам; комплексы для отбора проб в выработках и др.).

6. Создание технических средств и технологий бурения разведочных скважин взамен подземных горных выработок — расщек, восстающих, гезенков (керношламоборники, устройства для извлечения ориен-

тированного керна, отклонители и ориентиры для многозабойного и направленного бурения, породоразрушающий инструмент большого диаметра для получения представительных проб и др.) и инженерно-технических скважин (мониторинговых, опережающих, дренажных, дегазационных, коммуникационных) из подземных горных выработок (герметизаторы устья, газо-водоотводные устройства, забойные и скважинные пакеры, якоря для установки в скважинах измерительных приборов, устройство для гидротранспорта бурового снаряда и др.).

7. Рационализация технологических схем и параметров разработки мелких месторождений металлического сырья — с обоснованием (для характерных условий) основных параметров промышленного освоения месторождений (глубина разработки или граница открытых и подземных работ, производительность и срок существования горнодобычного объекта) и технологий горных работ (схема вскрытия, способ разработки, схема подготовки, система разработки и ее варианты, технологические процессы и технические средства очистных работ), обеспечивающих достижение рациональных значений показателей разработки месторождений (производительность блока, производительность труда, удельный вес подготовительных и нарезных работ, потери и разубоживание).

8. Усовершенствование технологий и технических средств разведки и добычи природного камня на мелких месторождениях с целью снижения потерь сырья — с разработкой рекомендаций по выбору и применению рациональных способов и технологических параметров отбойки камня и некоторых видов остродефицитного оборудования (установки строчечного бурения шпуров, терморезаки, раскалыватели пород и др.).

Создание и реализация перечисленных методов, технологий и технических средств обеспечат необходимую механизацию работ, снижение расхода ресурсов и повышение безопасности труда.

Ju. T. Smirnov

MINING ACTIVITY PROSPECTS IN GEOLOGICAL INDUSTRY OF RUSSIA

Information about present state of geological prospecting and mining work is given; factors having an influence on technical and economic level of exploration and mining are described. Cost-effective directions of mining exploration activities, the main trend of scientific and technical progress in the mining sector and the first priority R&D tasks for the nearest future are stated.



ЦНИГРИ

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

АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СРЕДНЕПОЛЕТНАЯ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ СТАНЦИЯ ЭМАКС НА САМОЛЕТЕ АН-2

Электромагнитная аэрокомплексная станция ЭМАКС с электроразведочным и магниторазведочным каналами предназначена для поисков алмазоносных трубок, рудных месторождений, поисков воды, геологического картирования в масштабах 1:25000 – 1:50000 с глубиной исследований до 100–150 м.

Магнитный канал для измерений приращений модуля вектора магнитной индукции магнитного поля Земли представляет собой высокочувствительный квантовый магнитометр с магниточувствительным элементом в буксируемой гондоле.

Электроразведочный канал для измерений полуосей эллипса поляризации магнитной компоненты электромагнитного поля, возбуждаемого в геологической среде магнитным диполем, расположенном на самолете, представляет собой генераторное и измерительное устройство на трех частотах электромагнитного поля и датчики измеряемого поля, расположенные в буксируемой гондоле, а также специальное устройство компенсации помехового переменного магнитного поля, наводимого в металлических частях самолета.

Одновременная высокоточная съемка обоими каналами, автоматизация процесса измерений, системы сбора, хранения, обработки и интерпретации данных бортовым компьютером, высокая чувствительность к измеряемым величинам обеспечивают конкурентоспособность ЭМАКС на мировом рынке геофизических технологий.

ЦНИГРИ представляет техническую документацию на опытные образцы ЭМАКС, опытные образцы аппаратуры, методику работ.

Со стороны зарубежного партнера – комплектующие, дизайн, изготовление, реализация.

