

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



2/1995

 ЦНИГРИ-60

 ЦНИГРИ-60

Поздравляем всех наших читателей
с Днем Геолога, а сотрудников
ЦНИГРИ и с шестидесятилетним

юбилеем института!

 ЦНИГРИ-60

 ЦНИГРИ-60

 ЦНИГРИ-60

В данном номере журнала публикуются
статьи, подготовленные к юбилею ЦНИГРИ
по главным направлениям его деятельности.

 ЦНИГРИ-60

 ЦНИГРИ-60

 ЦНИГРИ-60

ЦНИГРИ-60

 ЦНИГРИ-60

ЦНИГРИ-60

ЦНИГРИ-60

С ДНЕМ ГЕОЛОГА!

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



2/1995

Научно-технический журнал

Выходит 6 раз в год

Основан в 1992 году

ISSN 0869-5997

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И. Ф. МИГАЧЕВ

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

Учредитель

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

Издается при участии

Академии минеральных ресурсов,

фонда им. академика В. И. Смирнова

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Прикладная металлогения

Горжевский Д. И., Крейтер И. В.,
Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В., Пу-
гачева И. П., Авдонин В. В.

Научно-методические основы и ре-
зультаты прогноза глубокозалегаю-
щих месторождений на Рудном Алтае
в 1950–1980 гг.

Константинов М. М.

Новые и перспективные типы золо-
торудных месторождений

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений

Кузнецов В. В., Сандомирский С. А.,
Чиждова И. А., Катанский М. Ю., Жид-
ков С. Н.

Информационно-аналитические
компьютерные системы (ИАКС) про-
гноза и поисков месторождений бла-
городных и цветных металлов

Чекваидзе В. Б., Милыев С. А., Иса-
кович И. Э.

Комплексная минералого-геохими-
ческая методика поисков золоторуд-
ных месторождений

Николаева Л. А.

Методы интерпретации результатов
изучения россыпного самородного
золота

Строение рудных месторождений

Кривцов А. И., Чиждова И. А., Евстиг-
неева Т. Л.,

Количественные характеристики ру-
донакопления в сульфидно-силикат-
ных расплавах

Рызов О. Б., Стружков С. Ф., Ари-
стов В. В., Григорьев Н. В., Колесни-
ков А. Г.

Геологическое строение и состав руд
золото-серебряного месторождения
Джульетта (северо-восток России)

Applied Metallogeny

Gorzhevsky D. I., Kreiter I. V., Kudry-
avtseva N. G., Kuznetsov V. V., Puga-
cheva I. P., Avdonin V. V.

Scientific-methodological Principles
and Results of Prediction of Deep-
seated Deposits in Rudny Altai during
1950–1980 s.

Konstantinov M. M.

New and Potential Types of Gold Ore
Deposits

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

Kuznetsov V. V., Sandomirsky S. A.,
Chizhova I. A., Katansky M. Yu., Zhid-
kov S. N.

Software Means and Systems for In-
formation Supply and Data Analysis
Designed for Use in Prediction and
Exploration of Precious and Base Metal
Deposits

Chekvaizde V. B., Milyayev S. A.,
Isakovich I. Z.

An Integrated Mineralogic-geochemi-
cal Technique for Exploration of Gold
Ore Deposits

Nikolayeva L. A.

Methods of Interpretation of Results
Obtained in Studies of Free Gold from
Placers

Structure of Ore Deposits

Krivtsov A. I., Chizhova I. A., Yevstig-
neyeva T. L.

Quantitative Characteristics of Ore Ac-
cumulation in Sulfide-silicate Melts

Ryzhov O. B., Struzhkov S. F., Aristov
V. V., Grigoryev N. V., Kolesnikov A. G.
Geological Structure and Ore Com-
position of the Julietta Gold-silver
Deposit (North-East of Russia)

Техника разведки

Минаков В.М., Орье В.А., Тигунов Л.П. 79

Скважинная гидродобыча (СГД) на месторождениях благородных металлов — состояние и перспективы

Рыбин В.П., Сладков В.И. 87

Новый способ бурения скважин большого диаметра на россыпных месторождениях золота

Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ

Грачев А.А., Мамаев В.Н., Пятницкий В.И. 93

Радиогеоразведка — состояние и перспективы

Кухарев В.Ф., Синодова Л.Г. 100

Сравнительная эффективность излучателей электрического и магнитного типов для скважинной радиогеоразведки на нефтяных месторождениях

Недра и экология

Заири Н.М., Новиков В.Н., Пятницкий В.И. 104

Геоэкологический мониторинг при недропользовании — вклад ЦНИГРИ

Комплексное использование минерального сырья

Седельникова Г.В., Романчук А.И., Курский А.Н. 112

Технологические и аналитические исследования минерального сырья благородных, цветных металлов и алмазов в ЦНИГРИ

Хроника 126

Prospection Engineering

Minakov V.M., Oryev V.A., Tigunov L.P.

Borehole Hydroproduction (BHP) at Precious Metal Deposits: State of the Art and Prospects

Rybin V.P., Sladkov V.I.
A New Technique for Large-diameter Well Boring at Placer Gold Deposits.

Instrumentation and Technologies for Geological Prospecting

Grachev A.A., Mamayev V.I., Pyatnitsky V.I.

Radio Wave Geological Prospecting: State of the Art and Prospects

Kukharev V.F., Sinodova L.G.
Comparative Efficiency of Electric- and Magnetic-Type Radiators for Use in Borehole Radio Wave Geological Prospecting at Oil Deposits

Mineral Resources and Ecology

Zairi N.M., Novikov V.N., Pyatnitsky V.I.

Geoecological Monitoring During Exploitation of Mineral Resources: TsNIGRI's Contribution

Complex Utilization of Mineral Products

Sedel'nikova G.V., Romanchuk A.I., Kursky A.N.

Technological and Analytical Testing of Precious, Base Metal and Diamond Raw Materials in TsNIGRI

Chronicle

Уважаемые коллеги!

Юбилей ЦНИГРИ совпадает с 250-летием золотодобычи в России. Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт, образованный в 1935 году как центр научно-методического обеспечения добычи золота, вырос в крупную комплексную научную организацию по геологии и ресурсам алмазов, благородных и цветных металлов. В течение 60 лет коллектив ЦНИГРИ активно участвует в решении всех важнейших проблем развития и расширения отечественной минерально-сырьевой базы.

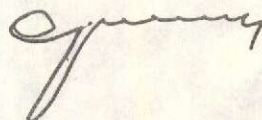
Учеными ЦНИГРИ разработаны фундаментальные теоретические и геолого-генетические основы методик и методов прогноза, поисков, геолого-экономической оценки и разведки месторождений, которые реализованы на практике. Институт является пионером создания многих прогрессивных технологий изучения, анализа и обогащения минерального сырья, оригинальных приборов, проведения геофизических, горно-разведочных и буровых работ и разработки систем техники безопасности труда.

Главные достижения института широко используются при создании и развитии отечественной минерально-сырьевой базы, а также применяются за рубежом. Ученые ЦНИГРИ участвовали в открытиях и разведке всех крупнейших месторождений алмазов, золота, серебра, цветных металлов России и стран СНГ.

В период коренного реформирования экономики России ЦНИГРИ успешно осваивает новые формы деятельности, эффективно взаимодействует с отечественными и зарубежными организациями на основе лучших традиций реализации научных разработок в практике геологоразведочных работ.

Поздравляя дирекцию, Ученый Совет и весь коллектив ЦНИГРИ с 60-летним юбилеем, желаю ученым и специалистам крепкого здоровья, благополучия и успехов в нашем общем деле укрепления минерально-сырьевой базы России — основы ее экономического потенциала.

Председатель Роскомнедра



В.П.Орлов

Дорогие коллеги !

Отделение геологии, геофизики, геохимии и горных наук Российской академии поздравляет коллектив Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов с ЮБИЛЕЕМ.

За шестидесятилетнюю историю ЦНИГРИ учёными института внесен значительный вклад в развитие фундаментальных знаний об условиях образования и закономерностях размещения месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Ученым ЦНИГРИ созданы научные основы прогноза, поисков и разведки месторождений, разработаны и реализованы прогрессивные технологии прогнозных исследований и поисковых работ, создана методология построения количественных геолого-генетических, прогнозных-поисковых и ряда других моделей месторождений цветных и благородных металлов. Вашему коллективу принадлежат важные достижения в области создания отечественной минерально-сырьевой базы и разработки геолого-экономических основ ее развития, в области комплексного минералого-технологического изучения и использования минерального сырья, а также технического обеспечения геологоразведочных работ.

Коллектив ЦНИГРИ успешно справляется с трудностями современного периода, активно внедряет комплексные методы и новые технологии поисков, оценки и разведки рудных месторождений, новые технические средства добычи минерального сырья.

Ученые института участвовали в открытиях, оценке и разведке крупнейших рудных месторождений России и стран ближнего зарубежья, проводили геологоразведочные работы в ряде стран мира.

Отделение геологии, геофизики, геохимии и горных наук РАН высоко оценивает научные и практические достижения коллектива ЦНИГРИ и желает всем сотрудникам института дальнейших творческих успехов в развитии отечественной геологии.

Академик-секретарь ОГГГГН РАН В.А.Жариков

Многоуважаемые коллеги!

Президиум вновь образованной Академии минеральных ресурсов поздравляет ваш славный институт с юбилеем.

Эти шесть десятилетий ЦНИГРИ, будучи головным и координирующим в важнейшей отрасли Российского государства по прогнозам, поискам и технико-технологическому обеспечению геологоразведочных работ, успешно выполняет задачи укрепления минерально-сырьевой базы Отечества.

За 60 лет в институте созданы научные школы геологов в области металлогении, прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений полезных ископаемых, а также в области геофизики, техники и технологий освоения природных богатств нашей страны.

В течение этих лет научные школы института не только обеспечивали насущные потребности комплексного, оптимально полного выявления и использования минеральных ресурсов, но и обогатили фундаментальную геологическую науку в сфере рудноформационного анализа, генезиса рудных месторождений, геолого-экономической оценки месторождений и технологий переработки руд. Институт реализует планы

Войдя в новое общественное объединение — Академию минеральных ресурсов, ЦНИГРИ и его ведущие ученые продолжают традиции института в развитии прикладной науки и фундаментальных исследований, теории и практики геологоразведочных работ, в разработке новых методов и методологий прогноза и поисков, методов и технических средств их проведения, новых экологически чистых методов использования полезных ископаемых.

Президиум Академии минеральных ресурсов желает Вам и в дальнейшем больших успехов и достижений в создании научного опережения и обосновании эффективного развития минерально-сырьевой базы России.

Президиум АМР

Дорогие друзья и коллеги!

Президиум РАЕН сердечно приветствует и поздравляет Вас со славным юбилеем.

Научная школа ЦНИГРИ, созданная выдающимися учеными нашей страны, продолжает жить и действовать, несмотря на все проблемы российской науки. Возникшая на основе активного взаимодействия с производством, эффективного решения задач развития минерально-сырьевой базы геологическая школа ЦНИГРИ и ее ведущие ученые широко признаны учеными и производственниками отрасли. Крупный вклад внесли ученые вашего института в теорию рудообразования и металлогении, а также в разработку методов и методик прогноза и поисков месторождений цветных, благородных металлов и алмазов. Широко известно и признано важное научно-методическое направление ваших исследований — создание прогнозно-поисковых комплексов.

Желаем Вам сохранить и преумножить все ценное, что накоплено в науке о рудных месторождениях поколениями ученых ЦНИГРИ, и успешно применить ваш богатейший опыт при решении актуальных проблем обеспечения России стратегическими и критическими видами минерального сырья.

Желаю вам выйти на новые рубежи исследований в мировом научном сотрудничестве.

Президиум РАЕН

Уважаемые коллеги!

Президиум исполкома Российского геологического общества поздравляет с юбилеем коллектив ученых, специалистов, творческий актив ведущего комплексного научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов.

Успешно выполняя головную и координирующую роль в научных исследованиях по золоту, алмазам и цветным металлам, коллектив ученых оказал значительное влияние на прогнозирование, открытие и изучение многочисленных месторождений страны и на постановку их на баланс Государственных запасов.

Созданные в институте научные школы обогатили геологическую науку новыми

Являясь комплексным, институт сделал большой вклад в разработку и создание новой прогрессивной техники и технологии геофизических, буровых, горных работ и обогащения минерального сырья.

Обладая высоким научным потенциалом, коллектив института обеспечивает развитие теории и практики в области геологического изучения и воспроизводства недр, новых способов, методов, технологий и технических средств проведения геологоразведочных работ.

Приятно отметить творческое сотрудничество ведущих ученых ЦНИГРИ с Российским геологическим обществом в решении актуальных задач геологии.

Выражаем уверенность, что творческий научный коллектив института будет и впредь инициативно, с чувством высокой ответственности и долга перед страной решать поставленные задачи.

С добрыми пожеланиями успехов и высоких достижений по воспроизводству минерально-сырьевой базы России

Вице-президент В.Ф.Рогов

Друзья и коллеги !

Коллектив ВНИИГеосистем сердечно поздравляет Вас с шестидесятилетием Вашего института.

Вы прошли славный путь и Ваши выдающиеся ученые создали свою научную школу известную не только в России, но во всем мире. Ваши ученые внесли крупный вклад в теорию рудообразования, а также создали целый ряд методов и технологий прогноза месторождений цветных, благородных металлов и алмазов. Созданные Вами прогнозно-поисковые комплексы помогают геологам открывать новые месторождения твердых полезных ископаемых.

Желаем Вам укрепиться в надежде на дальнейшее повышение государственной заинтересованности в развитии минерально-сырьевой базы России и повышении роли ученых Вашего коллектива в этом благородном деле.

Желаем счастья, здоровья. Мы вместе с Вами на этом тернистом пути поиска новых идей, открытий и внедрения их в геологическую практику на благо нашей Отчизны.

Директор ВНИИГеосистем О.Л.Кузнецов



НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗА ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА РУДНОМ АЛТАЕ В 1950–1980 гг.

Д. И. ГОРЖЕВСКИЙ, И. В. КРЕЙТЕР, Н. Г. КУДРЯВЦЕВА, В. В. КУЗНЕЦОВ,
И. П. ПУГАЧЕВА (ЦНИГРИ Роскомнедра), В. В. АВДОНИН (МГУ)

Приведен анализ прогнозных работ на Рудном Алтае, способствующих открытию ряда глубокозалегающих месторождений и значительному увеличению запасов колчеданно-полиметаллических руд. Рассматривается методика прогнозных исследований и их научное значение.

С течением времени остается все меньше возможностей, особенно на территории существующих горнорудных районов, для открытия свинцово-цинковых месторождений, залегающих на земной поверхности или вблизи нее, на основании прежних поисковых методов. Дальнейшее расширение сырьевой базы в их пределах может быть связано, главным образом, с открытием глубокозалегающих месторождений, расположенных в десятках или даже сотнях метров от поверхности Земли, на основе геологического прогноза, основанного на комплексе геолого-геофизических и геолого-геохимических критериев. Все это относится к Рудному Алтаю, одной из важнейших свинцово-цинковых провинций мира, где долгие годы добывалось более трети от общего объема добычи этих руд в бывшем Советском Союзе.

Территория Рудного Алтая представляет собой хороший объект для разработки и совершенствования методики геологического прогноза и поисков глубокозалегающих месторождений. В этом районе интенсивные поиски полиметаллических руд ведутся с XVIII столетия. В пятидесятые—восемидесятые годы нашего века в течение сорока лет на Рудном Алтае проводились разномасштабные прогнозные исследования и поиски скрытых и погребенных месторождений, ко-

торые привели к созданию методики прогноза и открытию целой серии крупных месторождений.

Длительная история прогнозирования сопровождалась методическими исследованиями, касающимися применимости тех или иных методов прогноза и поисков в конкретных геологических условиях, а следующая за прогнозами проверка рекомендованных для поисков участков и тесная увязка прогнозных, поисковых и разведочных работ позволили оценить степень эффективности самих прогнозов.

Первая находка свинцово-цинковых руд на Алтае относится к XVIII столетию. В 1736 г. было открыто Змеиногорское месторождение, в 1792 г. — Зырянское. Большинство месторождений было выявлено тогда на поверхности Земли по следам древних выработок — Чудских работ, которые проводились в первое тысячелетие нашей эры. Эти месторождения интенсивно эксплуатировались до революции и во время Великой Отечественной войны. В конце сороковых годов запасы большинства из них сильно истощились, а новые месторождения, залегающие на значительной глубине, не были выявлены. Это обстоятельство и привело к необходимости проведения работ по прогнозу и поискам глубокозалегающих месторождений.

Прогнозные исследования начались на Рудном Алтае в конце пятидесятых годов. На первом этапе они осуществлялись, главным образом, силами геологов Казахской Академии Наук [3, 8, 9, 14] и экспедиции Всесоюзного Аэрогеологического треста (ВАГТ). В этот период большинство исследователей развивали взгляды, высказанные ранее В.П.Нехорошевым, И.Ф.Григорьевым, Н.А.Елисеевым [11], заключающиеся в том, что полиметаллические месторождения формировались после складчатости и имеют верхнепалеозойский возраст, а их ассоциация с девонскими вулканитами объясняется неоднородным строением вулканогенных толщ и образованием многочисленных рудоуправляющих разломов. Однако уже в этот период отдельные исследователи развивали представления о генетической связи девонских вулканитов и полиметаллических руд [2, 3, 6, 13]. Поэтому уже в тот период была обозначена связь месторождений с вулканогенными породами, что вместе с использованием геохимических и геофизических критериев привело к открытию ряда месторождений, погребенных под рыхлыми толщами кайнозойских осадков мощностью в первые десятки метров. По рекомендациям этого периода были открыты Орловское, Тишинское, Корбалихинское и Степное месторождения.

Однако интенсивная эксплуатация известных месторождений привела к тому, что в начале семидесятых годов вновь появились признаки истощения сырьевой базы крупнейших горно-обогатительных комбинатов. Достаточно сказать, что такие комбинаты как Зыряновский и Лениногорский оказались обеспеченными рудой лишь на 8—10 лет. В связи с этим на Рудном Алтае начался второй этап прогнозных исследований, которые ставили перед собой задачу составления крупномасштабных прогнозных карт рудных районов в масштабе 1:50000 и детальных карт рудных полей в масштабе 1:10000—1:25000 с глубиной прогнозирования в первом случае до 0,5 км, а во втором до 1—1,2 км. Составление этих карт осуществлялась коллективом геологов ЦНИГРИ (Д.И.Горжевский, Н.Н.Биндеман, И.З.Исакович, И.В.Крейтер, Н.Г.Кудрявцева, В.В.Кузнецов, И.П.Пугачева, А.А.Солодов,

и др.), кроме того в работе принимали участие Востказгеология, Запсибгеология, ИМ-ГРЭ, МГУ, МГРИ, КАЗИМС, Аэрогеология и Центральный Геофизический Трест. Функции головной организации, отвечающей за единообразный методический подход к выполненным работам и их координацию, были возложены на ЦНИГРИ.

В результате составления прогнозных карт, на основе пересмотра палеонтологического материала и широкого применения палинологического анализа, на Рудном Алтае были выделены силурийские и нижнедевонские отложения; разработаны основы палеовулканического анализа прогнозируемых площадей, составлены структурно-формационные карты с элементами палеовулканических реконструкций, а также атлас палеотектонических карт для всех возрастных комплексов палеозойских отложений; полиметаллические месторождения были разделены на несколько рудноформационных типов, различающихся по минеральному составу и геологической обстановке [7, 12, 10].

Однако главное практическое значение работ заключалось в составлении для каждого рудного района и рудного поля комплекта прогнозных карт масштаба 1:50000 и 1:10000—1:25000. Этот комплект включал:

специальную геологическую основу, со снятым покровом мезо-кайнозойских отложений;

карту рудной нагрузки с нанесением всей рудной минерализации, геохимических и рудногеофизических аномалий;

карту или схему глубинного строения, составленную по геолого-геофизическим данным;

карту геологических критериев и поисковых признаков на формационно-фациальной основе;

собственно прогнозную карту, на которой отражались степень перспективности прогнозных участков, геологическая позиция прогнозируемых рудных зон и предполагаемая глубина их залегания, методика и очередность проведения геологоразведочных работ и линии намечаемых профилей поисковых скважин.

В этот период в связи поступлением нового фактического материала произошел

иметаллических месторождений, и большинство исследователей уже отмечало, что признаваемая всеми связь этих месторождений с девонским вулканизмом обусловлена их генетическим единством [14, 15]. В этот же период создавалось представление о полихронном происхождении полиметаллических месторождений, среди которых были выделены три группы: 1. Вулканогенные или эксгальационно-осадочные; 2. Преобразованные последующими тектоно-магматическими процессами; 3. «Плутоногенные»; ассоциирующие с корневыми частями девонских вулканических аппаратов и сформированные ниже поверхности дна моря [4].

Среди поисковых критериев и признаков большое значение приобретают палеовулканические — приуроченность рудных полей к объектам развития субвулканических рудоносных комплексов, а месторождений и рудных тел к локальным вулканическим структурам [1]. Руды вулканогенного типа, как это было установлено, локализуются в конседиментационных прогибах, разделявших вулканические сооружения, а руды «плутонического» типа приурочены к субвулканическим и экструзивным газонасыщенным породам, слагающим вулканические поднятия. Вместе с тем сохранили свое значение и ранее установленные поисковые критерии — такие как глубинные разломы и зоны расщеливания в продуктивных девонских формациях, флексурные перегибы структур и т.д.

К ряду важных выводов этого периода относится установление зональной колонки околорудных изменений и приуроченности рудных тел к контакту зон выщелачивания (кварц-серицитовые породы) и переотложения, сложенных хлоритолитами, хлорит-карбонатными породами и доломитами [5, 10].

При изучении некоторых месторождений было выяснено, что индикаторами залегающих на глубине скрытых полиметаллических руд в верхних горизонтах пород является расположенная выше них прожилковая минерализация, причем индикатором барит-полиметаллических руд являются зоны интенсивного развития прожилков кварц-баритового состава, а колчеданно-

с повышенным содержанием железа, марганца и магния [10].

Изучение первичных геохимических ореолов полиметаллических месторождений, проведенное на всех прогнозных площадях (Э.Н.Баранов, А.А.Головин и др.), привело к разработке количественных геохимических критериев, позволяющих осуществлять: отбраковку петрогенных и метаморфогенных аномалий; интерпретацию минералого-геохимического типа прогнозируемого оруденения с использованием рядов нормированной условной продуктивности; оценку степени сохранности прогнозируемого оруденения по уровням величин коэффициентов зональности; определение пространственного положения оруденения с использованием установленной асимметрии геохимической зональности; оценку практической значимости прогнозируемого оруденения и его размеров по величине интегральной интенсивности ореола. Методические исследования вторичных геохимических ореолов (Ю.Е.Саст, И.Ф.Мясников, Г.К.Хорин и др.) показали, что в районах погребенных месторождений миграция химических элементов от рудных тел может осуществляться через перекрывающие толщи рыхлых элювиально-делювиальных и аллювиальных отложений на расстояние до 30—100 м. Эти исследования позволили разработать методы поисков месторождений по наложенным вторичным ореолам, с выявлением различных подвижных форм химических элементов — индикаторов перекрытого оруденения.

Проведенные геохимические исследования показали, что геохимические методы наиболее эффективны в тех случаях, когда они применяются в комплексе с геологическими и геофизическими и опираются на детальный анализ достоверной геологической и ландшафтно-геохимической информации. Геохимические данные отображались на карте рудной нагрузки и карте поисковых критериев и признаков. На первой из них выносились все геохимические аномалии с указанием их вида. Состав аномалий обозначался индексами химических элементов, ранжированными по убыванию условных нормированных продуктивностей; интегральная интенсивность каждой зоны

штриховкой; структура зональности отображалась условной закраской зон в зависимости от величин коэффициентов зональности — отношение сумм или произведения элементов фронтального комплекса (свинец, серебро, цинк) к элементам тылового комплекса (медь, кобальт, молибден).

На карту геологических критериев и признаков выносились только перспективные, обоснованные рудно-геохимические аномалии, а также специальными знаками минерально-геохимический тип прогнозируемого оруденения, уровень эрозионного среза аномалии, степень ее перспективности, основные элементы зональной структуры. На прогнозную карту геохимические аномалии не наносились, но учитывались при отнесении площади к той или иной степени перспективности.

Вместе с тем проведенные геохимические исследования обладали и определенными недостатками, такими как:

использование результатов спектральных анализов разных лабораторий, основанных на различных методах и не всегда определяющих все необходимые элементы;

отсутствие подхода к геохимическим ореолам как к возможным полигенным образованиям;

слабый учет при интерпретации вторичных ореолов техногенной и ландшафтной составляющих, а также отсутствие строгих критериев оценки промышленной значимости прогнозируемого оруденения.

Одной из главных задач геофизических исследований, при составлении прогнозных карт на Рудном Алтае, являлось и составление карт глубинного геологического строения рудных полей и месторождений. Такие карты имеют важное значение для понимания геологической позиции оруденения, и для их составления малоэффективны геологические и геохимические методы.

Карты и схемы глубинного строения в процессе прогнозных исследований составлялись методом объемного моделирования сред с помощью ЭВМ, на основе количественной интерпретации гравиметрических данных.

Параллельно с изучением и интерпретацией гравиметрических и магнитных съемок

($\Delta g, \Delta T_a, \Delta Z_a, EP, B_{\text{ПМПП}}$) с целью решения поисковых задач. Важное значение для направления поисков имела интерпретация данных каротажа КС, МСК, а также более новых методов — ГК, ЭП, РРК, а для изучения межскважинного пространства (ВП-С), ЕП-С, ЭК, ЗТ, ГРЗ, радиоволнового просвечивания в односкважинном и межскважинном пространстве (РВПС), метод скважинного дипольного электромагнитного профилирования (ДЭМПС) и контактного способа поляризационных кривых (КПСК).

Как и геохимические методы, геофизические исследования наибольший эффект дают тогда, когда они используются совместно с геологическими и геохимическими материалами. Только в этих случаях возможна правильная интерпретация геофизических данных [10].

По сравнению с предыдущим периодом прогнозных исследований последний этап имел определенные преимущества, которые заключались в следующем:

в основу прогнозирования были положены обоснованные представления о тесной генетической связи колчеданно-полиметаллического оруденения со становлением вулканогенно-осадочных отложений девонского возраста;

выделение перспективных площадей осуществлялось на основе комплекса существенно усовершенствованных геологических, геохимических и геофизических критериев, производился количественный подсчет прогнозных ресурсов;

использование и увязка данных, полученных при составлении геологических и прогнозных карт, осуществлялись с использованием геолого-геофизических материалов различного масштаба от 1:500000 до 1:10000;

был разработан комплект прогнозных карт, наиболее удобный в условиях Рудного Алтая;

на прогнозных картах отражались конкретные предложения по методике последующих поисков на выделенных перспективных площадях.

В результате проверки прогнозных рекомендаций семидесятых—восьмидесятых годов были открыты и разведаны Рубцовское,

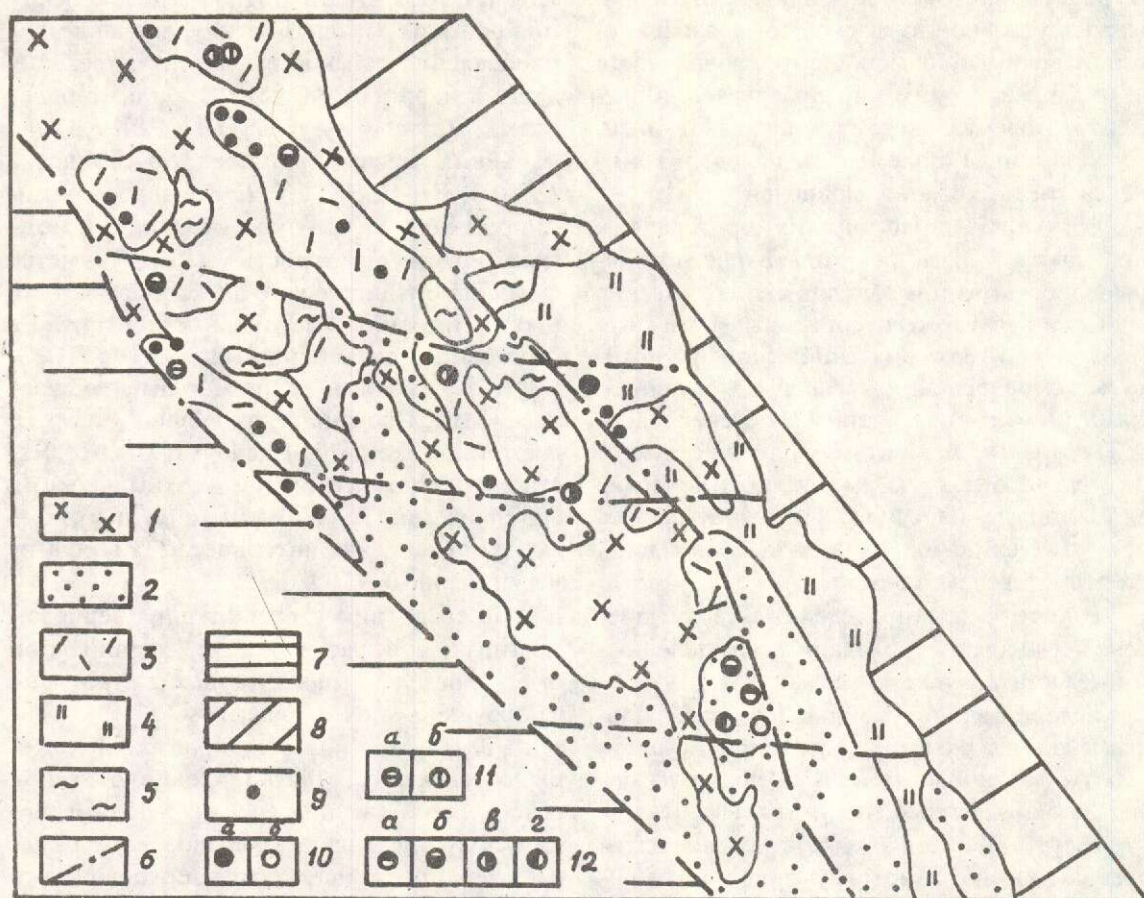


Рис. 1. Схема размещения колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая.

1 — гранитоидные формации: гранитовая, Р; габбро-диабазовая, Д₃—С₁; габбро-гранит-плагитогранитовая, Д₃; габбро-гранитовая, S₂—Д₁; 2 — надрудные формации: известняково-терригенная, С₁; песчано-алевролитовая флишиодная, Д₃—С₁; андезит-дацитовая, Д₃—С₁; 3 — рудоносная базальт-риолитовая кремнисто-терригенная формация, Д₁—Д₃; 4 — терригенная базальт-андезит-трахириолитовая, Д₁—Д₂; 5 — карбонатно-терригенная или «зеленых сланцев», Р_{з1}—Д₁; 6 — разрывные нарушения: а — достоверные, б — предполагаемые по геофизическим данным; 7 — Иртышско-Зайсанская складчатая область; 8 — каледониты Горного Алтая; 9 — колчеданно-полиметаллические месторождения, известные до прогнозных работ 1971—1973 гг.; 10 — месторождения, открытые в результате прогнозных работ 1971—1973 гг.: а — выявленные, б — переоцененные; 11 — категория месторождений: а — крупные, б — мелкие; 12 — условия залегания месторождений: а — погребенные, б — скрытые, в — скрыто-погребенные, г — выходящие на поверхность

Чекмарь, Ново-Ленинское, Майское и Малеевское — в Казахстане; переоценены Корбалихинское, Зыряновское и Греховское месторождения (рис. 1).

В результате проведенных поисковых работ проверена большая часть участков первой очереди и около 40—50 % участков 2-й очереди.

Анализ проведения прогнозных и по-

сти работ от начала прогнозирования до вскрытия буровыми скважинами промышленных подсечений руд глубокозалегающих месторождений проходит 8—14 лет, в то время как предварительная и детальная разведка даже крупных месторождений при правильной организации работ осуществляется в 2—3 года.

Обобщение материалов по поисковым работам при проверке прогнозных рекомен-

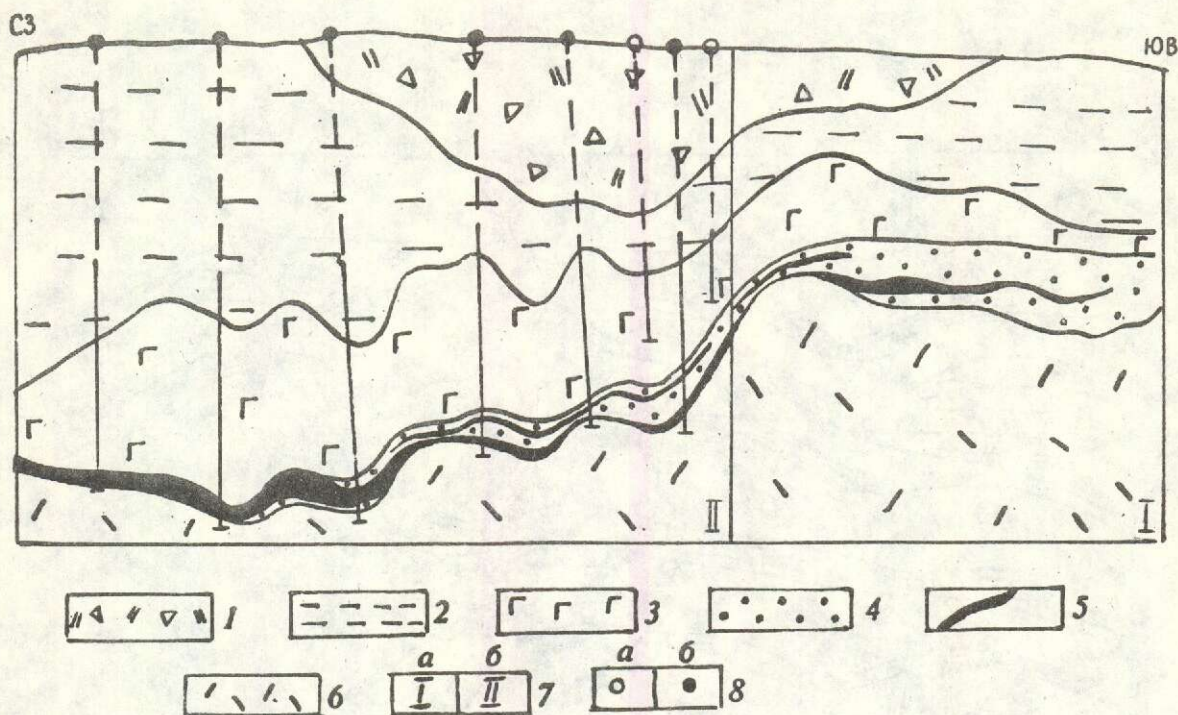


Рис. 2. Схематический продольный геологический разрез, с выявленной в результате проверки прогнозов в 1971–1973 гг. рудной зоной на Корбалихинском месторождении:

надрудные отложения: 1 — лавы и лавобрекчии кислого состава, 2 — алевролиты и углистые алевролиты, 3 — лавы и лавобрекчии основного состава; 4 — рудовмещающие отложения: кремнистые алевролиты, туффиты, кремнистые туффиты, тефроиды, лавы и туфы кислого состава; 5 — зона колчеданно-полиметаллических руд; 6 — подрудные отложения: лавы риолитовых порфиров; 7 — I-участок рудной зоны, разведанный и оконтуренный в результате прогнозных работ пятидесятых годов, II-участок рудной зоны, выявленный в результате проверки прогнозов; 8 — поисковые и поисково-оценочные скважины: а — пройденные до прогнозных работ 1971–1973 гг., б — вскрывшие рудную зону после проверки прогнозов в 1971–1973 гг.

даций на Рудном Алтае позволяет отметить и недостатки этих работ:

не всегда соблюдалась стадийность поисков и поисково-оценочных работ, что иногда приводило к отрицательным результатам оценки прогнозных площадей;

иногда при поисках выполнялся недостаточный объем бурения; это происходило, когда на участки перспективных площадей с обнаруженным оруденением переносился весь объем бурения с целью не только поисков и оценки, но и разведки объекта за счет других площадей, где бурение резко сокращалось;

не всегда при поисках использовался весь комплекс геологических поисковых критериев (особенно палеовулканических).

без учета согласного с вмещающими породами залегания рудных тел.

В методике и истории открытия некоторых глубокозалегающих месторождений наряду с удачами были и ошибки, которые приводили к задержке открытий на несколько лет и даже десятилетий. Анализ этих методических ошибок весьма поучительный и требует пристального внимания, чтобы избежать их в будущем.

Ниже кратко рассматриваются такие ошибки при открытии некоторых месторождений.

Корбалихинское месторождение впервые было открыто в 1959 г. Рудное тело залегает на глубине 300 м от земной поверхности. При разведке месторождения было установлено, что рудные тела залегают се-

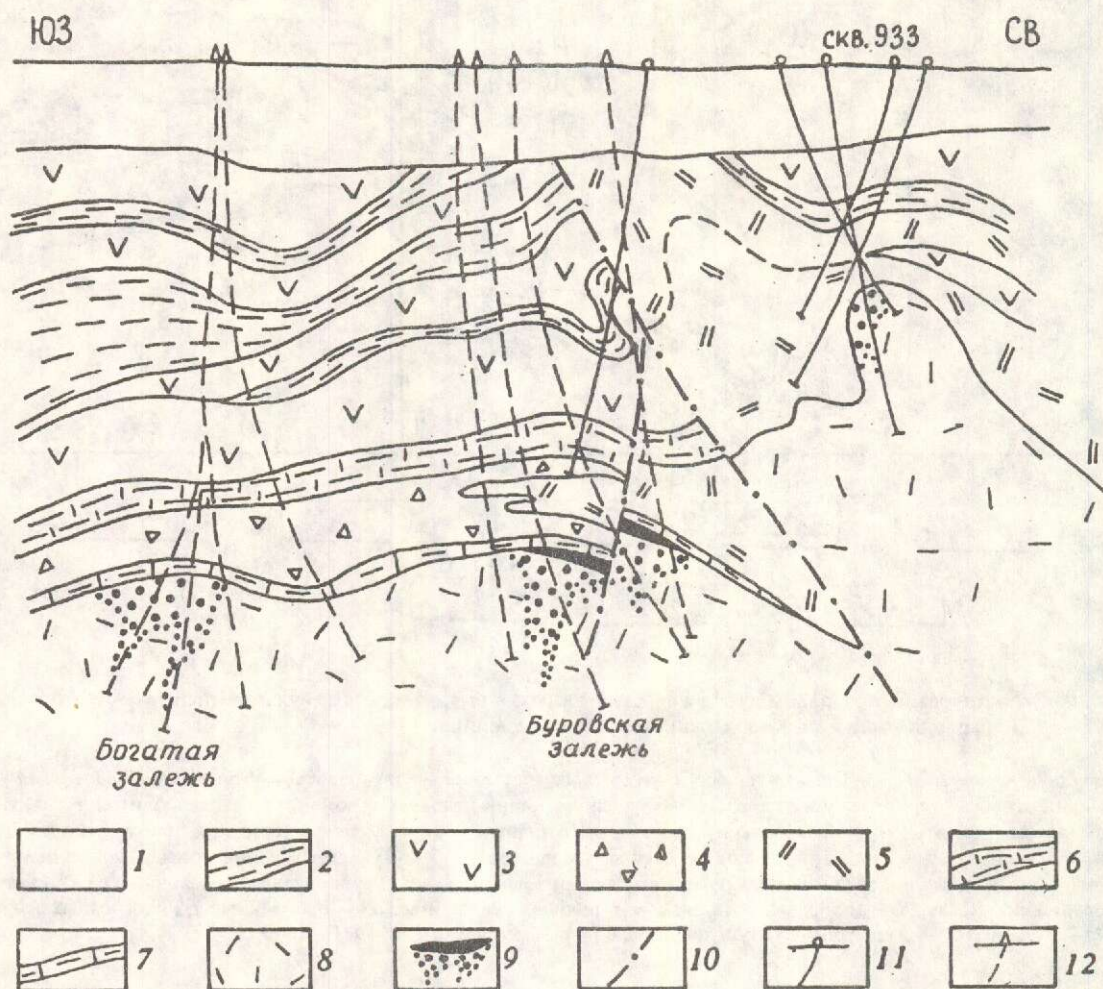


Рис. 3. Схематический разрез Ново-Ленинбургского месторождения (составлен по материалам Лениногорской ГРЭ):

1 — четвертичные отложения; 2 — углисто-глинистые отложения сокольной свиты; 3 — базальты (потоки и силлы); отложения ильинской свиты: 4 — туфы, осадочные брекчии, 5 — дациты, 6 — известковистые алевролиты; 7 — алевролиты крюковской свиты, т.н. «критический горизонт»; 8 — риолиты лениногорской свиты; 9 — рудные залежи (массивные и вкрапленные руды); 10 — разломы; 11 — скважины периода 1959—69 гг.; 12 — скважины 80-х годов

ными скважинами глубиной в 500 м рудные тела были оконтурены с обоих концов (рис. 2); были подсчитаны и утверждены запасы руд.

В процессе прогнозных исследований на основе изучения керна буровых скважин картировочного и поисково-структурного бурения было установлено, что на северо-

живается рудовмещающая пачка отложений, залегающая значительно глубже известных рудных тел. Выше рудовмещающей пачки был зафиксирован надрудный геохимический ореол полиметаллического состава. На основании этих данных в процессе прогноза в 1962 г. была рекомендована проходка нескольких профилей буровых сква-

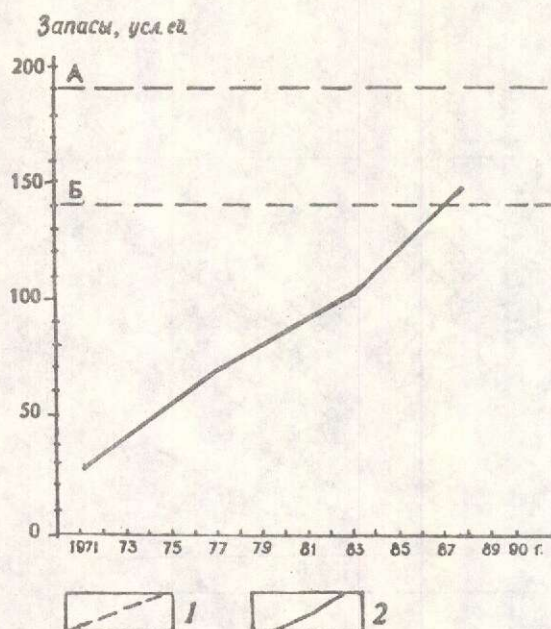


Рис. 5. Прогнозные ресурсы этапа 70-х годов и прирост запасов в Зырянском районе, 1971—1988 гг.

1 — прогнозные ресурсы, подсчитанные в 1973 г.: А — минимальные; Б — максимальные; 2 — прирост запасов с 1971 по 1988 гг.

ных в прогнозных работах 1971—1973 гг., были заложены и пройдены новые поисковые скважины, вскрывшие сначала мощную Ново-Малеевскую, а затем и Родниковую залежи. В результате разведочных работ было разведано Малеевское месторождение, оказавшееся одним из наиболее крупных месторождений Рудного Алтая.