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

УДК 613

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ТРУДА НА ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

И. Н. ЗАСУХИН (ЦНИГРИ)

Изложены основные результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области охраны труда и техники безопасности, выполненных специализированными подразделениями НИИ. Приводятся основные направления НИОКР на 1992—1995 гг. и ожидаемые результаты.

Специфика труда геологоразведчиков, работающих, как правило, в труднодоступных и необжитых районах, в сложных природно-климатических условиях, часто в отрыве от баз снабжения, индустриально-культурных центров и специальной медицинской помощи, требует повышенного внимания к обеспечению безопасности их деятельности.

Системное решение вопросов охраны труда на геологоразведочных работах, осуществленное в ЦНИГРИ, позволило в 1988 г. создать и внедрить отраслевую систему управления охраной труда, базирующуюся на принципиально новых подходах — количественных объективных показателях оценки состояния безопасности труда на объектах работ и уровня организации работ по охране труда. Благодаря самостоятельности предприятий это сделало возможным применение эффективных экономических механизмов управления.

Однако сегодня, в новых условиях хозяйствования, при отмирании системы централизованного регулирования, разгосударствления предприятий, перехода к рыночным отношениям, необходимы новые механизмы управления процессами создания безопасных условий труда.

Дальнейшие работы в этой области предусматривают изучение закономерностей и механизмов возникновения травматических и аварийноопасных ситуаций; технических, организационных, социально-экономических, природно-климатических, психолого-физиологических и других факторов, влияющих на состояние охраны труда, методов оценки и прогнозирования динамики ее развития.

Необходимо найти такие механизмы взаимодействия трудящихся и руководителей предприятия, страховых и контролирующих служб, чтобы руководителям предприятий было выгодно вкладывать средства в охрану труда, а трудящимся — не нарушать действующие нормативы и правила.

На основе законов Российской Федерации, в т. ч. «О предприятиях и предпринимательской деятельности», «О недрах», типового Устава Государственного геологического (горногеологического, геологоразведочного) предприятия, проекта Закона «Об охране труда», предстоит разработать и внедрить новую отраслевую систему управления охраной труда с учетом опыта, достигнутого в этой области, и новые законы и условия хозяйствования.

Усилиями ЦНИГРИ, ВИТРА, ИВЦ объединения «Башкиргеология» и других в отрасли было налажено информационное обеспечение организаций по охране труда. В ЦНИГРИ ежегодно выпускается отраслевой бюллетень «Травматизм в геологии» (всего выпущено 32 номера), аналитические бюллетени по видам работ, базирующиеся на ретроспективных исследованиях причин и обстоятельств несчастных случаев за 8—10 лет и содержащие наряду с анализом рекомендации по профилактике травматизма и аварий.

Объединением «Башкиргеология» ежеквартально подготавливалось 18 форм выходных документов по травматизму, полученных на ЭВМ ЕС 1032 и предназначенных для руководства отрасли, ЦК профсоюза и головных институтов. Однако оперативность получаемой информации и используемые технические средства не отвечали требованиям сегодняшнего дня.

Поэтому ЦНИГРИ предусматривается на базе ППЭВМ, IBM создавать и обеспечивать функционирование отраслевой информационно-поисковой подсистемы «Автоматизированный учет и анализ травматизма», позволяющей на основе учета и многофакторного анализа травм, аварий и дорожно-транспортных происшествий, помимо получения оперативной информации, осуществлять координацию деятельности производственных геологических организаций по профилактике этих негативных явлений.

В качестве элемента оперативно-диспетчерского контроля и управления охраной труда предусматривается разработка типового автоматизированного рабочего места (АРМ) «Управление охраной труда» для работников служб охраны труда или производственно-технических отделов, связанного с портативными терминалами руководителей рассредоточенных геологоразведочных объектов. Принципы построения информационного, математического и программного обеспечения информационно-вычислительных систем позволят на качественно новом уровне реализовывать организационно-технические, социально-экономические и правовые меры в области охраны труда, органично соединять их с процессом управления геологоразведочными работами. В разрабатываемом АРМе совмещаются функциональные характеристики рабочих мест двух типов: информационно-справочного и организационно-управленческого. Они охватывают следующие функции: информационная поддержка принятия решений; учет, анализ и оценка состояния охраны труда на производстве; прогнозирование уровня опасности; планирование мер по охране труда; контроль и оперативное управление безопасностью; решение экономических вопросов охраны труда.