Уже к 1987 г. запасы металлов во вновь открытых и доразведанных месторождениях Зырянского района достигли размеров минимальной оценки, полученной при прогнозных исследованиях, которая многим специалистам вначале казалась непомерно завышенной. При этом следует учесть, что и здесь еще не все перспективные площади опойскаваны в должной мере.

Экономическую эффективность прогнозных и разведочных работ этого этапа можно оценить на примере Зырянского района. Здесь стоимость всех геологоразведочных работ, включая прогнозные исследования с 1971 по 1988 гг., составляла 164,5 млн руб. Прирост запасов только свинца, никеля и меди за этот период по оценкам

расходы на все геологоразведочные работы составляли 6,8 % от стоимости только основных металлов (рис. 5).

Несмотря на отмеченные недостатки прогнозных исследований и методики поисков на выделенных перспективных площадях, проведенные работы в целом были успешными и привели к открытию в уже освоенных горнорудных районах ряда глубоководных месторождений, в том числе крупных, а также позволили разведать запасы руд, обеспечивающие добычу крупнейших рудников Алтая на несколько десятилетий.

Прогнозные работы имели и большое научное значение. Благодаря им существенно продвинулись представления о систематике и происхождении колчеданно-полиметаллических месторождений, закономерностях их размещения, поисковых критериях и признаках. Была разработана методика палеовулканического анализа. В процессе изучения месторождений и рудопоявлений получила фактическое подтверждение связь девонских вулканитов и колчеданно-полиметаллических руд. Впервые были открыты конседиментационные рудовмещающие структуры; выделены ряд субформаций внутри базальт-риолитовой известково-кремнисто-терригенной рудоносной формации, а также рудоносные фации. Разработана методика проведения прогнозно-поисковых работ на Рудном Алтае и в рудных провинциях сходного типа.

Таким образом, прогнозные исследования, осуществленные под руководством и при непосредственном участии сотрудников ЦНИГРИ, послужили мощным толчком к развитию и оживлению научной и практической деятельности геологов на Рудном Алтае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонин В.В., Баранов В.Д., Яковлев Г.Ф. Металлогеническое районирование Рудного Алтая на палеовулканической основе // Геология рудных месторождений. 1982. № 4. С. 54—68.
2. Белькова Л.Н., Огнев В.Н., Семенов А.И. Две гипотезы о генезисе полиметаллического оруденения на Алтае // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1954. № 1. С. 30—39.

- канизмом //Изв. АН Каз.ССР. Сер.геол. 1953. Вып. 17.
4. Генетические типы полиметаллических месторождений Рудного Алтая / Д.И.Горжевский, Г.Ф.Яковлев, Ю.И.Демин, И.В.Крейтер //Изв.вузов. Геология и разведка. 1984. № 4. С. 27—31.
 5. Горжевский Д.И., Чеквадзе В.Б., Исакович И.З. Типы полиметаллических месторождений Рудного Алтая, их происхождение и методы поисков. — М.: Недра, 1977.
 6. Дербигов И.В. К проблеме генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского района //Геология рудных месторождений. 1966. № 9. С. 106—112.
 7. Закономерности размещения и перспективы выявления месторождений свинцово-цинковых руд в СССР с разработкой рекомендации по направлению поисково-разведочных работ. — М.: ЦНИГРИ, 1974.
 8. Иванкин П.Ф., Иншин Н.В., Кузбный В.С. Рудные формации Рудного Алтая. — Алма-Ата: АН Каз.ССР, 1961.
 9. Каюпов А.К. Геология Зыряновского полиметаллического месторождения на Рудном Алтае / Геология полиметаллических месторождений Рудного Алтая. — М.: Госгеолтехиздат, 1957.
 10. Методические основы крупномасштабного прогнозирования скрытых свинцово-цинковых месторождений на Рудном Алтае //Гр. ЦНИГРИ. 1975. Вып. 118.
 11. Нехорошев В.П. Тектоника Алтая. — М.: Недра, 1966.
 12. Принципы, методы и опыт прогнозирования месторождений свинца и цинка. — М.: ЦНИГРИ, 1977.
 13. Шадлун Т.Н. Об особенностях строения колчеданных руд некоторых месторождений Алтая //Изв. АН СССР. Сер.геол. 1951. № 5. С. 3—17.
 14. Щерба Г.Н. Проблемы генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Сов.геология. 1968. № 6. С. 49—64.
 15. Яковлев Г.Ф., Микунов М.Ф. Размещение колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая в связи с его структурно-формационно-фациальными особенностями //Геология рудных месторождений. 1976. № 8. С. 45—56.

Gorzhevsky D. I., Kreiter I. V., Kudyavtseva N. G., Kuznetsov V. V., Pugacheva I. P., Avdonin V. V.

SCIENTIFIC-METHODOLOGICAL PRINCIPLES AND RESULTS OF PREDICTION OF DEEP-SEATED DEPOSITS IN RUDNY ALTAI DURING 1950—1980 s.

Course and resultsof forecasting activity in Rudny Altai region promoting the strike of a number of deep-seated deposits and providing conciderable gain in the amount of base metal massive sulfide ore reserves are reviewed. Methodological essentials of prediction inquiries and their scientific-research significance are set forth and discussed.

УДК 553.411

© М. М. Константинов, 1995

НОВЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТИПЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

М. М. КОНСТАНТИНОВ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

Рассмотрены условия формирования большеобъемных месторождений: вкрапленных руд с тонкодисперсным золотом, кор выветривания, эпитермальных месторождений сольфатарного типа и золото-порфировых. Проанализированы условия возникновения сверхбогатых («бонанцевых») руд. Возможность возникновения нетрадиционных типов месторождений золота рассмотрена на примерах его геохимических ассоциаций с Hg, Ag, Pt, Sn, Fe, Mn, Al, F, Cl, B, C. Подчеркнуто значение стратиформных золото-кварцевых месторождений в терригенно-сланцевых толщах.

Среди множества проблем геологии золота наиболее существенными для России представляются задачи выявления и освоения новых нетрадиционных типов руд, большеобъемных месторождений; сверхбогатых («бонанцевых») рудных концентраций; стратиформных месторождений.

Прогноз нетрадиционных типов месторождений. Эта проблема наиболее интересна в практическом отношении и наименее разработана в научно-методическом плане. Удобно рассмотреть ее на примере связей золота с геохимическими триадами элементов и, в частности, наиболее близкой к золоту — Hg, Ag, Pt. Золото, в силу тесного геохимического родства, иногда вытесняет или дополняет эти металлы в их стандартных парагенезисах. Так, наряду с обычным серебро-полиметаллическим парагенезисом известны золото-полиметаллические месторождения с промышленными содержаниями (Ново-Широкинское в Забайкалье, Ледвилл в США).

Антагонизм золота и олова, хорошо известный из регионально-металлогенических данных, имеет отдельные исключения, когда золото входит в геохимическую ассоциацию Ag—Sn (Pb, Zn) боливийского и западно-верхоянского типа, ассоциируя с серебром. Так, на эпитермальном Au—Ag месторождении Сиротан (Ява, Индонезия) плиоценового возраста (1,7 + / - 0,1 млн лет), образование полиметаллических парагенезисов началось с обычной эпи-

(псевдоморфозы по пирротину), галенита, сфалерита, изредка халькопирита и арсенопирита в кварц-серицит-родохрозитовых (иногда частично родонитовых) жилах [11]. Затем, с дальнейшим развитием минерализованных структур, эти парагенезисы сменились необычными минералами: Zn-содержащим гринокитом (свыше 6,5 вес. % Zn), ютенбогардитом ($\text{Ag}_3\text{3AuS}_2$), Te-содержащим канфильдитом ($\text{Ag}_8\text{SnTe}_2\text{S}_4$), лиллианитом, богатым Ag—Bi ($\text{AgPb}_4\text{Bi}_5\text{S}_{12}$), а также значительными количествами касситерита, ферберита (88—92 мол % FeWO_4) и шеелита. Поздняя ассоциация характерна для магматогенных руд и очень редка для эпитермальных, поэтому месторождение Сиротан рассматривается как гибридное, располагающееся между эпитермальным и порфирово-оловянным типами. Золото в этом случае сопровождается вольфрамом. Такой геохимический тандем характерен для ряда вольфрамовых и золото-вольфрамовых месторождений (Тырны-Ауз, Восток-2 и др.). Можно ожидать также обнаружения золотых руд в месторождениях пятиэлементной формации (Ag—Bi—Co—Ni—U) [19]. Образованию комплексных золото-ртутных месторождений посвящено целое научное направление [6].

Сенсацией стало выявление крупного архейского месторождения Хемло в Канаде, представленного стратифицированными залежами кварц-мусковит-баритовых руд. Зо-

ными выделениями в кварце, обнаруживает необычную геохимическую ассоциацию с Hg, Mo и V. С учетом данных о современных «белых курильщиках», где золото концентрируется по периферии построек с кремнеземом и баритом, представляется вероятной эксгальационно-осадочная гипотеза формирования этого месторождения с последующим региональным метаморфизмом руд и вмещающих пород.

Последнее время появляются данные о совместном нахождении золота и элементов платиновой группы в черносланцевых толщах — речь идет о том, что на уже известных золоторудных месторождениях может быть пропущена платина. Даже в стандартных расслоенных габброидных интрузивах с горизонтами, обогащенными платиной и хромитом, могут отмечаться высокие концентрации золота. Так, в кайнозойской (≈ 55 млн лет) Скаергаардской интрузии расслоенных габброидов Восточной Гренландии установлен слой, обогащенный золотом до 20 г/т. Зерна золота размером до 75 микрон в диаметре вместе с сульфидами меди и железа образуют каемки по плагиоклазу и пироксену [9]. Обогащенный золотом горизонт, в котором содержание Au превышает 1 г/т, имеет мощность 2—3 м. Отношение $Au/Pd \approx 6$; $Pd/Pt = 10$. По содержаниям Au горизонт резко отделяется от подстилающих и перекрывающих пород. Он подстилается горизонтом, обогащенным Pd, где отношение $Au/Pd \approx 0,5$, и еще ниже — серией богатых Pd горизонтов.

В триаде Fe-Mn-Al привлекают внимание данные о концентрации золота в месторождениях, в значительной степени сложенных гематитом. Это, например, «красные брекчии» гигантского месторождения Олимпик Дем. В протерозоидах севера Австралии, обрамляющих ядро Австралийского щита (месторождение Уайт Девил), золото-медно-висмутовый парагенезис накладывается на ранние массивные линзовидные тела гематит-магнетитового состава, испытавшие складчатость [15]. При этом отложение золота сопровождается переходом части магнетита в гематит.

Представляет большой интерес возмож-

центраций золота в бокситовых рудах. На фациальной схеме Н.М.Страхова [7], с учетом данных по сорбции золота глинистыми осадками и возможности переноса в форме золото-органических соединений, можно ожидать отложения основной массы золота в периферических частях угленосных, бокситовых, железорудных, фосфоритоносных и марганцевоносных бассейнов (рис. 1). Именно эти их части, вероятно, и заслуживают ревизии. Дополнительно, связи золота и марганца проявляются в развитии подстилающих золотоносные уровни обогащенных марганцевоносным гранатом образований на глубокометаморфизованных, до амфиболитовых фаций, архейских месторождениях Канады и Австралии [20], и перекрывающих золотоносные угленосные толщи марганцевоносных горизонтов, — в Китае. Это позволяет предполагать, что первично обогащенные золотом и марганцем отложения чередовались в разрезе в связи с колебательными движениями в зоне осадконакопления в соответствии с вышеприведенной схемой.

На руднике Холлистер в штате Невада [14] недавно открыты Mn-Fe-рудные отложения термальных источников, вызвавших аргиллизацию подстилающих базальтов. Золото осаждалось в несокисленных сульфидоносных базальтах ниже палеоуровня вод периода активности термальных источников, а также выше этого уровня в базальтах, содержащих оксиды, апатит и ярозит. Золото пространственно связано с Mn-Fe-рудной зоной и приурочено к ее нижней части.

Ассоциация золота с группой F, Cl, Br также заслуживает внимания. Ф.Я.Корытов [3] приводит сведения о повышенных концентрациях золота на флюоритовых месторождениях. На Дукатском золото-серебряном месторождении рудные столбы отличаются значительными количествами флюорита, который легко выделяется визуально. На Многовершинном месторождении, как это установлено М.С.Михайловой, минералы группы фтор-фосфатов слагают отдельные ритмы в колломорфно-полосчатых рудах и являются осадителями золота из растворов. Турмалин составляет парагенезис с золотом на ряде богатых месторождений архейского зеленокаменного

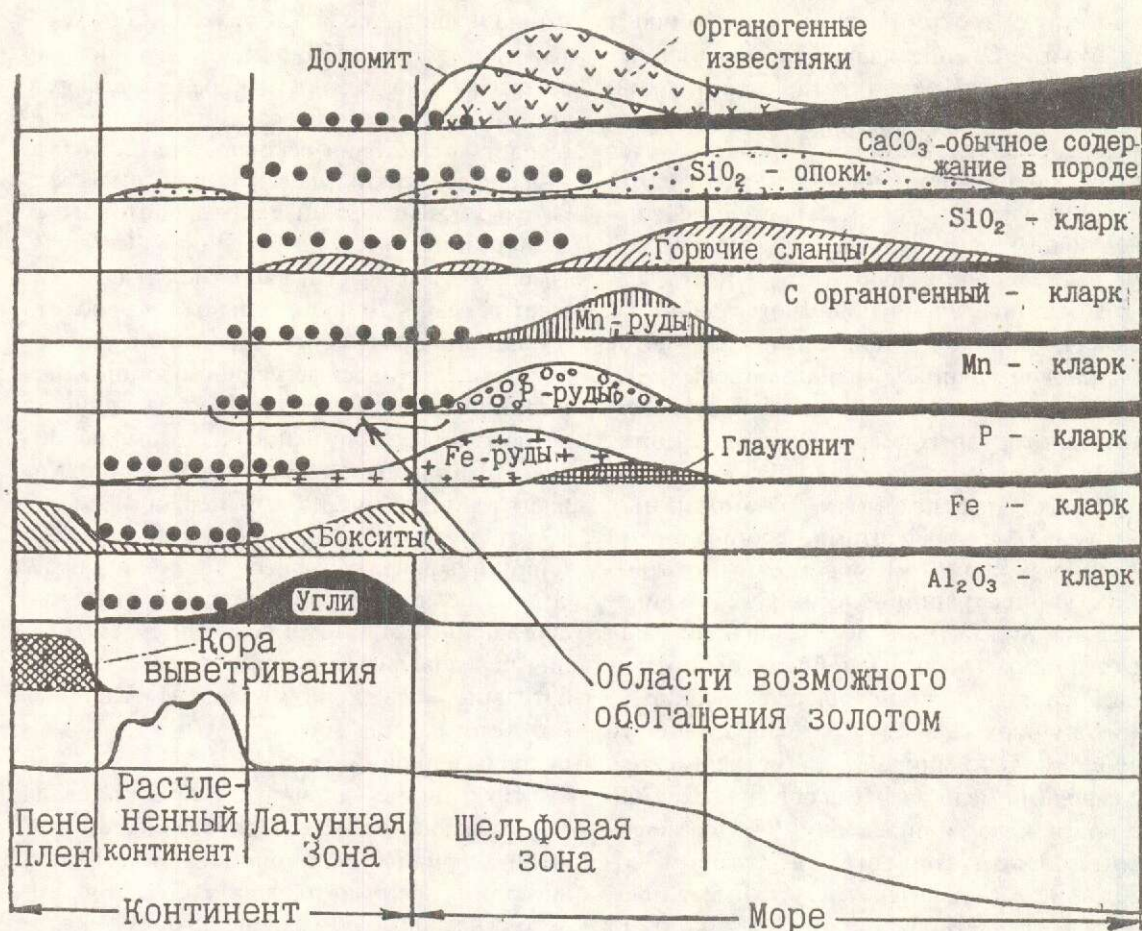


Рис. 1. Общий фациальный профиль аутигенного осадкообразования (по Н.М.Страхову) с областью возможного обогащения золотом угленосных, марганцевых, фосфоритовых, железорудных и бокситоносных бассейнов

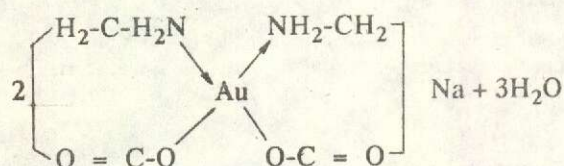
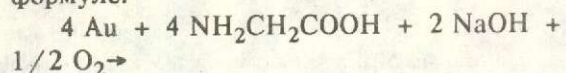
выявлено месторождение, представленное пластом турмалинового песчаника мощностью ≈ 10 м, имеющего региональное распространение. Средние содержания золота 5 г/т, ресурсы оцениваются в 20 т золота.

В триаде U-P-V наиболее устойчивы связи золота и урана. Наряду с месторождением Витватерсранд, некоторые урановые месторождения, характеризующиеся большими объемами и низкими содержаниями, могут являться источниками металлов платиновой группы (МПГ) и золота. Месторождение Корнейшен-Хилл в Австралии заключает $\approx 8 \cdot 10^5$ т руды с содержанием в г/т: Au — 5; Pt — 0,62 и Pd — 1,33. Повышенные концентрации металлов платиновой группы и Au в осадках и вулканитах, вероятно, подверглись при бо-

лее поздних процессах метаморфизму и частичному перераспределению. Представляет интерес и поиск угленосных горизонтов-аналогов фосфор-ванадиевых сланцев Китая, обогащенных металлами платиновой группы.

Наконец, проблема связи золота и углерода исследуется с самых разных позиций. Обогащенные золотом углеродистые горизонты без признаков сульфидизации или с сульфидами, но незолотоносными, зафиксированы на графитовых месторождениях Шри Ланка, месторождении Суха Рудна в Чехословакии, в Яно-Колымском золоторудном районе [1], на некоторых месторождениях Китая [21]. В последнем случае черные сланцы содержат органический углерод в количестве 2-36%

и, соответственно, золото в концентрациях (6,9—29) $5 \cdot 10^{-9}$. Данные углеродной изотопии органических остатков показывают, что значительное количество углеродистого вещества в рудных месторождениях связано с разложением остатков водорослей. В измененных боковых породах и рудных телах устанавливается положительная корреляция углерода с Ag, As, Sb и Hg, на основании чего предполагается, что органическое вещество перемещалось из боковых пород и концентрировалось по направлению к рудным жилам (трещинным зонам) вместе с золотом. Согласно экспериментальным данным по растворению золота органическими комплексами (включая хелаты), сульфогидрогенными комплексами $[\text{Au}(\text{SH})_2]^-$ и $[\text{Au}(\text{SH}_2)\text{S}]^{2-}$ и органической коллоидной адсорбции с аминогруппами и карбоксил-группами в качестве главных координаторов золота, связывание золота предполагается по следующей формуле:



Вскипание рудообразующих растворов в трещинах при падении давления и поступлении метеорных вод ведет к осаждению золота. С этим же связано разрушение органических и $(\text{SH})^-$ комплексов золота и других металлов, а также ассоциация золота с сульфидами. Угленосные пласты и линзы антракосолита, связанные с органическим веществом, образуют ассоциацию «кварц-сульфид-угленосных пластов».

Указанными примерами далеко не исчерпываются возможности выявления нетрадиционных типов золоторудных месторождений. Мы попытались очертить лишь общий контур этого перспективного направления исследований.

Проблема формирования большеобъемных месторождений. Не секрет, что быстрый рост добычи золота в последнее десятилетие в таких странах, как США,

связан с освоением большеобъемных месторождений — значительных по запасам руд со сравнительно низкими концентрациями металла (0,5—1,5 г/т), пригодных для открытой отработки и применения дешевой технологии обогащения руд. Эти месторождения также в значительной степени являются не-традиционными для России. Среди эксплуатируемых большеобъемных месторождений выделяются: латеритные коры выветривания; метасоматические вкрапленные руды сольфатарного типа в вулканитах; вкрапленные руды с дисперсным золотом в карбонатно-терригенных толщах; вкрапленные комплексные руды порфирирового типа. Масштабы концентрирования золота в этих группах месторождений таковы, что можно говорить о новом, ранее неизвестном в геологии золота явлении — устойчивом уровне концентрирования металла (на два порядка выше кларка) в самых различных геологических образованиях. При всем разнообразии вышеназванных геологических обстановок, их объединяют некоторые общие особенности, в том числе: своеобразный «рассредоточенный» тип энергетики рудообразования, когда минерализованными оказываются огромные объемы пород; участие метеорных вод как основного агента переноса металла; отсутствие выраженных структур линейного или центрального типа, которые могли бы явиться рудоконцентраторами. Детальные исследования латеритных золотоносных кор выветривания Австралии, Бразилии и Индии [18] показывают, что обогащение золотом латеритной коры выветривания является сложным физико-химическим процессом, в который вовлекаются не только выветриваемые, но и подстилающие породы. В последних метеорные воды под воздействием проникающих сверху сульфатов приобретают агрессивность, растворяют вкрапленность золотосодержащих сульфидов и по капиллярной системе транспортируют золото в форме тиосульфатных комплексов $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ или $[(\text{Ag}, \text{Au}) \cdot (\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ в верхнюю, окисленную часть, где микронные выделения золота и электрум фиксируются в ассоциации с гетитом и гематитом.

Такие процессы могли осуществляться еще в раннем протерозое [17], и такие древние палеопочвы представляют собой в

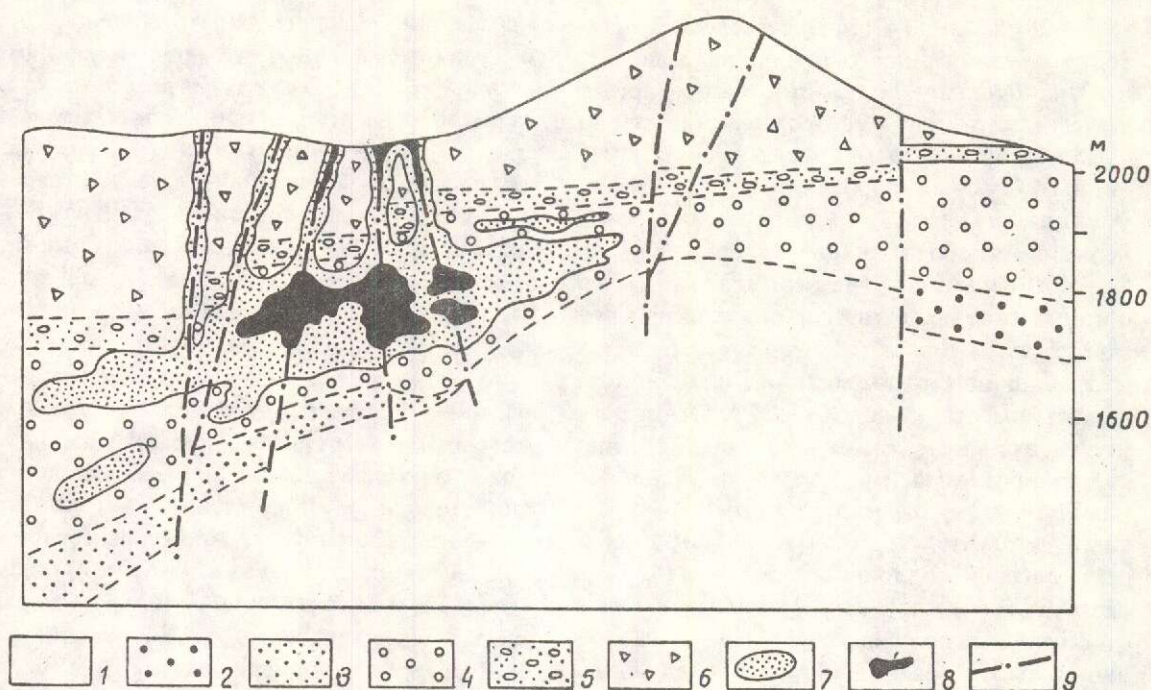


Рис. 2. Распределение золота на месторождении Раунд Маунтин. По Марку В.Сандеру и Марко Т.Эйнауди [16], схематизировано:

1 — палеозойские метасадочные породы основания; 2 — мегабрекчии; 3 — слабо уплотненные осадки; туфы; 4 — слабо сваренные, 5 — умеренно сваренные, 6 — сваренные средней плотности; рудная минерализация с содержанием Au: 7 — 0,4—1,4 г/т, 8 — >1,4 г/т

настоящее время серицитовые, плащеобразные зоны в гнейсах с повышенной золотеносностью.

Для золото-серебряных месторождений сольфатарного типа (кальдера Саммервил, Раунд Маунтин и др.) [16], связанных с третичными вулканитами, характерно развитие покровных фаций при отсутствии субвулканических и жерловых образований, а также в ряде случаев бронирование рудоносного горизонта сверху слабопроницаемыми покровами базальтов, через которые проникают редкие золото-кварцевые жилки-индикаторы расположенных на глубине метасоматически переработанных горизонтов (рис. 2).

Своеобразие провинции Бассейнов и Хребтов в штате Невада, к которой приурочены месторождения этого типа, состоит, по Е.Е.Милановскому, в развитии целой системы микрорифтов, отражающих

образование аналогичных месторождений наиболее вероятно в структурах активизации «сводово-глыбового» типа — Восточном Забайкалье, Алданском щите, Дальнем Востоке.

Большой интерес представляют условия формирования вкрапленных руд с тонкодисперсным золотом карлинского типа, которые в США активно отрабатываются и заключают суммарно свыше 1000 т золота. Наиболее близкие аналоги в нашей стране — такие крупные месторождения, как Олимпиадинское и Воронцовское. Ранее была показана приуроченность невадийского близмеридионального пояса вкрапленных золото-арсенидных месторождений к области смены фаций эвгеосинклинального и миогеосинклинального режимов развития, разделенных валлообразным поднятием в ордовик-кембрийское время, когда формировалась рудоформирующая формация [21]. Аналогично

также результаты личного изучения ряда месторождений, позволяют наметить три этапа формирования руд:

накопление первично-осадочных или гидротермально-осадочных руд вдоль зоны глубинного разлома, разделяющего мегаструктуры с эв- и миогеосинклинальным режимом развития;

внедрение в ларамийское время вдоль этой зоны интрузивных штоков и частичная перегруппировка рудного вещества с образованием небольших золото-скарновых месторождений;

образование в третичное время протяженных зон трещиноватости северо-западного простирания, диагональных простиранию пояса (тренды Карлин и Кортес) и формирование мощных зон аргиллизитов с наложенной ртутно-сурьмяной минерализацией, сопровождавшейся перераспределением золота вдоль зон метасоматоза и их частичным обогащением (рис. 3).

В последнее время появились дополнительные обоснования этой точки зрения. В фундаментальном исследовании Теда Теодора и Гейла Джонса (1992 г.) среди тонко- и криптокристаллических структур джаспероидов установлены под электронным микроскопом коллоидальные выделения кремнезема (опалина), имеющие сфероидальное ритмично-колломорфное строение и последовательно перекристаллизовывающиеся в халцедон и кварц, причем отдельные выделения золота микронного размера окаймляют такие опалиновые стяжения. На основании детального изучения стабильных изотопов S, O, D и флюидных включений рудных джаспероидов, барита, кальцита, пирита, реальгара и аурипигмента, группой авторов [12] установлено, что процесс рудообразования может быть описан моделью смешения нагретых метеорных вод глубокой циркуляции, богатых H_2S и экстрагирующих золото из подстилающих пород с переводом золота в форму $Au(HS)_2^{-1}$, с метеорными водами и окисным железом рудовмещающей толщи, что сопровождается образованием пирита и одновременным осаждением дисперсного золота по реакции: $Au(HS)_2^{-1} + FeO + H^+ = FeS_2 + Au + H_2O + 1/2 H_2$. Привнос каких-либо

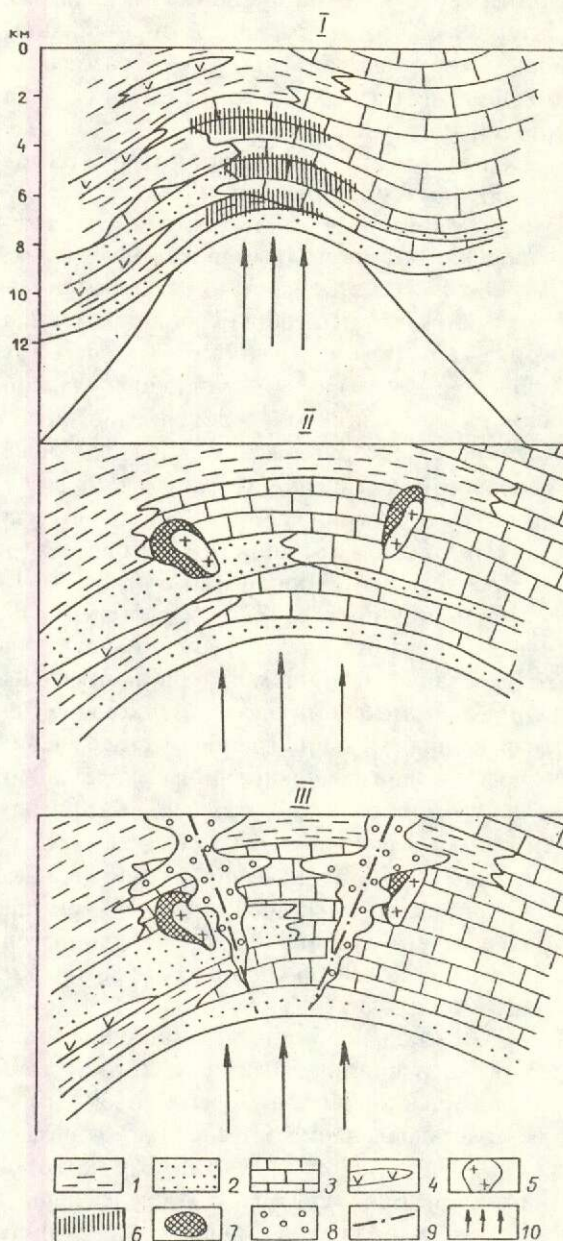


Рис. 3. Последовательность формирования месторождений карлинского типа:

I — этап гидротермально-осадочного рудообразования; II — этап внедрения гранодиоритовых, монцонитовых штоков и формирования золотоносных скарнов; III — этап развития трещинных структур и зон аргиллизации. 1 — глинистые сланцы и алевролиты; 2 — песчаники; 3 — битуминозные известняки, мергели и доломиты; 4 — вулканиты; 5 — гранодиориты, монзониты; 6 — прожилково-вкрапленные руды; 7 — пирит; 8 — арсенопирит; 9 — мышьяк; 10 — стрелы, указывающие на направление движения флюидов.

Таким образом, зоны длительной тектонической и энергетической активности на границе эв- и миогеосинклинальных структур и соответствующей смены фаций наиболее благоприятны для образования большого объема вкрапленных руд карлинского типа.

Специфика формирования медно-порфировых месторождений с попутной добычей золота, а иногда и собственно золото-порфировых систем (Рябиновое на Алдане, Васильковское в Казахстане), вероятно, состоит в том, что общая одновременная кристаллизация интрузивных штоков происходит с захватом металлоносных флюидов, а остывание и вовлечение во фронт активных метеорных вод — с последующей переработкой и незначительным выносом в ореольную часть рудообразующей системы.

Проблема образования богатых и сверхбогатых руд «бананцевого» типа. Актуальность этой проблемы не требует специального обоснования, однако в научном плане она разработана слабо, и могут быть намечены только принципиальные подходы к ее разрешению. К этой группе месторождений относятся многие вулканогенные с жильными или трубообразными телами, например, Агинское, Кочбулак, отчасти Дукат, Хисикари в Японии, а также некоторые жильные плутонические месторождения внутри небольших интрузивных штоков, например, Школьное на северо-востоке России или Калана в республике Мали.

Важно подчеркнуть, что многочисленными определениями абсолютного возраста устанавливается значительный временной разрыв между становлением последней магматической фазы (штока, субвулкана), с которой парагенетически связывается оруденение, и собственно процессом минералообразования. Этот разрыв может составлять 10—70 млн лет, причем увеличивается он от более глубоких «плутоногенных» месторождений к приповерхностным «вулканогенным» [10]. С этим периодом, видимо, и связаны созревание и насыщенность рудообразующей системы. Становление небольших интрузивных штоков и субвулканических тел определяет заложение в магматической камере соответствующей гравитационной «ловушки», которая заполня-

периментам А.П.Лихачева [4], накапливается в остаточных продуктах магматической дифференциации, а золото, в силу своей «благородности» уже на уровне структурирования магматического расплава выводится на субмикроскопическом уровне из расплава и отжимается в сторону гравитационной депрессии. Таким образом, происходит возникновение системы SiO_2 —Au, реликты которой хорошо диагностируются на многих эпитепальных месторождениях. При превышении флюидным давлением литостатического происходит инъекционное либо взрывообразное перемещение флюидов в верхние горизонты, где их взаимодействие с нагретыми метеорными водами обуславливает реализацию различных механизмов рудоотложения. Компактность рудообразующей системы (изолированные интрузивные тела), наличие структурных экранов и другие факторы, препятствующие разбавлению первично богатых эманаций, обеспечивают формирование богатых руд. Предлагаемая модель по существу противоположна идее о длительном формировании бананца за счет отложения из слабоконцентрированных растворов, хотя момент термостатирования, видимо, также важен, как обеспечивающий стабильность и повторяемость условий рудообразования (совмещение многостадийных продуктивных комплексов и др.).

Проблема стратиформных месторождений. Огромные площади развития золотоносных сланцево-терригенных толщ на территории России, зачастую лишенных признаков магматической деятельности, многие из которых являются бассейнами крупных россыпных районов, делают актуальной проблему выявления стратиформных золото-кварцевых месторождений, прототипом которых является крупное месторождение Бендиг в Австралии. Последнее обстоятельство, видимо, побуждает и зарубежных исследователей детально и всесторонне исследовать небольшие стратиформные месторождения Канады, Шотландии, Австралии и других регионов. Основные предлагаемые к рассмотрению модели рудообразования можно считать взаимодополнительными,

му периоду формирования руд или особенностям рудоотложения на конкретном объекте:

1. Гидротермально-осадочно-метаморфогенная модель [2] основное внимание уделяет признакам синхронности накопления осадков и золото-кремнистых образований и их последующей истории при эпигенезе и метаморфизме. Большое внимание уделяется тектоническим обстановкам накопления осадков, в том числе конседиментационной складчатости [5], их рудоносным фациям, геохимическим особенностям рудоносной толщи.

2. Эпигенетически-катагенетическая модель [13] связывает формирование золотоносных кремнистых растворов с периодом литификации осадков и детально рассматривает механизмы инъекций растворов в результате гидроразрыва и роста кварцевых агрегатов в водонасыщенных средах.

3. Метаморфогенная модель [8] связывает формирование субпластовых рудных тел с крупным периодом регионального метаморфизма, непосредственно следовавшим за образованием осадочной толщи. Основное внимание уделяется данным по изотопии и флюидным включениям, позволяющим обосновать метаморфогенный характер растворов и источник рудного вещества. В целом, все три названных подхода правомерны и делают основной упор на установление реальных соотношений геолого-формационных и рудных образований в условиях отсутствия магматических пород или иных признаков эндогенных процессов.

Выявление месторождений этого типа наиболее вероятно на периферии зон интенсивных складчатых и разрывных дислокаций и на их замыкании; в пределах сланцевых толщ, устойчиво обогащенных, по сравнению с кларком, мышьяком, золотом, висмутом; в связи с фациями многократного перемыва осадков, подводных оползневых движений и т.п., свидетельствующих об активном тектоническом режиме в период их формирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганжа Г.Б., Зверева Е.А. О новом типе золото-уг-
- ском золотоносном районе // Отеч. геология. 1994. № 1. С. 71—76.
2. Константинов М.М. Стратиформное золотое оруденение // Сов. геология. 1988. № 7. С. 14—20.
3. Корытов Ф.Я. Благородные металлы во флюоритах // Руды и металлы. 1994. № 2. С. 23—27.
4. Лихачев А.П. О переотложении рудогенных и петрогенных компонентов водными растворами // Геохимия. 1975. № 10. С. 1459—1475.
5. Ручкина Ю.Р. Обстановки накопления и типы органического вещества золотоносных черносланцевых отложений // Руды и металлы. 1993. № 3—6. С. 25—29.
6. Степанов В.А., Моисеенко В.Г. Геология золота, серебра и ртути. — Владивосток: Дальнаука, 1993.
7. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. — М.: Изд-во АН СССР. 1962. Т. 1.
8. Alan L. Sangster. Light stable Isotope for a Metamorphogenic Origin for Bedding-Parallel, Gold-bearing Veins in Cambrian Flysch, Meguma Group, Nova Scotia // Pap. 8th Quadrennial Symp. Int. Assoc. Genes. Ore Depos. (IAGOD), Ottawa, Aug. 12-18, 1990. Explor. Mining Geol. 1992. Vol. 1. No. 1. P. 69—79.
9. Bird Dennis K., C. Kent Brooks, Robert A. Gannicott. A gold-bearing Horizon in the Skaergaard intrusion, East Greenland // Econ. Geol. 1991. Vol. 86. P. 1083—1092.
10. Chiangjiang Li, Butai Xu, Xuliang Jieing, Yanghe Hu. Interval order between Host Magmatic Rock and Ore-forming Ages in Hydrothermal Deposits of Eastern China // Shiden Chishitsu = Resour. Geol. 1993. Vol. 43. № 5. P. 339—347.
11. Eric Marcous, Jean-Pierre Miesi. Noteworthy mineralogy of the Au-Ag-Sn-W (Bi) epithermal ore deposit Cirotan, West Jawa, Indonesia // The Canadian Mineralogist. 1993. Vol. 31. P. 727—744.
12. Genesis of sediment-hosted disseminated-gold deposits by fluid-mixing and sulphidization: Chemical-reaction-path modeling of ore-depositional processes documented in the Jerrit Canyon district, Nevada // A.H. Hofstere, J.S. Leventhal, H.K. Northrop // Geology. 1991. № 1. P. 36—40.
13. Heenderson J.K., Henderson M.N. Crack-seal texture in bedding-parallel, gold-bearing, columnar-quartz veins: evidence of fossil water sills // Pap. Geol. Surv. Can. 1990. 1 90-8. P. 163—168.
14. Hollister V., Hrushka D., Moore R. A mine-exposed hot spring deposit and related epithermal gold resource // Econ. Geol. 1992-87.1 2. P. 421—424.
15. Huston David L., Chris Bolger, Greg Cozens. Comparison of Mineral Deposits at the Gecko and Devil Deposits: Implication for Ore Genesis in the Tennant Creek District, Northern Territory, Australia // Econ. Geol. 1993. Vol. 88. P. 1198—1225.
16. Mark V. Sauder, Marco T. Einaudi. Epithermal Deposition of Gold during Transition from Propylitic to Potassic Alternation at Round Mountain, Nevada // Econ. Geol. 1990. Vol. 85. P. 285—311.
17. Martini J.E. Stratiform gold mineralisation in palaeosol and ironstone early Proterozoic age, Transvaal

- sequence, South Africa //Miner. deposita. 1986. Vol. 21. № 4. P. 306—312.
18. *Omana P.K., Santosh M.* Morphology of Grains in Laterite Profiles of Nilambur, Kerala: Implication for the Genesis of Supergene Gold Deposits //Journal Geol. Soc. India. 1991. Vol. 57. № 6. P.560—568.
 19. *Pankka Heikki S.* A new type of an epigenetic deposit associated with an early Proterozoic basin closure in Northeastern Finland //Jl. Annu. Meet. Soc. Econ. Geol., Toronto, May 27-29, 1991: Programm with Astr. Vol. 16/Geol. Assoc. Canada (MAC) — CA94.
 20. *Pouint G.* Or stratiforme: exemple des roches alumineuses de la mine Montauban (Quebec) //Chron. rech. miniere. 1988. Vol. 56. 1 № 492. P.52—53.
 21. *Zhang Jingrong, Zhu Fahua.* Transportation and precipitation of gold stratabound gold deposits of Cambrian black rock series in Eastern Guangxi — Western Guangdong area //Kuangchuan dizhi = Min. Deposits. 1992. Vol. 11. № 3. P. 240—251.

Konstantinov M. M.

NEW AND POTENTIAL TYPES OF GOLD ORE DEPOSITS

Formation conditions of large-volume deposits are considered. The scope of study covers several deposit types, namely, impregnated ores carrying finely-dispersed gold; crusts of weathering; solfataric-type epithermal deposits; gold-porphyry deposits. Conditions favourable for the formation of ultra-rich («bonanza-type») ores are analyzed. The possibility of advent of non-traditional deposit types is considered using a set of specific examples of Au geochemical associations with Hg, Ag, Pt, Sn, Fe, Mn, Al, F, Cl, B, C. Special emphasis is put on the characterization of stratiform gold-quartz deposits in terrigenous shaly rock masses.



ЦНИГРИ

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

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 отдель-

ных 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-Б5, ЦНИГРИ
Телефон: (095) 313-18-18, 315-26-38
Телегайп 114142 АДУЛЯР
Факс: (095) 315-27-01

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 681.5:553.411+553.8+553.41/48

© Коллектив авторов, 1995

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ (ИАКС) ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

В. В. КУЗНЕЦОВ, С. А. САНДОМИРСКИЙ, И. А. ЧИЖОВА, М. Ю. КАТАНСКИЙ,
С. Н. ЖИДКОВ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

Приводится описание разрабатываемых в ЦНИГРИ компьютерных технологий, обеспечивающих информационно-аналитическое сопровождение задач, решаемых на основных стадиях геологоразведочных работ на благородные и цветные металлы. Основу технологий составляют многофакторные поисковые, прогнозные, разведочные и статистические модели рудных объектов, банки разнотипной геологической информации. В программных средствах реализованы идеологии экспертных систем, гибридных экспертных систем, ГИС-технологий и современные методы статистического анализа данных.

Характерной чертой применения ЭВМ и математических методов в НИР ЦНИГРИ всегда был прикладной характер этих исследований. Их основу составляли научно-методические разработки, направленные на повышение эффективности поисковых, прогнозных и разведочных работ. Они базировались на методах формационного анализа, глубокого изучения структурных условий формирования месторождений благородных и цветных металлов, вещественного состава руд и рудовмещающих пород. Наиболее яркое воплощение этот подход получил в создании автоматизированных прогнозно-поисковых комплексов и моделей рудных объектов.

В настоящее время разрабатываются компьютерные технологии сопровождения главных направлений научных исследований ЦНИГРИ. Среди них выделяются исследования по совершенствованию прогнозно-поисковых и разведочных методик на основе обобщения и анализа накопленной геологической информации и создания разнотипных и разноуровневых моделей рудных объектов, а также работы по мони-

торингу запасов и ресурсов минерального сырья. Совокупность программных средств этих технологий и сопровождающих их банков данных образуют информационно-аналитические компьютерные системы (ИАКС) прогноза и поисков месторождений цветных и благородных металлов.

Целеназначение информационно-аналитических компьютерных систем. ИАКС должны обеспечивать оперативность обработки информации, возможность манипулирования разнотипными многомерными данными, интерактивность при решении с их помощью прогнозно-поисковых задач и наглядное представление результатов с использованием графических возможностей современных компьютерных средств. Информационную основу ИАКС составляют базы и банки данных разнотипной первичной и агрегированной геоинформации.

Информационно-аналитическое компьютерное сопровождение системы мониторинга предназначено для повышения оперативности и эффективности принятия управленческих решений по использованию,

воспроизводству и развитию минерально-сырьевой базы (МСБ). Оно включает в себя специализированные банки геолого-экономической информации, программные средства расчета показателей минерально-сырьевой базы и компьютерную картографическую систему (ККС) управления минеральными ресурсами на основе ГИС-технологий.

Реализация ИАКС системы мониторинга осуществляется в составе филиала специализированного компьютерно-аналитического центра (СКАЦ ЦНИГРИ). Основной целью его создания является информационно-аналитическое обеспечение: программ развития и воспроизводства МСБ РФ в целом и в отдельных экономических регионах и субъектах федерации РФ; системы недропользования в РФ; системы отраслевой статистики.

Компьютерные технологии решения поисковых и прогнозных задач. Основу компьютерных технологий прогноза, поиска и оценки месторождений благородных и цветных металлов составляют модели месторождений — геолого-генетические, прогнозно-поисковые, параметрические, градиентно-векторные, многофакторные, а также атласы-определители пород и руд рассматриваемых типов месторождений. На базе этих моделей и атласов сформированы соответствующие банки данных с реквизитами, эквивалентными элементам моделей — признаками и критериями. Группы реквизитов характеризуют определенные металлогенические категории от металлогенической зоны до рудного тела. В то же время существующие методы и методики прогноза и оценки, составляющие соответствующий банк методов, по своей разрешающей способности ориентированы на выявление признаков определенного ранга. Сопоставление методов и признаков составляет основу компьютеризации прогнозно-поисковых технологий.

В ЦНИГРИ разрабатываются два подхода к созданию компьютерных технологий решения прогнозно-поисковых задач. Один подход базируется на использовании и развитии экспертных систем, гибридных экспертных систем и интеллектуально-графиче-

ская геологическая информация по рудным объектам различных иерархических уровней (рудный район, рудное поле, месторождение). Для построения решающих правил при этом широко используются различные эвристические классификационные процедуры.

Второй подход базируется на статистических моделях изменчивости геополей. В качестве исходной информации используются, как правило, первичные данные различных инструментальных съемок. Для построения решающих правил в основном применяются статистические меры контрастности аномалий и различные регрессионные алгоритмы.

Информационную основу решения прогнозных и поисковых задач на основе применения ИАКС составляют базы и банки данных (БД) первичной и агрегированной геoinформации. БД обычно содержат определенным образом структурированную информационную базу, сопровождающуюся системой управления и обработки.

Компьютерные технологии на основе экспертных систем. Технология проектирования экспертных систем «Астра» базируется на многофакторных моделях геологических объектов разных металлогенических уровней (провинция, узел, район, поле, месторождение), оригинальной методике построения базы знаний, основанной на анализе базы данных и логико-информационном подходе к решению задач классификации, идентификации объектов, поиска ближайшего аналога, выделения системы информативных признаков. Она позволяет быстро создавать надежные специализированные экспертные системы для решения прогнозных задач. В настоящее время разработаны около десяти подобных региональных систем, обеспечивающих в результате проведения экспертизы любого объекта формирование следующих заключений: об отнесении объекта к определенному геолого-промышленному типу; о степени изученности объекта; в случае недостаточной изученности рекомендуется рациональный комплекс методов проведения ГРП; дается оценка перспективности объекта и выгодности вложения средств в его дальнейшее изучение и последующую отработку. В сис-

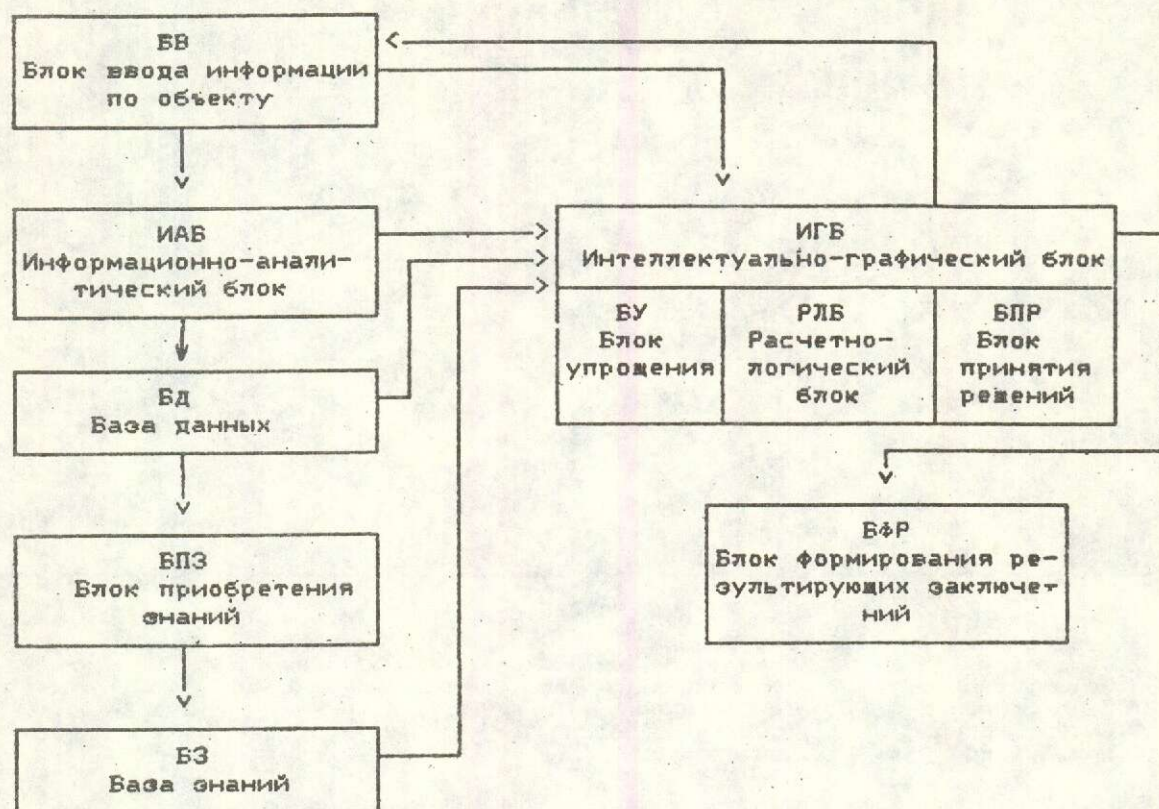


Рис. 1. Блок-схема интеллектуально-графической системы.

титута. Они обеспечивают экспрессный характер и высокую достоверность оценок, подтвержденных математическими расчетами, в том числе в сложных геологических обстановках, возможность выбора рационального комплекса видов поисковых работ.

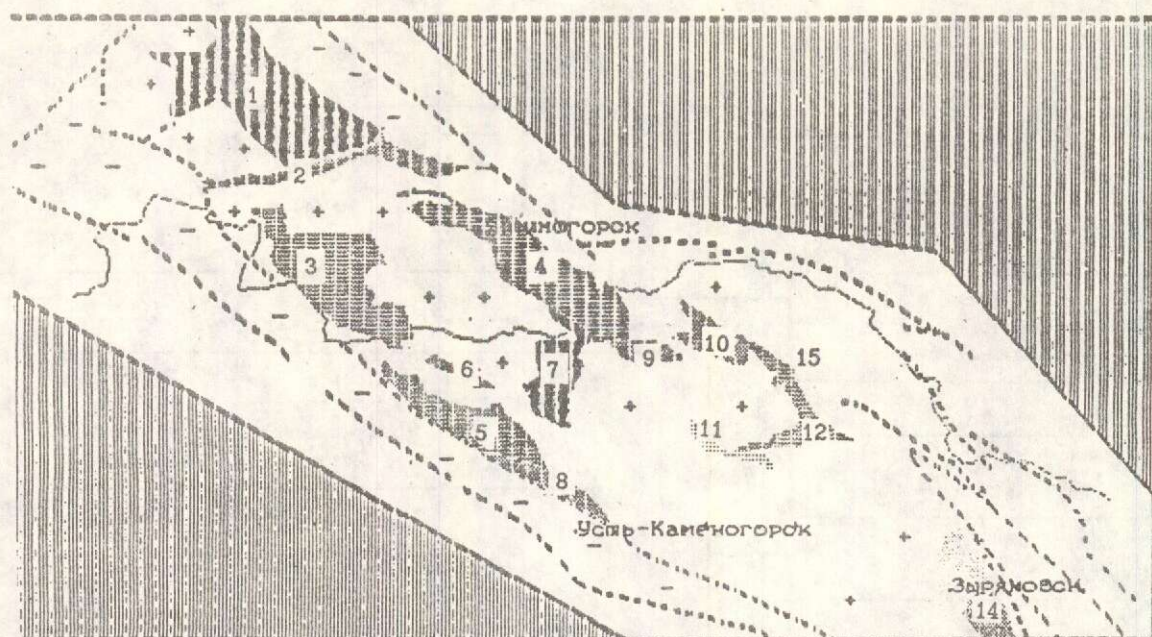
Для хранения информации по геологическим объектам разных металлогенических уровней (район, поле, месторождение) специально разработана СУБД «Лист» (Чижова И.А., Пархоменко С.П., Попов Т.А.), в которой на каждом уровне объекты описываются своей иерархической системой признаков.

ИГС «Spring» является прямым развитием технологии «Астра». Общая схема действия технологии «Spring» (рис. 1) состоит из трех взаимосвязанных блоков — информационно-аналитического с использованием ГИС-технологий (визуализации исходной информации); интеллектуально-графического (принятия решений) и информацион-

ного (визуализации результатов работы системы).

Основой для работы всех трех блоков является база знаний системы, разработанная на фактографической и графической информации по эталонным объектам того или иного ранга — в зависимости от стоящей перед системой задачи. Основой базы знаний являются банки данных, формируемые по данным параметрических моделей месторождений (использование последней позволяет не только проводить оценку прогнозных ресурсов, но и оценивать удаленность объектов от предполагаемого рудного тела).

Работа системы начинается с представления пользователю информации (в графическом и фактографическом виде) по распределению прогнозных ресурсов, запасов, добычи и т.д. в изучаемом районе в пределах рудных районов, полей, месторождений, рудопроявлений и т.д., что позволяет наметить оптимальные площади для прогноза по-



РУДНЫЕ РАЙОНЫ

- | | | |
|------------------|----------------------------|-----------------|
| 1. Рубцовский | 7. Веркубинский | 13. Шубинский |
| 2. Таловский | 8. Березовско-Белоусовский | 14. Зыряновский |
| 3. Золотушинский | 9. Снегиринский | 15. Старковский |
| 4. Знеиновский | 10. Сакмаринский | |
| 5. Приуртский | 11. Тихинский | |
| 6. Прикубинский | 12. Лениновский | |

Рис. 2. Форма представления результатов работы информационно-аналитического блока.

исков и оценки (рис. 2). Интеллектуальные возможности системы обеспечивают оптимальную стратегию ведения гибкого диалога, т.е. система выбирает следующий вопрос на основании анализа предыдущих ответов; в случае достаточности информации по объекту для принятия решения опрос прекращается. Таким образом, жесткая схема диалога, предварительно заложенная в дереве решений системы и предполагающая получение информации по нескольким сотням признаков, преобразуется в сокращенный вариант из нескольких десятков вопросов. Значимость каждого признака и критерии для принятия решений для конкретной задачи рассчитываются логико-информационными методами по выборке эталонных объектов, содержащихся в базе данных.

Работа системы «Spring» ориентирована на четыре типа заключений: опознание элементов рудного или околорудного пространства, к которому следует отнести объект

ционном (минеральном) типе оруденения; заключение о масштабе прогнозируемого оруденения с приведением конкретных цифр прогнозных ресурсов; заключение об удаленности объекта оценки от рудного тела. Визуализация результатов осуществляется на графической основе с корректировкой исходных показателей, проведенной по рекомендациям прогнозирующей системы. На базе ИГС «Spring» на Рудном Алтае выявлены информативные признаки и их сочетания, разработана методика подсчета прогнозных ресурсов.

В целом при решении любой из приведенных выше задач процент принятия ошибочного решения не превышает 28 %, что следует признать удовлетворительным. Анализ неправильно распознанных геологических ситуаций показывает, что наибольший процент ошибок возникает в над- и подрудном пространствах, где геоинформационная база наименее достоверна, или на объектах, имеющих переходные черты между минеральными типами, или имеющими запасы

Задачи оценки удаленности объекта от рудного тела решаются на основе элементов математической статистики совместно с распознаванием образов. На основе теории распознавания образов выявляются элементы околорудного пространства, которые с помощью численных методов преобразуются в геометризованные модели (с использованием статистических оценок параметрических характеристик).

Компьютерные технологии на основе статистических моделей. Для эффективного проведения поисковых работ геохимическими и геофизическими методами в районах, перекрытых достаточно мощными (до первых десятков метров) рыхлыми отложениями, или при поисках глубокозалегающих «слепых» рудных тел надо уметь выделять слабоконтрастные аномалии. Компьютерная технология «Аномалия» (КТ «Аномалия») разработана для выделения слабых многокомпонентных геохимических аномалий. В основе технологии лежит представление о том, что в области локального геохимического фона химические элементы имеют многомерное нормальное (логнормальное) распределение, а в роли аномальных рассматриваются содержания, маловероятные для фоновой распределения. Обычно в качестве критерия аномальности используется двусторонний 5 % или 2,5 % уровень значимости, что соответствует величинам $\pm 2\sigma$ (2 сигмы) или $\pm 3\sigma$ (3 сигмы), где σ — оценка стандартного отклонения фоновой совокупности.

Таким образом, к слабо аномальным можно относить содержания, находящиеся вблизи этих критических значений. Если содержания химических элементов в области фона независимы (некоррелированы), то в рамках модели нормального распределения на фоне оптимальной процедурой выделения многомерных аномалий будет тот же подход на основе правила «две сигмы», примененный к аддитивным показателям контрастности (сумма логарифмов концентраций при логнормальном распределении на фоне). На практике же очень часто оказывается, что в областях местного фона содержания многих элементов коррелированы. В этой ситуации применение правила «две

слабых аномалий, т.е. традиционная рецептура оказывается не оптимальной. М.Д. Каргером [1] было доказано, что если для местного фона принять модель многомерного нормального распределения, то оптимальной мерой контрастности многомерных аномалий будет величина обобщенного расстояния от исследуемой пробы до центра фоновой совокупности в признаковом пространстве. Обобщенное расстояние является многомерным аналогом квадрата одномерной контрастности, в котором роль дисперсии фона S выполняет ковариационная матрица фоновой совокупности, т.е. учитываются корреляционные связи между химическими элементами в области местного геохимического фона.

КТ «Аномалия» реализована в виде пакета прикладных программ. Задача решается по следующей технологической схеме:

а) выделяется совокупность проб, отвечающих местному геохимическому фону;

б) вычисляются оценки параметров местного геохимического фона по фоновой совокупности: векторы средних, стандартных отклонений и корреляционная матрица;

в) отбираются информативные признаки, обеспечивающие максимальную контрастность в заданных пробах или максимальное число проб с заданным уровнем аномальности;

г) вычисляется величина многомерной контрастности по информативному набору признаков в заданных точках опробования;

д) строится карта изолиний многомерной контрастности.

КТ «Ресурсы» предназначена для решения задачи количественного крупномасштабного прогнозирования (ККМП) — количественной оценки прогнозных ресурсов объектов неясной перспективности, выявленных в результате проведения поисковых работ в пределах одного рудного района.

По смыслу задачи ККМП следует полагать, что все рассматриваемые в ней объекты — изученные месторождения (эталонные) и объекты неясной перспективности (ОНП) — геологически однотипны и заведомо рудодобывающие, т.е. как бы принадлежат единой генеральной совокупности. Из-за случайного цензурирования происходит селективный выбор относительно крупных элементов

разведочном изучении района действует еще один фактор цензурирования — постепенное сужение площадей работ и концентрирование усилий на наиболее «перспективных» объектах. В результате в разряд эталонов попадает небольшое число наиболее крупных объектов, изученность которых качественно и количественно выше изученности ОНП.

Таким образом, геологоразведочный процесс объективно формирует ситуацию, основные черты которой, существенные для ККМП, таковы: число эталонов мало и меньше числа ОНП на исследуемой территории; эталоны и ОНП принадлежат единой совокупности рудных объектов; в среднем эталон имеет большие запасы, чем ОНП; объекты изучены с разной степенью детальности, что влечет за собой неравноточность возможных оценок их параметров.

Эти особенности вместе с требованием количественной оценки ресурсов принципиально отличают ККМП как от мелкомасштабного прогнозирования, так и от задач детального прогноза. Поэтому ККМП — самостоятельная задача прогнозирования, требующая индивидуальной постановки и решения. Алгоритм ее решения состоит из приводимой ниже последовательности процедур.

Регрессия. ККМП должно выполняться по схеме задачи множественной регрессии: объекту ставится в соответствие вектор прогнозных признаков; уравнение регрессии запасов на прогнозные признаки строится по эталонам и используется для получения оценок ресурсов ОНП и погрешностей этих оценок.

Масштабирование. При совместной обработке съемок разных масштабов их результаты следует привести к одному масштабу. В компьютерной технологии «Ресурсы» масштабирование выполняется путем разрежения густых сетей, внесения поправок в параметры аномалий и пр.

Формирование признаков. Регрессорами (прогнозными признаками) служат величины, вычисляемые путем «свертки» первичных данных. Выбор прогнозного признака обосновывается коррелированностью его с запасами в рамках той или иной априорной модели образования соответствующего гео-

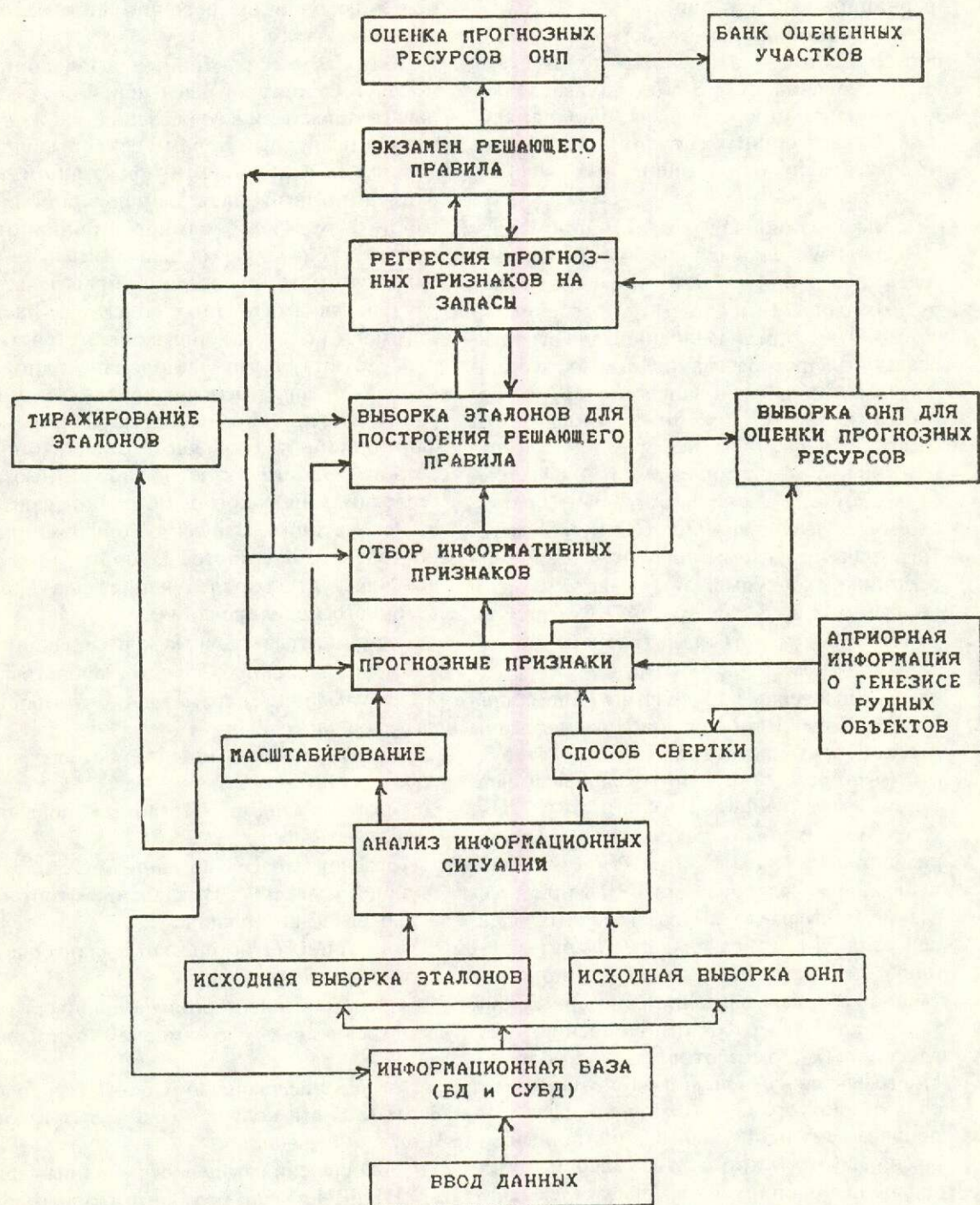
зависит от плотности наблюдений на ОНП. При высокой плотности для этого используются стандартные процедуры интерпретации аномалий, а в качестве прогнозных признаков — характеристики аномалий, которые априори информативны относительно рудоносности. Если плотность наблюдений на ОНП мала, то целесообразны непараметрические характеристики шероховатости полей как меры контрастности слабых аномалий.

Отбор информативных признаков — необходимая процедура множественного регрессионного анализа. Рассматриваемой задаче наиболее адекватен следующий общий критерий информативности: из множества признаков наиболее информативными полагаются те, в пространстве которых эталоны и ОНП максимально разобщены.

Стохастическое моделирование изменчивости. Выборка эталонов не является представительной для ОНП — как по запасам, так и зачастую по геолого-структурным, ландшафтно-геохимическим и другим условиям, которые хотя и не связаны непосредственно с запасами, но сказываются на значениях прогнозных признаков. Такая непредставительность может обесмыслить прогноз. Эффективный способ преодоления этой трудности — имитационное тиражирование эталонов, с тем чтобы охарактеризовать ими разнообразие существенных факторов изменчивости рудных объектов. Тиражирование эталонов безусловно необходимо при малом (1—2) числе эталонов и желательно в остальных случаях.

В соответствующей процедуре исходная выборка дополняется новыми объектами, которые моделируются путем варьирования значений указанных факторов на реальных эталонах. Вероятностная структура новой выборки эталонов формируется согласно принципам стохастического бутстреп-моделирования, генерирование прогнозных признаков для нового объекта выполняется по алгоритмам решений соответствующих прямых задач геофизики и геохимии.

Рассмотренные процедуры ККМП свидетельствуют о том, что выбор конкретной



факторов, как масштабы съемок, плотность системы наблюдений, размерность (отношение числа объектов к числу признаков). Для учета этих факторов вводится понятие информационной ситуации.

Функциональная структура КТ «Ресурсы» состоит из 5 блоков (блок-схема изображена на рис. 3): блока ввода данных, информационной базы, блока анализа информационных ситуаций, технологического блока, банка оцененных рудоносных участков.

Информационная база КТ «Аномалия» и «Ресурсы» включает в себя базы данных, содержащих информацию по исследуемым рудным районам, и системы управления базами данных, предназначенной для редактирования и преобразования данных, формирования и обработки запросов к БД и формирования выборок по запросам. БД содержат первичную информацию инструментальных геохимических и геофизических съемок, а также картографическую геологическую информацию: литолого-стратиграфические схемы, элементы разрывной тектоники, контуры рудных участков и рудных тел и т.п. В качестве СУБД использовался пакет «Бакард», разработанный С.К.Сакояном и др., 1991 г.

Компьютерные технологии «Аномалия» и «Ресурсы» были успешно использованы при поисках и прогнозе жильных золоторудных месторождений золото-кварцевой формации в ряде районов России и стран СНГ.

Компьютерные технологии решения разведочных задач. Стратегическим направлением модернизации ГРР явилось создание многофакторных разведочных моделей рудных тел, позволяющее решить комплекс методических задач на количественной основе, с введением численных критериев качества работ и применением прогрессивных компьютерных технологий. Многофакторное моделирование позволяет оперативно управлять процессом разведки, придавая ему непрерывный динамичный характер, и обработки месторождений, путем сравнения планируемых показателей качества и количества добываемого сырья, рентабельности производства с требованиями мирового рынка.

Необходимым условием использования

банка и программных продуктов, обеспечивающих оперативный доступ к любой информационной базе, систематизацию и обработку данных, собственно моделирование для решения частных разведочных задач.

Банк многофакторных разведочных моделей состоит из базы первичных данных, содержащей всю разведочную информацию по рудным телам всех морфологических типов; объектно-факторной информационной базы, представляющей собой структурированное признаковое пространство с формализованными в результате математической обработки характеристиками рудных объектов. Факторы имеют количественные характеристики и образуют ряд функционально однородных групп, описывающих различные операции разведочного процесса; геолого-информационной базы, содержащей описательно-графическую информацию по геологии, минералогии, методике разведки и эксплуатации. Структура информационной базы банка многофакторных моделей позволяет решать следующие задачи разведочного моделирования:

- создание разведочных классификаций;
- поиск эталонных объектов-аналогов;
- обоснование параметров оптимальной разведочной сети;
- выбор рациональных схем отбора и обработки проб;
- подсчет запасов по данным поисково-оценочных работ;
- подсчет запасов по данным эксплуатационной разведки с составлением сортовых технологических планов;
- описание статистических характеристик подсчетных параметров;
- описание анизотропии изменчивости параметров в двух- и трехмерном пространстве;
- выделение скоплений богатых и очень богатых руд в контуре балансовых запасов и их геометризацию.

Для решения вышеперечисленных задач в ЦНИГРИ создан ряд оригинальных компьютерных технологий, в том числе и диалоговых экспертных систем. Одни из них предназначены для первичной обработки исходных разведочных данных и преобра-

функционирования объектно-факторной базы моделей (Matrica, Тарасов А.С.; Gtagient, Чижова И.А., Тарасов А.С.); другие разрабатывались специально для целей классификации и подбора объектов-аналогов на ранних стадиях изучения месторождений (СП Astra, Чижова И.А.), обоснования параметров оптимальной разведочной сети в зависимости от уровня изменчивости подсчетных параметров, характера распределения в рудных телах скоплений богатых руд и требований к точности подсчета запасов (ЭС Сеть, Тарасов А.С.), геометризации балансовых руд и подсчета запасов, в том числе — многовариантного при разработке кондиций (Interrud, Гречишников Д.Н., Чижова И.А., Чижов В.Е.; Амет-500, Тарасов А.С.), обоснования рациональных схем отбора и обработки геологических проб (Kriter, Жидков С.Н.).

Все компьютерные технологии опробованы на ряде месторождений золота и цветных металлов. Систематизированные результаты моделирования приведены в серии атласов многофакторных разведочных моделей месторождений цветных металлов, коренного и россыпного золота (1991—1994 гг.).

Компьютерное сопровождение системы мониторинга минерально-сырьевой базы (СМ МСБ). В состав компьютерного сопровождения СМ МСБ входят компьютерная картографическая система (ККС) управления МСБ и комплекс программ для расчета показателей, характеризующих состояние и развитие МСБ. ККС в СМ МСБ выполняет двойную функцию: во-первых, с ее помощью на картографической основе проводится анализ приоритетности субъектов федерации по текущим значениям показателей МСБ; во-вторых, она позволяет сопоставлять приоритетность субъектов федерации в перспективе по результатам расчета показателей для различных вариантов развития и воспроизводства МСБ и оценивать состояние МСБ России в целом.

Компьютерная картографическая система мониторинга минерально-сырьевых ресурсов России разработана ЦНИГРИ по заказу Федеральной геологической службы. Цель ККС — информационно-аналитиче-

ских решений по реализации Федеральной минерально-сырьевой программы (ФМСП), т.е. системы воспроизводства минерально-сырьевой базы.

Основу ККС составляют фактографические и картографические БД, содержащие 4 группы показателей: ресурсные, добычные, показатели спроса и финансовые. Эти показатели содержатся в базе в статическом варианте по состоянию на определенную дату и в динамическом варианте — за определенный период времени в ретроспективе или перспективе. Кроме того, они могут быть представлены в виде различных отношений, отражающих, например, обеспеченность запасов ресурсами, компенсацию добычи приростами запасов, удельными затратами на добычу и т.п.

Фактографические базы данных (ФБД) имеют двухуровневую структуру: базы данных по регионам, содержащие для различных видов минерального сырья значения геолого-экономических (запасы, прогнозные ресурсы, годовая добыча, количество разрабатываемых и резервных месторождений, количество лицензий, выданных на разработку месторождений, стоимостные показатели геологоразведочных работ и др.) и инфраструктурных показателей, характеризующих регионы (субъекты федерации) в целом; базы данных по объектам (месторождениям) — запасы разных категорий, годовая добыча, средние содержания полезных компонентов и др. ФБД обоих уровней могут периодически пополняться с сохранением ранее накопленной информации, что дает возможность проводить ретроспективный анализ состояния минеральных ресурсов. В соответствии с двухуровневой иерархией БД в ККС реализована двухуровневая система запросов к БД: региональных и локальных графических и текстовых (логико-арифметических) запросов. Программные средства ККС обеспечивают однозначное соответствие между графическими и текстовыми запросами. Наглядность этого соответствия достигается использованием многооконного экрана, с одновременным выводом картографической и соответствующей ей табличной информации (рис. 4).

Важным элементом ККС является наличие встроенных вычислительных средств,

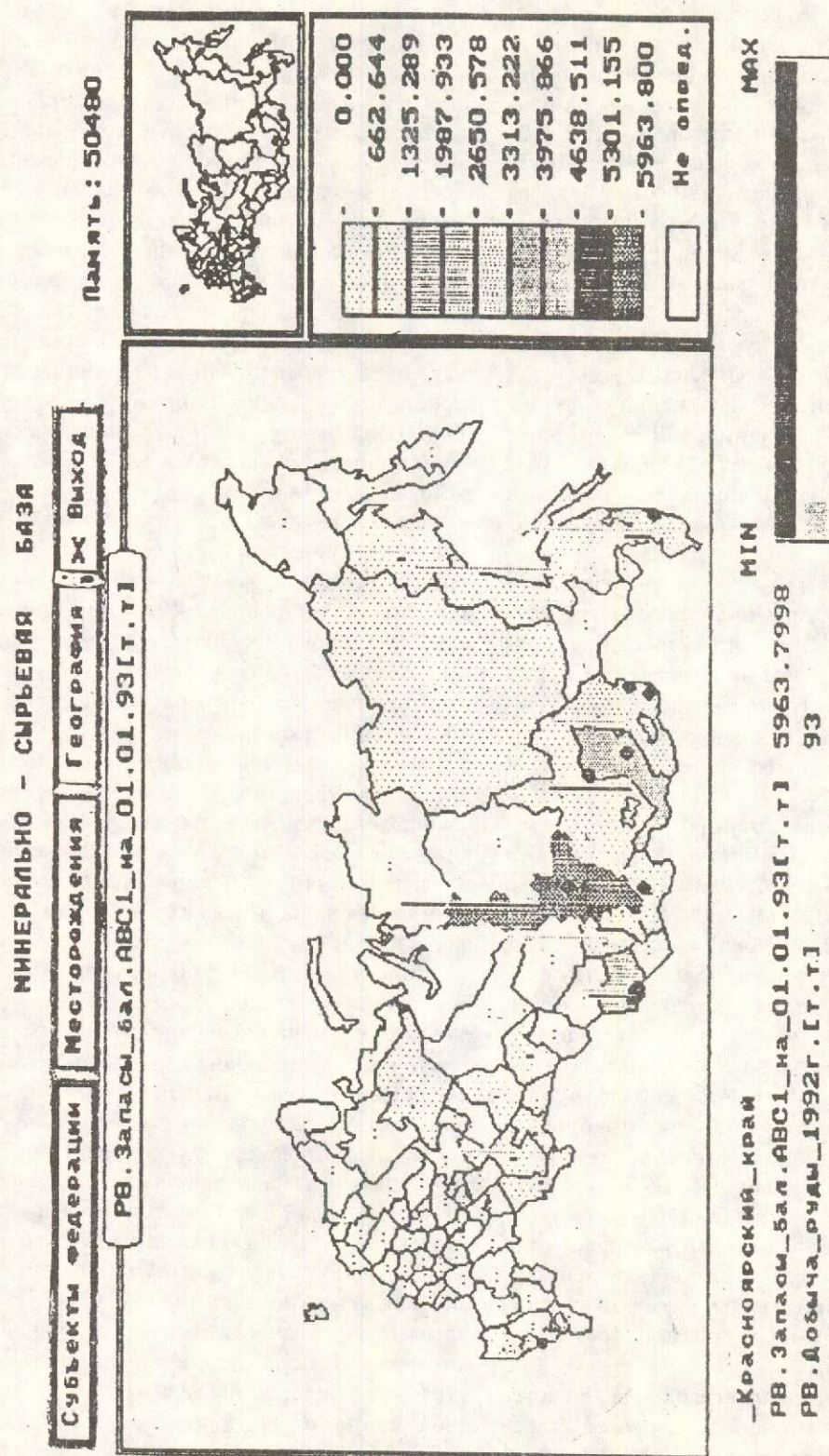


Рис. 4. Пример экранной формы ККС.

арифметических преобразований над показателями ФБД любого уровня. Для получающихся при этом производных показателей формируются графические образы, которые могут обрабатываться так же, как и исходная картографическая информация. Более того, используя последовательность региональных и локальных запросов и интегральные преобразования над исходными показателями ФБД нижнего уровня, пользователь ККС может сформировать ФБД верхнего уровня. Еще одной существенной особенностью ККС является возможность создания графических образов точечных объектов с помощью встроенных или независимых графических редакторов. Допускаются графические образы двух типов: маркеры точечных объектов, наносимые на карту, и векторные «картинки», отражающие строение точечных объектов на более детальном уровне (схематические планы или разрезы месторождений), и изображаемые в отдельном окне рабочего экрана. Программные средства ККС оснащены также элементами деловой графики. Эти средства в совокупности со встроенным вычислителем образуют аналитический блок ККС, с помощью которого пользователь может выполнять необходимые расчеты, ретроспективный анализ и моделирование на перспективу состояния минерально-сырьевой базы как по отдельным показателям, так и по их сочетаниям. ККС реализована в виде автоматизированных рабочих мест (АРМ) анализа МСБ РФ в Роскомнедра и Государственной Думе.

Многовариантные расчеты показателей состояния и развития МСБ и их различных пропорций выполняются с помощью специализированного комплекса программ, представляющего результаты в цифровой и графической формах. Эти расчеты основаны на зависимостях между главными показателями использования и развития МСБ, предложенных А.И. Кривцовым с соавторами [2]:

$$dn+2=\frac{2bp}{k} \quad (1)$$

$$m=ak \quad (2)$$

$$dn+2=\frac{2abp}{m} \quad (3),$$

где d — среднегодовые темпы добычи,
 n — период времени (в годах),
 b — обеспеченность добычи запасами,
 p — среднегодовые темпы прироста запасов.

k — коэффициент компенсации накопленной добычи приростами запасов,

a — отношение затрат на прирост единицы запасов к стоимости единицы добытого минерального сырья.

Длительность среднесрочной перспективы (n) обычно отвечает 10 годам, при этом условия выражения (1) и (3) преобразовываются к следующему виду:

$$k=\frac{bp}{5d+1} \quad (4)$$

$$m=\frac{abp}{5d+1} \quad (5)$$

Динамика системы МСБ задается добычей, которая так или иначе определяется необходимым потреблением. Рост добычи выражается ее среднегодовым значением (d — в долях от уровня начала периода). Для каждого полезного ископаемого известна

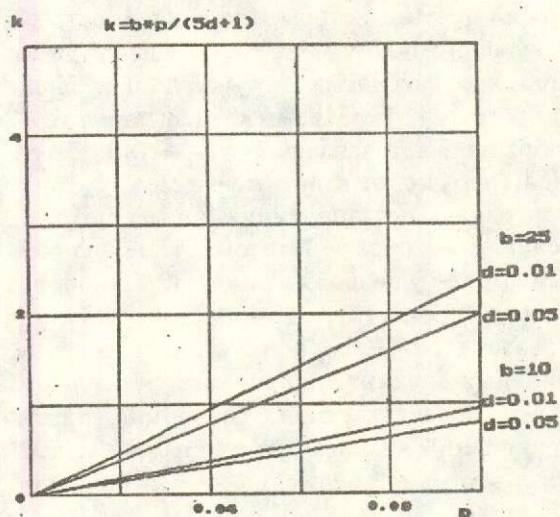


Рис. 5. Зависимости между коэффициентами компенсации добычи приростами запасов (k) и их среднегодовыми темпами прироста (p) при длительности периода в 10 лет: темпах роста добычи — 0,01 и 0,05 и

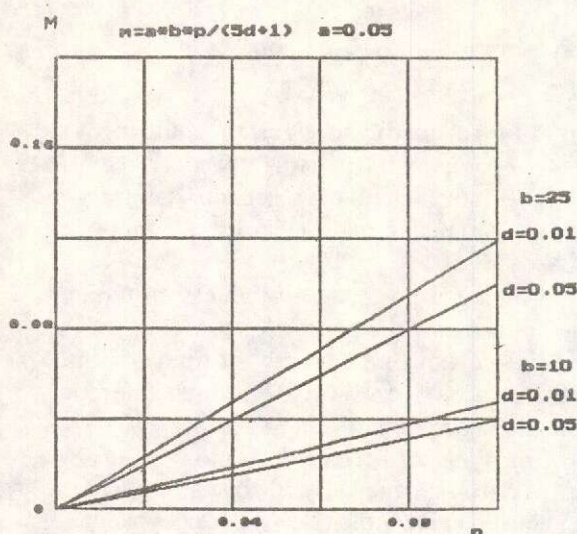


Рис. 6. Зависимости между ставками возмещения (m) и темпами прироста запасов (p) за десятилетний период для обеспеченности (b) на 10 и 25 лет при темпах роста добычи (d) 0,01 и 0,05.

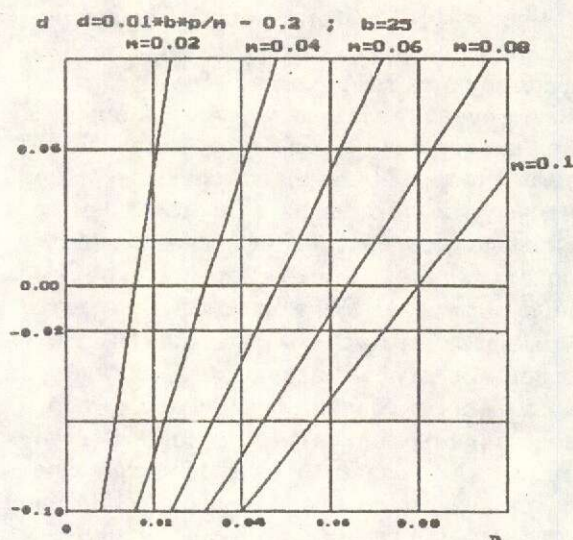


Рис. 7. Зависимости между темпами прироста запасов (p) и добычи (d) за десятилетний период для обеспеченности на 25 лет при разных значениях ставок возмещения (m).

обеспеченность добычи запасами (b). Соответственно, при задаваемых значениях d и известном b по выражению (4) возможны многовариантные расчеты показателей p и k (рис. 5). В свою очередь, по выражению (5) после выбора значений p рассчитываются ставки возмещения (m) для разных соотношений цен (a), которые, по данным ретроспективного анализа, колеблются для рудных полезных ископаемых от 0,05 до 0,1. Зависимости между ставками возмещения и темпами прироста запасов при $a = 0,05$ отражены на рис. 6; зависимости между d и p при различных значениях других показателей — на рис. 7. В целом, эти методические приемы позволяют получить широкий спектр значений и комбинаций главных показателей МСБ (d , p , k). Выбор оптимальных вариантов определяется реальностью соответствующих значений ставок возмещения, зависящих в первую очередь от объективной величины — соотношения цен (a).

Перспективы развития ИАКС. Дальнейшее совершенствование компьютерных технологий, по-видимому, в основном будет осуществляться в рамках единой информа-

Роскомнедра Российской Федерации. Организационно ИАКС разрабатываются и функционируют в основном в составе специализированных компьютерно-аналитических центров (СКАЦ) и их филиалов. Основной целью создания и развития СКАЦ является решение задач недропользования на базе современных программно-технологических комплексов ИАКС в следующих основных направлениях.

1. Развитие и совершенствование ГИС-технологий для создания многоуровневых и многокритериальных систем мониторинга МСБ для оперативного контроля ее состояния и принятия управленческих решений.

2. Развитие баз и банков данных в рамках Государственного банка цифровой геологической информации (ГБЦГИ), проектируемого как распределенный банк данных сложной иерархической структуры. Наиболее важным моментом при создании ГБЦГИ является совершенствование структуры хранения информации, упрощение системы формирования запросов и системы вывода информации.

3. Решение проблемно-поисковых задач

метод(ы) его выявляющие» в рамках стадийности геологоразведочного процесса. Совершенствование компьютерных технологий заключается в создании нового поколения ИАКС с элементами искусственного интеллекта, возможностями анализа изображений и систем статистического анализа ограниченного количества геоинформации в малоизученных районах.

4. Дальнейшее развитие компьютерного моделирования в области решения разведочных задач ориентировано на разработку программ оптимизации систем разведки и геолого-экономической оценки месторожде-

ний и создание комплексной диалоговой системы, объединяющей разработанные ранее технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каргер М.Д. Статистическая мера контрастности многокомпонентных геохимических аномалий и ее применение // Экспресс-информ., ВИЭМС. Сер. Матем. методы исследований в геологии. 1979. Вып. 2. С. 1—17.
2. Кривцов А.И., Карлина И.В., Чижова И.А. Показатели системы использования минерально-сырьевой базы // Руды и металлы. 1994. № 2. С. 4—17.

Kuznetsov V.V., Sandomirsky S.A., Chizhova I.A., Katansky M.Yu., Zhidkov S.N.

SOFTWARE MEANS AND SYSTEMS FOR INFORMATION SUPPLY AND DATA ANALYSIS DESIGNED FOR USE IN PREDICTION AND EXPLORATION OF PRECIOUS AND BASE METAL DEPOSITS

Software tools and systems elaborated in TsNIGRI for the purposes of information supply and data analysis in earlier stages of geological prospecting for precious and base metals are reviewed. The techniques and procedures are developed on the basis of multifactor exploration, prediction, prospecting and statistical models of ore deposit features and making use of differently-specialized databanks. Software means are designed based on the implementation of expert systems (including the hybrid-type ones), GIS technologies and up-to-date methods of statistical data analysis.

УДК 550.84:553.411

©В.Б.Чекваидзе, С.А.Миляев, И.З.Исакович, 1995

КОМПЛЕКСНАЯ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ПОИСКОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В.Б.ЧЕКВАИДЗЕ, С.А.МИЛЯЕВ, И.З.ИСАКОВИЧ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

Предложенная методика поисков золоторудных месторождений базируется на синтезе критериев, вытекающих из опыта изучения околорудных метасоматических, минералогических и геохимических ореолов. Нетрадиционный ионо-потенциометрический метод картирования нерудной прожилковой минерализации и др. в сочетании с новыми методическими приемами анализа комплексных аномальных полей позволит производить поиски в масштабах 1:50000—1:2000 и крупнее в эндогенной и гипергенной зонах, разбраковку ранее выявленных аномалий, оценку флангов и глубоких горизонтов месторождений и другие работы.