Не менее важно создание современной нормативно-методической базы обеспечения работ по охране труда, предусматривающей совершенствование и систематизацию правил безопасности геологоразведочных работ, пожарной и радиационной безопасности, безопасности при глубоком разведочном бурении на нефть и газ, при ведении морских геологоразведочных работ, стандартов, комплекса нормативно-методиче-

ских документов по безопасному ведению различных видов геологоразведочных работ.

Один из важнейших вопросов охраны труда — программно-методическое обеспечение профессиональной подготовки кадров на базе современных методов обучения. В конце 80-х годов ЦНИГРИ и ВИТРОм были начаты работы по применению вычислительной техники для решения задач обучения и контроля знаний персонала геологических организаций по вопросам охраны труда. Первоначально использовались ЭВМ типа ДВК, а затем ЭВМ, совместимые с IBM PC. Были разработаны первые опытные обучающе-контролирующие программы. Эти программы будут совершенствоваться на основе использования оболочек прикладных программ и компьютерной графики, а также разработки новых программ для основных и вспомогательных видов геологоразведочных работ. Их апробация на большой группе специалистов и руководящих работников, а также экспертная оценка необходимости развития данного направления подтвердили его перспективность и заинтересованность в нем производственных геологических организаций.

В ближайшие годы предусматривается создание на этой основе современной системы обучения кадров безопасным методам ведения работ, подготовка учебных и наглядных пособий, кино-и видеофильмов.

Выполнен значительный объем исследований и разработок средств механизации и автоматизации тяжелых и травмоопасных операций, укрытий, приборов контроля, средств защиты и блокировок, безопасных технологий ведения работ. ВИТРОм созданы: сигнализатор (ограничитель) переподъема талевого блока СОП-1, устройство блокировки от закручивания нагнетательного шланга на ведущую трубу; элементы системы обеспечения теплового режима на установках УКБ-4СТ и УКБ-4СА1 — воздушная завеса и противовеетровой дефлектор. Завершается создание прибора «Поток», обеспечивающего поиск людей, потерявших ориентировку в полевых условиях.

Бывшим Уральским отделением экспериментальных исследований ЦНИГРИ совместно со специализированными организациями созданы вибробезопасный и высокопроизводительный перфоратор, опытные об-

разцы виброзащитных рукавиц для северных условий, распорные колонки ЛКР-У, устраняющие контакт рабочего с инструментом.

ЦНИГРИ разработан модернизированный вариант портативного термоанемометра «Поток», контролирующего распределение воздуха в различных вентиляционных системах, предназначенных для измерения скорости движения воздуха в производственных помещениях. Для непрерывного измерения производительности и депрессии вентиляторов главного проветривания, являющихся основным узлом систем вентиляции, в ЦНИГРИ сконструирована приборная система «Буран», применяемая для контроля агрессивных и загрязненных воздушных потоков, экологического мониторинга воздушной среды, контроля выбросов.

Поскольку для профилактики травматизма необходима объективная оценка функционального состояния работников, занятых на травмоопасных видах работ, в ЦНИГРИ создано техническое (на базе портативной ЭВМ), алгоритмическое и программное обеспечение портативной системы «Фон» (массой не более 10 кг), позволяющей в течение нескольких минут оценить функциональное состояние работника, занятого на опасных операциях. В несколько упрощенном виде система выдает следующие рекомендации: «зеленая карточка» — можно работать без ограничений, «желтая карточка» — требуется сосредоточить свое внимание на выполняемых операциях и внимание окружающих, «красная карточка» — требуется повышенное собственное внимание и постоянное внимание непосредственного руководителя работ и окружающих.

Разработано АРМ «Проектирование вентиляции подземных выработок», которое ориентировано на компьютеризацию процесса проектирования и инженерный анализ эксплуатируемых систем вентиляции горно-разведочных выработок и обеспечивающее в диалоговом режиме: поэтапное выполнение проекта вентиляции; информационно-справочное обслуживание проектировщика; системотехнический и инженерный анализ процесса проветривания; машинную обработку и оформление проекта вентиляции.

СКБ Геотехника разработано керноприемное устройство к буровым установкам с

гидротранспортом керна КГК-100 и КГК-300, позволяющее значительно облегчить труд и исключить загрязнение раствором рабочей площади.

Ряд технических средств создан производственными геологическими организациями Северного Кавказа и Северо-Востока России.

Ими разрабатывались новые безопасные технологии ведения геологических и горных работ, например проходка вентиляционных скважин большого диаметра буровым способом вместо опасного буровзрывного, системы управления вентиляционными процессами.

Программой НИОКР в области охраны труда и техники безопасности на 1993—1995 гг. предусмотрена разработка комплекса устройств для безопасного ведения работ на установках глубокого разведочного бурения на нефть и газ; устройство для управления превентором, средства безопасного ведения верхолазных работ; дистанционно управляемая гидравлическая установка для наведения запорного оборудования на устье аварийно фонтанирующей скважины; система телеметрического контроля газовых компонентов в атмосфере при сооружении глубоких скважин, разработке газонефтепроявлений и при ликвидации открытых фонтанов; система телеметрического контроля физиологического состояния газоспасателей при ликвидации нефтяных фонтанов; комплекс средств скоростного перекрытия устьев аварийных нефтяных и газовых скважин. Планируется создание устройств для безопасного производства взрывных и электроработ, создание средств для безопасного ведения подземных и открытых горно-разведочных работ, включая средства защиты от вывалов и обрушений; приборов и устройств для контроля воздухообеспечения, борьбы с шумом, пылью и низкой температурой; систем контроля за состоянием заземляющих устройств; компьютеризированных систем оценки функционального состояния и профотбора работников, занятых на травмоопасных видах работ. Предусматривается работа над комплексом методов и технических средств, обеспечивающих радиационную безопасность: универсальным индивидуальным дозиметром; средствами автоматизированного управления радиационной безопасностью; системой сбора, вре-

менного хранения и утилизации радиоактивных отходов геологоразведочного производства.

Планируется разработка технических средств для безопасного ведения ремонтно-механических и подсобно-вспомогательных работ. Будут построены типовые мобильные здания для обеспечения благоприятных условий труда и отдыха геологоразведчиков.

Важное значение придается безопасным технологиям ведения работ, методам улучшения условий труда на объектах геологоразведочного производства в различных природно-климатических зонах России. Будут созданы принципиально новые безопасные технологии проходки восстающих и подготовительных геологоразведочных выработок взамен опасного буровзрывного способа.

Предусматривается провести изучение условий труда геологоразведчиков с целью

формирования научно-обоснованных предложений по льготам и компенсациям.

Предстоит выполнить экспертизу вновь создаваемой техники на соответствие ее нормам и стандартам охраны труда.

Наряду с этими конкретными задачами предстоит провести оценку территории России с точки зрения вероятности травм, аварий и профзаболеваний при проведении геологоразведочных работ, а также разработать методики, оценивающие уровень опасности при работах в тех или иных районах и экономические последствия.

Реализация программы работ позволит обеспечить снижение уровня травматизма и аварийности на производстве, оценить потенциальную опасность проведения работ на различных территориях, сократить объемы работ с повышенной опасностью, улучшить условия труда геологоразведчиков.