Методика основана на комплексном анализе околорудных метасоматических, минералогических и геохимических ореолов как на эндогенном уровне, так и в зоне гипергенеза. Ее преимуществом является возможность суммирования «поисковых вкладов» трех независимых групп критериев, разрабатываемых соответственно на породном, минеральном и элементном уровнях с существенным повышением достоверности прогнозных оценок. Методика апробировалась на золоторудных полях Северного и Восточного Казахстана, Узбекистана, Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, Центрально-Колымских районов, Урала, Закарпатья и в ряде случаев способствовала выявлению новых рудоносных площадей и вскрытию ранее неизвестных рудных тел.

Параметры минералого-геохимических ореолов должны удовлетворять требованию высокой поисковой информативности и возможности построения на их основе поисковых моделей рудных объектов.

Параметрами околорудных метасоматических ореолов являются: формационный тип, минеральный состав главных породообразующих ассоциаций, стадийность (этапность), латеральная и вертикальная зональность, особенности проявления объектов различного ранга и разного масштаба. Несмотря на различия в строении отдельных рудных объектов, при характеристике околорудных метасоматических ореолов может быть использован ряд показателей, имеющих общее значение при составлении поисковых моделей:

L — размер ореола в поперечном сечении, включая фоновые интервалы внутри ореола;

$\bar{C}$ — средние содержания минерала (элемента, иона);

$\underline{C}$ — средневзвешенное ореольное содержание минерала (элемента, иона), равное $\frac{\sum C_i}{L}$, где L — расстояние между пунктами пробоотбора;

M — линейная продуктивность по минералу (элементу, иону), равная $\sum \bar{C}_i$;

B — показатель сплошности ореола,

но возрастает от внешней к центральной зоне ореола);

E — показатель интенсивности метасоматоза (по О.Н.Грязнову), равный отношению мощности центральной зоны к общей ширине ореола (используется при характеристике различных видов зональности, сравнении разномасштабных объектов и др.).

Параметры минералогических ореолов включают в себя характеристики нерудных образований и разнообразных проявлений рудной минерализации. Первые относятся к весьма типичным для обрамления золоторудных месторождений прожилковым ореолам: кварцевым, карбонатным, флюоритовым, баритовым, полевошпатовым, турмалиновым и т.д. Они образуют изолированные пятнистые скопления или выдержанные прожилковые системы, следующие направлениям разрывных нарушений, зон трещиноватости, контактов интрузивных и дайковых образований и других структурных элементов, нередко играющих и рудоконтролирующую роль.

Даже при простом визуальном сравнении состава и интенсивности развития прожилковых образований обычно выявляются их заметные различия в разных частях околорудного пространства. Эти различия еще явственнее выступают при систематическом картировании прожилковой минерализации с учетом ее разнообразных характеристик и придания этим характеристикам количественного выражения. В итоге возможно получение ряда новых минералогических критериев, которые могут быть использованы на разных стадиях геологоразведочных работ, способствуя выявлению в пределах рудных полей локальных участков с промышленным оруденением (в том числе и погребенным), а также вскрытию деталей внутренней структуры рудных зон.

Следует заметить, что генетическая природа прожилковых образований может быть самой разнообразной: диагенетической, аутометасоматической, регионально-метаморфической и т.д. В то же время выявляются определенные группы прожилков, обнаруживающие тесные пространственные связи с оруденением. Они формируются в

вания и завершают их в виде продуктов отложения минерального вещества из остаточных (отработанных) рудоносных растворов.

Помимо нерудной прожилковой минерализации в состав минералогических ореолов входят вкрапленные и прожилково-вкрапленные выделения рудных минералов — пирита, пирротина, халькопирита, сфалерита, галенита, арсенопирита, гематита и других образований эндогенной зоны, переходящих в условиях гипергенеза в гидроксиды железа, ярозит, скородит и другие окисленные минералы.

Ведущими параметрами минералогических ореолов являются: минеральный состав, стадийность минералообразования, текстурно-структурные особенности минеральных агрегатов, кристалломорфологические особенности отдельных минералов, различные типоморфные характеристики минералов (цветовая гамма, вариации в содержании основных и второстепенных компонентов и др.).

Параметрами эндогенных геохимических ореолов являются:

элементный состав ореолов;

геохимический спектр аномального поля

[2];

коэффициент формационной принадлежности вида.

$$V_c = \frac{As \cdot Sb \cdot Pb}{Co \cdot W \cdot Mo};$$

геохимические показатели вертикальной зональности, рассчитанные по программе «НЮ-2» (В.А. Николаев);

ранжированные ряды поперечной зональности;

линейные продуктивности ореолов (M_p);

прогнозные ресурсы по геохимическим данным (Q_n) [3].

Выведение эндогенных индикаторов в зону гипергенеза при модельных построениях осуществляется путем изучения сопряженных профилей, включающих детально откартированные и опробованные (по канавам, скважинам и т.д.) эндогенные минералогическо-геохимические ореолы и рас-

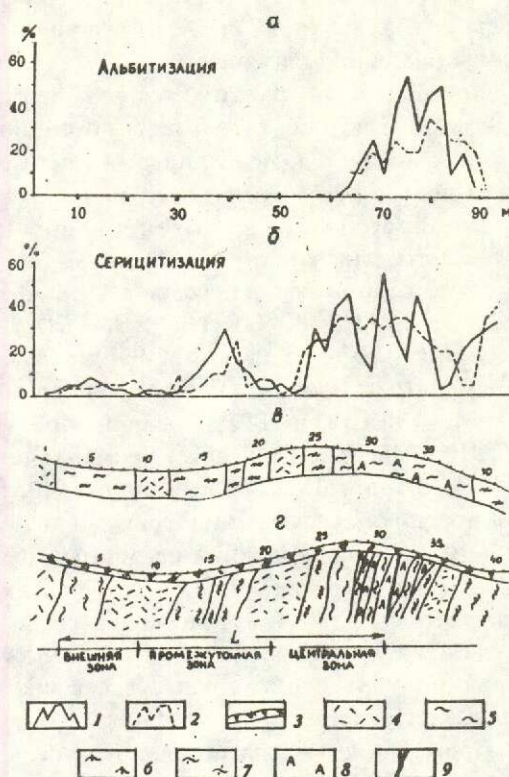


Рис. 1. Пример выведения в зону гипергенеза эндогенных околорудных метасоматических ореолов:

графики изменения по разрезу: а — альбитизации, б — серицитизации; уровни проявлений: в — экзогенных, г — эндогенных; ореолы на графиках: 1 — эндогенный, 2 — гипергенный; 3 — рыхлые образования; 4 — рудовмещающие слабоизмененные породы; серицитизация: 5 — интенсивная, 6 — умеренная, 7 — слабая; 8 — альбитизация; 9 — рудная зона

профили опробования рыхлых отложений по выработкам или по поверхности (рис. 1).

В зоне гипергенеза околорудные метасоматические и минералогические ореолы выявляются и изучаются путем исследования обломочной фракции литохимических проб (1—3 или 2—3 мм) из рыхлого чехла. Указанная фракция скрепляется цементирующим веществом (полистирол, эпоксидная смола и др.) до состояния твердого брикета, из которого изготавливаются шлифы и аншлифы. Брикеты-шлифы и брикеты-аншлифы включают не менее 10 обломков пород (обычно 20—30) и позволяют с высокой достоверностью картировать нижележащие

ореолов при мощности элювиально-делювиального чехла до 6—8 м. По сопряженным профилям изучаются также и вторичные ореолы рассеяния элементов.

При поисковых работах в зоне гипергенеза весьма перспективен ионо-потенциометрический метод, основанный на применении ионо-селективных электродов. Замеры производятся на отечественных потенциометрах типа И-115М и ЗУ-74 с помощью серийных электродов на Eh , pH , NH_4^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Br^- , Cl^- , J^- , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ag^+ и др. компоненты. Более современными измерительными приборами являются ТРН-1 и ТРН-2 марки Критур (ЧСФР), Раделкис (Венгрия), Бекман, Орион (США) и др. Для анализа подготавливается породная суспензия из фракции менее 0,25 мм путем смачивания ее дистиллированной водой в отношении 1:1. Метод характеризуется дешевизной, высокой экспрессностью (до 80—100 проб за смену), возможностью получать данные непосредственно в полевых условиях.

Применение метода основано на существовании в верхних (почвенных) горизонтах элювио-делювия слабых солевых ореолов, связанных с погребенной эндогенной минерализацией. Своим происхождением эти ореолы обязаны, в первую очередь, биогенной и сорбционной аккумуляции химических элементов в почвенном слое. Обменные химические реакции, гидратация и сорбция ведут к «закреплению» солевого ореола, придавая ему свойства устойчивого геологического образования. При смачивании исходной пробы водой часть солевого ореола переходит в раствор и может быть проанализирована.

Проведенные исследования позволили установить устойчивые связи определенных групп ионов и потенциалов с определенными типами золотого оруденения. Так, для золото-кварцевого и золото-сульфидного оруденения в углеродистых терригенных толщах наиболее характерны аномалии pH/Eh , для вулканогенных золото-серебряных месторождений — аномалии NH_4 , для объектов золото-сульфидно-кварцевой формации в интрузивных и метаморфических породах — K , Na , NH_4 , причем положение

ся с помощью мультипликативного показателя $\frac{\text{K} \cdot \text{NH}_4}{\text{Na}}$.

Особое значение ионо-потенциометрический метод имеет при поисках в «закрытых» районах при большой мощности рыхлого (в том числе и аллохтонного) чехла, когда остальные минералого-геохимические методы оказываются неэффективными. Так, погребенное месторождение Джасаул (Кызылкумы), перекрытое толщей аллохтона мощностью от 10 до 50 м, фиксируется контрастными наложенными ореолами суммарной минерализации, а также отрицательными ореолами Ca^{2+} и аномалией пониженных значений pH (рис. 2).

В некоторых отдельных случаях (в частности, на ряде объектов золото-углеродистой формации) ионо-потенциометрические ореолы оконтуривают с поверхности рудные тела в близком соответствии с данными по первичным и вторичным геохимическим ореолам. На ряде месторождений вулканогенного золото-серебряного типа устанавливается тесная корреляционная зависимость запасов металлов в рудных телах от содержания аммония во вторичных ореолах. Эти и другие данные позволяют в определенных условиях проводить разбраковку геохимических аномалий и участков рудопроявлений на основе только ионо-потенциометрических съемок (без проведения минералого-геохимического опробования).

Поисковые модели представляют собой взаимоувязанные системы индикаторов оруденения и методов их выявления в окружающем пространстве, выраженные в графической, табличной и текстовой формах и позволяющие осуществлять последовательное приближение к рудным объектам по латерали и вертикали, а также оценивать тип, ранг и масштаб ожидаемого оруденения. Составными элементами минералого-геохимических поисковых моделей являются околорудные метасоматические, минералогические и геохимические ореолы, изучаемые и отображаемые с учетом геолого-структурных особенностей рудных объектов.

Указанные виды ореолов выносятся на опорные сечения и анализируются с пози-

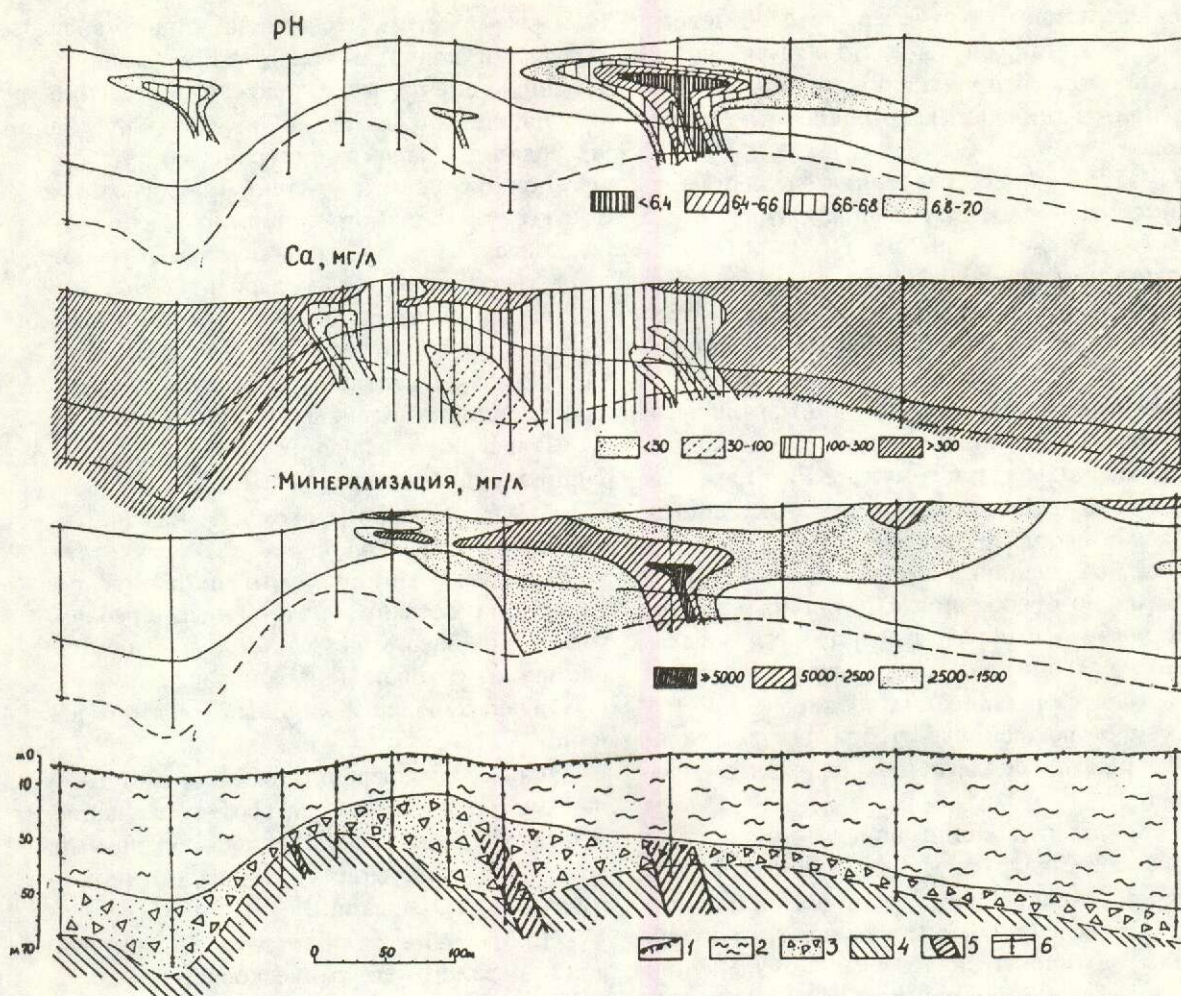


Рис. 2. Ионно-потенциметрические аномалии над погребенным месторождением Джасаул:

1 — почвенный слой; 2 — аллохтонные отложения; 3 — древняя кора выветривания; 4 — рудовмещающие терригенные толщи; 5 — рудные зоны; 6 — скважины с точками опробования

ров в околорудном пространстве, а также в сравнительном плане при сопоставлении разнотипных, разноранговых и разномасштабных объектов.

Составление поисковых моделей осуществляется по следующей схеме:

1) составление опорных сечений по эталонному объекту с разnosкой всех видов минералого-геохимической информации;

2) построение графической модели рудного объекта;

3) составление сводных таблиц поисково-оценочных критериев.

Материалы по опорным сечениям являются базисными для всех последующих мо-

этих материалах проводится подразделение ореольного пространства на серии латеральных и вертикальных зон, выявляются коррелирующиеся признаки, визуально оцениваются массивы для математических расчетов количественных характеристик ореолов (L, C, M, B и др.), рассмотренных ранее.

Графическая модель эталонного объекта отражает наиболее общие черты отдельных групп параметров (околорудных метасоматических, минералогических, геохимических) с той или иной степенью абстрагирования от конкретных значений. В большин-

иллюстративный характер, хотя по целому ряду позиций она представляется весьма важной для восприятия и целенаправленного применения поисково-оценочных критериев.

Обычно для составления модели привлекается наиболее изученный разрез через месторождение (при необходимости возможно и дополнение планом поверхности и погоризонтными планами). На этот разрез выносятся наиболее характерные черты каждого вида ореолов с их вариациями в зависимости от положения в латеральной и вертикальной зональности. Применительно к околорудным метасоматическим параметрам в качестве модальных характеристик обычно используются группы измененных пород, обладающих индикационными свойствами по отношению к различным зонам. Аналогичным образом выбираются определенные ассоциации минералов и элементов. Проводится реставрация эродированной части месторождения с отображением реальных или предполагаемых надрудных продуктов.

Комплект таблиц поисково-оценочных критериев является основным инструментом при переходе к поисковым расчетам. При этом преследуется достижение следующих целей: а) идентификация типа оруденения; б) идентификация ранга ожидаемого рудного объекта; в) приближение к местам рудо-локализации по латерали; г) оценка уровня эрозионного среза и приближение к рудному объекту на глубине; д) оценка масштаба оруденения. Последние три позиции могут быть дифференцированы в зависимости от ранга рудного объекта (месторождения, рудного тела и т.д.). Указанный перечень табличных материалов составляется отдельно для эндогенной и гипергенной обстановок (таблица).

Разновидностью поисковой модели является математическая модель, представляющая собой обобщенное пространственно упорядоченное трехмерное изображение содержаний типоморфных метасоматитов, минералов и надфоновых содержаний разных элементов. В основе математических моделей лежат данные детального изучения эталонных месторождений, хорошо вскрытых по латерали и на глубину. Методика и при-

Здесь же отметим, что модели данного вида позволяют получить более точную количественную оценку местоположения скрытого оруденения по латерали и вертикали (в пределах ареального пространства), уровня эрозионного среза аномалий и прогнозных ресурсов выявляемого рудного объекта.

Методика проведения поисковых работ предусматривает как последовательное укрупнение масштаба поисков (от 50000 до 2000 и крупнее), так и опосредованное и разбраковку аномальных участков и рудопроявлений, выявленных при различных геохимических и геофизических съемках, глубинных буровых поисках и т.д.

Схема работ по первому из названных вариантов приведена на рис. 3. В результате комплексной минералого-геохимической съемки по потокам и вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:50000 выявляются аномалии, отвечающие рангу потенциальных рудных полей и крупных месторождений.

Первые дифференцируются на отдельные аномальные участки, соответствующие месторождениям и являющиеся исходными объектами дальнейших минералого-геохимических исследований.

На этих объектах проводится комплексное минералого-геохимическое опробование по 2—3 профилям вкост господствующего простирания рудоконтролирующих геологических структур. По результатам ионо-потенциометрического метода уже в полевых условиях возможно оконтуривание рудоносного участка с выявлением деталей его внутреннего строения, предварительное определение генетической природы аномалии. В случае установления рудоносного участка возможен переход к геохимическим съемкам масштаба 1:10000. При его отсутствии или в случае неопределенных данных используются материалы изучения всех трех видов ореолов в зоне гипергенеза (околорудных метасоматических, минералогических и геохимических) и последующее сопоставление с моделью эталонного объекта.

По результатам комплексного изучения аномалий производится ее интерпретация, разбраковка и оценка с заключением о степени перспективности и необходимости вскрытия горными выработками и скважи-

Минералого-геохимические критерии количественной оценки масштаба оруденения

Масштаб оруденения, усл. ед.	Суммарная мощность ореолов серого рудного кварца, м	Заполнение ореолами пространства, %		Суммарная мощность метасоматитов промежуточной и центральной зоны, м	$K_i = \frac{Au \cdot As \cdot Bi}{Co \cdot V \cdot Mn}$	Линейная продуктивность, усл. ед.		Средняя мощность ореолов Au, м
		Серый рудный кварц	Арсенопирит тонкозернистый "порфиробластический"			Au	Bi	
100	>250	>70	>80	>300	>n·10	>300	>500	>200
00—50	250—120	70—40	80—40	300—200	10—10—1	300—200	500—200	200—100
10—100	120—25	40—10	40—10	200—50	10—1—10—3	200—50	300—25	100—50
10—1	25—5	10—1	10—1	50—5	10—3—10—6	50—5	25—2	50—5

Значение: K_i — коэффициент интенсивности оруденения

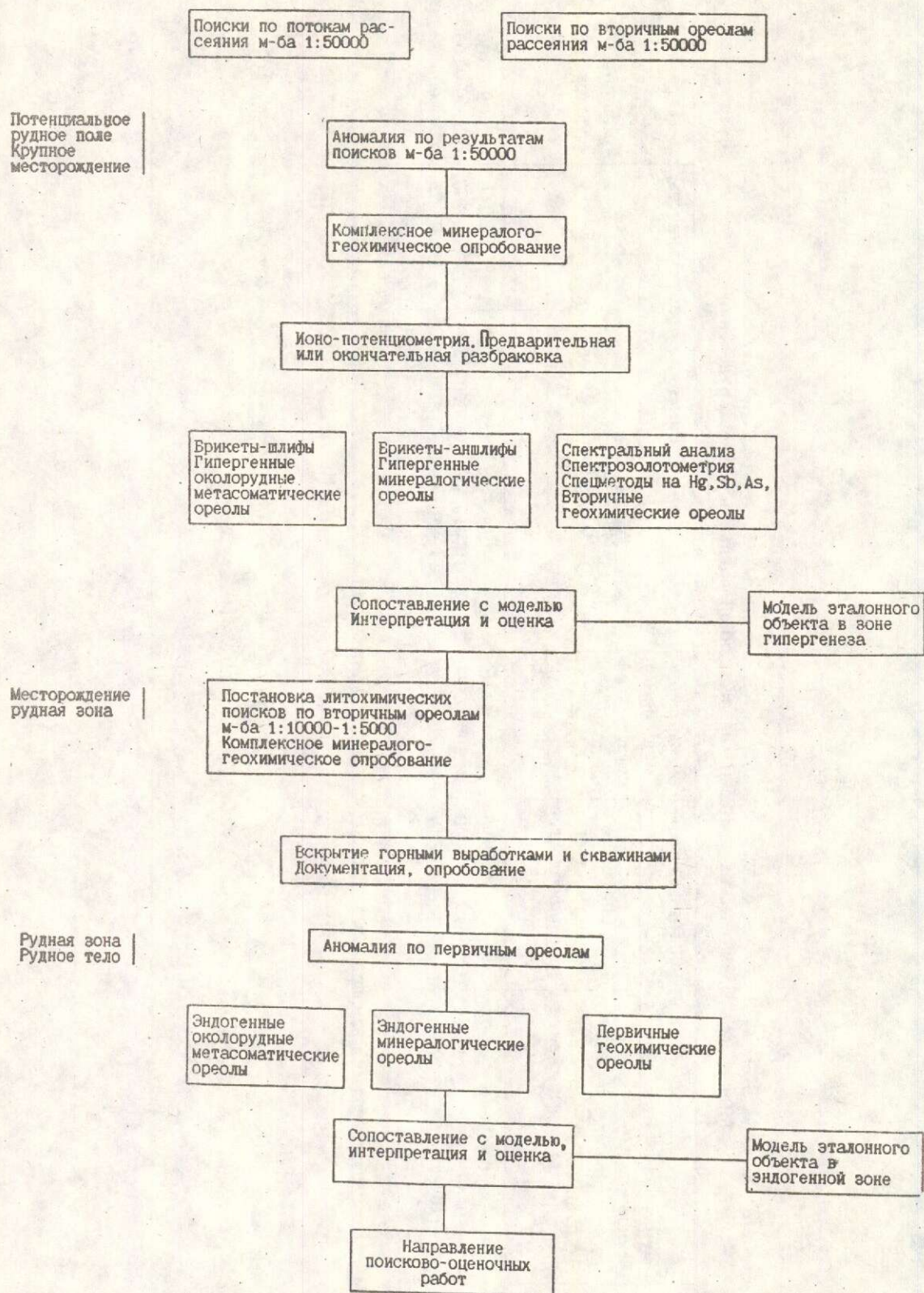


Рис. 3. Технологическая схема применения комплексной минералого-геохимической методики при поисковых работах.

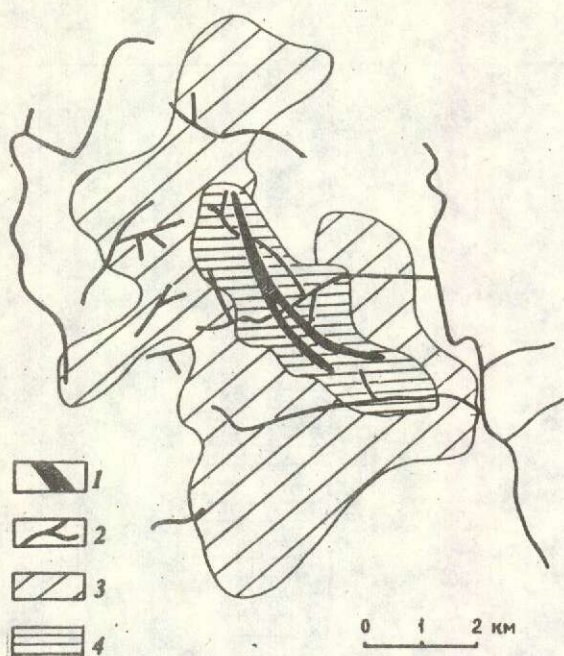


Рис. 4. Результаты минералого-геохимических съемок по потокам рассеяния на площади Наталкинского рудного поля:

1 — рудные зоны месторождения; 2 — потоки рассеяния золота; площади развития минералого-геохимических ассоциаций: 3 — внешней зоны (Co·Mn Серицит), 4 — центральной зоны (Au·As·Альбит)

необходимость уточнения местоположения потенциальных рудоносных зон, и перед вскрытием аномалии производится литохимическая съемка участка в масштабе 1:10000—1:50000.

После получения данных проходки горных выработок и скважин в силу вступают комплекс индикаторов эндогенного оруденения и соответствующие поисковые модели для рудных зон и рудных тел. Итогом исследования аномалий является подготовка объекта к стадии поисково-оценочных работ.

Помимо данного варианта применения методики, при котором осуществляется последовательное укрупнение масштаба работ, как уже отмечалось, возможна отработка аномальных полей (в том числе и по геофизическим данным) и рудопроявлений, выявленных при различного вида поиско-

гут решаться задачи оценки флангов и глубоких горизонтов, увязки отдельных рудных подчинений, поисков пропущенных «слепых» рудных тел в разведанном контуре и др. В этих случаях используемый комплекс методических приемов определяется масштабом работ и местом изучаемого рудного объекта в приведенной схеме (см. рис. 3). Определенная специфика связана с проведением работ в закрытых районах с развитием аллохтонного чехла рыхлых осадков различной мощности. В этих случаях работы начинаются с ионо-потенциометрической съемки по наложенным ореолам с выявлением соответствующих аномалий, их вскрытием и последующим подключением всего арсенала минералого-геохимических критериев.

Рассмотрим несколько примеров применения комплексной минералого-геохимической методики.

Минералого-геохимическая съемка по потокам рассеяния в масштабе 1:50000 была проведена на площади Наталкинского рудного поля (Центрально-Колымский регион), характеризующегося расчлененным рельефом. Выявились высококонтрастные потоки рассеяния Au, As, W, Ag и потоки малой контрастности — Pb, Co, Mn и других элементов, что, впрочем, отмечалось и предыдущими геохимическими съемками. Помимо рудных элементов отчетливые потоки установлены ионо-потенциометрическим методом для распределения величин pH в пробах. Потоки рассеяния формируются также за счет обломков серицитизированных и альбитизированных пород и гидроксидов железа.

Отмечается пространственная разобщенность некоторых ассоциаций элементов, минералов и пород. Так, мультипликативный показатель Au·Ag·Альбит отчетливо отрисовывает площадь собственно месторождения (около 9 км²), в то время как показатель Co·Mn·Серицит охватывает площадь около 50 км² и отражает ограничения рудного поля (рис. 4).

Таким образом, по результатам выполненных работ значительно расширен набор индикаторов золотого оруденения в потоках рассеяния, показана возможность получения предварительных контуров потенциаль-

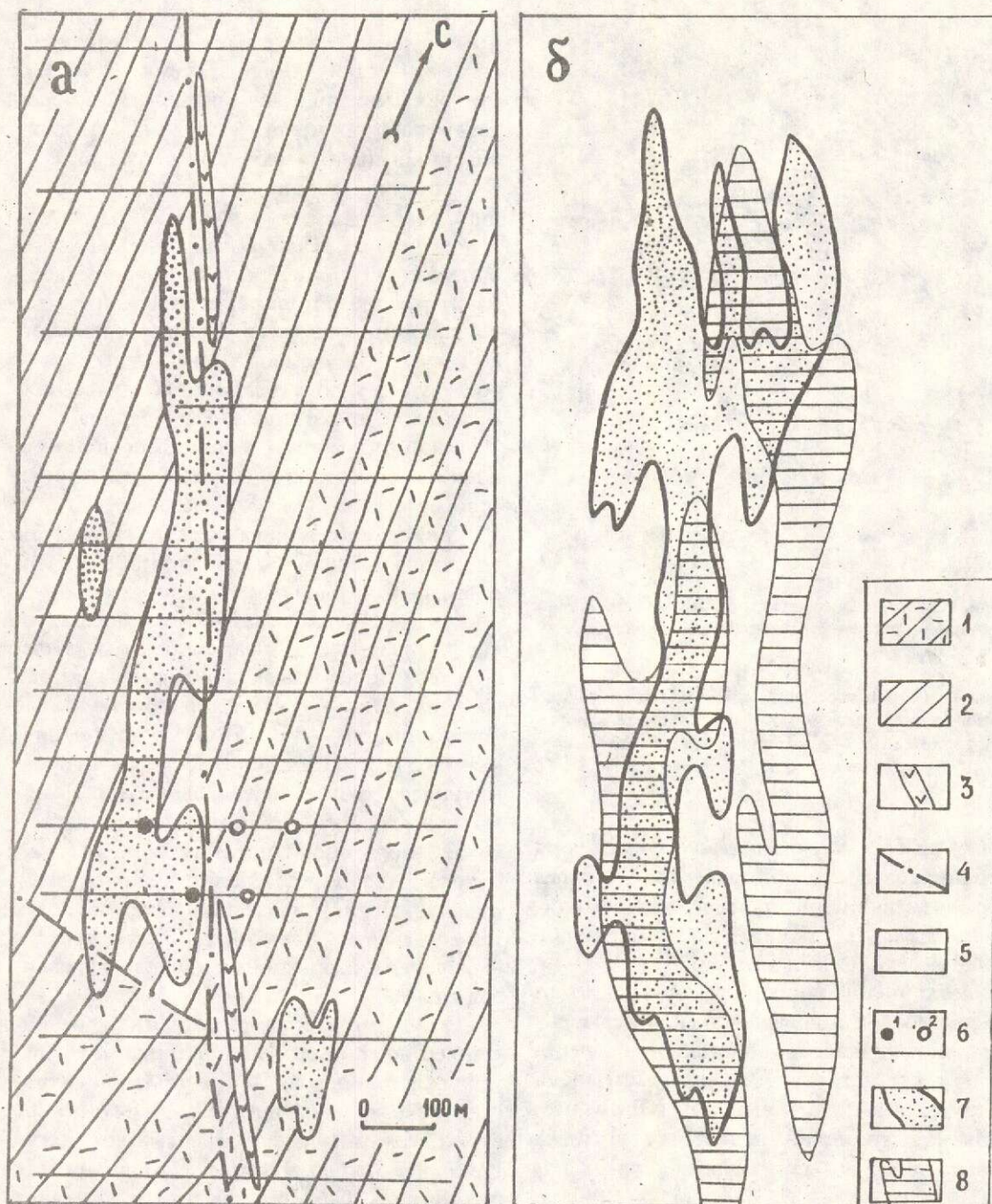


Рис. 5. Геологическая схема (а) и вторичные минералого-геохимические ореолы (б) участка «Купольный»:

1 — тифогенные сланцы; 2 — глинистые сланцы; 3 — дайки спессартитов; 4 — тектонические нарушения; 5 — профили минералого-геохимической съемки; 6 — поисковые скважины: а — с промышленными рудными подсечениями; б — с эндогенными минералого-геохимическими ореолами; 7, а — аномалии потенциометрического показателя $pH/Eh \geq 1,5$, б — вторичные ореолы рассеяния ртути (от 2 до $20 \cdot 10^{-6}\%$); 8 — вторичные ореолы обломков альбитовых метасоматитов (от 10 до 40 %)

обломкам характерных околорудных метасоматитов возможен прогноз типа золотого оруденения. Зональная структура аномального поля позволяет определить направление перехода от периферии (внешняя зона) к центру (собственно месторождение). Наконец, более надежно производится отбраковка ландшафтных, россыпных, техногенных и иных «ложных» аномалий, т.к. для них не характерны околорудные метасоматические и минералогические ореолы.

Минералого-геохимическая съемка масштаба 1:10000 проводилась на Купольном участке в восточной части Наталкинского рудного поля. Участок был выявлен нами в процессе мелкомасштабных работ по появлению в единичных пробах с поверхности аномальных значений рудогенных элементов в сочетании с наличием обломков альбитовых метасоматитов. В дальнейшем на его площади была проведена ионо-потенциометрическая съемка масштаба 1:10000 и по контуру показателя pH/Eh предварительно определены границы потенциально рудоносной площади. Последующая постановка подного комплекса методов позволила наметить перспективные на обнаружение рудных тел наталкинского типа аномальные зоны (рис. 5) и представить обоснование для проведения буровых работ. Вновь пробуренными скважинами на участке Купольном было вскрыто промышленное золотое оруденение.

Примером исследования «случайной» аномалии, выявленной в процессе структурного бурения, может служить участок Шункурколь в южной части Васильковского рудного поля (Северный Казахстан). В профиле структурно-поисковых скважин была вскрыта серия линзо- и жилообразных тел хлоритизированных пород габбро-диоритового комплекса, а также кварц-альбитовых и хлорит-кварц-альбитовых метасоматитов, мощностью от 1—2 до 10—15 м (рис. 6). Данный набор метасоматических продуктов полностью отвечает, согласно модели золото-сульфидно-кварцевого оруденения, надрудному уровню рудоносных структур [4].

Таким образом, на участке была выявлена «околорудная метасоматическая» аномалия, сопровождающаяся ореолом прожилков серого кварца, пирита, молочно-белого кварца и флюорита. Небезынтересно отме-

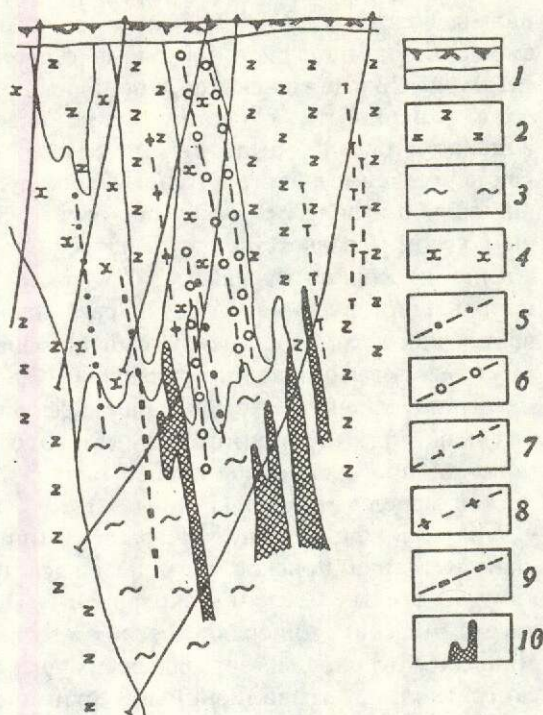


Рис. 6. Эндогенные минералого-геохимические ореолы участка Шункурколь:

1 — рыхлые отложения; 2 — габбро-диориты; 3 — лиственито-березиты; 4 — альбит-хлоритовые метасоматиты зон осаждения; прожилково-вкрапленная минерализация: 5 — серого «рудного» кварца, 6 — молочно-белого кварца, 7 — турмалина, 8 — флюорита, 9 — пирита; 10 — ореолы золота, мышьяка и сурьмы с рудными подсечениями

ной из указанных скважин не были зафиксированы. Они появились лишь на более значительных глубинах.

Поскольку под хлорит-альбитовыми метасоматитами зон осаждения в соответствии с моделью уместно ожидать вскрытие рудовмещающих лиственито-березитов, была задана и пробурена скважина 8, показавшая наличие на глубинах 650—850 м серии маломощных (3—5 м) зон выщелачивания васильковского типа (см.рис. 6). По керну скважины были установлены геохимические ореолы золота, мышьяка, бария, ванадия. Следующая скважина 23, заданная для вскрытия зон изменения на нижележащих горизонтах, выявила мощный раздув лиственито-березитов (в основном промежуточной и внешней зон колонки) на глубинах

интервалов с высокоаномальными содержаниями золота (0,2—0,7 г/т). При этом смещение комплексного ореола в сторону скважины 23 и даже некоторое приближение его к поверхности, с учетом состава и зональности ореола, было интерпретировано как пересечение фланга потенциальной рудной зоны профилем скважин под очень острым углом. Соответственно была рекомендована переориентировка сети скважин и направлений бурения. Участок рассматривается как весьма перспективный на обнаружение скрытого золото-сульфидно-кварцевого оруденения. Это совпадает с результатами количественной оценки этого участка, проведенной на основе математической модели эталона [1].

Комплексная минералого-геохимическая методика поисков, базирующаяся на синтезе данных изучения околорудных метасоматических, минералогических и геохимических ореолов, имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными геохимическими поисковыми методами:

повышается достоверность прогнозных оценок за счет суммирования поисковых вкладов отдельных методов;

появляется возможность взаимопроверки данных, полученных за счет использования трех независимых групп критериев, разработанных соответственно на породном, минеральном и элементном уровнях;

возможна опережающая оценка площади, получаемая непосредственно в поле за счет ионо-потенциометрического метода. Последний эффективен и в условиях закрытых территорий с развитием резко ослабленных наложенных ореолов;

возможна эффективная отбраковка ландшафтных, техногенных и иных «ложных» геохимических аномалий, для которых не характерны вторичные околорудные метасоматические и минералогические ореолы.

В настоящее время рассматриваемая методика разработана и апробирована для по-

исков масштаба 1:50000—1:2000 в эндогенной и гипергенной зонах. Помимо основных съемок она позволит производить разбровку геохимических, геофизических и иных аномалий, оценивать фланги и глубокие горизонты разведываемых объектов, выполнять поиски слепых рудных тел на эксплуатирующихся месторождениях, производить более обоснованную увязку отдельных рудных подсечений. Дальнейшее развитие методики может быть направлено, с одной стороны, на переход к средне- и мелкомаштабным поискам (с разработкой минералого-геохимических моделей рудных районов, узлов и полей), а с другой — по линии расширения круга высокоэффективных индикаторов оруденения (изучение поисковой значимости новых групп ионов в гипергенной и эндогенной зонах, типоморфных особенностей минералов-индикаторов в ореолах и т.д.) и совершенствования методов математической обработки больших массивов качественной и количественной информации. С учетом специфики поисковых моделей эталонных объектов рассматриваемая методика может быть использована и при поисках других типов месторождений (медных, полиметаллических, редкометалльных и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милыев С.А., Чекваидзе В.Б., Исакович И.З. Количественная минералого-геохимическая модель Васильковского золоторудного месторождения. Отечественная геология. 1994. № 7. С. 36—42.
2. Соловов А.П., Мамеев А.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. Изд. 2-е. — М.: Изд-во МГУ, 1985.
3. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1985.
4. Чекваидзе В.Б. Поисковая минералого-геохимическая модель золото-сульфидно-кварцевого оруденения // Сов. геология. 1987. № 1. С. 121—126.

Chekvaizde V. B., Milyayev S. A., Isakovich I. Z.

AN INTEGRATED MINERALOGIC-GEOCHEMICAL TECHNIQUE FOR EXPLORATION OF GOLD ORE DEPOSITS

An original technique for exploration of gold ore deposits is proposed. It is based

metasomatic, mineralogical and geochemical aureoles. A newly developed ion-potentiometric method of mapping as applied to non-ore streaky mineralization etc., when used in combination with new techniques of analysis of complex anomalous fields, would provide performing exploration at 1:50,000—1:2,000 scales (and larger) in endogenous and hypergenous zones, classification of anomalies marked out earlier, evaluation of deposit flanges and deep horizons, and other kinds of works involved.

УДК 549:283

© Л. А. Николаева, 1995

МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗУЧЕНИЯ РОССЫПНОГО САМОРОДНОГО ЗОЛОТА

Л. А. НИКОЛАЕВА (ЦНИГРИ Роскомнедра)

Для воссоздания последовательности поступления золота в россыпь из коренных и промежуточных источников впервые прослежена динамика преобразований внутреннего строения золота. Установлены признаки структуры, обусловленные многократным чередованием периодов миграции золотинок и пребывания их в покое. Для более точной интерпретации минералогических данных рекомендуется составление признаков моделей россыпного золота, различающегося по времени поступления из коренных источников, дальности транспортировки и количеству циклов миграции.

Геологическая интерпретация результатов изучения самородного золота позволяет получить разностроннюю информацию об условиях формирования рудных и россыпных месторождений золота и их локализации. Эта задача в той или иной форме ставится во всех работах, сопровождающихся исследованиями самородного золота. Решение ее тем успешнее, чем обширнее массив информации о признаках золота, представляемые рассматриваемые выборки и достовернее статистические параметры, характеризующие типоморфные особенности. Вопросы геологической интерпретации результатов изучения россыпного золота затрагивались в ряде публикаций [1—6].

Начало новому подходу положили работы ЦНИГРИ, направленные на составление банка данных по самородному золоту и машинную обработку с целью выявления наиболее информативных (для решения конкретных задач) признаков. Такая работа выполнена для определения комплекса типичных признаков самородного золота из

формаций и минеральных типов, количественных оценок и разделительных весов каждого признака. В матрицу базы данных включается весь комплекс признаков, характеризующих самородное золото для эталонных месторождений различных формаций и минеральных типов. Для идентификации россыпей машинная классификация недостаточна, т.к. россыпное золото поступает из большого числа рудных объектов и отличается, кроме типичных для эталонных руд признаков, рядом менее распространенных, но характерных особенностей, специфичных для отдельных типов оруденения в определенных регионах. Поэтому для выявления типов коренных источников питания россыпей необходимо учитывать не только наиболее информативные признаки, но и признаки с невысокими уровнями значимости, часто конвергентные.

При интерпретации результатов изучения рудного и россыпного золота безусловно необходимо иметь представление о механизме и условиях возникновения отдельных его

сти особенностей самородного золота и их значение в качестве показателей условий рудообразования и поисково-оценочных критериев оруденения в значительной степени выявлены в упомянутых выше исследованиях, то некоторым преобразованиям золота в россыпях уделяется недостаточно внимания.

Характер изменений золота в россыпях может служить показателем дальности его переноса от коренных источников, длительности преобразований остаточного (эндогенного) золота в зоне гипергенеза и чередования периодов пребывания в покое и возобновления миграции золотин. Геологическая интерпретация этих изменений дает информацию о возможном местоположении коренных источников, сохранности в них золота на уровне современного эрозионного среза, а также о наличии древних россыпей и промежуточных источников питания. Изменения состава и внутреннего строения золотин, свидетельствующие о длительности пребывания их в россыпях и дальности транспортировки, достаточно детально рассмотрены многими исследователями; признаки многократного вовлечения золотин в миграцию, за редкими исключениями, не выявляются [3]. В то же время такие признаки позволяют реконструировать историю формирования россыпей и оценить участие в их образовании коренных и промежуточных источников питания, что представляет не только научный, но и практический интерес.

Напомним, что в корах выветривания происходит преобразование остаточного золота за счет выноса серебра по границам зерен и с их поверхности. Иногда отмечается слабое выщелачивание серебра с поверхности золотин, причем электрохимические процессы ускоряют преобразования. Возникают межзерновые высокопробные прожилки, несколько очищаются от серебра и подвергаются незначительной коррозии приповерхностные слои золотин. В кислой среде (рН5) и по контакту золота с окисленными сульфидами и агрегатами рудных минералов коррозия проявляется более интенсивно, особенно у низкопробных частиц.

Первое механическое перемещение остаточного эндогенного золота (миграция-I)

на месте разрушения коренного источника или с поступлением его в россыпь. При этом частицы золота испытывают пластические деформации с изменением внутренней структуры. Наиболее интенсивны они по периферии выделений. При структурном травлении полированных срезов золотин и их изучении с помощью рудного микроскопа видимые проявления деформаций часто не устанавливаются, однако наблюдаемые последующие преобразования указывают на то, что внутреннее строение золотин было нарушено. В других случаях деформации отражаются в линиях и зонах трансляций, а также изгибах тонких пластинчатых двойников.

Первый период покоя (покой-I), наступающий за миграцией-I, характеризуется возникновением центров рекристаллизации в участках деформаций и ростом новообразованных зерен с ненарушенной структурой в остаточном (эндогенном) золоте. Продолжается диффузия серебра по границам зерен, однако проявления ее заметны только в древних россыпях, в которых по сравнению с корах выветривания этот процесс протекает значительно медленнее. Напротив, более интенсивно проявлены выщелачивающий деструктивный метасоматоз с выносом серебра и перекристаллизация от периферии к центру деформированных участков. В результате в реликтах остаточного золота возникают структуры рекристаллизации преимущественно с неправильными угловатыми зернами и двойниками прорастания. Развивается коррозионная оболочка, локальная, прерывистая или сплошная.

Миграция-II представляет собой механическое перемещение золотин по долине или переотложение их на более низком гипсометрическом уровне. Реликты эндогенного золота повторно испытывают пластические деформации с нарушением внутреннего строения. Нарушаются также структуры зерен коррозионного слоя и рекристаллизованных зерен остаточного золота. Возникают зоны трансляций в реликтах эндогенного золота, в рекристаллизованных зернах, возникших на его фоне, а также в коррозионных. Коррозионная оболочка уплотняется, а

зионной оболочки и межзерновых высокопробных прожилков.

Период пребывания в покое-II, наступающий после миграции-II, фиксируется возникновением центров рекристаллизации и ростом рекристаллизованных зерен в выделениях остаточного золота и коррозионных зернах. Возобновляются диффузия серебра по границам зерен и в их объеме, выщелачивающий метасоматоз, которому способствует перекристаллизация приповерхностных слоев золотин, и электрохимическая коррозия.

Благодаря этим процессам увеличивает мощность межзерновых высокопробных прожилков. Они нередко проявляются не только в реликтах остаточного золота, но и в виде своеобразных «каналов», разделяющих коррозионные зерна, или многорядных концентрических прожилков в уплотненном коррозионном слое.

Коррозионная оболочка становится преимущественно сплошной, многорядной, редко прерывистой. Часто развивается повторная тонкозернистая периферическая коррозионная оболочка, более высокопробная (980—998), чем первая (940—970). Рекристаллизованные зерна в коррозионном слое угловатые, неправильные, с обрывающимися двойниками. В реликтах остаточного золота наблюдается сочетание угловатых, с двойниками прорастания, субполиэдрических и полиэдрических, часто с выпуклыми границами, рекристаллизованных зерен.

Миграция-III (транспортировка по латерали или вертикальное перемещение) обуславливает новые пластические деформации с изменением внутренней структуры остаточных, рекристаллизованных и коррозионных зерен. Соответственно зоны трансляций отмечаются в зернах реликтов остаточного золота, в рекристаллизованных зернах внутри реликтов остаточного золота и в коррозионной оболочке. Они проявляются и в повторной коррозионной оболочке, но последняя часто уплотняется, зерна ее сливаются, или она полностью срезается природными абразивами благодаря своей пористой текстуре, низкой твердости и незначительной толщине.

Третий период пребывания в покое (покой-III) характеризуется теми же процессами

что и в покое-II. Это — возникновение центров рекристаллизации и рекристаллизация деформированных зерен золота; диффузия серебра по границам зерен и объемная перекристаллизация; выщелачивающий деструктивный метасоматоз; электрохимическая коррозия. Происходит дальнейшее увеличение мощности межзерновых прожилков, развитие их сложных форм (аналогично покою-II). Возникают новые и видоизменяются ранее образованные структуры рекристаллизации. Для реликтов остаточного золота типичны субполиэдрические и полиэдрические зернистые гипергенные структуры рекристаллизации и структуры собирательной рекристаллизации. Последние характеризуются конфигурацией зерен, типичной для участков рекристаллизации, но размер зерен сопоставим с крупностью зерен эндогенного золота.

Структуры рекристаллизации первой (ранней) коррозионной оболочки представлены сочетанием угловатых и субполиэдрических зерен. В повторном высокопробном слое рекристаллизованные зерна имеют неправильные угловатые формы. Коррозионная оболочка сплошная, многорядная; повторная коррозионная оболочка тонко- и мелкозернистая.

Таким образом, критерии выделения трех периодов миграции золота и пребывания его в россыпи в состоянии покоя достаточно отчетливы. Аналогичным путем удастся установить и признаки следующей по счету миграции золота.

Учитывая толщину коррозионной оболочки, которая, при прочих равных условиях, пропорциональна длительности пребывания золота в россыпи, можно воссоздать последовательность поступления золота в россыпь из коренных и промежуточных источников различного возраста и оценить степень участия их в питании россыпи.

Для заключения о возможности использования ЭВМ при решении задач, связанных с последовательностью формирования золотоносных россыпей и участием в их питании промежуточных источников, в базе данных должны быть отражены степень распространения коррозионных оболочек различной толщины, их рекристаллизации, проявления трансляций в рекристаллизованных зер-

Поскольку абсолютные значения толщины коррозионных оболочек золота, различающегося по времени поступления его из коренных источников в россыпь, в каждом регионе несколько варьируют, следует составлять региональные базы данных, учитывающие признаки чередования периодов пребывания золота в россыпях в покое и повторного вовлечения его в миграцию. Расширение баз данных, по сравнению с имеющейся в ЦНИГРИ генерализованной информационной матрицей базы данных по самородному золоту россыпей РФ, может идти как за счет детализации морфологических и структурных признаков (форма зерен коррозионного слоя, их уплощение и слияние, форма высокопробных гипергенных образований и т.п.), так и путем добавления геолого-геоморфологических сведений. Для более точной интерпретации минералогических данных даже при ограниченной возможности компьютерного поиска аналогов необходимо составлять региональные признаковые модели россыпного золота, различающегося по времени поступления из

коренных источников, дальности транспортировки, количеству циклов пребывания в покое и миграции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Неронский Г.Н.* Принципы прогнозирования золоторудной минерализации на основании изучения распределения типоморфных особенностей золота из россыпей // Новые данные о минерально-сырьевых ресурсах центральной части зоны БАМ. — Благовещенск: ДВНЦ, 1978. С. 95—105.
2. *Нестеренко Г.В.* Происхождение россыпных месторождений. — Новосибирск: Наука, 1977.
3. *Николаева Л.А.* Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. — М.: Недра, 1978.
4. *Петровская И.В.* Самородное золото. — М.: Наука, 1973.
5. *Попенко Г.С.* Минералогия золота четвертичных россыпей Узбекистана. — Ташкент: ФАН, 1982.
6. *Яблокова С.В.* Методика изучения золота при установлении связи россыпей с коренными источниками // Проблемы геологии россыпей: Тез. докл. III Всесоюз. совещ. по геологии россыпей. — Магадан, 1969.

Nikolayeva L. A.

METHODS OF INTERPRETATION OF RESULTS OBTAINED IN STUDIES OF FREE GOLD FROM PLACERS

In order to reconstruct the succession of gold ingress from primary and intermediate sources into placers, the dynamics of gold slivers' internal structure alterations is traced here for the first time. Structural characters due to repeated alternation of migration and rest periods experienced by gold slivers are revealed. So as to provide more precise interpretation of mineralogical data, specialized models describing the gold from placers are recommended to be constructed based upon specific characters of gold varieties differing in time of ingress from primary sources, transportation distance and number of migration cycles.

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.4.001.57

© А. И. Кривцов, И. А. Чижова, Т. Л. Евстигнеева, 1995

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУДОНАКОПЛЕНИЯ В СУЛЬФИДНО-СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ

А. И. КРИВЦОВ, И. А. ЧИЖОВА (ЦНИГРИ Роскомнедра), Т. Л. ЕВСТИГНЕЕВА (ИГЕМ РАН)

Количественные модели рудонакопления в сульфидно-силикатных системах основаны на анализе распределения плотностных характеристик рудного вещества в различных частях рудоносных массивов. Для залежей вкрапленных и массивных руд Октябрьского месторождения (Талнах) на основе обработки данных эксплуатационного опробования реконструированы направления плотностных потоков вещества и оценены их интенсивности. Предложены аналитические решения построения траекторий движения частиц разного состава в расплаве, состоящем из силикатного вещества, халькопирита, пирротина и пентландита, в гравитационном поле.

В формировании скоплений рудного вещества в расслоенных интрузивах решающая роль отводится гравитационному разделению силикатных и рудных составляющих магматического расплава. Применительно к сульфидным медно-никелевым месторождениям наиболее простая рудогенетическая модель предполагает разделение расплавов в статичных магматических камерах. В других вариантах принимается дифференциация рудно-силикатных расплавов в процессе их движения — однонаправленного либо возвратно-поступательного. Альтернативные версии первичной обогащенности расплавов рудным веществом, самостоятельного внедрения рудных расплавов, а также многократности их инъекций не исключают воздействия гравитационного фактора на разделение рудных и силикатных масс. Соответственно, для построения количественных моделей рудонакопления в сульфидно-силикатных системах могут быть использованы реконструкции распределения плотностных характеристик в рудоносных массивах.

Такие реконструкции выполнены по Октябрьскому месторождению Талнахского

рудного узла (рис. 1) на основе обработки данных эксплуатационного опробования для вкрапленных и массивных руд в двух разрезах — продольном (86), т.е. параллельном длинной оси интрузива, и поперечном (31—33). Представляется очевидным, что модель разделения расплава в статичной магматической камере предполагает (на время внедрения) расслоенность рудных масс по вертикали. Дифференциация сульфидно-силикатного расплава в динамике допускает сочетание распределения разноплотностного вещества по латерали и вертикали. Сопоставление продольного разреза, ориентированного «по потоку», и поперечного разреза («сечение потока») дает возможность выявить направления и характер распределения плотностей для оценки соответствия той или иной модели накопления рудного вещества в качественном и количественном выражениях.

При анализе распределения плотностей рассматривался расплав, состоящий из силикатного вещества, халькопирита, пирротина и пентландита. Распределение плотностей вкрапленных и залегающих под ними массивных руд в продольном разрезе сульфид-

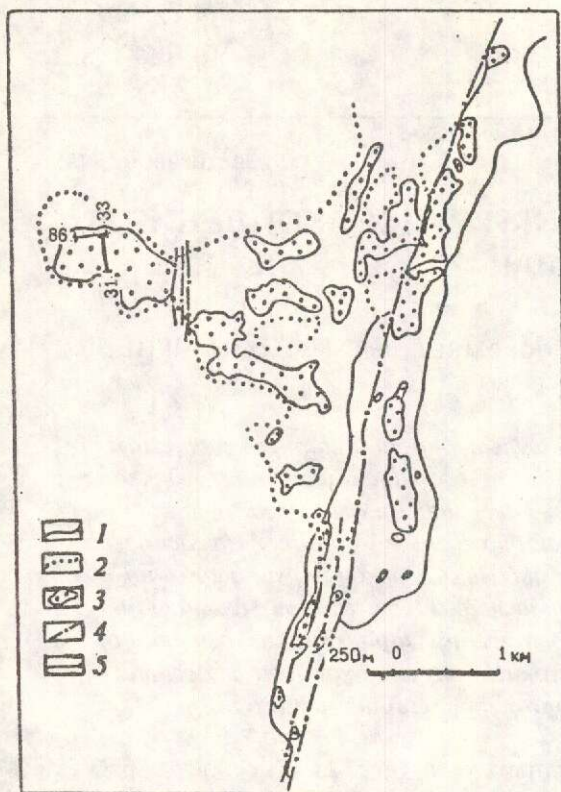


Рис. 1. Положение изученного участка в структуре Талнахского рудного поля:

1 — проекции контура Талнахского интрузива, 2 — проекции контура Хараелахского интрузива, 3 — залежи массивных руд, 4 — разрывные нарушения, 5 — линии разреза и их номера

ных залежей отражено на рис. 2. В разрезе вкрапленных руд (см.рис. 2, А) отсутствует ярко выраженная их расслоенность по возрастанию плотностей. Наиболее отчетливо проявлены диагональные (полого наклонные) линии роста и падения плотностей, подчиненные направлению продвижения расплава. Во вкрапленных рудах выделяются две основные зоны, в которых плотности возрастают от минимальных до максимальных значений по упомянутым «косым» линиям. На ряде участков повышенные плотности тяготеют не к нижним частям залежи, а к ее кровле. Из общей картины распределения плотностей создается впечатление их подчиненности как динамической (субгоризонтальной), так и гравитационной (верти-

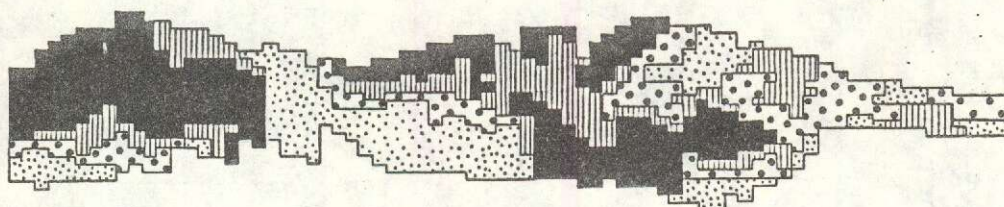
ложняющих прерывисто-волновых, а возможно, и циркуляционных (вихревых) элементов.

Иная картина распределения плотностей устанавливается в нижележащих массивных рудах (см.рис. 2, Б). В основной части залежи ярко выражено общее нарастание плотностей по субгоризонтальной оси (по направлению потока). Наиболее плотные участки тяготеют к западному (наиболее удаленному по потоку) флангу залежи и ее нижнему контакту. На локальных участках, как и во вкрапленных рудах, устанавливается рост плотностей по диагональным направлениям. В то же время, плотностная расслоенность залежи по нормали «в чистом виде» практически отсутствует.

Принципиальные различия в распределении плотностей вкрапленных и массивных руд в пространственно сопряженных залежах вынуждают исключить из рассмотрения модель расслоения сульфидно-силикатного расплава в статичной камере; с другой стороны, возникают сомнения в том, что вкрапленные и массивные руды представляют собою разные части единого по механизму и времени накопления сульфидного тела.

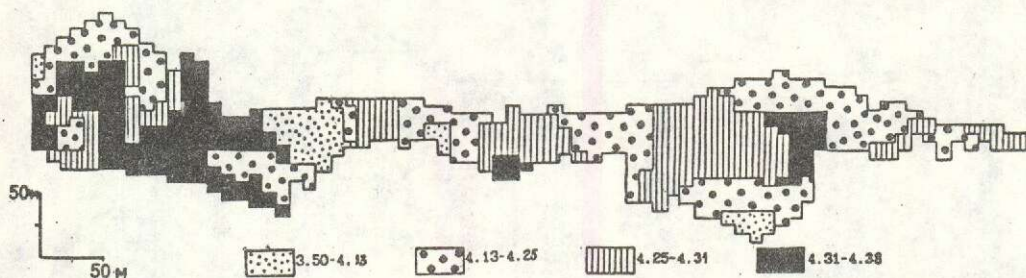
В поперечном разрезе вкрапленных руд (рис. 3, А) отчетливо проявлено двустороннесимметричное распределение плотностей. Зоны весьма высоких плотностей центральной части залежи сменяются к ее флангам сначала обширными участками пониженных плотностей (вплоть до минимальных значений), а затем — зонами максимальных плотностей. Плотностная расслоенность по вертикали практически отсутствует, а диагональные направления роста плотности выражены весьма слабо. В целом плотностная картина в «сечении потока» принципиально отличается от распределения плотностей в продольном разрезе вкрапленных руд. В поперечном разрезе массивных руд (рис. 3, Б) наиболее плотные их разности также располагаются на флангах залежи, тогда как центр ее занят рудами умеренной и низкой плотности. На отдельных участках проявлена расслоенность по направлениям. В целом же распределение плотностей сплошных руд принципиально отлично от такового для вкрапленных руд, несмотря на пространственную сопряженность тех и других

А. ВКРАПЛЕННЫЕ РУДЫ



3.03-3.10 3.10-3.12 3.12-3.14 3.14-3.42

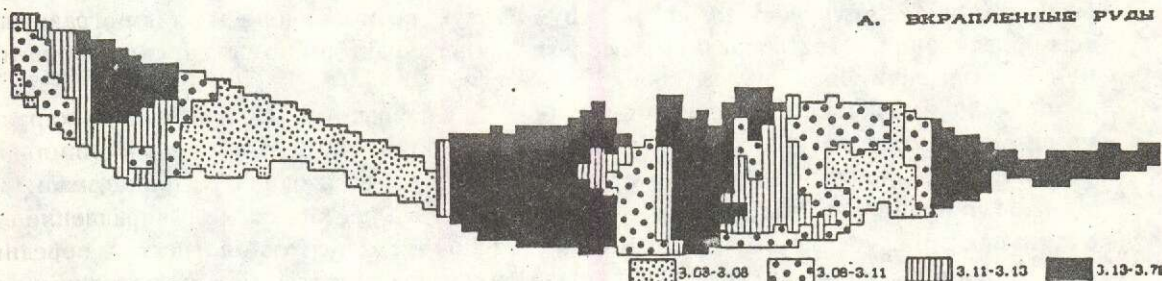
Б. МАССИВНЫЕ РУДЫ



3.50-4.13 4.13-4.25 4.25-4.31 4.31-4.38

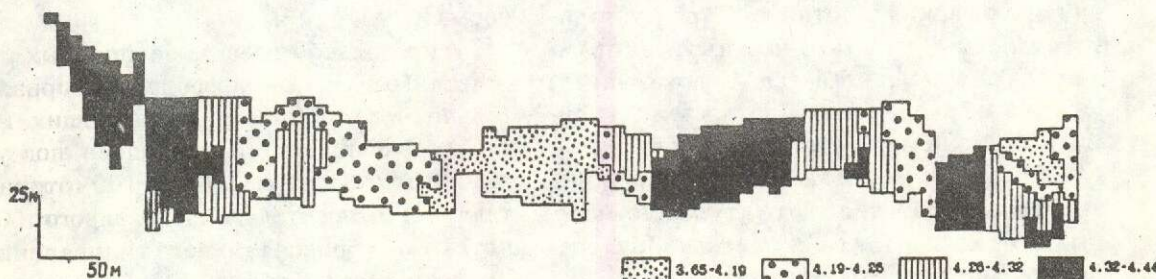
Рис. 2. Распределение плотностей (т/м^3) вкрапленных (А) и массивных (Б) руд в продольном разрезе 86 Октябрьского месторождения.

А. ВКРАПЛЕННЫЕ РУДЫ



3.03-3.08 3.08-3.11 3.11-3.13 3.13-3.78

Б. МАССИВНЫЕ РУДЫ



3.65-4.19 4.19-4.26 4.26-4.32 4.32-4.44

Рис. 3. Распределение плотностей (т/м^3) вкрапленных (А) и массивных (Б) руд в поперечном разрезе 31—33

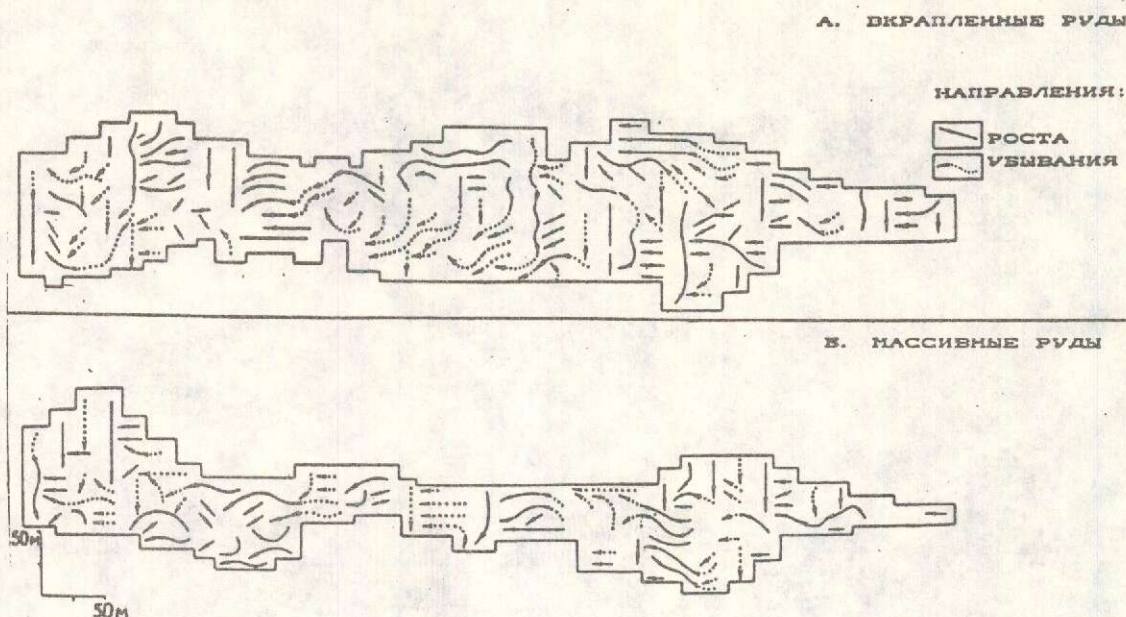


Рис. 4. Структура плотностных потоков во вкрапленных (А) и массивных (Б) рудах в продольном разрезе 86.

структуры рудных залежей использованы данные градиентно-векторного анализа. На основе исходных материалов по ориентировке частных векторов изменения плотностей были построены «плотностные потоки» путем объединения и трассирования векторов близкой ориентировки.

Исходя из возможного движения рудно-силикатного расплава с востока на запад, для продольных разрезов субгоризонтальное направление было принято за директивное с присвоением соответствующих знаков градиентам и векторам. Во вкрапленных рудах по длинной оси залежи имеет место неоднократная смена зон нарастания и убывания плотностей (по субгоризонтальным и диагональным направлениям), что сочетается с локальными участками увеличения плотностей по нормали к нижнему контакту залежи (рис. 4, А). Обращает на себя внимание наличие вихревых элементов в структуре плотностных потоков, а также их ветвление с возникновением восходящих струй.

В продольном разрезе массивных руд (рис. 4, Б) субгоризонтальная составляющая роста плотностей выражена менее отчетливо. По

ния и роста плотностей по диагональным направлениям. Для нисходящих ветвей плотностного потока характерно как убывание, так и рост плотностей, что свидетельствует об ограниченном влиянии гравитационного фактора по сравнению с динамическим.

Обобщенные количественные характеристики распределения плотностей иллюстрируются на сводной розе-диаграмме (рис. 5, А). На ней отражено распределение векторов и градиентов плотностей с объединением положительных и отрицательных значений тех и других по направлению потока и возможным его ветвлениям, а также по нормали.

В продольном разрезе вкрапленных руд отчетливо выражено преобладание горизонтальной и вертикальной составляющих. Результирующие векторы наклонены под углами 15° (положительные) и 40° (отрицательные) относительно директивного («по потоку») горизонтального направления. Значения градиентов — положительные и отрицательные — мало отличаются по абсолютной величине как друг от друга, так и по разным направлениям.

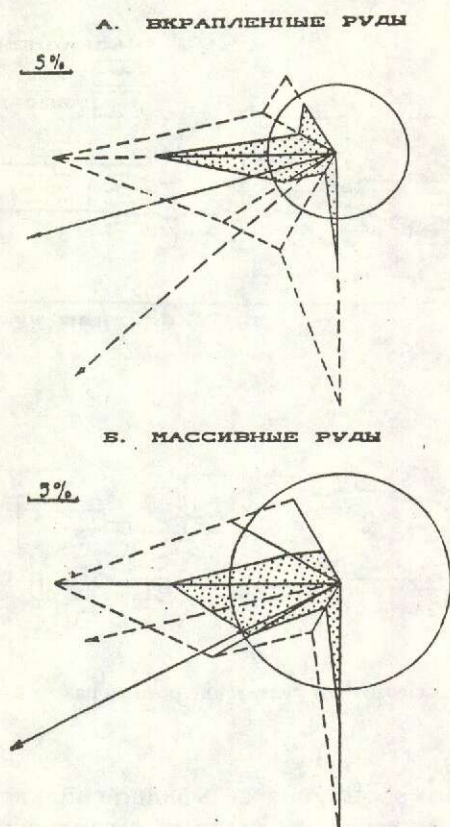


Рис. 5. Векторные розы-диаграммы распределения плотностей вкрапленных (А) и массивных (Б) руд в продольном разрезе 86.

Сплошные линии и точки — рост, пунктир — убывание; стрелки — соответствующие результирующие векторы.

стей массивных руд (рис. 5, Б) ярко выражено господство горизонтальной и вертикальной составляющих при ориентировке результирующих векторов под углами 30° (рост) и 15° (убывание).

Для построения «плотностных потоков» в поперечных разрезах принят вариант возможного двустороннего (по горизонтали) растекания. В разрезе вкрапленных руд (рис. 6, А) структура плотностного потока определяется сочетанием зон интенсивного ветвления и разворотов. В то же время в центральной части залежи отчетливо выделяются локальные участки интенсивного роста плотностей по мощности залежи. В отличие от этого, «плотностные потоки» в массивных рудах (рис. 6, Б) несколько более

ны субгоризонтальным и диагональным направлениям.

На обобщенной градиентно-векторной розе-диаграмме для поперечного разреза вкрапленных руд (рис. 7, А) отчетливо выражено преобладание горизонтальных и вертикальных составляющих. Результирующие векторы имеют весьма крутую ориентировку с отклонением от вертикали к северному флангу. Роза-диаграмма для массивных руд (рис. 7, Б) отражает господство горизонтальных ориентировок векторов при ярко выраженной асимметрии. Результирующий вектор роста ориентирован под 35° с отклонением к северному флангу залежи, а вектор убывания плотностей близок к диагональному направлению. Эти данные, вероятно, отражают общую картину сложных ориентировок потока в его случайном поперечном сечении.

Рассмотренная структура плотностных потоков в рудных телах Октябрьского месторождения может быть объяснена гравитационным разделением сульфидно-силикатного расплава в процессе его поступательного движения. Соответствующая модель рудонакопления должна учитывать перемещение рассеянных сульфидных капель к донной части магматического тела с формированием вкрапленных руд, выведение из них сульфидов на границу расплава — среда с образованием массивных руд, а также относительно независимое перемещение по латерали обогащенного силикатного (вкрапленные руды) и собственно сульфидного расплава. При этом наиболее вероятны различные скорости движения тех и других, так что наблюдаемые в каждом конкретном сечении пространственные сопряжения вкрапленных и массивных руд могут рассматриваться как следствия разновременных процессов. Иными словами, допускается, что каждая залежь массивных руд могла быть обособлена ранее, чем находящиеся над ней вкрапленные руды, поступившие на данный участок из более поздних порций продвигающегося и расслаивавшегося расплава. Эта модель требует расчетно-аналитического обоснования с использованием соответствующих количественных характеристик.

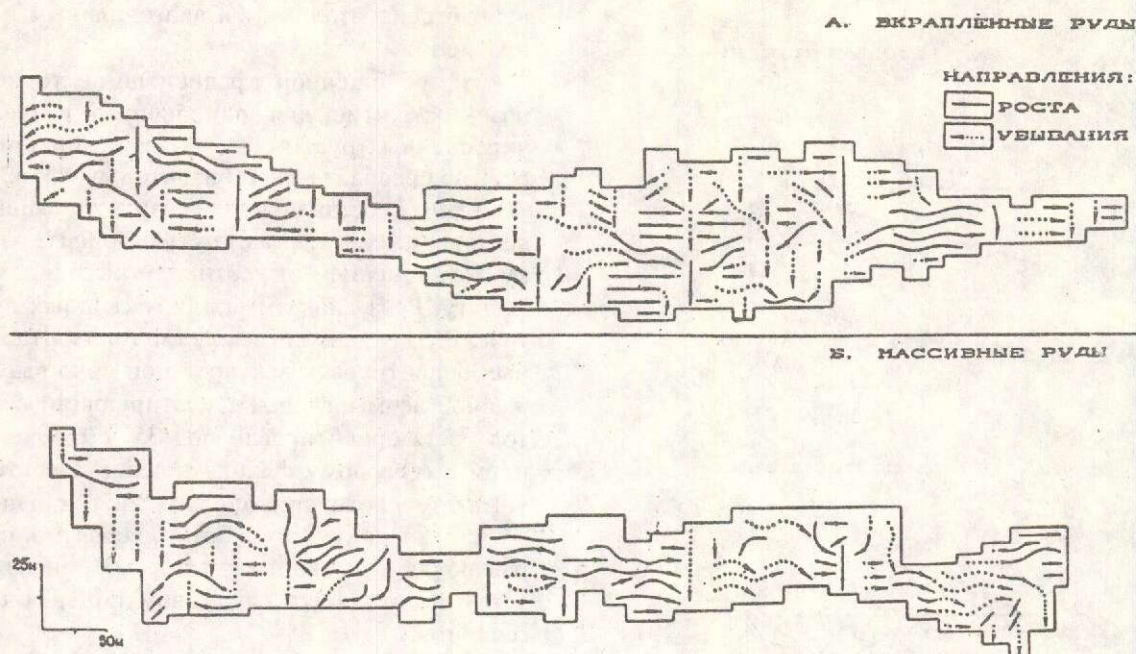


Рис. 6. Структура плотностных потоков во вкрапленных (А) и массивных (Б) рудах. Поперечный разрез 31—33.

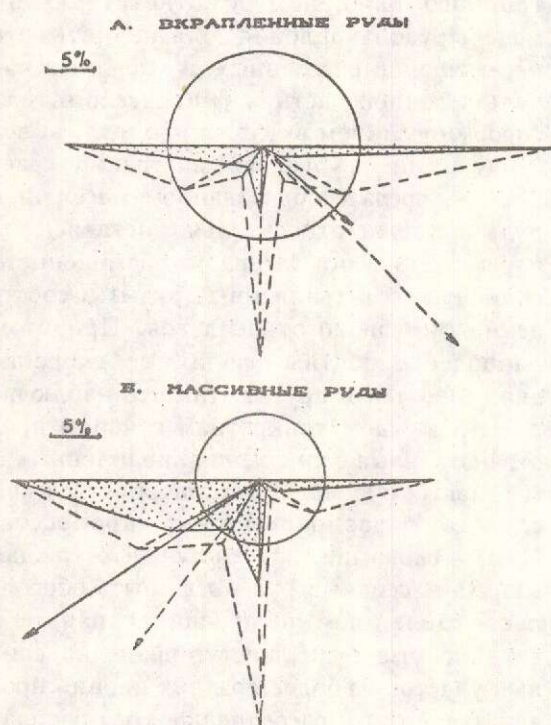


Рис. 7. Векторные розы-диаграммы распределения плотностей вкрапленных (А) и массивных (Б) руд в поперечном разрезе 31—33.

онного расслоения сульфидно-силикатных расплавов с теми или иными ограничениями используется уравнение Стокса:

$$v = \frac{2gr^2 \cdot \Delta\rho}{9\mu}, \quad (1)$$

где v — скорость погружения шарообразной частицы в несущей среде (в расплаве), r — радиус частицы, $\Delta\rho$ — разность плотностей частицы и несущей среды, μ — вязкость несущей среды.

В случае продвижения расплава по латерали как сам расплав, так и несомые им частицы перемещаются с линейной скоростью w , преодолевая путь L за время T . За это же время частицы, в соответствии с выражением (1), должны опуститься в расплаве на расстояние H , равное VT . Отсюда следует равенство:

$$v = \frac{Hw}{L}. \quad (2)$$

Подстановка этого выражения в формулу (1) позволяет получить зависимость

учитываемых законом Стокса, а также от линейной скорости (w) движения расплава:

$$\frac{H}{L} = \frac{2gr^2 \cdot \Delta\rho}{9\mu w} \quad (3)$$

H/L отвечает тангенсу угла траектории перемещения частицы в расплаве. Соответственно, формула (3) преобразовывается в следующее приближенное равенство:

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \frac{2r^2 \cdot \Delta\rho}{\mu w} \quad (4)$$

Данное выражение в дальнейшем использовано для анализа распределения сульфидных составляющих рудно-силикатного расплава при его разделении в процессе перемещения по латерали.

В последующих расчетах принимаются следующие значения радиусов частиц: $1 \cdot 10^{-4}$; $1 \cdot 10^{-3}$; $1 \cdot 10^{-2}$ м, что охватывает диапазон изменения размеров капель от их исходного состояния до слияния с увеличением радиусов на два порядка.

Возможные скорости продвижения расплава по итогам изучения металлургических процессов и вулканологических исследований оцениваются в довольно широком диапазоне значений. С учетом этих данных для последующих расчетов принимаются следующие величины скоростей в м/с (км/год): $1 \cdot 10^{-4}$ (315), $1 \cdot 10^{-5}$ (31,5), $1 \cdot 10^{-6}$ (3,15).

Вязкость силикатных расплавов изучена на примере штейнов различного состава [1], а также при моделировании процессов расслоения магм [3]. По этим данным в последующие расчеты введены следующие значения вязкости (в пуазах): 100, 500 и 1000, что охватывает весь диапазон изменений этих характеристик. Разности плотностей сульфидной и силикатной составляющих могут быть приняты на основе определений свойств шлаков и штейнов [1], а также плотностных характеристик основных рудообразующих минералов. В расчетах приняты следующие значения избыточных плотностей ($\text{кг}/\text{м}^3$): 100, 500 и 1000. Для определения зависимостей между радиусами частиц, их избыточными плотностями и углами траекторий погружения капель (рис. 8) использованы соответствующие варианты

Проанализированы также зависимости между радиусами сульфидных капель и углами их траекторий (рис. 9). Значения характеристик μ , w , r и $\Delta\rho$, использованные при построении рис. 8 и рис. 9, приведены в таблицах 1 и 2.

Для упрощения количественных оценок в дальнейшем принимается, что сульфидные капли, содержащиеся в исходном рудно-силикатном расплаве, обладают мономинеральным составом (халькопирит, пирротин, пентландит) и располагаются хаотически. Соответственно, начальной стадии рудонакопления может отвечать миграция мономинеральных сульфидных капель. Для последующих стадий допускается их попарное слияние вследствие неизбежного пересечения траекторий (рис. 10). В дальнейшем возможно слияние двухкомпонентных капель в трехкомпонентные (халькопирит + пирротин + пентландит). На конечных стадиях может происходить слияние капель, т.е. увеличение их радиусов без существенных изменений состава и значений избыточных плотностей. Для расчета углов траектории миграции мономинеральных капель использовано выражение (4). Начальный радиус капель принят равным 1 мм ($1 \cdot 10^{-3}$ м), линейная скорость движения расплава $1 \cdot 10^{-5}$ м/с при его вязкости $1 \cdot 10^3$ пуаз. Различия в траекториях капель, во-первых, влияют на дифференциацию сульфидного вещества по латерали (возникновение по потоку расплава различных вариантов ряда халькопирит-пирротин-пентландит), а, во-вторых, определяют слияние капель при пересечении их трасс, что также сопровождается возникновением элементов латеральной зональности.

При попарном слиянии сульфидных капель кроме увеличения их радиусов происходят изменения плотностных характеристик и, соответственно, избыточной плотности относительно несущего расплава. Равные доли минералов в сливающихся каплях возможны лишь при равенстве их начальных размеров. Радиусы сфероидов, возникающих из каждой пары капель, при этих условиях превышают их исходные радиусы в $\sqrt[3]{2}$, т.е. в 1,26 раза. Для случая слияния

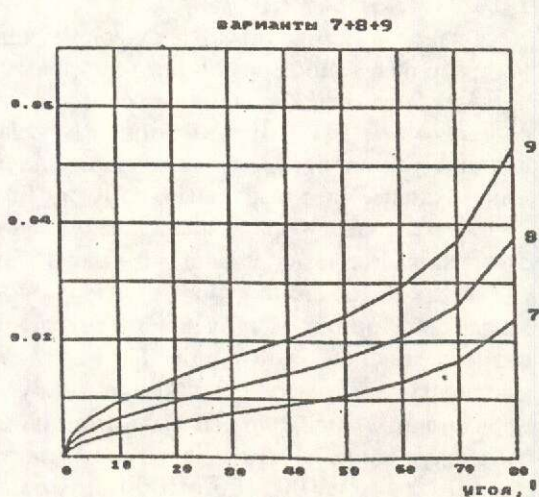
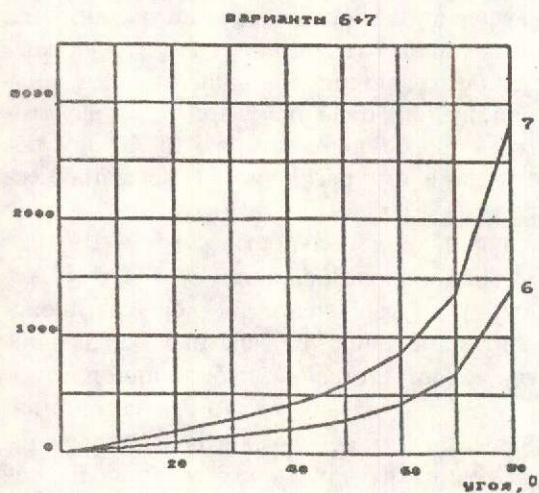
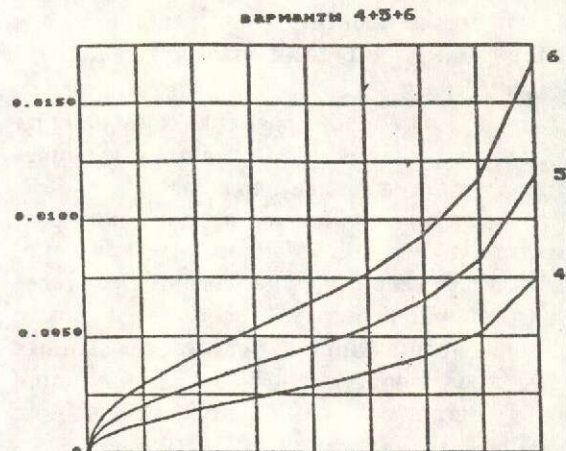
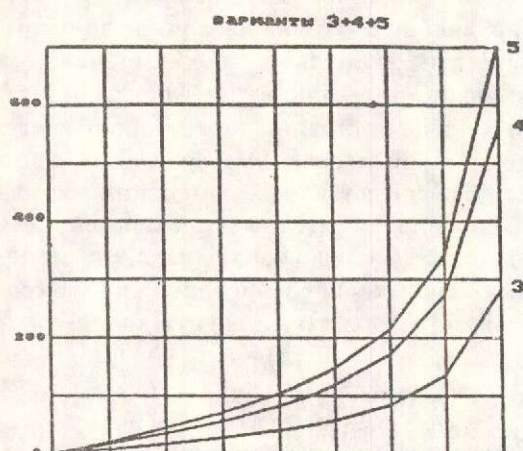
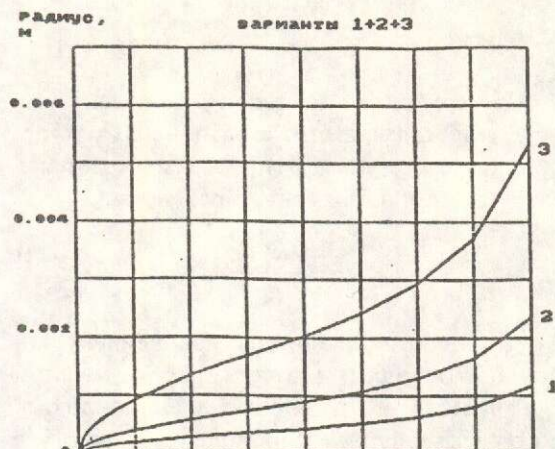
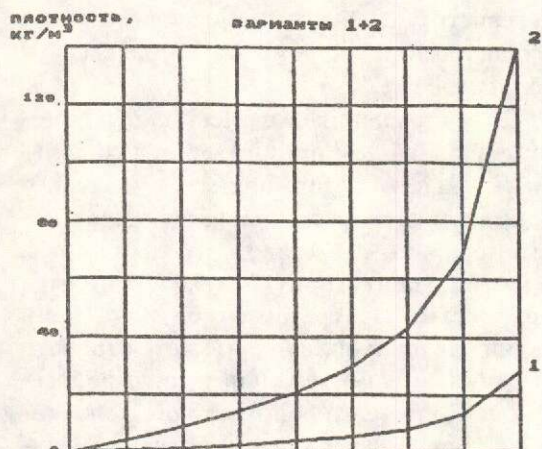


Рис. 8. Зависимости углов траекторий миграции сульфидных капель от их избыточной плотности.

Рис. 9. Зависимости углов траекторий миграции сульфидных капель от их радиусов.

1. Значения переменных, использованные для построения зависимостей между избыточной плотностью сульфидных капель и углами траектории их миграции (к рис.8)

Расчетные варианты, №№ на графиках	Вязкость пород μ , пуаз	Линейная скорость (w), м/с	Радиус частиц (r), м
1	1000	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-2}$
2	500	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-2}$
3	1000	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-2}$
4	200	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-3}$
5	250	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-3}$
6	500	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-3}$
7	1000	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$

2. Значения переменных, использованные для построения зависимостей между радиусами сульфидных капель и углами траекторий их миграции (к рис.9)

Расчетные варианты, №№ на графиках	Вязкость пород μ , пуаз	Линейная скорость (w), м/с	Избыточная плотность ($\Delta\rho$), кг/м ³
1	500	$1 \cdot 10^{-6}$	1000
2	1000	$1 \cdot 10^{-6}$	500
3	500	$1 \cdot 10^{-5}$	500
4	1000	$1 \cdot 10^{-5}$	500
5	500	$1 \cdot 10^{-4}$	1000
6	500	$1 \cdot 10^{-4}$	500
7	1000	$1 \cdot 10^{-4}$	500
8	500	$1 \cdot 10^{-4}$	100
9	1000	$1 \cdot 10^{-4}$	100

диуса радиус увеличивается против исходного в $\sqrt[3]{3}$, т.е. в 1,442 раза.