I. N. Zasoukhin

THE MAIN RESULTS AND DIRECTIONS OF INVESTIGATION IN THE FIELD OF LABOUR PROTECTION IN GEOLOGICAL PROSPECTING

The main results of R&D in the field of labour protection and safety, implemented by specialized departments of scientific institutions are stated. The main trend of R&D for years 1992-1995 and the expected results are given



ЦНИГРИ

АППАРАТУРА РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ РВМ-6М

Аппаратура РВМ-6 и РВМ-6М предназначена для односкважинного и межскважинного радиопросвечивания объемов среды с целью обнаружения, прослеживания, оконтуривания и изучения электрических свойств геологических объектов, представляющих поисковый интерес — кварцевых жил, кимберлитовых тел, рудных тел, зон трещиноватости, карста, пустот и т. п. объектов, как в геологических исследованиях, так и в инженерных работах.

Аппаратура состоит из генераторного и измерительного наземных пультов и скважинных снарядов. Глубина скважин, в которых может использоваться аппаратура РВМ-6 и РВМ-6М — до 2000 м, дальность просвечивания — до 1000 м.

Питание аппаратуры — батарейное и аккумуляторное. Обработка и интерпретация данных измерений производится на ЭВМ по оригинальным программам.

ЦНИГРИ предоставляет техническую документацию, опытные образцы аппаратуры, методики работ.

Со стороны зарубежного партнера — комплектующие, дизайн, изготовление, реализация.

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

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

При оформлении статей необходимо руководствоваться следующими правилами:

- Объем статьи не должен превышать 15 страниц машинописного текста, включая таблицы и список литературы. Текст печатается через два интервала, на одной стороне листа, поля (25мм) с левой стороны, 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 (двух экземпляров распечатки по правилам машинописного текста и дискеты) в стандарте какого-либо текстового редактора MS-DOS, предпочтительнее всего, Norton Editor, Lexicon Word или ASCII формате. Дискеты сразу будут возвращены автору.
- 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. Формат оригиналов рисунков не должен превышать формата полосы журнала (225 x 149мм). В связи с особенностями набора статей на компьютере предпочтительна следующая ширина рисунков: 149мм, 72мм. 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.
- Все формулы и все тексты, приводимые на иностранном языке, печатаются на машинке или вписываются тушью (черными чернилами). Необходимо делать ясное различие между заглавными (подчеркнуть двумя черточками снизу) и строчными (подчеркнуть также сверху) буквами, имеющими сходные начертания. Следует делать различие между О (большим), о (малым) и 0 (нулем), для чего буквы отмечать двумя черточками, а нуль оставлять без подчеркивания, в особых случаях пометая на полях "0-нуль". Греческие буквы обводятся красным карандашом, латинские - синим (кроме символов химических элементов). Подстрочные и надстрочные индексы и степени следует отмечать карандашом дугами сверху и снизу: 10^5 , H_2O .
- Иностранные фамилии в тексте приводятся в русской транскрипции, так же как и названия зарубежных месторождений, географических пунктов и т.д.
- Точность приведенных цитат должна быть заверена подписью автора на полях рукописи, обязательно указывается номер источника по списку литературы.
- Все таблицы, список литературы и подрисовочные подписи должны быть напечатаны на отдельных листах.
- На полях рукописи должны быть указаны номера рисунков и таблиц в месте их упоминания.
- 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: название, год, том, выпуск, номер, количество страниц. В тексте ссылки на литературу помещаются соответствующей порядковой цифрой в квадратных скобках.
- 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).
- Авторы должны определить раздел журнала в который следует поместить статью, а также дать индекс статьи по Универсальной десятичной классификации (УДК)
- Рукопись представляется с установленными сопровождающими документами руководством организации либо лично автором (авторами).

Редакция сохраняет за собой право внесения редакторской правки.

Технический редактор П. А. Сандомирский

Редакция: Н. И. Назарова, Т. Б. Полиектова

Сдано в набор 01.08.93
Подписано в печать 26.11.93
Тираж 500 экз.