Результаты соответствующих расчетов приведены в табл. 3, данные которой использованы для построения траекторий частиц различных составов и размеров (см.рис. 10).

Последующее укрупнение капель может не сопровождаться увеличением избытка плотности. Крутизна их траекторий прямо зависит от квадрата радиуса суль-

может быть использовано соотношение тангенсов углов траектории частиц разных радиусов и плотностей, полученное из выражения (4):

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 \cdot \frac{\Delta \rho_2}{\Delta \rho_1} \quad (5)$$

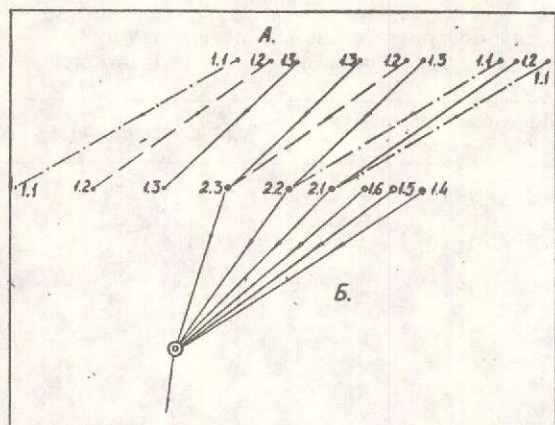


Рис.10. Расчетные траектории сульфидных капель рудного состава.

А — рассеивание, Б — слияние. Расчетные углы увеличены вдвое (см. текст и табл. 3)

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1} = n^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{\Delta \rho_2}{\Delta \rho_1}, \quad (6)$$

где n — число слившихся капель одного и того же радиуса.

При равенстве избыточных плотностей отношения тангенсов (и, соответственно, углы траекторий) равны квадрату отношений радиусов частиц. По свойствам шлаков и штейнов [1] и рассмотренным выше плотностным характеристикам сульфидных капель разного состава отношения избыточных плотностей могут колебаться в пределах 1,0—1,5. Исходя из этого, на графике (рис. 11) построены кривые роста отношения тангенсов углов траекторий для трех значений отношений избыточных плотностей (1; 1,25; 1,5). Как следует из этих построений, определяющее влияние на траектории оказывает укрупнение капель. В частности, десятикратный рост угла траектории достигается при увеличении соотношений радиусов капель в 2,5—3 раза (см. рис. 11).

Допустим, что траектория миграции капель из самых верхних точек магматического расплава отвечает углу 6° . В этом случае при мощности интрузива, равной 100 м, такие капли могут достигать кровли вкрапленных руд на расстоянии в 1000 м. Иными

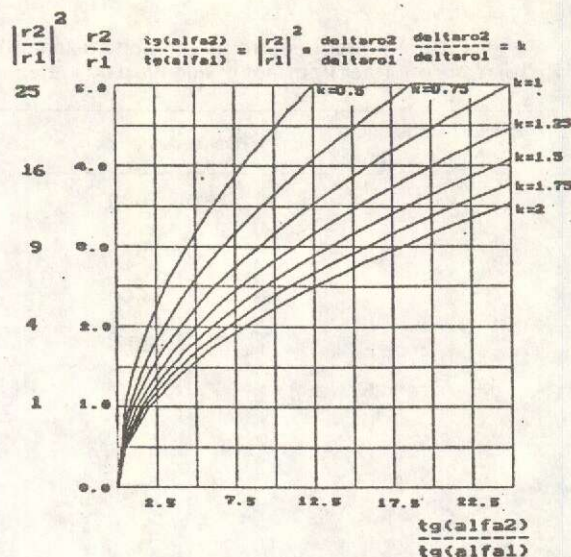


Рис.11. Рост углов траекторий сульфидных капель при их слиянии с увеличением отношений радиусов ($r_2 : r_1$); K — варианты отношений избыточных плотностей (пояснения в тексте).

руд должна отвечать точка кровли интрузива, изначально удаленная по латерали на 1 км. Сульфидные обособления во вкрапленных рудах обладают радиусом в первые сантиметры. Как видно из рис. 9, при определенных условиях частицы радиусом в 1 см могут погружаться под углом в 45° . Соответственно, сульфидные капли от кровли вкрапленных до кровли массивных руд перемещаются по латерали на расстояние, близкое к мощности вкрапленных руд. Учитывая то обстоятельство, что последняя величина по крайней мере на порядок меньше мощности интрузива, можно допустить кратковременность перехода сульфидных капель из вкрапленных руд в массивные, обособливающиеся в придонной части.

По данным А.П.Лихачева, градиенты мощностей безрудной части Талнахского интрузива колеблются от 0,014 до 0,143 при изменении знаков «по потоку» (расширения и сужения). В варианте сужения потока возможны пересечения траекторий капель с верхней границей интрузива. В таких случаях продвижение сульфидного вещества по верхнему контакту с тем или иным концентрированием в таких зонах или консерва-

3. Расчетные тангенсы углов погружения сульфидных капель (при линейной скорости движения расплава $1 \cdot 10^{-5}$ м/с и его вязкости $1 \cdot 10^3$ пуаз)

Состав капель	Избыточная плотность, кг/м ³	Тангенсы углов
Первичные капли размером $1 \cdot 10^{-3}$:		
халькопирит	1300	0,26
пирротин	1600	0,32
пентландит	2000	0,40
халькопирит+пирротин	1450	0,29
халькопирит+пентландит	1650	0,33
пирротин+пентландит	1800	0,36
халькопирит+пирротин+пентландит	1630	0,326
Слившиеся пары исходных капель с новым радиусом $1,25 \cdot 10^{-3}$ м:		
халькопирит+пирротин	1300	0,416
халькопирит+пентландит	1600	0,512
пирротин+пентландит	1800	0,72
Слившиеся три исходных капли с новым радиусом $1,44 \cdot 10^{-3}$ м:		
халькопирит+пирротин+пентландит	1630	0,678

деление сульфидных капель влияют соответствующие изменения гидродинамических характеристик потока, что требует особого рассмотрения.

В целом, количественный анализ распределения сульфидного вещества во вкрапленных и массивных рудах позволяет выявить главные черты разделения рудно-силикатного расплава в движущемся потоке. Различия в плотностях и радиусах мигрирующих к основанию потока сульфидных капель определяют возникновение комбинированной латеральной и вертикальной докристаллизационной зональности рудных тел. При этом «питающая» часть магматического тела (ныне безрудная) в процессе своего продвижения обеспечивает накопление вкрапленных руд. Из последних в придонной части поступает сульфидный расплав, исходный для массивных руд. В силу значительных различий в реологических характеристиках разных частей системы сульфидный расплав (массивные руды) выступает в качестве «смазки» для вышележащего силикатно-

катного расплава. Вследствие этого возникает дифференциация скоростей трех различных составляющих рудоносного магматического тела. Сульфидный расплав, обособливающийся в донных частях, может перемещаться лишь до ближайшего прогиба подошвы интрузива, не преодолевая соответствующие подъемы бортов. Соответственно, в данной модели тыловые (по потоку) залежи массивных руд должны принадлежать к наиболее ранним по времени обособлениям, в противоположность фронтальным залежам. Вкрапленные руды в каждом поперечном сечении представляют собою более поздние образования относительно нижележащих массивных руд, залежам которых родственны остаточные вкрапленные руды, далеко продвинутые по потоку расплава по длинной оси интрузива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гречко А.В. Свойства расплавов, получаемых на предприятиях цветной металлургии // Цветная металлургия. 1994. № 9. С. 11-12.
2. Исследование скорости движения расплава в печах

- А.В.Гречко и др. //Цветная металлургия. 1994. № 8. С. 15—18.
3. Irvin T.N. Layering and related structures in the Duke island and Skaergaard intrusions // Jn. «Origins of igneous layering», NATO, ASI series. Ser. C. Vol. 196. — D.Redel, Dordrecht, 1987.

Krivtsov A. I., Chizhova I. A., Yevstigneyeva T. L.

QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF ORE ACCUMULATION IN SULFIDE-SILICATE MELTS

Quantitative models of ore accumulation in sulfide-silicate systems are based on the analysis of distribution of ore matter density characteristics in different zones of ore-bearing masses. Directions and intensity of matter density flows are reconstructed on the basis of treatment of exploitation sampling data for impregnated and massive ore depositional features of the Oktyabr'skoye deposit (Talnakh). Analytical solutions are proposed for use in constructing trajectories of different-composition particles moving in a melt composed of silicate matter, chalcopyrite, pyrrhotite and pentlandite in gravity field.

УДК 553.411:553.06

©Коллектив авторов, 1995

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И СОСТАВ РУД ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖУЛЬЕТТА (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

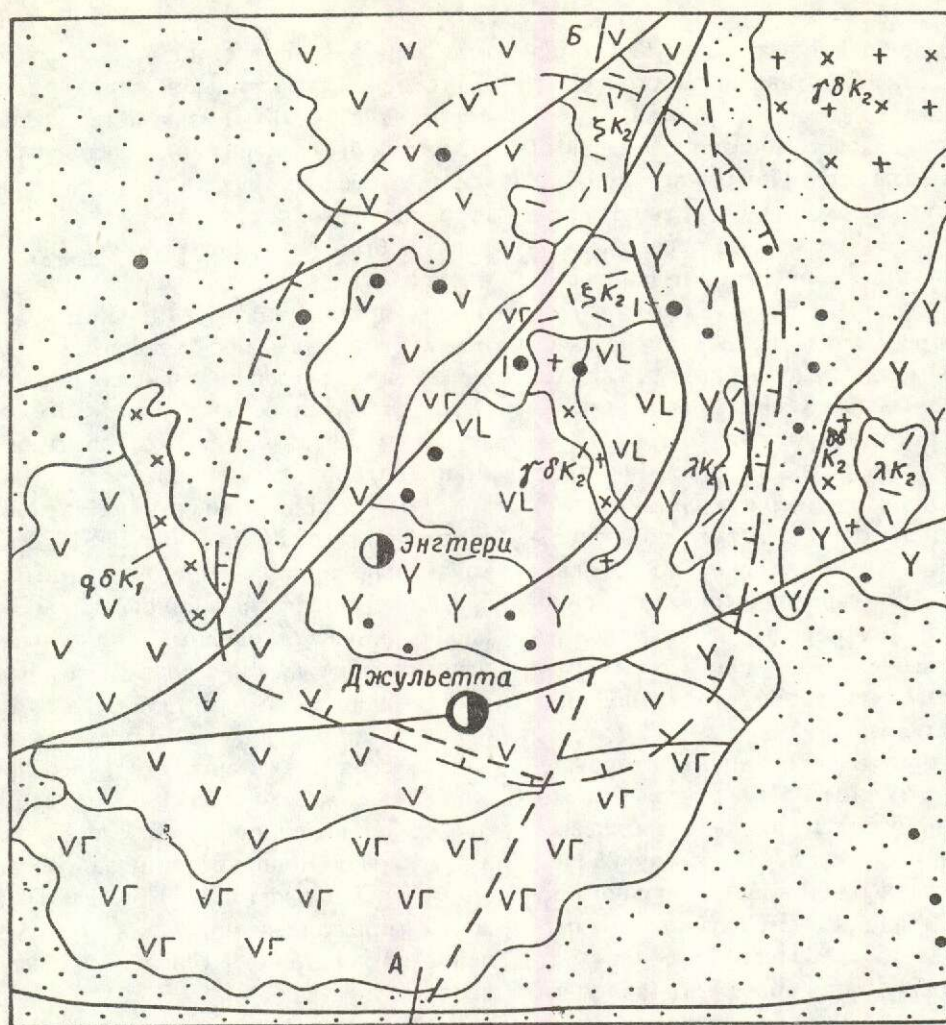
О. Б. РЫЖОВ, С. Ф. СТРУЖКОВ, В. В. АРИСТОВ (ЦНИГРИ Роскомнедра),
Н. В. ГРИГОРЬЕВ, А. Г. КОЛЕСНИКОВ (Дукатская ГГП)

Рассмотрены геологическое строение и метасоматическая зональность нового золото-серебряного месторождения Джульетта. Выделено два этапа формирования золото-серебряных руд: ранний (поствулканический) и поздний, разделенные внедрением гранитоидных интрузий. По температурам минералообразования месторождение относится к низкотемпературным; возраст его по рубидий-стронциевому определению — раннемеловой.

Месторождение Джульетта открыто в 1989 г. геологами Дукатской ГГП при проведении литогеохимической съемки 1:50000 масштаба. Авторы проводили комплексное геологическое и минералогическое изучение в 1989—94 гг. Месторождение расположено во внешней мегазоне Охотско-Чукотского вулканического пояса в пределах крупной вулканотектонической депрессии (рис. 1). Породы основания депрессии представлены интенсивно дислоцированными песчано-глинистыми нижнеюрскими терриген-

сия выполнена ранне-позднемиоценовыми вулканогенно-осадочными отложениями мощностью до 1000 м, разделенными на четыре свиты.

Нижняя свита, раннемелового возраста, представлена андезитами и андезитобазальтами с прослоями дацитов, туфов андезитов, туфопесчаников и туфоалевролитов. Субвулканическими аналогами этой свиты являются штоки и дайки андезитов. Вторая свита, ранне-позднемиоценового возраста, сложена в основном продуктами кислого вулканизма: туфами дацитов с про-



км 2 0 2 4 6 8 км

РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ АБ

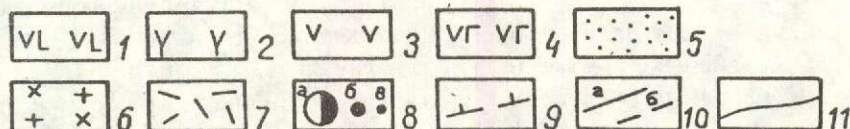


Рис. 1. Схема строения рудного узла:

1 — риолиты верхней четвертой свиты; 2 — андезиты и андезито-базальты третьей свиты; 3 — туфы дацитов второй свиты; 4 — андезито-базальты нижней первой свиты; 5 — юрские терригенно-морские отложения; 6 — гранитоиды мелового возраста; 7 — субвулканические дациты второй свиты; 8 — золото-серебряные месторождения и рудопроизведения (а), точки минерализации (б); 9 — границы рудного узла; 10 — разломы известные (а),

фогенно-осадочных пород. Ее субвулканические аналоги представлены многочисленными дайками дацитов и риолитов. Третья свита того же возраста состоит из андезитов и андезито-базальтов. Породы верхней четвертой, видимо верхнемеловой, свиты представлены лавами риолитов с прослоями туфолов, игнимбритов риолитов и дацитов.

Таким образом, в разрезе меловых вулканитов в пределах депрессии можно выделить два ритма, в каждом из которых породы основного и среднего состава закономерно сменяются породами кислого состава. Подобное строение разреза дает основание предполагать [5], что в период формирования вулканогенной толщи действовало несколько магматических очагов — подкоровый, внутрикоровый и периферический приповерхностный. Все породы, за исключением самых молодых отложений четвертой свиты, прорваны штоками диоритов и гранодиоритов мелового возраста.

Геологическое строение месторождения. Месторождение Джульетта расположено в южной части вулcano-тектонической депрессии в пределах локальной вулканоструктуры, отвечающей площади рудного поля, и представленной стратовулканом площадью около 15 км². Месторождение представляет собой блок пород, ограниченный крупными разломами и, по данным дешифрирования аэрофотоснимков, отличается от окружающей территории повышенной трещиноватостью. Вмещающими породами являются преимущественно туфы андезитов нижней свиты (рис. 2). Центральная часть рудного поля опущена, и вулканиты прорваны здесь субвулканическими андезитами (аналогами эффузивных отложений нижней свиты). На флангах туфы андезитов прорваны дайками риолитов (аналогами эффузивов второй свиты) и штоками диоритов и гранодиоритов.

Месторождение занимает площадь около 2 км², на которой выявлено шесть жильных зон с золото-серебряным оруденением. Мощность жильных зон колеблется от 30—50 до 150 м. Среди них выделяется основная субширотная зона протяженностью около 1900 м и расположенные к ней под углом, менее протяженные (300—1000 м) жильные зоны северо-западной ориентировки. Кроме

ные зоны северо-восточной ориентировки. Для субширотной жильной зоны характерны короткие (50—100 м) извилистые кулисообразные или беспорядочно расположенные жилы. Анализ их морфологии и внутреннего строения позволяет считать, что рудовмещающими были трещины отрыва. Для жильных зон северо-западной ориентировки типичны протяженные (200—500 м) слабо извилистые жилы, предположительно сформированные в трещинах скола. В пределах рудных тел мощность жил изменяется от 0,1 до 1,2 м (в раздувах и сложнопостроенных многократно телескопированных участках до 5 м), а протяженность по падению и простиранию от 50 до 200—250 м. Для них характерно наличие многочисленных апофиз и оперяющих прожилков. В плане часто наблюдаются четковидные жилы, флексурные перегибы жил и послерудные поперечные смещения с амплитудой 0,1—5 м. Минерализованные зоны, как правило, включают в себя одну или несколько основных жил и множество прожилков. Мощность прожилков колеблется от 0,5 до 10—15 см, а суммарная мощность минерализованных зон обычно не превышает 1,5—2 м. Падение жил и минерализованных зон преимущественно крутое 75—85° северное или северо-восточное.

Руды месторождения Джульетта относятся к золото-серебряной формации, поэтому геохимическому типу [2]. Средние содержания золота и серебра по рудным телам меняются соответственно в пределах 12,6—34,5 г/т и 35—825 г/т. Среднее золото-серебряное отношение составляет по месторождению 1:20. Практически вся рудная минерализация на месторождении приурочена к кварцевым жилам и прожилкам. Незначительная часть ее отмечена в виде мелкой вкрапленности серебряных минералов и золота во вмещающих породах в непосредственной близости (1—2 см) от зальбандов жил и прожилков в пределах ореолов калишпат-кварцевых метасоматитов. Мощность жил переменная, раздувы сменяются пережимами, однако четкой корреляции между мощностью отдельных жил или их участков и содержанием в них полезных компонентов не наблюдается. Увеличение концентраций золота и серебра

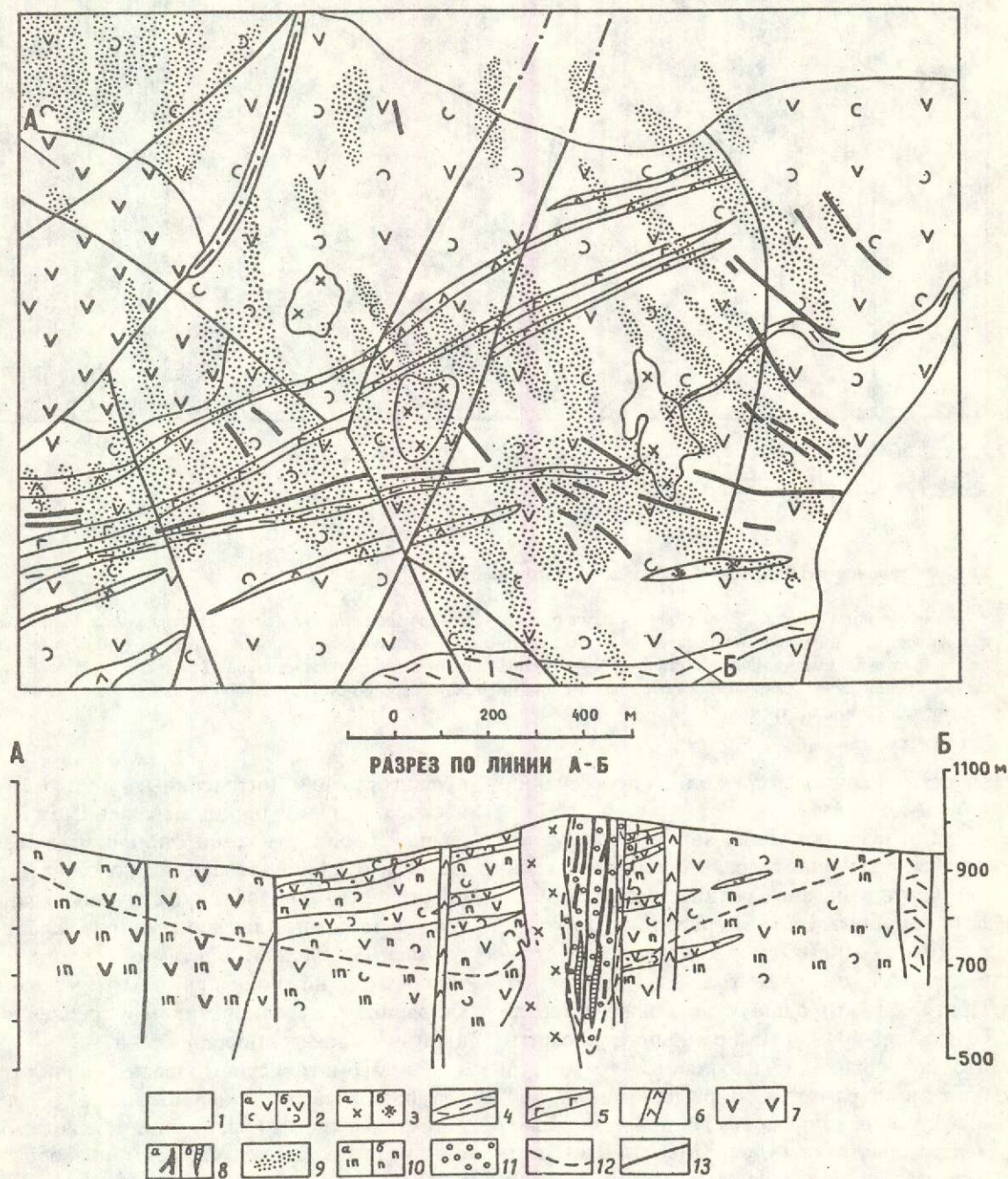


Рис. 2. Схема строения месторождения:

1 — четвертичные отложения; 2 — андезиты (а) и их туфы (б) нижней свиты; 3 — штоки меловых кварцевых диоритов (а), диоритовых порфиров (б); 4 — дайки риолитов второй свиты; 5 — дайки риодацитов второй свиты; 6 — дайки дацитов второй свиты; 7 — субвулканические андезиты первой свиты; 8 — рудные жилы (а) и зоны минерализации (б); 9 — вторичные ореолы рассеяния золота; 10 — пропилиты среднетемпературные эпидот-хлоритовые (а), низкотемпературные карбонат-гидрослюдисто-хлоритовые (б); 11 — березиты; 12 —

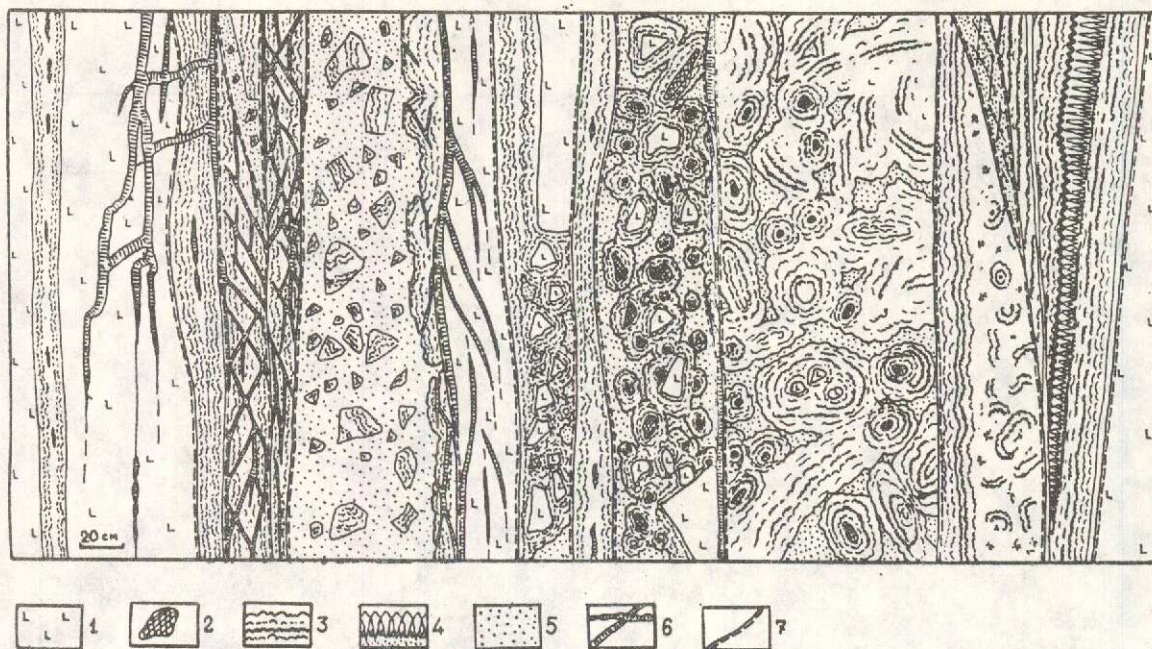


Рис. 3. Строение рудного тела в пределах рудного столба:

1 — вмещающие породы; 2 — обломки адуляр-карбонат-гидрослюдисто-кварцевого состава с вкрапленностью сульфидов; 3 — ритмично-полосчатые агрегаты золото-полиметаллической стадии; 4 — гигантокристаллический кварц золото-полиметаллической стадии; 5 — агрегаты золото-серебро-сульфосольной стадии; 6 — прожилки и линзы гребенчатого кварца с аметистовыми зонами золото-серебро-сульфосольной стадии; 7 — сколовые нарушения с глиной трения

ватости — сочленению жил, их пересечению или наложению.

Для месторождения характерны рудные столбы, в которых сосредоточена значительная часть запасов. Средние содержания золота в рудных столбах достигают 100 г/т, серебра — 1000 г/т. Мощность жил в столбах может увеличиваться до 5 м (рис. 3). Протяженность рудных столбов по латерали составляет 40—50 м. Можно предположить, что по вертикали сохраняются те же или близкие параметры. В расположении рудных столбов в плоскости жильных зон намечается шаг, равный в среднем 150 м. Позиция столбов определяется сочленением разноориентированных рудовмещающих структур, их крупными изгибами, участками, пересечений дорудных разломов, зон трещиноватости рудными жилами. Для них характерно совмещение нескольких разновозрастных минеральных ассоциаций.

Метасоматические изменения вмещаю-

предшествовали интенсивные метасоматические изменения пород, выраженные в площадной пропилитизации, линейной березитизации и калишпатизации околожильного пространства. Внедрение пострудных гранитоидов мелового возраста сопровождалось локальным (вблизи контактов) прогревом толщи вулканитов и, в связи с этим, ороговикованием, скарнированием и грейзенизацией вмещающих пород.

Метасоматические породы пропилитовой формации представлены низко- и среднетемпературными фациями. Низкотемпературные пропилиты сложены новообразованиями пирит-кальцит-кварц-хлорит-гидрослюдистого состава (иногда с альбитом). Они распространены на всей площади месторождения и образуют довольно однородный фон изменения пород (20—50 % новообразований), на котором в приконтактной части субвулканического тела андезитов выделяются зоны более интенсивной

ческой проработки. Среднетемпературные пропилиты характеризуются развитием эпидот-хлорит-альбит-кальцитовой ассоциации. Количество новообразований этой ассоциации не превышает 30—50 %. Эти метасоматиты незначительно распространены на юго-восточном, наиболее эродированном, фланге месторождения и, судя по результатам бурения, подстилают низкотемпературные пропилиты начиная с глубины около 170 м.

Таким образом, в распределении фаций пропилитов отмечается вертикальная зональность. Граница фаций, в центральной части месторождения залегающая на глубине 170 м, постепенно поднимается к дневной поверхности. Большая часть рудных тел расположена в пределах низкотемпературных пирит-кальцит-кварц-хлорит-гидрслюдистых пропилитов.

Метасоматиты, принадлежащие к формации березитов, образуют широкие (20—100 м) зональные околорудные ореолы. Внешняя высокотемпературная зона их представлена пирит-серицит-карбонат-кварцевыми новообразованиями, а внутренняя низкотемпературная — пирит-карбонат-кварц-гидрслюдистыми. Последние развиты по туфам андезитов преимущественно в центральной части месторождения. Они образуют ореолы мощностью 3—5 м вокруг кварцевых жил. Количество новообразований несколько увеличивается по мере приближения к жилам. В непосредственной близости от них отмечаются многочисленные прожилки карбонат-кварцевого состава. Серицитовые более высокотемпературные березиты образуют линейные зоны вдоль всех рудных тел. Ширина зон колеблется от 50 м в центральной части месторождения до 10 м в восточной части. По мере удаления от рудных тел количество новообразований, представленных пиритом, анкерит-доломитом, серицитом и кварцем, уменьшается от 50 до 15 %. Березиты наложены на пропилитизированные породы. Серицит замещает хлорит и альбитизированный плагиоклаз, железисто-магнезиальный карбонат развивается по кальциту.

Синрудные околосильные калишпатовые метасоматиты развиты непосредственно в экзоконтактах рудных жил и прожилков.

вающиеся по мелкозернистому агрегату кварц-гидрслюдистых березитов, образуя отдельные гнезда и линзы вдоль кварцевых жил.

В непосредственной близости от контактов штоков гранодиоритов и кварцевых диоритов отмечены ороговикованные породы. Ороговикование выражается в образовании гранобластовой структуры основной массы пропилитизированных эффузивов и формировании в них интенсивно хлоритизированных участков. Текстура пород становится пятнистой, сетчатой и вместе со структурно-вещественными преобразованиями отражает перераспределение вещества. Изредка в эндоконтактах гранитоидов и на глубоких горизонтах месторождения во вмещающих породах отмечаются прожилки и гнезда эпидот-кальцитового состава. По-видимому, эти образования относятся к скарноидам и связаны с внедрением гранитоидов. В приконтактных частях штоков гранитоидов проявлена грейзенизация в виде кварц-мусковитовых новообразований с мелкой вкрапленностью касситерита. Количество новообразований не превышает 5—10 %.

Минеральный состав руд. По данным авторов и предшествующих исследователей (Рябов А.Н. и др., 1992, 1994), руды месторождения характеризуются весьма сложным минеральным составом. В них установлено более 60 минералов (таблица). В то же время по набору главных минералов руды Джульетты чрезвычайно просты — это кварц и пирит. Кварц составляет 90—95 % жильного выполнения, а пирит — не менее 80—90 % среди рудных минералов. Карбонат в кварцевых жилах имеет подчиненное значение, но местами его количество возрастает до 10—15 %. Наиболее обогащен карбонатным материалом западный фланг месторождения, где часто встречаются слабопродуктивные кварц-карбонатные или чисто карбонатные прожилки. В самостоятельных прожилках карбонат обычно представлен кальцитом или доломитом, а в рудоносных кварцевых жилах преобладают железистый доломит ($Mg:Fe > 2:1$), паранкерит ($Mg:Fe = 2:1$) и анкерит ($Mg:Fe = 1:1$) [6]. В карбонатах ряда магнезит-сидерит выделен промежуточный минерал — мезитит ($Mg:Fe = 1:1$). Часто встречаются.

Минералы руд месторождения Джульетта (по А.Н.Рябову с дополнениями)

Гипогенные			Гипергенные		
Главные	Второстепенные	Редкие	Гидротермально-метасоматические и реликтовые	Главные	Второстепенные
Пирит Кварц	Сфалерит Галенит	Фрейбергит Самородное Ag	Эпидот Рутил	Гетит Гидрогетит	Кальцит Монтмориллонит
Fe-доломит*	Халькопирит	Пирсеит	Хлорит	Гидрогематит	Пирролизит
Анкерит	Тетраэдрит	Пираргирит	Серицит	Самородное Ag	Малахит
Гидрослюда	Полибазит	Науманнит	Пирофиллит	Акантит	Азурит
	Se-полибазит	Гессит	Гидрослюда		Ковеллин
	Акантит	Аргиродит	Магнетит		Халькозин
	Se-акантит	Те-канфильдит	Пирротин		Кераргирит
	Кюстелит	Алларгентум	Альбит		Арагонит
	Самородное Au	Штернбергит	Циркон		Ярозит
	Кальцит	Аргенто-теннантит	Анатаз		Гипс
	Доломит	Арсенопирит	Анкерит		Бассанит
	Паранкерит*	Гематит			
	Анатаз*	Марказит			
	Адуляр	Апатит			
		Родохрозит			
		Родонит			
		Мезитит*			
		Клиноцоизит			
		Каолинит			

* Минералы, впервые установленные авторами.

слюда, адуляр, сфалерит, халькопирит, галенит, тетраэдрит, сульфосоли серебра, самородное золото и кюстелит. Содержание рудных минералов в жилах составляет в среднем 0,5—1 %, хотя в отдельных сечениях может достигать 7—10 %.

Основной формой нахождения золота на месторождении является самородное золото пробы 500—700 (единичные анализы дают значения до 830). Широко распространен кюстелит. Примесь золота отмечается в самородном серебре (0,2—2,75 %) и в алларгентуме (0,17—0,39 %). Для самородного золота типична примесь ртути (0,1—1,1 %). От ранней продуктивной стадии к поздней пробность золота уменьшается. Размер выделений самородного золота изменяется от 0,001 до 1,0 мм. По количеству золотин

мм), а по массе — крупное (0,1—1,0 мм), составляющее почти 40 %. Морфология золотин весьма разнообразна: округлые, каплевидные, амебообразные, прожилковидные, дендритовидные и сложные интерстициальные формы. Преобладают изометричные золотины с коэффициентом удлинения, не превышающим 1:2. Мелкое золото, как правило, представлено округлыми и каплевидными выделениями, более крупное золото — объемными дендритами и другими сложными формами. В целом для ранней продуктивной стадии характерно более мелкое золото. Травление показывает, что большинство золотин имеет первичную зональную структуру. Реже встречаются золотины с мозаично-зональной, пятнистой и блоковой структурами. Основная масса золота

ются выделения золота в галените, сфалерите, а также в минералах серебра, блеклых рудах и кварце. Для ранней продуктивной стадии наиболее характерны выделения золота в пирите и, в меньшей степени, в кварце. В поздней продуктивной стадии преобладают выделения золота в сульфидах полиметаллов и в минералах серебра.

Основная масса серебра встречается в виде собственных серебряных минералов и в составе блеклых руд. Одним из главных минералов-концентраторов серебра является тетраэдрит (4,28—8,48 % Ag). Фрейбергит содержит от 22,91 до 39,03 % Ag, но распространен значительно меньше. Среди собственных минералов серебра преобладают полибазит и селенистый полибазит. Часто встречаются акантит и селенистый акантит. Остальные серебряные минералы распространены незначительно.

Текстурные особенности руд. В рудах месторождения наиболее широко распространены различные виды ритмично-полосчатой и крустификационной макротекстур. Значительно реже встречаются массивная, брекчиевая (см. рис. 3) и прожилково-вкрапленная макротекстуры. Практически все макротекстуры образованы в результате отложения минералов в свободном пространстве. Признаки метасоматических замещений в рудах встречаются крайне редко (главным образом в участках выклинивания, брекчирования или пересечения жил и прожилков).

Основная масса кварцевых жил обладает ритмично-полосчатой макротекстурой. В подавляющем большинстве она обусловлена чередованием кварцевых и гидрослюдисто-карбонат-адуляр-кварцевых агрегатов. Кварцевые прослои обладают, как правило, гребенчатой, реже — радиально-лучистой микротекстурой и гипидиоморфной структурой, от мелко- до крупнозернистой. Прослои полиминерального состава характеризуются массивной, гнездовой или вкрапленной микротекстурами и аллотриоморфной тонкозернистой структурой. В большинстве кварцевых жил отмечается не менее 10—15, а в некоторых случаях до 50, тонкозернистых гидрослюдисто-карбонат-адуляр-кварцевых ритмов среди прослоев гребенчатого кварца. Мощность этих ритмов, как правило, не-

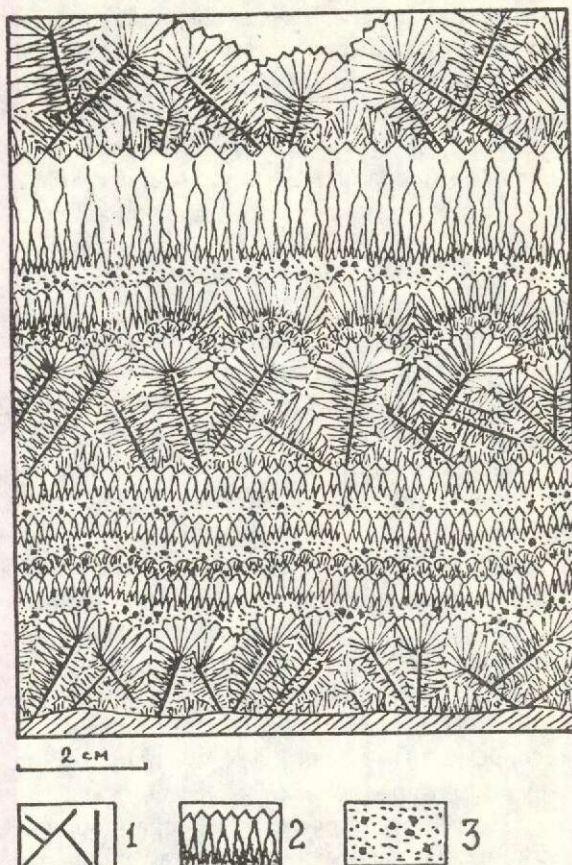


Рис. 4. Кварцевая жила золото-серебро-сульфосольной стадии ритмично-полосчатой макротекстуры:

1 — пластинчатый калевит; 2 — гребенчатый кварц; 3 — мелкозернистые полиминеральные ритмы с вкрапленностью рудных минералов

не более 1—5 % мощности жилы, однако именно к ним приурочено основное количество рудных минералов и золота. В отдельных случаях (обычно в пределах рудных столбов) суммарная мощность мелкозернистых полиминеральных агрегатов может увеличиваться до 20—30 %. В этом случае полосчатая текстура проявляется в чередовании прослоев с различным качественным набором и количественными соотношениями рудных минералов в тонкозернистом гидрослюдисто-карбонат-адуляр-кварцевом агрегате. Ритмично-полосчатая макротекстура нередко бывает обусловлена наличием в жиле нескольких (до пяти) карбонатных ритмов. В жилах ранней продуктивной стадии это — ритмы зональных кварц-паранке-

напоминающих веточки кораллов, в жилах поздней продуктивной стадии — ритмы пластинчатого кальцита (папиршпата) (рис. 4). Мощность карбонатных ритмов колеблется от 3—5 мм до 5—10 см. Сингенетичные рудные минералы в этих ритмах отсутствуют. Микротекстура таких участков жил сталактитоподобная, овоидная, сферолитовая, каркасно-пластинчатая, гребенчатая (при обрастании «сталактитов» и папиршпата гребенчатым кварцем). Именно для этих ритмов характерны микротекстуры замещений, обусловленные развитием более поздних минералов этих же стадий по карбонатным образованиям: мезитита по анкериту «сталактитов», железистого доломита и кварца по пластинчатому кальциту.

В рудных жилах всех стадий постоянно отмечаются признаки влияния гравитации на облик формирующихся минеральных агрегатов: отвесы, уровни, отстойники, присыпки. Сопоставление направления действия силы тяжести во время рудоотложения с современным показывает, что направление вертикали практически не изменилось.

Последовательность минералообразования. Анализ имеющегося материала позволяет выделить в истории формирования месторождения два этапа: ранний (поствулканический) и поздний, разделенные внедрением штоков гранитоидов. Ранний, собственно продуктивный этап делится на две стадии: раннюю продуктивную (золото-полиметаллическую) и позднюю продуктивную (золото-серебро-сульфосольную). Поздний этап также делится на две стадии: карбонат-родонит-кварцевую и пострудную кварц-карбонатную. Раннему этапу соответствуют площадные пропилитовые изменения, наложенные на них дорудные березиты и синрудные калишпат-кварцевые метасоматиты, однотипные для ранней и поздней продуктивных стадий. В поздний этап происходило последовательное ороговикование пород в приконтактных частях гранитоидных интрузивов, а также образование скарноидов и грейзенов. Разноэтапная минерализация имеет следующие особенности.

Жилы и прожилки золото-полиметаллической стадии проявлены преимущественно в пределах субширотной рудной зоны. Зо-

менее 50—70 % всего жильного выполнения. Основным жильным минералом является кварц, в резко подчиненном количестве присутствуют гидрослюда, анатаз, анкерит, паранкерит и мезитит. Основной рудный минерал — пирит, в меньшем количестве встречаются сфалерит, халькопирит, галенит, тетраэдрит и самородное золото (пробы от 500 до 830). Спорадически отмечают арсенопирит и магнетит.

Жилы и прожилки золото-серебро-сульфосольной стадии проявлены в пределах всех известных жильных зон. В субширотной зоне они накладываются на рудные тела золото-полиметаллической стадии, выполняя центральные части жил, образуя сетку прожилков, различной мощности (0,1—10 см), слагают цемент зон брекчирования. Отмечаются также самостоятельные жилы и зоны прожилков во вмещающих породах. В других жильных зонах лишь отдельные участки несут следы ранней минерализации, а главное жильное выполнение представлено минеральными агрегатами поздней продуктивной стадии. Для основной массы жил золото-серебро-сульфосольной стадии также характерно ритмично-зональное строение. Ритмичность обусловлена чередованием зон гребенчатого кварца, мелкозернистых агрегатов гидрослюдисто-карбонат-адуляр-кварцевого состава, с тем или иным количеством рудных минералов, и зон пластинчатого кальцита, обрастающего гребенчатым кварцем. В самых поздних центральных ритмах во многих случаях отмечается несколько (до трех) зон аметистовой окраски такого кварца. Иногда весь его ритм имеет аметистовую окраску, иногда окрашена одна зона роста (1—5 мм) в ритме молочно-белого или полупрозрачного кварца. Как и в жилах предшествующей стадии, главный жильный минерал золото-серебро-сульфосольной стадии — кварц, в меньшей степени распространен карбонат. В отличие от жил золото-полиметаллической стадии, среди карбонатов отсутствуют мезитит и анкерит, а паранкерит имеет крайне незначительное распространение. Карбонаты представлены главным образом железистым доломитом, доломитом и, в меньшей степени, кальцитом. Количество гидрослюды возрастает, а адуляра уменьшается по срав-

зальбандовых частях жил встречается анатаз. Среди рудных минералов преобладает пирит. В заметном количестве встречаются галенит, сфалерит, халькопирит и тетраэдрит. Появляются нехарактерные для ранней стадии сульфиды и сульфосоли серебра, алларгентум и фрейбергит. Пробность самородного золота уменьшается, появляются кюстелит и самородное серебро. Спорадически встречается арсенопирит.

Карбонат-родонит-кварцевая стадия позднего этапа минералообразования в изученной к настоящему времени части месторождения распространена незначительно. Минеральные образования этой стадии формируют маломощные прожилки (от долей миллиметра до 3—5 см), обычно развитые в тех же структурах, где и жилы предшествующих стадий. Они сосредоточены преимущественно в южной части месторождения, непосредственно вокруг штоков кварцевых диоритов, и лишь отдельные жилки встречаются на удалении до 300 м. Главным минералом прожилков является кварц. В меньшем количестве встречаются марганцовистые карбонаты и серицит, образующие с кварцем ритмично-зональные агрегаты. Иногда вместо серицита присутствует хлорит. Характерной чертой кварца этой стадии является наличие в нем многочисленных мелких включений анатаза и апатита и, иногда, игольчатых кристаллов актинолита. Родонит встречается спорадически в составе кварц-родонитовых прожилков. Общее количество рудных минералов в прожилках карбонат-родонит-кварцевой стадии значительно меньше, чем в жилах предшествующих стадий. Среди них наиболее широко распространены пирит и магнетит. Реже встречаются пирротин, сфалерит, галенит и халькопирит. Золотых и серебряных минералов не обнаружено.

Минеральные образования пострудной кварц-карбонатной стадии распространены очень широко и обнаружены практически во всех рудных зонах. Они обычно выполняют жеоды в гребенчатом кварце предшествующих стадий. В наиболее активных тектонических узлах часто образуют маломощные (до 1—1,5 см) секущие прожилки. При формировании минеральных парагенезисов этой стадии отчетливо проявляется переотложе-

ди пострудных жильных минералов наиболее распространены доломит, анкерит и хрусталивидный кварц, реже встречается кальцит. Из рудных минералов доминирует пирит. В меньшем количестве присутствуют халькопирит, сфалерит и марказит. В отдельных участках отмечаются полибазит, пираргирит и акантит.

Температурные условия минералообразования. Было проведено изучение жильного кварца различных минеральных ассоциаций рудных жил. Газово-жидкие включения в кварце золото-полиметаллической стадии характеризуются небольшим (10—15 %) коэффициентом наполнения. Твердые фазы в них не встречаются, лишь в единичных случаях отмечена жидкая углекислота, что свидетельствует о низкой солесности минералообразующих растворов. Гомогенизация всех изученных включений при нагревании происходит только в жидкую фазу, что указывает на гидротермальный (не пневматолитовый) характер растворов. Гомогенизация включений происходит при температурах 200—260°C. Интересно, что в кварце этой стадии практически не были встречены характерные для эпитепальных золото-серебряных месторождений существенно газовые включения (признаки вскипания растворов).

Для газово-жидких включений в кварце золото-серебро-сульфосольной стадии характерен очень незначительный коэффициент наполнения — 5—10 %. Изредка встречаются включения с жидкой углекислотой. Твердая фаза во включениях не обнаружена. Как и для предшествующей стадии, признаки вскипания растворов не отмечены. Гомогенизация включений в жидкую фазу происходит при температурах 90—200°C.

Для кварца карбонат-родонит-кварцевой стадии характерны газово-жидкие включения с коэффициентом наполнения 25—30 %. Отмечены многочисленные, как прямые, так и косвенные признаки вскипания палеогидротермальных растворов. Прямые признаки проявлены в гомогенизации сингенетических высокотемпературных включений то в газовую, то в жидкую фазу. Косвенным признаком вскипания можно считать характерное для кварца этой стадии

Гомогенизация включений происходит при температурах 260—380°C.

По визуальной оценке для кварца пострудной кварц-карбонатной стадии характерно наличие газово-жидких включений с коэффициентом наполнения 25—30 %.

Состав палеогидротермальных растворов. Методами газовой хроматографии и водных вытяжек были изучены пробы (всего пять проб) жильного кварца ранней (золото-полиметаллической) и поздней (золото-серебро-сульфосольной) стадий раннего, подуктивного, этапа. При анализе водных вытяжек определялись как солевые (Na, K, Ca, Mg, NH_4 , HCO_3 , Cl, F, SO_4 , S), так и газовые (CO_2 , CO, C_nH_m) компоненты. С помощью газовой хроматографии определялось содержание H_2O и CO_2 во включениях.

По данным анализа водных вытяжек, общая минерализация растворов составила не более 4—9 %. Анионная часть растворов имеет существенно хлоридно-гидрокарбонатный состав. Сульфидная сера не обнаружена, иногда отмскались лишь незначительные концентрации сульфат- и фтор-ионов. Катионная часть растворов представлена, главным образом, Na, K и Ca. Соотношения их слегка варьируют, но в среднем они присутствуют в растворах примерно в равных количествах. Содержание Mg примерно в 5—10 раз ниже. Обращает на себя внимание постоянное присутствие в растворах небольших концентраций аммония. Анализ солевого состава проб из различных продуктивных ассоциаций, отобранных из разных частей месторождения, позволил выявить лишь слабые вариации состава палеогидротермальных растворов во времени и пространстве.

Анализ газового состава включений показал повышенное содержание CO_2 при полном отсутствии значимых содержаний CO и углеводородов. Концентрация CO_2 в растворах второй продуктивной стадии в среднем в 2—4 раза ниже, чем в растворах первой продуктивной стадии.

Некоторые вопросы генезиса месторождения. Все имеющиеся факты однозначно свидетельствуют, что основная масса жильного материала на месторождении сформировалась путем выполнения минеральным веществом свободного простран-

проявлены крайне незначительно. Структурно-текстурный анализ минеральных агрегатов в жилах и прожилках позволяет утверждать, что рудовмещающие структуры не были открыты сразу на всю мощность, а приоткрывались постепенно, по мере заполнения свободного пространства жильными и рудными минералами.

Формирование минерализации происходило в активном тектоническом режиме на фоне многочисленных малоамплитудных внутримагистральных тектонических подвижек. По Ф.А.Летникову [3], в образовании любого рудного объекта участвуют, по меньшей мере, две группы процессов: физико-химические и тектонические. Эти процессы в природных условиях протекают в автоколебательном режиме, подвергаясь взаиморегуляции и резонируя друг с другом. Анализ имеющихся материалов позволяет предположить, что и на изученном объекте с наиболее крупными внутримагистральными тектоническими подвижками связаны не только многочисленные секущие микропрожилки, но и наличие повторяющихся макроритмов в жилах. Макроритмы включают в себя карбонатные образования (сталактитоподобные агрегаты в жилах золото-полиметаллической стадии и пластинчатый кальцит в золото-серебро-сульфосольной стадии) и ритмично-зональные агрегаты гребенчатого кварца и мелкозернистых полиминеральных прослоев, состоящих из гидрослюда, железистого карбоната, адуляра и кварца с вкрапленностью рудных минералов. В пределах макроритмов выделяется большее или меньшее количество микроритмов, представляющих собой чередование прослоев гребенчатого кварца и мелкозернистого полиминерального агрегата или просто зон расщепленного роста гребенчатого кварца. Эта микроритмика в жилах может быть обусловлена как слабыми тектоническими подвижками в рудообразующей системе [3], так и тормозящим влиянием граничного слоя, формирующегося на фронте роста любых минеральных индивидов и агрегатов. Возле граничного слоя часто происходит их расщепление и отложение примесных фаз, в том числе и рудных [1].

Данные минералогии свидетельствуют о неконтрастном, но отчетливом изменении

мени, выражающемся в уменьшении пробы золота (от ранних стадий к поздним) от 830 до кюстелита и самородного серебра, а также в уменьшении железистости парагенных золоту и другим рудным минералам карбонатов от мезитита до доломита. Отчетливо проявляется неустойчивость маложелезистых карбонатов в колебательном процессе рудоотложения, в результате этого внутристадийные замещения протекают в одном направлении — менее железистые карбонаты замещаются более железистыми.

Многочисленные признаки одновременного роста рудных и жильных минералов позволяют утверждать, что золотая и серебряная минерализация не наложена на уже сформированные жилы, а является парагенной. Следовательно, все данные, полученные для реконструкции физико-химических условий образования жил различных стадий на основании изучения газовой-жидких включений и водных вытяжек, с полным основанием применимы к интерпретации условий возникновения золотого и серебряного оруденения.

Изучение водных вытяжек и газовой-жидких включений показало постоянство состава палеогидротермальных растворов. Поэтому можно со значительной долей уверенности исключить смену солевого состава рудоносных растворов во времени и пространстве из ведущих факторов, определяющих рудоотложение. Характерно, что температура гомогенизации и фазовый состав включений также отличаются относительной стабильностью. Так, например, текстура жил не зависит от термометрической характеристики растворов. Состав и температура гомогенизации первичных включений в различных ритмах жил практически постоянна. Таким образом, изучение микровключений позволяет отвергнуть гипотезу внутривстадийных температурных пульсаций как возможную причину формирования ритмично-полосчатых текстур.

Повышенное содержание CO_2 во включениях при практически полном отсутствии CO и углеводородов связано с повышенным кислородным потенциалом, что предположительно указывает на рудоотложение в открытой палеогидротермальной системе. Последнее обстоятельство в раство-

по данным многих российских и зарубежных исследователей [7], характерно для верхних частей рудных зон золотых месторождений. Низкая соленость гидротермальных растворов (4—9 %) типична для условий смешения гидротерм с вадозными водами.

Абсолютный возраст месторождения определен рубидий-стронциевым изотопным методом по адулярам из рудных жил золото-серебро-сульфосольной стадии. Результаты анализа показали, что все проанализированные пробы (4 пробы) находятся на одной изохроне. Абсолютный возраст жильных адуляров составляет 136 ± 3 млн лет, что приблизительно соответствует валанжинскому времени раннего мела. Первичное изотопное стронциевое отношение ($\text{Sr}^{87/86}$) составляет $0,7075/-0,0005$, что указывает на смешанный корово-мантийный источник жильного вещества.

Изложенный материал позволяет сделать ряд выводов.

Месторождение Джульетта относится к золото-серебряной формации. Золото-серебряное отношение составляет в среднем 1/20.

Вмещающие оруденение эффузивные породы интенсивно пропилитизированы. Рудные тела расположены в основном в пределах низкотемпературной фации пропилитов, а граница низко- и среднетемпературных пропилитов является и нижней границей оруденения. Сами золото-кварцевые жилы приурочены к осевым частям линейных зон метасоматитов березитовой формации.

Текстуры руд преимущественно ритмично-полосчатые с явными признаками отложения вещества в свободном пространстве. Их полосчатость обусловлена чередованием прослоев гребенчатого кварца и мелкозернистых полиминеральных прослоев гидрослюдисто-карбонат-адуляр-кварцевого состава. Суммарная мощность полиминеральных прослоев невелика (обычно не более 1—5 % мощности жилы), но к ним приурочена основная масса (до 80—90 %) всех рудных минералов, в том числе золота и серебра.

В истории формирования месторождения выделяется два этапа: ранний и позд-

интрузий. Ранний этап представлен двумя стадиями: ранней продуктивной — золото-полиметаллической и поздней продуктивной — золото-серебро-сульфосольной. Поздний этап в свою очередь подразделяется на две стадии: карбонат-родонит-кварцевую и пострудную кварц-карбонатную.

По данным изучения газовой-жидких включений в жильном кварце для месторождения установлен широкий температурный диапазон формирования руд: 380—90°C, при средней модальной температуре 170°C, что характеризует Джульетту как сравнительно низкотемпературный объект. Температуры гомогенизации включений составляют: для золото-полиметаллической стадии — 260—200°C; для золото-серебро-сульфосольной стадии — 200—90°C; для карбонат-родонит-кварцевой стадии — 380—260°C. Признаки вскипания растворов отмечены только для включений карбонат-родонит-кварцевой стадии, а для двух продуктивных стадий раннего этапа они не характерны.

По данным анализа водных вытяжек, рудообразование происходило из низкоконцентрированных Na—K—Ca—HCO₃—Cl растворов с общей минерализацией не более 4—9 %.

Абсолютный возраст месторождения, определенный рубидий-стронциевым методом по адулярам второй продуктивной стадии, составляет 136 ± 3 млн лет.

Авторы выражают благодарность директору Дукатского ГГП Ю.И.Радченко за сотрудничество и помощь в организации полевых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Ю.К. Закономерности роста и эволюции кристаллов минералов. — М.: Наука, 1992.
2. Константинов М.М. Провинции благородных металлов. — М.: Недра, 1991.
3. Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. — Новосибирск: Наука, 1992.
4. Методика изучения гидротермально-метасоматических образований / Е.В.Плюшев, О.П.Ушаков, В.В.Шатов, Г.М.Беляев. — Л.: Недра, 1981.
5. Невский А.Н., Фролов А.А. Структура рудных месторождений кольцевого типа. — М.: Недра, 1985.
6. Система минералогии / Дж.Д.Дэна, Э.С.Дэна, Ч.Пэлач, Г.Берман, К.Фрондель. — М.: ИЛ, 1953. Т.2. Полутон I.
7. Чекавидзе В.Б., Милев С.А. Вторичные ореолы рассеяния аммония на золоторудных месторождениях // Руды и металлы. 1993. № 1—2. С. 60—68.

Ryzhov O. B., Struzhkov S. F., Aristov V. V., Grigoryev N. V., Kolesnikov A. G.

GEOLOGICAL STRUCTURE AND ORE COMPOSITION OF THE JULIETTA GOLD-SILVER DEPOSIT (NORTH-EAST OF RUSSIA)

Geological structure and metasomatic zonation of recently discovered Julietta gold-silver deposit are reported. Two stages of gold-silver ore formation are marked out: an early one (post-volcanic) and a late one, these stages being separated by invasion of granitoid intrusions. By mineral formation temperatures the Julietta deposit may be classed with low-temperature ones; its age (by Rb / Sr determination) is dated as Early Cretaceous.



СКВАЖИННАЯ ГИДРОДОБЫЧА (СГД) НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ — СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В. М. МИНАКОВ, В. А. ОРЬЕВ (ЦНИГРИ Роскомнедра), Л. П. ТИГУНОВ (Роскомнедра)

Рассматривается возможность и целесообразность применения скважинной гидродобычи на золотоносных россыпях и корях выветривания. Обсуждаются выбор рациональной технологии СГД в зависимости от геотехнологических свойств отложений и вопросы промышленного использования метода.

Несмотря на наметившуюся тенденцию некоторого снижения уровня добычи из россыпных месторождений золота на территории России, им до сих пор принадлежит ведущая роль в обеспечении страны валютным металлом. Большинство разрабатываемых россыпных месторождений золота расположено в сложных географических, климатических, горно-геологических условиях Северо-Востока страны, Восточной Сибири и Дальнего Востока, т.е. в трудно осваиваемых районах с тяжелыми природными условиями. В результате продолжительной интенсивной эксплуатации россыпей, в том числе и с высоким уровнем среднего содержания, основные золотодобывающие районы имеют в значительной степени истощенную минерально-сырьевую базу, которая в необходимой степени не пополняется новыми разведанными промышленными запасами.

При средней обеспеченности страны запасами россыпного золота на 12 лет, уровень запасов для открытого способа разработки, дающего более 75 % общей его добычи, может быть исчерпан в течение 6—9 лет. Подготовка новых россыпей с промышленными содержаниями в старых районах затруднительна из-за необходимости значительных капиталовложений.

В последние годы существенно снизилось качество подготавливаемых запасов. Средние содержания уменьшились практически для всех способов добычи и составляют около 200 мг/м³ для дражного и гидрав-

способа и 3,8 г/м³ для подземного способа отработки. Кроме того, увеличивается глубина залегания золотоносного пласта и усложняются горно-технические условия. Снижение уровня средних содержаний может быть настолько значительным, что потребуется перерабатывать в несколько раз больше массы торфов и песков, для чего необходим многочисленный парк землеройной и обогащающей техники. Прогнозные предположения дают основание ожидать дальнейшего постепенного снижения уровня добычи россыпного золота.

Рядом исследований установлена возможность расширения минерально-сырьевой базы золота за счет выявления глинистых руд в корях выветривания и связанных с ними россыпей. Высокая перспективность золотоносных кор выветривания подтверждается непосредственными открытиями ряда промышленных объектов на Урале, Сибири и других регионах. Приоритетность изучения и оценки месторождений золота в корях выветривания определяется высокой экономической выгодой отработок этих месторождений, что связано с их близкповерхностным расположением, а также, в ряде случаев, увеличением концентраций золота в 2—3 раза по сравнению с первичными рудами.

Горно-геологические условия, присущие этим типам россыпей, резко отличаются от россыпей обычного типа. Основным отличием является глубина их залегания от 50—70 до 400 и более метров; золото, как правило, мелкое тонкое, но равномерно распределен-

ды представлены слабо связанными, легко поддающимися разрушению размывом породы. В обнаженных пространствах стенки и кровля выработанного пространства неустойчивы и склонны к осыпанию. Использование традиционных методов добычи в этих условиях на многих месторождениях технически невозможно и экономически нецелесообразно. Однако эти месторождения содержат значительные потенциальные запасы золота, вовлечение которых в добычу может дать значительный прирост валютного металла.

В последнее время для добычи многих твердых полезных ископаемых начинают применять принципиально новые методы с использованием буровых скважин. Скважинная гидродобыча основана на гидравлическом разрушении рудного пласта с последующим подъемом образующейся пульпы гидроэлеватором или эрлифтом. Этот метод наиболее эффективно может быть применен на месторождениях с прочностью рыхлых отложений до 6 МПа. Применение метода скважинного гидроопробования (СГО) обеспечивает значительное повышение достоверности геологоразведочных работ за счет поднятия крупнообъемных проб.

В 1994 году на основе анализа имеющегося опыта применения скважинной гидродобычи ЦНИГРИ, ВИМСом, ВНИИГеолнелудом и Рудгеофизикой в совместно составленном аванпроекте была показана перспективность и целесообразность проведения широкого комплекса исследований по использованию этого способа разработки на месторождениях различных видов полезных ископаемых. Новый метод позволяет осуществлять добычу полезных ископаемых из месторождений, залегающих на шельфе морей, под озерами, болотами, руслами рек, а также с очень сложными гидрогеологическими условиями, из месторождений с забалансовыми и небольшими запасами, которые либо технически невозможно, либо экономически невыгодно отрабатывать традиционными способами. Освоение метода скважинной гидродобычи требует нового подхода к поискам и разведке месторождений, оценке прогнозных ресурсов и общего минерального потенциала территории России.

Особенности метода СГД показывают

менения определяются широким комплексом факторов, характеризующих геологическое строение месторождения, его инженерно-геологические и гидрогеологические условия, а также экономико-географические особенности территории его расположения. Среди этих факторов можно выделить две группы. Первая определяет саму возможность применения метода СГД для отработки месторождения. Наиболее важным фактором из этой группы является наличие руд относительно низкой прочности, способных переходить в подвижное состояние под действием агентов СГД. Вторая группа факторов влияет на систему отработки, технологические и технико-экономические показатели процесса гидродобычи. Среди них в качестве важнейших необходимо отметить следующие: глубина и условия залегания рудной залежи, минеральный состав руд, прочностные свойства пород кровли.

Условия залегания рудной залежи, ее мощность, изменчивость формы определяет плотность добычных скважин, а также условия транспортировки отбитой руды к забою откачной скважины. В этом смысле наиболее благоприятны крутопадающие, моноклинально залегающие рудные тела, в которых наиболее эффективно может быть осуществлено применение систем с самообрушением и самодоставкой руд к гидродобычному агрегату. В условиях пологого или горизонтального залегания для наиболее полной отработки необходимо сгущение добычных скважин. Простая форма рудных тел при их значительных размерах и непрерывности оруденения, например, золотоносные коры выветривания, позволяет увеличить межскважинные расстояния и снизить расходы на бурение и добычу. Глубина залегания продуктивной толщи влияет на выбор систем СГД, а также на конструкцию добычных скважин и их стоимость. С увеличением глубины залегания возрастает горное давление и появляется возможность использования его для разрушения руд, что приводит к существенному снижению эксплуатационных затрат. Важное значение имеют прочностные свойства пород кровли месторождения. Наиболее предпочтительными для СГД являются месторождения, перекрытые породами глинистой и известко-

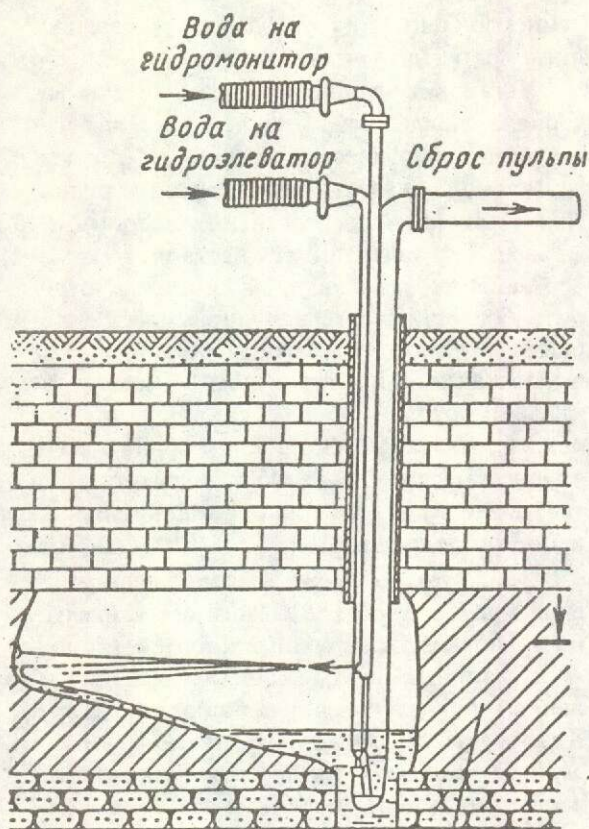


Рис. 1. Одиночная скважина.

ставлен песчаной фацией или наблюдается смена фаций в горизонтальном и вертикальном направлениях, то это снижает устойчивость кровли и, как следствие, ведет к уменьшению извлекаемых запасов. Обводненность рудовмещающей толщи является весьма благоприятным фактором. Высокая водообильность существенно облегчает разрушение руд и процесс транспортировки гидросмеси к всасывающему устройству гидродобычного агрегата. Вместе с тем, наличие гидравлической связи между водоносными горизонтами рудовмещающей и перекрывающей толщ может потребовать создания дорогостоящего противοfiltrационного экрана.

Добыча полезного ископаемого ведется через специально оборудованные скважины, причем добычная скважина является вскрывающей выработкой, из которой ведется выемка руды. Количество добычных скважин и технологические схемы отработки могут

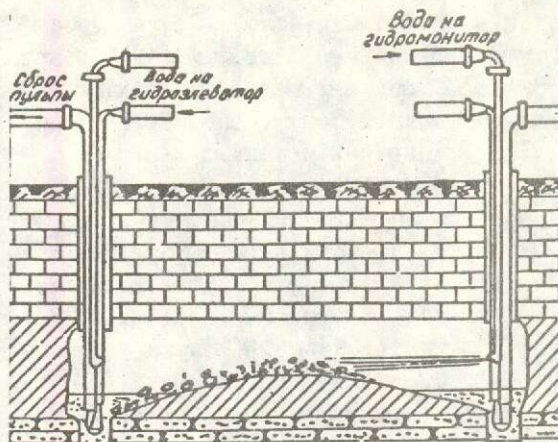


Рис. 2. Взаимодействующие скважины.

физико-геологических условий. Однако во всех случаях общими элементами процесса являются: разрушение рыхлых отложений гидромониторной струей, доставка полученной гидросмеси к выдачному механизму (гидрозlevator, эрлифт или их комбинация), подъем на поверхность и транспортировка поднятой гидросмеси на обогащение. В зависимости от горно-геологических условий применяют камерную или сплошную выемку руды. При камерном способе залежь отрабатывается отдельными камерами с оставлением между ними целиков для обеспечения устойчивости земной поверхности. При разработке применяют как единичные (рис. 1), так и взаимодействующие скважины (рис. 2). Первыми размываются отдельные камеры, вторыми — после размыва («сбивки») подготовительных камер, отрабатывается общая камера с реверсивной подачей воды в одну скважину и извлечением гидросмеси из другой. Технология работ предусматривает образование «кармана» в породах подошвы с использованием перебур скважины. Угол наклона пород почвы «кармана» образуется с учетом самотечного смыва разрушенной породы к всасывающему устройству выдачного механизма. Далее слоями отрабатывается рудный пласт.

Технические средства для СГД включают в себя поверхностно-управляющую установку, скважинный гидродобычный снаряд, наземное технологическое оборудование. В

новки, как правило, используются буровые агрегаты, которыми осуществляется бурение добычных скважин. Скважинный гидродобычный снаряд состоит из забойного оголовка с гидромониторными насадками и выдачным устройством (гидроэлеватор, эрлифт), набора секций водовода и пульповода. Наземное технологическое оборудование включает секционный трубопровод для транспортировки поднятой гидросмеси, обогатительную установку, а также насосы и компрессоры с коммуникационными магистралями для подачи рабочих агентов (вода, воздух). Разработка сопровождается разрушением массива пород, слагающих рудный пласт, посредством гидромонитора и откачки гидросмеси на поверхность. Для равномерной разработки пласта во всех направлениях гидромониторная насадка может свободно вращаться вокруг вертикального става либо под действием реактивной струи дополнительной боковой насадки, либо за счет механического вращения вертикального става с поверхности, производя круговое разрушение пласта.

В зависимости от крепости пород и их размываемости вода гидромониторной насадки подается под давлением от 3 до 6 МПа. На гидроэлеватор вода подается под давлением 0,3—0,5 МПа с расходом до 0,02 м³/с. Такие параметры гидроразрушения обеспечивают получение добычной камеры радиусом от 2 до 10 метров в зависимости от обводненности. Для увеличения зоны действия струи подача воды к насадкам может производиться по телескопическому стволу или гибкому шлангу.

Разработка месторождений методом СГД характеризуется сложностью геомеханической обстановки, выдвигающей весьма трудные задачи по определению и оценке напряженно-деформационного состояния массивов горных пород, управлению горным давлением. Деформации рудного массива определяются прежде всего объемом извлечения пород из пласта. Если извлечение составляет 20—25 %, массив пород может сохранить естественное строение или разрушаться с незначительным нарушением. При большом извлечении разрушение рудного массива сопровождается существенными деформациями. Характер деформаций опре-

лением налегающих пород и противодействием воды в добычной камере.

Установив необходимую крупность материала, подлежащего извлечению, и регулируя технологические параметры процесса, можно произвести дезинтеграцию рудного материала непосредственно в добычной камере. Это позволит осуществлять «самообогащение» в самой скважине, т.е. выделить большую часть нерудной массы, особенно крупного размера и оставить ее в выработанном пространстве в качестве складочного материала. Такая операция положительно скажется на устойчивости всего рудного массива и земной поверхности, а также снизит затраты на обогащение извлеченного материала.

В настоящее время выявлены физические предпосылки использования импульсно-волновых технологий для воздействия на массив горных пород с целью их разуплотнения и приведения в подвижное состояние. Для осуществления таких технологий создан ряд технических средств. Так, в скважинах на глубинах до 600 метров проведены экспериментальные и опытно-промышленные испытания, подтвердившие целесообразность и высокую эффективность использования импульсно-волновых технологий при отборе крупнообъемных проб и СГД.

Нельзя оставить без внимания вопросы техники безопасности и охраны окружающей среды. При использовании метода скважинной гидродобычи в подземных выработках и карьерах исключается травматизм и улучшаются условия труда. В связи с тем, что СГД не требует вскрышных работ, подготовительных площадок под шахты и другие тяжелые горные выработки, практически исключаются нарушения природной среды, т.е. процесс добычи полезных ископаемых является экологически чистым. В проблеме экологических последствий СГД предусматриваются вопросы сохранения гидрогеологической обстановки и ликвидации добычных и вспомогательных скважин. Первый решается использованием оборотной воды.

Таким образом, основные преимущества скважинной гидродобычи заключаются в следующем:

ций обычного технологического процесса, в т.ч. буровзрывные работы и вентиляция;

возможность избирательного извлечения руды из недр, размещение основной массы хвостов и отходов обогащения на прежнем месте в отработанных камерах;

возможность быстро и оперативно организовать отработку небольших по объему и запасам месторождений, разработка которых традиционными способами нерентабельна;

относительная простота оборудования, небольшие капитальные вложения, попутное обогащение в процессе извлечения — сокращение расхода на переработку сырья и улучшение качества концентрата;

отсутствие вскрышных работ позволяет сохранить в целости культурный поверхностный слой почвы, режим поверхностных и подземных вод;

отпадает необходимость проведения работ по рекультивации.

Разработка полезных ископаемых методом СГД позволяет по-новому оценить как известные, так и вновь открываемые месторождения, обеспечивая технико-технологический, экономический и экологический эффект.

Решение задач рациональной технологии разработки золотonosных россыпей и кор выветривания невозможно без обстоятельного знания физико-геологической характеристики с выделением факторов, определяющих возможность применения скважинной геотехнологии для отработки месторождений.

По геотехнологическим свойствам породы пласта можно подразделить на три типа:

пласт рыхлых пород, имеющих плавунные свойства (наиболее благоприятные для СГД);

пласт рыхлых пород, требующих гидромеханического разрушения;

пласт пород, требующих предварительного механического или химического ослабления.

По степени устойчивости пород кровли пласта при обнажении можно выделить:

неустойчивые (породы кровли обрушаются вслед за выемкой);

устойчивые (позволяют вести выемку пород в камерах с площадью обнажения до

монолитные (допускают площадь обнажения до 1000 м^2).

Руководствуясь опытом специалистов, занимающихся разработкой россыпных месторождений золота, можно отметить, что по степени устойчивости кровли пласта золотonosные россыпи следует отнести к первым двум типам.

Глубины залегания россыпей колеблются в весьма широких пределах от мелких, где золото встречается практически с поверхности, до глубоких погребенных, когда мощность слоя покрывающих пород достигает 50 и более метров. По нашему мнению, эти россыпи наиболее перспективны для СГД, поскольку при незначительных, как правило, мощностях продуктивного пласта (от 0,3 до 2,0 м) деформация земной поверхности будет минимальна или вообще отсутствовать.

Особый тип россыпей представляют собой месторождения кор выветривания, глубина которых значительно больше, чем аллювиальных и составляет 200—400 м, достигая в некоторых случаях 2000 м. Их близповерхностное положение является положительным фактором при отработке месторождений этого типа, т.к. отсутствует необходимость проведения вскрышных работ. Вместе с тем, имеются месторождения, где продуктивная толща находится под покрывающими пустыми породами, что предоставляет возможность рассматривать эти месторождения, как потенциальный объект применения СГД. В этой связи выбор как бурового, так и добычного оборудования, а также эффективность применения СГД в значительной степени связаны с глубинами залегания месторождений. С ее увеличением реальность эффективного применения СГД возрастает, что позволит отрабатывать месторождения в тех условиях, когда добыча золота традиционными способами невозможна или нерентабельна.

Характер рыхлых отложений, с которыми связаны золотonosные россыпи, во многом определяется размером слагающих обломочных частиц и их количественным соотношением. Гранулометрический состав аллювиальных россыпей чрезвычайно разнообразен, и слагающий их материал по крупности колеблется в значительных пре-

мм и менее до отдельных валунов, достигающих в поперечнике 500 мм и более. Имеющийся опыт показывает, что разработка россыпей с ограниченной валунистостью способом СГД представляется весьма перспективной.

Россыпи коры выветривания представлены, как правило, мелкими глинистыми частицами, к низу постепенно переходящими в дресву, щебень, сохраняющими текстуру материнской породы. Находящееся в этих россыпях золото является мелким, тонким и тонкодисперсным и обычно плохо извлекается при традиционных гравитационных методах обогащения, а зачастую его извлечение просто невозможно. В этой связи выбор добычного и обогащательного оборудования тесно связан с гранулометрическим составом рыхлых отложений.

Одним из основных элементов разреза продуктивных образований, от характера которого зависят особенности распределения золота в плане и на глубину при его проседании по трещинам коренных пород, является плотик. Поверхность плотика зависит от состава, текстуры, характера трещиноватости, степени выветрелости коренных пород, а также генезиса и налегающих на них осадков. В аллювиальных россыпях по строению поверхности различаются:

ровный «мягкий» плотик, сложенный элювиальной или осадочной глиной, дресвой выветрелых интрузивных пород;

плотный скальный плотик с более или менее ровной поверхностью, развивающейся обычно на слабо выветрелых однородных устойчивых породах;

плотный скальный плотик с карманами неправильной формы, бороздами, выступами;

ребристый плитчатый трещиноватый плотик на крутонаклонных пачках чередующихся песчаников, алевролитов, сланцев;

крупноглыбовый плотик с грубонервной поверхностью на монолитных неветрелых преимущественно интрузивных породах.

Первые два вида плотика наиболее благоприятны с точки зрения применения СГД, поскольку концентрация золота происходит в надплитковых отложениях. Остальные три вида менее благоприятны для сохранения

то проседает в сильно трещиноватые разности коренных пород, а в некоторых случаях именно в них может быть полностью заключен продуктивный пласт. В таких условиях при СГД необходимо производить механическое разрушение плотика, что сопряжено со значительными трудностями, а иногда и невозможно.

На эффективность скважинной гидродобычи оказывают влияние форма и элементы залегания продуктивного пласта. По мощности рудные тела целесообразно подразделять на тонкие (до 0,8 м), маломощные (до 2,0 м), мощные и весьма мощные (2,0 м и более), а пласты по углу падения на горизонтальные (до 5°), пологие (до 15°), наклонные (15—45°) и крутые (более 45°). Угол падения пласта определяет способ доставки водопородной смеси к выдачному механизму, т.е. чем больше угол падения, тем лучше условия доставки.

Гидрогеологические и криологические условия влияют на выбор добычного оборудования и схему отработки пласта. При небольшом водопитоке имеется возможность осуществлять добычу в незатопленном забое, что значительно упрощает конструкцию рабочего снаряда, технологию разрушения пласта и доставки гидросмеси к всасывающему устройству.

Высокоперспективными объектами для применения СГД являются россыпные месторождения, залегающие в многолетнемерзлых отложениях, где прочные мерзлые покрывающие породы позволяют вести добычу без просадки поверхности земли и значительно упрощают систему разработки. В этих условиях имеется возможность добычи золота с меньших глубин, поскольку кровля пласта более устойчива, чем на талых россыпях. Вместе с тем, кроме криологических, остальные характеристики оказывают практически одинаковое влияние как при разработке талых, так и мерзлых россыпей способом СГД.

Таким образом, горно-геологические и физико-геологические характеристики должны обеспечивать получение следующих данных о продуктивном пласте и вмещающих породах:

положение рудной залежи, мощность, протяженность, морфология;

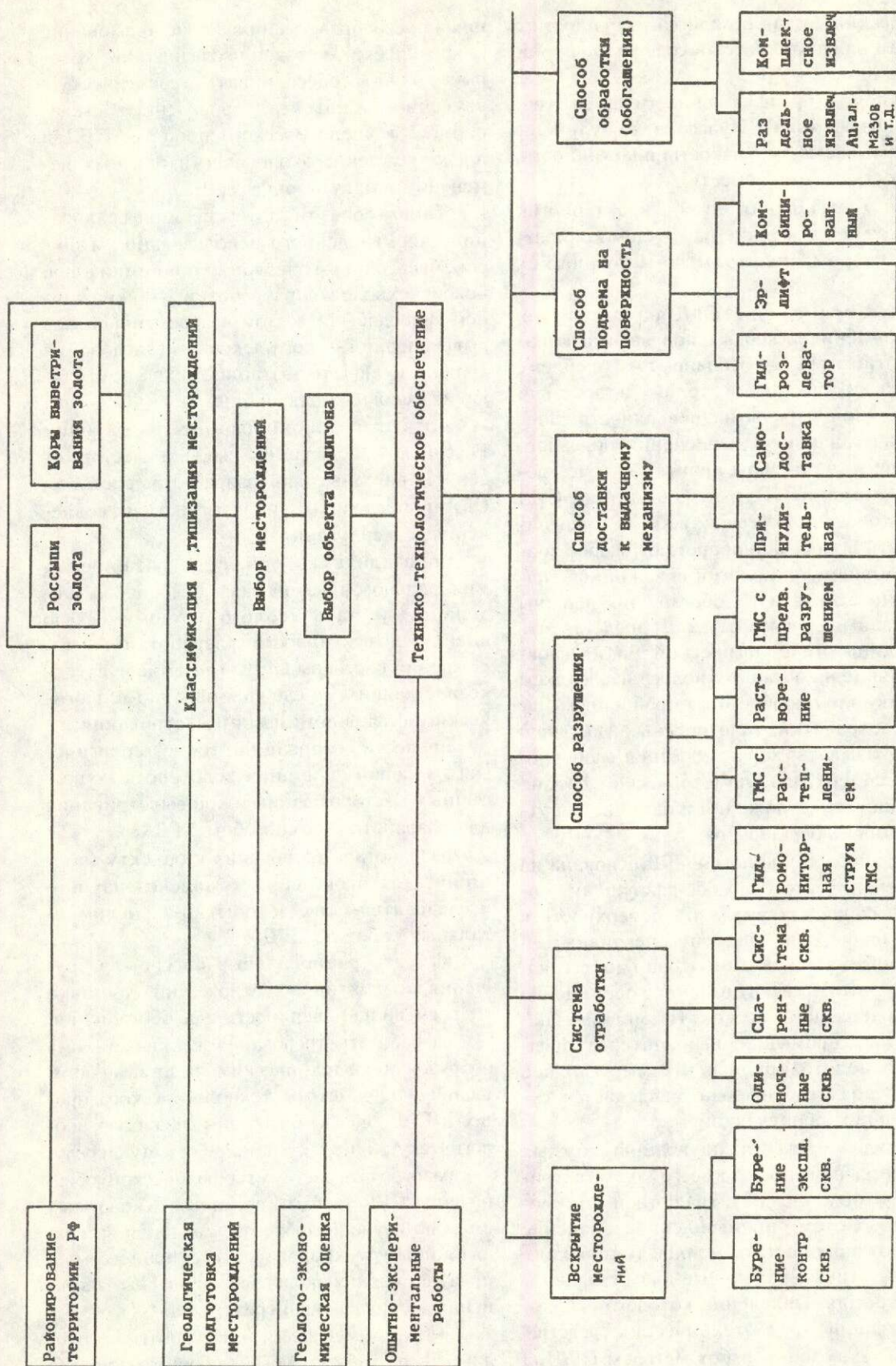


Рис. 3. Блок-схема структуры работ по СГД.

метрический состав по классам крупности с выходом каждого класса и содержанием металла в нем;

крепость (предел прочности на сжатие, сдвиг, коэффициент Пуассона, модуль Юнга), размываемость, вязкость, пластичность, пористость, размокаемость.

Для определения этих характеристик необходимо проведение на каждом конкретном месторождении опытно-методических работ.

Опыт применения СГД на различных месторождениях твердых полезных ископаемых относится, в основном, к проблеме размыва продуктивной толщи и доставки разрушенной породы на поверхность. Вопросам обогащения и извлечения полезного компонента из пульпы практически не уделяется внимания. При использовании СГД на золотосодержащих россыпях и корках выветривания эти вопросы приобретают особое значение, причем технологий скважинной гидродобычи песков и их обогащения должны быть взаимно увязаны, т.е. представлять собой единый технологический цикл. Основное влияние на выбор технологических схем обработки крупнообъемных проб и промышленной отработки золотосодержащих россыпей будут оказывать: характеристика свободного золота, его гранулометрический состав, промывистость отложений и наличие сопутствующих ценных компонентов.

Поскольку технология СГД основана на гидромеханическом способе разрушения пород и выдаче материала на поверхность в виде пульпы, наиболее перспективным и экономически оправданным, на наш взгляд, следует считать гравитационное обогащение золотосодержащих песков. По мнению специалистов, промышленный интерес представляет золото крупнее 0,1 мм, т.к. оно вполне удовлетворительно извлекается существующим оборудованием.

С вовлечением в эксплуатацию сложных типов россыпей, прежде всего корок выветривания, в них, наряду с традиционным свободным золотом, промышленное значение начинают приобретать мелкое и тонкодисперсное, а также различные виды связанного золота, для извлечения которого необходимо создание новых технических средств.

При проведении работ методом СГД на

ния целесообразно широкое использование геофизических методов исследований, которые должны обеспечивать геологическую изученность объекта, проведение безаварийного технологического процесса СГД и предупреждение экологически опасных изменений в окружающей среде.

Таким образом, для успешной реализации промышленного использования и широкомасштабного внедрения принципиально новой технологии разработки — скважинной гидродобычи золота из россыпей и корок выветривания — комплексные исследования должны включать поэтапное решение следующих основных задач (рис. 3):

провести районирование территории Российской Федерации, выявить месторождения, пригодные для разработки способом СГД, и определить приоритетность их вовлечения в эксплуатацию;

определить возможность расширения минерально-сырьевой базы Российской Федерации и дать геолого-экономическую оценку эффективности разработки месторождений способом СГД, в том числе глубоководных, со сложными горно-геологическими условиями и корками выветривания;

провести типизацию горно-геологических условий залегания золотосодержащих россыпных месторождений и корок выветривания для разработки их способом СГД;

разработать требования к объекту (полигону) для проведения комплекса научно-исследовательских и опытно-экспериментальных работ по СГД;

выбрать рациональные способы разрушения продуктивных отложений, доставки гидросмеси на поверхность и ее обогащения;

разработать требования к скважинному оборудованию, техническим средствам обогащения и параметрам технологического процесса СГД, обеспечивающим щадящую экологическую нагрузку на окружающую среду;

разработать систему геофизического обеспечения СГД твердых полезных ископаемых с целью изучения объекта, контроля за безаварийным технологическим процессом и предупреждения экологически опасных изменений в окружающей среде;

выбрать имеющиеся и обосновать необходимость разработки нового оборудования для

ских, добычных и обогатительных работ при СГД;

определить перечень НТПр, которая может быть использована при оформлении ли-

цензий на разработку месторождений твердых полезных ископаемых способом скважинной гидродобычи.

Minakov V. M., Oryev V. A., Tigunov L. P.

BOREHOLE HYDROPRODUCTION (BHP) AT PRECIOUS METAL DEPOSITS: STATE OF THE ART AND PROSPECTS

A scope for and potential advantages of using borehole hydroproduction (BHP) technique in mining gold placers and crusts of weathering are set forth. The problem of judicious selection of proper BHP technology in accordance with specific geotechnological characteristics of the deposits under exploitation is discussed along with the issues of industrial implementation and applications of the technique at question.

УДК 622.241.54:553

©В. П. Рыбин, В. И. Сладков, 1995

НОВЫЙ СПОСОБ БУРЕНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗОЛОТА

В. П. РЫБИН, В. И. СЛАДКОВ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

Приведены результаты экспериментальных стендовых исследований по бурению скважин большого диаметра с обратной промывкой, косвенно доказывающих возможность выноса с забоя потоком промывочной жидкости россыпного золота крупностью до 8 мм и улавливания в блоке предварительной обработки проб частиц породы, сопоставимых по крупности с золоти́нами класса +0,1 мм.

При разведке талых россыпей золота для бурения скважин большого диаметра применяются установки УБСР-25М. Производительность бурения этими установками, составляющая 7—8 м в станко-смену, представляется недостаточной, к тому же резервы ее повышения практически исчерпаны. Ограничение производительности бурения обусловлено технологическими характеристиками буровой установки УБСР-25М, предусматривающими при извлечении пробы с каждого интервала опробования подъем и спуск бурового снаряда. Необходимость повышения производительности буровых работ требует создания и внедрения более современных буровых установок. С учетом того, что разработка и производство их — процесс длительный, целесообразна поста-

новка исследований по разработке нового нетрадиционного способа бурения скважин большого диаметра на россыпных месторождениях золота.