Формат 185×270¹/₈
Бумага офсетная №1
Печать офсетная

Усл.-печ. л. 10,8
Уч.-изд. л. 13,9
Заказ

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

Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129"Б"

КОНКУРС НА СОИСКАНИЕ ПРЕМИИ ИМЕНИ С.С. СМЕРНОВА

Российская академия наук объявляет конкурс на соискание премии имени С.С. Смирнова 1994 г., присуждаемой отечественным ученым за лучшие научные работы по изучению месторождений полезных ископаемых и металлогении.

Премии присуждаются за отдельные научные работы, открытия, изобретения или за совокупность работ единой тематики, как правило, одного автора. При представлении коллективных работ могут выдвигаться только ведущие авторы и не более трех.

Право выдвижения кандидатов на премию предоставляется академикам и членам-корреспондентам Российской академии наук; научным учреждениям; высшими учебным заведениям; научным и инженерно-техническим обществам; научным советам РАН и других ведомств по важнейшим проблемам науки; научно-техническим советам государственных комитетов, министерств, ведомств; техническим советам промышленных предприятий; конструкторским бюро.

Организации или отдельные лица, выдвинувшие кандидата на соискание премии имени С.С. Смирнова 1994 г., должны до 16 июня 1994 года представить в Экспертную комиссию следующие материалы (по адресу: 117901, Москва, Ленинский проспект, 32а, ОГГГН РАН) с надписью "на соискание премии имени С.С. Смирнова":

- 1) мотивированное представление, включающее научную характеристику работы (серии работ), ее значение для развития науки и народного хозяйства;
- 2) опубликованную научную работу (серию работ);
- 3) сведения об авторе (перечень не более 10 основных научных работ, место работы, занимаемая должность, ученое звание, телефоны, домашний адрес);
- 4) справку, свидетельствующую о том, что представляемая на конкурс работа ранее не удостоивалась Государственных премий, а также именных государственных премий (при представлении серии работ в их число не могут включаться работы, за которые кандидату была присуждена Государственная премия).

Все документы представляются в двух экземплярах, а опубликованная работа в трех экземплярах.

Справки по телефону 938-18-84

Экспертная комиссия
по присуждению премии
имени С.С. Смирнова
ОГГГН РАН



ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Сфера деятельности института — прогноз, поиски, оценка, разведка месторождений алмазов, золота, серебра, платины, меди, свинца, цинка, никеля, кобальта, прогрессивные технологии геологоразведочных работ, переработки и анализа руд.

ЦНИГРИ

РАЗРАБАТЫВАЕТ И РЕАЛИЗУЕТ:

- Геологические, металлогенические и научно-методические основы выявления минеральных ресурсов.
- Количественные модели рудообразующих процессов и систем для целей прогноза, поисков и оценки месторождений.
- Нетрадиционные источники алмазов, благородных и цветных металлов.
- Комплексные методы и технологии поисков, оценки и разведки рудных месторождений.
- Геофизические методы и аппаратура для поисков и разведки рудных месторождений.
- Компьютерные технологии геологоразведочных работ.

- Геолого-экономическая оценка месторождений и конъюнктура минерального сырья.
- Аналитические и минералогические методы, методики и технические средства изучения руд.
- Технологии и технические средства переработки руд.
- Механизированные комплексы и технологии бурения скважин для оценки и разведки россыпных месторождений.
- Техника и технология горно-разведочных работ.
- Методы поисков и технические средства добычи минерального сырья Мирового океана.
- Специальные методы геоэкологических исследований.
- Технологии и технические средства безопасного ведения геологоразведочных работ.

Работы ЦНИГРИ обеспечили открытие и разведку многих месторождений алмазов, благородных и цветных металлов на территории России и других государств СНГ. ЦНИГРИ реализует свои разработки в ряде зарубежных стран.

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
Телекс: 411700 PTB SU TSNIGRI 2901