Одним из наиболее перспективных способов является бурение скважин с обратной всасывающей промывкой. Сущность его заключается в том, что частицы выбуренной породы непрерывно транспортируются с забоя на поверхность по внутреннему каналу двойной бурильной колонны обратным потоком промывочной жидкости, создаваемым эрлифтом. Предлагаемый метод сооружения скважин выгодно отличается от традиционно применяющихся на россыпях тем, что его использование дает возможность обеспечить высокие механические скорости бурения, до минимума сократить затраты времени на

спуско-подъемные операции, производить отбор проб одновременно с углубкой. Несмотря на преимущества метода бурения с обратной всасывающей промывкой, при разведке россыпей золота этот способ не применяется. Объясняется это отсутствием проработок по оценке параметров потока и циркуляционной системы, обеспечивающих возможность транспортирования на поверхность крупного золота, а также цепи аппаратов для предварительной обработки проб, согласующейся с технологическими параметрами метода бурения с обратной промывкой и обеспечивающей эффективное выполнение всех операций подготовительного процесса. Поэтому и возникла необходимость провести соответствующие теоретические расчеты, выполнить конструкторские проработки, изготовить комплект необходимого бурового инструмента и приспособлений для обработки проб и провести экспериментальные исследования с целью доказать возможность получения полноценной пробы на россыпное золото.

Теоретические расчеты, проведенные при условии обязательного выноса с забоя на поверхность частиц золота самого крупного класса и улавливания частиц золота самого мелкого класса, оказывающих значимое влияние на оценку содержаний, показали, что расчет параметров промывочной жидкости и циркуляционной системы должен производиться на вынос золотин размером 8 мм, а расчет параметров аппаратов для предварительной обработки проб — на улавливание золотин размером $+0,1$ мм. Было установлено, что для выноса из скважины золотин размером 8 мм, скорость восходящего потока промывочной жидкости должна составлять не менее 1,3 м/с. При этом максимальный размер обломочных пород, которые могут выноситься с забоя, будет составлять 80 мм. В соответствии с этим внутренний диаметр двойных бурильных труб и сечение проходных каналов специального технологического инструмента были приняты равными 100 мм. Расход потока промывочной жидкости при этом составит $36 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Результаты выполненных расчетов легли в основу технических требований на разработку натурных образцов бурового ин-

обработки проб. В ТулНИГП был изготовлен специальный буровой снаряд (рисунок), предназначенный для бурения геологоразведочных скважин большого диаметра с обратно-всасывающей промывкой, создаваемой эрлифтом, который состоит из ведущей трубы, двойных бурильных труб, смесителя и породоразрушающего инструмента. Снаряд комплектуется вертлюгом-сальником, а для передачи вращения на роторе установки монтируется приводная вилка измененной конструкции.

Экспериментальные исследования осуществлялись на полигоне ТулНИГП, где был смонтирован испытательный стенд на базе буровой установки УБСР-25. Эксперименты проводились в специально пробуренной и закрепленной обсадными трубами скважине глубиной 11 м. Бурение осуществлялось по искусственному забою, сформированному из насыпного материала различной крупности, а также по породам, представленным суглинками в их естественном залегании. Методикой исследований предусматривалось проведение следующих видов работ. Сначала производилась забурка скважины традиционным способом на глубину 4—6 м с последующим закреплением устья обсадными трубами. После заполнения скважины водой и спуска бурового снаряда в межтрубный канал двойной бурильной колонны подавался сжатый воздух, который через смеситель попадал во внутренний канал бурильных труб и устремлялся по нему вверх, аэрируя промывочную жидкость. Выбуренная порода транспортировалась по бурильной колонне за счет разности объемного веса жидкости в затрубном пространстве и смеси жидкости, воздуха и шлама в бурильных трубах.

Пульпа из скважины направлялась в блок предварительной обработки проб (см. рисунок), смонтированный на общей раме. Сначала она поступала в пульпоприемную емкость, где с помощью колосниковой решетки выделялся материал класса $+50$, а также происходила дегазация пульпы и стабилизация потока. Подрешетный материал вместе с жидкой частью пульпы самотеком по короткому трубопроводу поступал в гидравлический классификатор с закрытым песковым отверстием с помощью которого

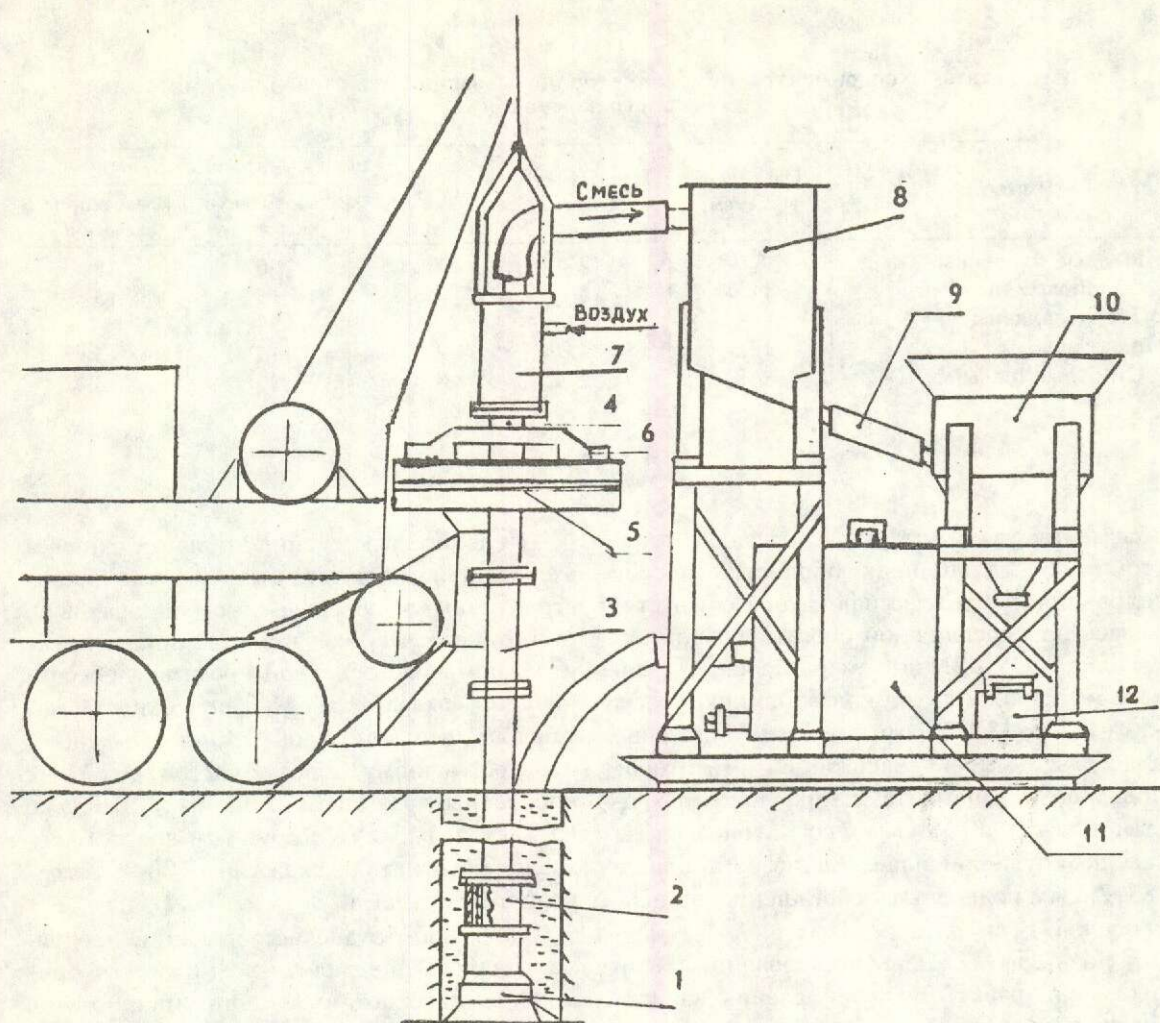


Рисунок. Буровой снаряд и блок обработки проб:

1 — породоразрушающий инструмент; 2 — смеситель; 3 — колонна двойных бурильных труб; 4 — ведущая труба; 5 — ротор установки; 6 — приводная вилка; 7 — вертлюг-сальник; 8 — пульпоприемная емкость; 9 — трубопровод; 10 — гидравлический классификатор; 11 — отстойник; 12 — породоприемная емкость

крашение по жидкой фазе. В нижней части гидравлического классификатора накапливался твердый материал класса $-50 + 1$ мм, а материал класса -1 мм, включающий частицы мелкозернистого песка, ила и отмытой глины, вместе с восходящим потоком жидкости попадал на сливной порог гидравлического классификатора и далее в отстойник. Таким образом осуществлялось сокращение пробы по жидкой фазе. В отстойнике происходило оседание мелкого твердого материала, а осветленная жидкость самотеком направлялась в скважину, образуя замкнутую систему циркуляции. По окончании

прекращалось и производилась промывка скважины в течение времени, необходимого для выноса самых крупных и тяжелых частиц породы (обычно 2—3 мин). Из верхней части гидравлического классификатора через сливной кран выпускалась излишняя жидкость, а твердый материал с небольшим объемом жидкости через песковое отверстие выгружался в емкость и после замера объема направлялся на дальнейшую обработку. Из осевшего в отстойнике твердого материала с помощью щупа отбирались частичные пробы малого объема, которые объединялись в общую пробу, направляемую на ситовой анализ. После этого производился замер

1. Результаты экспериментов по оценке полноты выноса из скважины имитаторов полезного компонента

Имитаторы	Объемный вес, г/см ³	Мах размер, мм	Масса, г	Количество, шт.	
				Заброшено в скважину	Извлечено из скважины
Медные пластины	8,9	12	2,1	30	28
Свинцовые пластины	11,0	15	7,3	15	15
Твердосплавные пластины	15,5	6	4,5	15	15
Стальные шары	7,8	12	8,0	20	18

объема твердого материала, осевшего в отстойнике. Дальнейшая обработка песков гидравлического классификатора осуществлялась на передвижной обогатительной установке ПОУ4-2М путем разделения твердого материала на три класса по крупности: -50 + 8 мм; -8 + 2,5 мм; -2,5 мм. Материал класса -2,5 мм, не содержащий имитаторов полезного компонента, направлялся в хвосты; класса -50 + 8 мм просматривался на самородкоулавливающем шлюзе; а класса -8 + 2,5 мм подвергался обогащению на центробежном сепараторе.

На первом этапе исследований были проведены работы по установлению зависимости производительности эрлифта от расхода воздуха и определена требуемая производительность компрессора; подобраны рациональные параметры смесителя и всасывающего патрубка, обеспечивающие достаточную для выноса золотин критического класса крупности производительность эрлифта и скорость восходящего потока промывочной жидкости, а также установлена минимальная глубина скважины, при которой использование метода бурения с обратной промывкой становится эффективным. Кроме того, на этом этапе наиболее важным было доказать возможность выноса свободного золота с объемным весом до 16 г/см³. Решение этой задачи осуществлялось с помощью имитаторов, объемный вес которых примерно соответствовал объемному весу россыпного золота. Результаты экспериментов по оценке полноты выноса имитаторов россыпного золота (табл. 1) свидетельствуют о том, что полнота выноса по всем имитаторам

Неполное извлечение стальных шаров и медных пластин может быть объяснено конструктивным несовершенством аппаратов по отбору проб. Данные таблицы показывают, что с помощью обратной промывки обеспечивается вынос с забоя на поверхность материала, соответствующего по объемному весу россыпному золоту массой до 7 г с поперечным размером до 12 мм, а это даже на месторождениях с крупным золотом позволит извлекать из скважины 100 % встреченного ею золота.

На втором этапе исследований предусматривалось определить возможность применения разработанной цепи аппаратов по отбору и обработке проб в сочетании с используемыми в настоящее время на россыпях золота обогатительными техническими средствами; проверить соответствие параметров обогатительных приборов и приспособлений, разработанных на основе теоретических расчетов, практическим режимам их работы, а также подготовки проб по обогащению по отдельным операциям.

Отличие технологии бурения скважин большого диаметра с обратно-всасывающей промывкой от применяемых на россыпных месторождениях золота традиционных способов требует внесения изменений и в применяемый технологический процесс определения количества свободного золота в пробе.

Поступающая из скважины пульпа представляет собой смесь воды и выбуренной породы, содержание которой зависит от механической скорости бурения и может достигать 3 м³/ч, а также сжатого воздуха. Твердый материал в пульпе представляет

2. Результаты измерений объемов проб

Интервал углубки, м	Результаты замера объемов, л				Теоретический объем пробы, л	Отношение объемов фактических к теоретическим	Отношение твердой и жидкой фаз пробы
	в песках классификатора	шлама из отстойника	общий объем пробы	жидкого в песках классификатора			
7,0—8,0	250	14,3	264,3	109	282,5	0,94	2,4:1
8,0—9,0	258	14,1	272,1	110	282,5	0,96	2,5:1
9,0—10,0	251	13,9	264,9	111	282,5	0,94	2,4:1
10,0—11,0	259	13,5	272,5	103	282,5	0,96	2,6:1
Всего	1018	55,8	1073,8	433	1130	0,95	2,48:1

тонких глинистых частиц и илов до обломков скальных пород, имеющих зачастую примазки глины, в которых не исключено присутствие золота. Эти особенности, присущие методу бурения скважин с обратной промывкой, предъявляют дополнительные требования к отбору и обработке проб.

Непосредственное направление поступающей из скважины пульпы, имеющей расход около 600 л/мин, на обогащение не представляется возможным из-за необходимости использования громоздкого обогащенного оборудования. Следовательно, технологический процесс отбора проб должен включать операции по подготовке их к обогащению. В приведенной схеме отбора и обработки проб эти операции выполняют пульпоприемная емкость и гидравлический классификатор. Анализ результатов измерения объемов проб (табл. 2) показывает, что фактические объемы проб, получаемые при бурении, весьма незначительно (на 4—6 %) отличаются от теоретических. При этом необходимо учитывать, что проба в процессе транспортировки и предварительной обработки частично дешламируется и обезыливается и, следовательно, разница между теоретическим и фактическим объемами будет несколько меньше.

Как видно из табл. 2, в процессе предварительной обработки проб происходит сокращение пробы по жидкой фазе. В среднем отношение твердого к жидкому составило 2,5:1, что вполне приемлемо, т.к. при дальнейшей обработке пробы на установке ПОВА-2М не требуется ее дополнительного

Оценка работы гидравлического классификатора осуществлялась по двум параметрам — крупности твердого материала, уходящего в слив, и эффективности гидравлической классификации. На основе результатов ситового анализа (табл. 3) можно заключить, что в слив уходит менее 1 % твердого материала крупностью $-2 + 1$ мм, который с учетом разности объемного веса золота и частиц породы, сопоставим по крупности с золотиными класса $-0,1 + 0,04$ мм.

Эффективность гидравлической классификации оценивалась по отношению веса всех фракций твердого материала в пробе из слива гидравлического классификатора, которая по крупности превосходит расчетное значение крупности слива, к общему весу твердого в пробе, в соответствии с формулой:

$$E_k = \frac{q - q_1}{q} \times 100\%,$$

где E_k — эффективность классификации; q — общий вес твердого в пробе; q_1 — вес фракций в пробе, крупность которых меньше расчетной крупности слива.

Согласно данным ситового анализа эффективность гидравлической классификации была достаточно высокой и составила 98,3 %.

На основании результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований по данному направлению работ можно сделать следующие выводы:

косвенно доказана возможность выноса с забоя скважины потоком промывочной

3. Ситовой состав твердой фазы в сливе классификатора

Общая масса, г	Содержание в г/% по фракциям, мм					
	-2,5 + 1	-1 + 0,5	-0,5 + 0,25	-0,25 + 0,1	-0,1 + 0,04	-0,04
243300	1900	2200	22000	125000	77000	15200
	0,78	0,90	9,04	51,38	31,65	6,25
260400	1100	3000	20000	137000	81000	18300
	0,42	1,15	7,68	52,61	31,11	7,03
230150	2150	2500	19000	110000	79000	17500
	0,93	1,09	8,26	47,79	34,33	7,60
283150	950	3200	23000	150000	86000	20000
	0,34	1,13	8,12	52,98	30,37	7,06
Всего: 1017000	6100	10900	84000	522000	323000	71000
	0,60	1,07	8,26	51,33	31,76	6,98

жидкости россыпного золота крупностью до 8 мм;

разработаны и изготовлены макетные образцы бурового инструмента и цепи аппаратов для предварительной обработки проб, которые могут быть использованы для практического применения;

выполненные аналитические и экспериментальные исследования позволили выявить особенности технологического процесса бурения и обработки проб при использовании обратно-всасывающей промывки на рос-

сыпях золота и разработать предварительные рекомендации по основам технологии бурения, отбора и обработки проб;

необходимо продолжение экспериментальных работ в этом перспективном направлении на промышленном объекте.

Выполненные исследования способствуют ускорению освоения метода бурения скважин на золотоносных россыпях, позволяющего значительно расширить область применения серийной буровой техники и повысить производительность буровых работ.

Rybin V. P., Sladkov V. I.

A NEW TECHNIQUE FOR LARGE-DIAMETER WELL BORING AT PLACER GOLD DEPOSITS

Pilot test results obtained in trial large-diameter well backwash boring are presented. These results prove indirectly the possibility of carry-over of placer gold slivers up to 8 mm in size from the bottom by washing liquid flow and trapping rock particles comparable in size with 0.1-mm class gold slivers in preliminary treatment block.

АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 550.837

©А. А. Грачев, В. Н. Мамаев, В. И. Пятницкий, 1995

РАДИОГЕОРАЗВЕДКА — СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А. А. ГРАЧЕВ, В. Н. МАМАЕВ, В. И. ПЯТНИЦКИЙ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

Рассмотрены состояние и перспективы одного из ведущих направлений научно-исследовательских работ в отделе геофизических методов и аппаратуры ЦНИГРИ. Показаны система технологий, состав средств измерений, области применения, приведены примеры использования отдельных методов радиогеоразведки на месторождениях золота, алмазов, нефти. Обсуждены основные направления дальнейшего развития радиогеоразведки.

Радиогеоразведка (РГР) — система скважинных и шахтно-скважинных радиоволновых методов (РВМ) и лабораторно-скважинных методов петрорадиофизического картирования и построения петрорадиофизических моделей изучаемой среды. Система РГР включает в себя: измерения на образцах и керне скважин, радиочастотный коротаж, скважинные, шахтные, георадарные измерения (наземные радиоволновые профилирование и зондирование).

Петрорадиофизические модели обладают высокой степенью корреляции с геологоструктурным и геолого-петрологическим строением геологической среды. Их коррелятивность превышает в ряде случаев коррелятивность сейсмо- и электроразведки, а также ряда других геофизических методов; кроме того, РГР обладает высоким разрешением в геометризации недр, не уступая сейсмическим методам, превосходя возможности последних в дифференциации горных пород.

Два интерпретационных параметра РГР — коэффициенты экранирования (ϵ) и волноводности (B) (в средах, содержащих отдельные пласты, их пачки или другие изолированные тела) и два общих интерпретационных параметра — коэффициент поглощения (K'') и анизотропия (в слабо индивидуализированных средах) обеспечивают РГР возможность решения картировочных, прогнозно-поисковых, оценочных и разведочных обратных задач при высоком уровне устойчивости и однозначности пол-

Радиоволновой аналог сейсморазведки — технология «георадар» — позволяет получать волновые разрезы изучаемой геосреды и переходить к объемному ее изображению.

В настоящее время РГР используется для решения широкого круга геологических задач не менее чем в 16 типах петрорадиофизических моделей, которые можно объединить в восемь основных типов (по четырем типам вмещающей среды и двум типам изучаемых объектов в каждой из них):

однородные изотропные и анизотропные среды;

двухслойные изотропные и анизотропные среды;

трехслойные изотропные и анизотропные среды;

многослойные изотропные и анизотропные среды, с телами-экранами и телами-волноводами каждая.

На месторождениях благородных, цветных, черных металлов, алмазов и пьезокварца, где традиционно применялась РГР, сейчас используются РВМ для решения задач, которые можно объединить в следующие группы:

1. Физическая параметризация геомodelей и геометризация для подсчета ресурсов и запасов на всех стадиях геологоразведочных работ. Геометризация включает в себя: обнаружение, оконтуривание, прослеживание, увязку рудных тел, оценку их размеров, мощности и электропроводности в пространстве между скважинами и горными выработками;

тируемой безрудности межскважинного (меж-выработочного) пространства.

2. Повышение достоверности и точности детальной картины месторождений и величины их запасов, в частности, для подтверждения или изменения их категорий.

3. Упорядочение сети геологоразведочных работ (замена части горных выработок скважинами, переход от равномерных сетей к неравномерным, перераспределение объектов проходки и бурения на перспективные участки, уменьшение числа законтурных скважин, разрежение сети на участках с равномерным распределением полезного компонента и выдержанными параметрами рудных тел и т.д.) и управление процессом бурения и проходки.

4. Системная оптимизация геологоразведочных работ на базе РГР.

Опробование РГР на нетрадиционных для радиоволновых методов объектах и видах минерального сырья (месторождениях угля, редких элементов, урана, нефти, а также при решении инженерно-геологических и экологических задач) показало, что в настоящее время имеются следующие возможности:

на нефтяных и газовых месторождениях в карбонатных бассейнах производить увязку и прослеживать в межскважинном пространстве пласты повышенного сопротивления, связанные с нефтью или разделяющие нефтяные коллекторы, и определять положение водонефтяного контакта на стадиях добычи и эксплуатационной доразведки;

на угольных месторождениях производить увязку и прослеживание продуктивных пластов, обнаруживать и трассировать тектонические нарушения, оконтуривать пустоты, зоны трещиноватости и обрушения;

при решении инженерно-геологических задач — оценивать состояние горных пород между скважинами (выработками) и в околоскважинном (околовыработочном) пространстве; находить и оконтуривать карстовые пустоты, подземные ходы, археологические объекты и другие неоднородности; определять состояние фундаментов зданий и сооружений, опор мостов, трубопроводов и т.д.;

при решении гидрогеологических и экологических задач: находить и оконтуривать источники, водоносные зоны и горизонты, определять положение уровня грунтовых вод, про-

минерализованных и загрязненных вод и т.д.

РГР как самостоятельное направление в ЦНИГРИ возникло в конце 50-х годов, когда группой специалистов геофизического отдела, возглавляемой А.Д.Петровским, были начаты работы по радиоволновому просвечиванию (РП) на никелевых месторождениях Кольского полуострова (месторождения Мончегорское, Аллареченское, Восток, Ловноозерское и др.). Начало внедрения этого направления на различных рудных объектах, а также в других областях геологических изысканий:

полиметаллические и золотые месторождения, 1959 г.; никелевые (Норильск); железные и медноколчеданные (Урал), 1960 г. (совместно с трестом «Геофизугленефтеразведка»); пьезокварца (Волынь) 1964 г.; алмазов (Якутия), 1971 г.; урана, 1990 г. и нефти, 1991г.; инженерно-геологические и экологические работы (Вильнюс), 1989 г., (Протвино), 1990 г.

В период 60—90-х годов были созданы (совместно с Тульским филиалом, МЭИС, ПГО «Центргеофизика», ОКБ ГП УССР, Киевским заводом ГП, Ивано-Франковским заводом ГП) несколько видов и образцов аппаратуры РВМ (радиопросвечивания — РП), основными из которых являются: РП-ЦНИГРИ, АРП-1, РПО, УКВ-РП, АРП-3, РВМ-3С, РВМ-6М (а.с.*), РПД-1С (2 а.с.), РПД-1ШС, АСАРП, РВМ-Ч1, РПД-2С, РВМ-7ШС.

Разработаны и внедрены модификации методов: РП-скважина-поверхность, РП-межскважинное (а.с.), РП-односкважинное (а.с.), РП-каротаж (а.с.), система СРГР-оптимизации.

Созданы основы физико-математической теории решения прямых и обратных задач РГР.

В решениях всех вышеперечисленных разработок участвовал коллектив из 27 сотрудников под научным руководством и при непосредственном участии во внедрении методов А.Д.Петровского. Кроме отдела геофизики ЦНИГРИ, эту работу выполняли также другие подразделения ЦНИГРИ (УКГЭ, ТОЭИ, КОМЭ, Мирнинский филиал) и сторонние организации (ПГО «Центргеофизика», комбинат «Североникель», Мончегор-

ская ГРП, Аллареченская ГРП, рудник Волинский, Амакинская экспедиция, КазВИРГ и др.).

В области теоретических разработок методов РГР, способов обработки и интерпретации данных измерений выполнено решение значительного числа прямых и обратных задач в волновой области, составлены алгоритмы, программы и решения задач на ЭВМ. Особое внимание обращено на исследования слоистых изотропных и анизотропных сред с разнорасположенными поверхностями раздела, что является необходимым для РГР в изучении нефтегазоносных месторождений.

Значительным достижением в области теоретических и методологических исследований РГР является развитие в последнее время компьютерных методов в геотомографии применительно к объемному изучению геосреды средствами РГР. Это перспективное направление в РГР будет одним из лидирующих в планируемых исследованиях.

Разработаны, внедрены и применяются следующие РВМ: радиоволнового просвечивания (РВП), высокочастотной электромагнитной корреляции (ВЭМК), частотного радиопросвечивания (ЧРП), дифракционные методы. Нашли ограниченное применение и другие разработанные методы: поляризационные, двухкомпонентные, интерференционные, направленного приема, радиолокации. Перечисленные скважинные, шахтные и наземно-скважинные методы комплексировются с лабораторно-скважинными РВ-измерениями на образцах и керне скважин. Вышеупомянутые методы применяются в модификациях односкважинных (одновыработочных), межскважинных (межвыработочных), скважина-выработка, скважина-выработка-поверхность.

В соответствии с размерами и РВ-параметрами объектов изучения и необходимой дальностью действия (от 20 м до 1500 м), применяются методы РГР: от сверхдлинноволновых (частоты 10—60 кГц) до коротковолновых (18—62 МГц и выше). Диапазон частот в методах РГР также определяется и задачами в области геологии, гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, для решения которых применяется тот или иной метод РГР.

За время применения РГР ЦНИГРИ (совместно с другими организациями) про-

торожениях в разных регионах. Работы были поставлены как на месторождениях, где традиционно использовались РВМ (благородные, цветные, черные металлы, алмазы и пьезокварц), так и на месторождениях, где эти методы только начинают применяться (нефть, уголь, редкие элементы, уран). РВМ были опробованы при решении инженерно-геологических, гидрогеологических и экологических задач. Так, например, за период 60—90-х годов были проведены работы на 95 золоторудных объектах (из них собственно золоторудных месторождений и рудопоявлений — 80, комплексных золотосодержащих — 15).

На долю России приходится 50 золоторудных объектов, причем больше всего радиоволновых исследований проведено в Забайкалье — 16 объектов; на Урале таких объектов — 11; в Кузнецком Алатау, Саянах и Енисейском крае — 12; в Якутии и Ленском районе — 4; на Дальнем Востоке и Камчатке — 2; Северо-Востоке — 5.

85% работ РВМ проведено на разведочных стадиях работ.

Материалы РВ-исследований позволяли не только повысить геологическую эффективность РГР на изучающихся золоторудных объектах, но и на целом ряде месторождений золота в Забайкалье, на Урале, в Казахстане уточнить или видоизменить сеть скважин и подземных выработок, что обеспечило возможность их более рационального размещения и сокращения объемов горных и буровых работ, а также площадей поисков и разведки.

В отдельных случаях РВМ использовались при подсчете запасов по категории C_1 , в частности, на золотосодержащих колчеданно-полиметаллических месторождениях Центрального Казахстана, золоторудных месторождениях Северо-Востока и Закарпатья. Удачным примером является использование результатов РВМ для прогноза качества при эксплуатационной разведке на Березовском месторождении, где одним из основных типов золотого оруденения являются многочисленные кварц-сульфидные прожилки в сложнопостроенных дайках.

Определить распределение оруденения между выработками по данным опробования не представляется возможным или требует

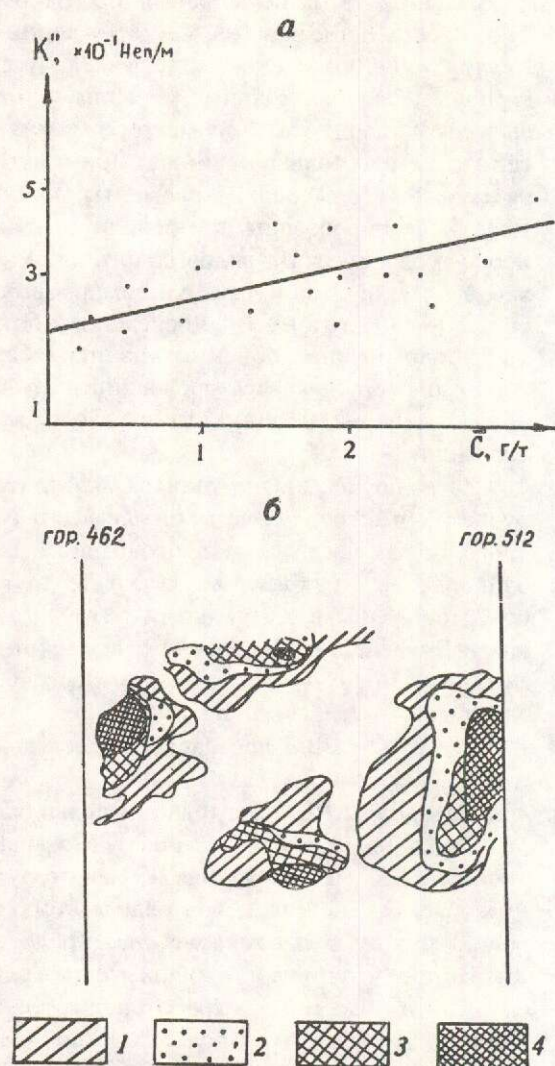


Рис. 1. Результаты применения РГР — геотомографии (радиопросвечивание между выработками) на Березовском золоторудном месторождении:

а — график корреляционной зависимости между коэффициентом поглощения радиоволн (K'') и содержанием золота (C , г/т); б — распределение коэффициента поглощения радиоволн (K'') в межвыработочном пространстве по данным томографической обработки результатов РП с выделением зон с различной золотонностью (C , г/т): 1 — $<0,1$, 2 — $>0,1$, 3 — >1 , 4 — $>2,5$

радиопроектированию по выработкам на оптимальной частоте — 4,5 МГц была выявлена прямая зависимость РВ-параметров (коэффициентов поглощения K'' и коэффициентов экранирования) от содержания золо-

ционных зависимостей методом томографической реконструкции по данным радиопросвечивания между горизонтами 462 и 512 Северного штрека дайки Второпавловской были выделены участки с повышенным содержанием золота в блоке 140. Прогноз качества, осуществленный с помощью радиогетомографии, проверен и подтвержден бурением скважин с горизонтов 462 и 512. Это позволило не только уменьшить в 10 раз объемы эксплуатационного бурения, но и значительно сократить масштабы обрушения при извлечении металла в блоке 140.

Высокая геологическая и экономическая эффективности РГР, применяемой при поисковых и поисково-оценочных работах на кимберлитовых объектах. Большие работы в этом направлении выполнены ЦНИГРИ и его Якутским филиалом. ЦНИГРИ совместно с Амакинской и Мирнинской экспедициями разработана методика поисков безореольных кимберлитовых трубок под траппами с помощью системы, включающей методы РГР и бурения по разреженной сети — 500x500 м с переуглублением скважин на 50 м в коренные породы (вместо стандартной поисковой сети 250x250 м). При этом системой методов РГР, включающей РВ-петрофизические измерения на образцах и керне скважины, односкважинные и межскважинные измерения, решаются три основных задачи:

1. Констатация гарантированного отсутствия кимберлитовых трубок в межскважинном пространстве;
2. Определение положения аномальных радиоволновых объектов (РВО) с размерами, равными трети расстояния между скважинами, в межскважинном пространстве (в 50 % случаев РВО оказываются кимберлитовыми трубками);
3. Оконтурирование и выявление морфологии кимберлитовых трубок, пересеченных одной скважиной.

В качестве примера рассмотрим результаты РГР на участке трубки Бобкова (рис. 2). При уточнении РВМ контуров этой трубки (пунктирная линия), обнаруженной скважинами при бурении по сети 500x500 м, были выявлены и оконтурены по значениям коэффициентов экранирования ($\varepsilon > 10$), три объекта — № 1, 2, 3. Проверочные

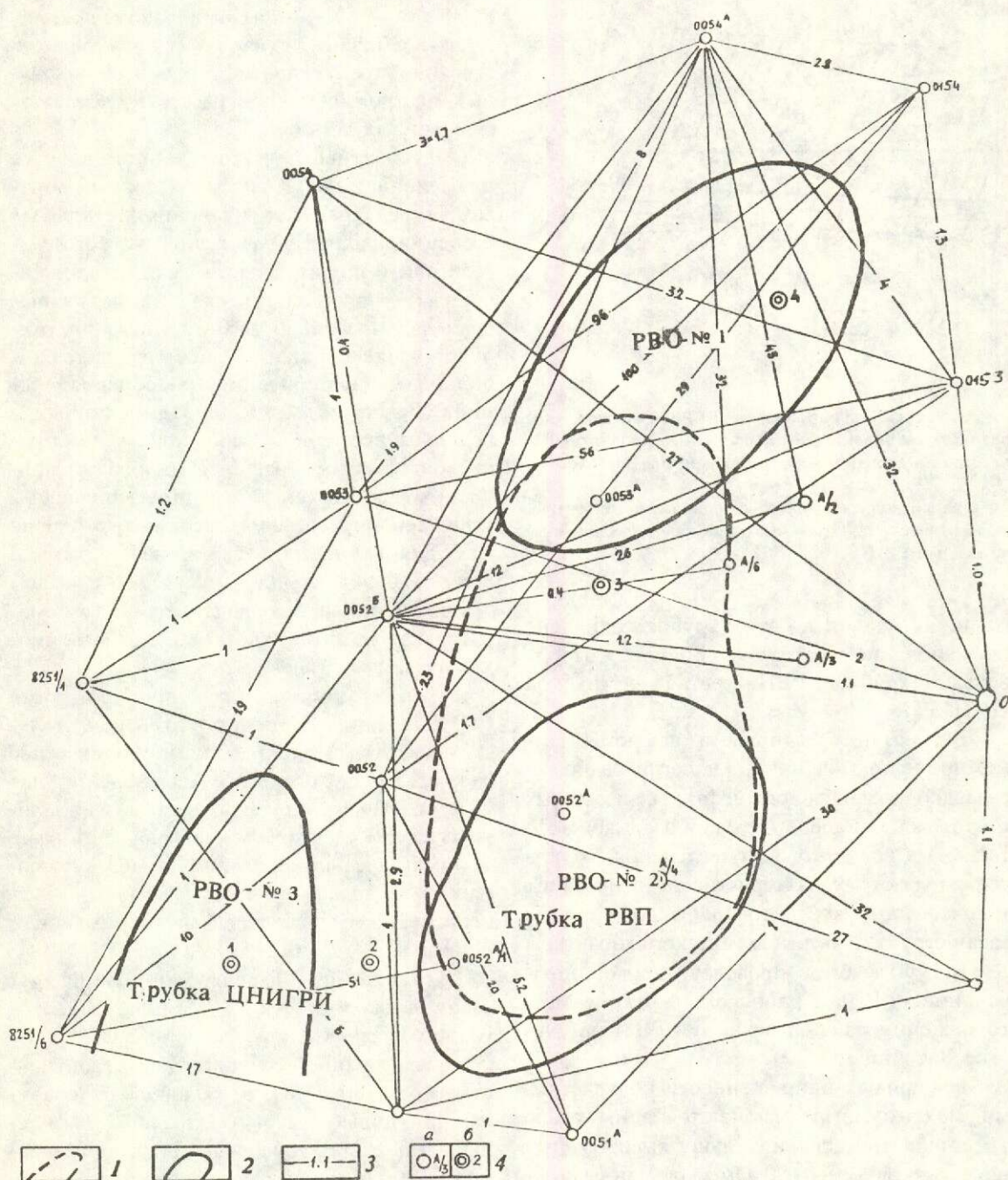


Рис. 2. Результаты применения РГР (межскважинное радиоволновое просвечивание) при поисках кимберлитовых трубок под траппами в Западной Якутии:

1 — контуры трубки по бурению; 2 — контуры трубки по РВП; 3 — лучи РВП со значениями коэффициентов

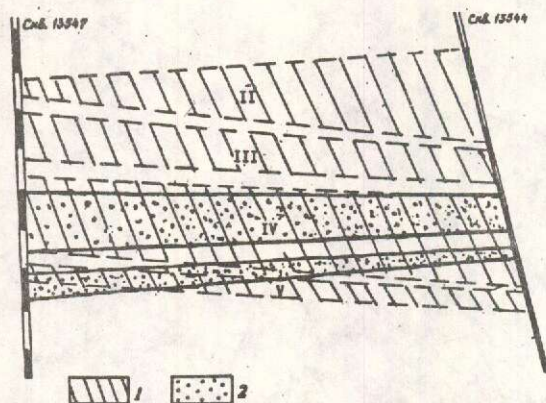


Рис. 3. Результаты опробования РГР (межскважинное радиопросвечивание) по корреляции продуктивных пластов на Арланском месторождении в Башкирии:

1 — пакки коллекторов, объединенные по геологическим данным; 2 — пакки коллекторов, объединенные по данным РВП

ками. За первой из этих трубок сохранено наименование — трубка Бобкова, вторая названа трубкой РВП, третья — трубкой ЦНИГРИ.

Весьма перспективными являются возможности применения технологий радиогео-разведки при изучении нефтяных и газовых месторождений для выделения разрывов неф-тегазовых коллекторов, определения их пет-рофизических характеристик, картирования водонефтяных контактов и решения других задач структурно-литологического характера.

В 1990 г. было проведено первое опро-бование РГР на Арланском нефтяном мес-торождении с использованием РВМ на уча-стке Вятский (рис. 3).

На кривых напряженности поля четки-ми максимумами отмечаются зоны слабо трещиноватых сравнительно высокоомных известняков (20—100 Ом.м по данным бо-кового электрокаротажа БК), разделяющих пакки водонефтяных коллекторов низкого сопротивления (первые Ом.м по БК). Это свидетельствует о том, что эти пропластки непрерывно протягиваются между скважи-

нить на пакки коллекторов несколько иначе, чем предполагалось геологами. Максималь-ная дальность РВП, полученная на самой низкой частоте стандартной аппаратуры РВМ-6М — 400 м. Таким образом, появля-ются возможности изучения внутреннего строения продуктивных горизонтов нефтя-ных месторождений при расстояниях между скважинами до 400 м.

Перспективным направлением является применение технологий РГР (главным обра-зом, георадара) для изучения детального строения верхней части геологического раз-реза при решении геологических, геоинже-нерных, гидрогеологических и экологиче-ских задач. Основное внимание при этом будет уделено аппаратным разработкам, полной компьютеризации процессов измере-ний, обработки и визуализации данных в реальном времени на основе построения ра-диоволновых томографических и голографи-ческих изображений зондируемой среды (типа сейсморазрезов). Система технологий РГР для изучения верхней части разреза должна будет комплексироваться с рядом других мобильных геофизических (сейсмо-разведка, электроразведка) и полевых гео-химических методов.

Вопросы комплексирования технологий РГР с геологическими и другими геофизиче-скими методами и технологиями — это весьма важное методологическое направление для РГР, требующее серьезных системных анали-тических исследований, учитывающих все многообразие целей, особенностей и возмож-ностей РГР. Это направление также должно быть неременной составляющей системы радиогео-разведки.

Технологии РГР решают широкий круг задач в экологических, геоинженерных и гидрогеологических исследованиях:

обследование площадей под строитель-ство промышленных и гражданских соору-жений с целью выделения тектонически ос-лабленных зон, участков карстообразова-ния, оценки степени устойчивости грунтов, оползнеопасных участков в них по водона-сыщенности, а также их мониторинг;

обнаружение скрытых нарушений пло-тин, дамб, водоводов; поиски и обнаружение скрытых металлических и неметаллических

технологическое картирование отвалов горнодобывающих и металлургических предприятий с целью вовлечения их во вторичную переработку;

картирование участков развития многолетнемерзлых пород и определение толщины льда с изучением подледного рельефа ложа ледников;

определение наличия, строения, распространения и глубины залегания водоносных горизонтов, гидрогеологическое районирование территорий, предназначенных для захоронения бытовых и промышленных отходов, участков распространения загрязненных и засоленных вод.

Примером применения скважинной РГР при экологических исследованиях может служить использование радиогеофотографии для оконтуривания фронта распространения закачных вод при подземном выщелачивании урана на одном из месторождений Средней Азии. При межскважинном радиопросвечивании было установлено, что на площади месторождения продуктивная толща перекрыта непрерывным пластом непроницаемых известняков, препятствующим распространению выщелачивающего раствора. С помощью радиогеофотографии распределения относительных величин коэффициентов поглощения удалось организовать мониторинг распространения фронта закачных вод от закачных скважин.

Оценивая состояние теоретических, методических, аппаратных разработок, промышленного опытного и производственного применения РГР, можно наметить основные направления дальнейшего развития РГР, как системы геофизических технологий, удовлетворяющих требованиям завтрашнего дня прикладной геофизики и являющейся, в оп-

ределенной степени, самодостаточной для обеспечения исследователя высокоэффективной информацией о геосреде.

Это, прежде всего, разработка технологических систем РГР для решения широкого спектра геолого-геофизических и петрорадиофизических задач на месторождениях топливно-энергетического комплекса (ТЭК) как в региональных исследованиях по опорным и параметрическим скважинам, так и в поисково-разведочных работах по изучению характеристик нефтяных залежей, их состояния и динамики отработки. Это потребует значительных усилий по созданию новых модификаций техники РГР, методических приемов, компьютеризации технологий РГР, создания новых программ обработки, визуализации и интерпретации данных РГР, в том числе томографических и голографических. Одной из важнейших задач, особенно для применения РГР на месторождениях ТЭК, будет являться разработка способов и технологий РГР в скважинах с металлической обсадкой. Начальный опыт такого рода работ в ЦНИГРИ имеется. Это — разработка технологий георадарного изучения верхней части геологического разреза с соответствующим обеспечением аппаратурой нового поколения, способами компьютерной обработки и визуализации данных в реальном времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровский А.Д. Радиоволновые методы в подземной геофизике. — М.: Недра, 1971.
2. Руководство по радиоволновым методам скважинной и шахтной геофизики. — М.: Недра, 1977.
3. Грачев А.А., Мамаев В.Н., Петровский А.Д. Опыт и перспективы применения скважинных и шахтных радиоволновых методов на месторождениях золота // Руды и металлы. 1993. № 3—4. С. 36—39.

Grachev A. A., Mamayev V. I., Pyatnitsky V. I.

RADIO WAVE GEOLOGICAL PROSPECTING: STATE OF THE ART AND PROSPECTS

A review of radio wave prospecting method being one of the essential research leads in the activity of TsNIGRI's Department of geophysical methodology and instrumentation is presented. Techniques and procedures, instrumentation sets and application fields characterizing the method are reviewed. Examples of implementation of particular radio wave geological prospecting methods at gold, diamond and oil deposits are shown. General lines of further development of the

УДК: 550.837

© В. Ф. Кухарев, Л. Г. Синодова, 1995

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ТИПОВ ДЛЯ СКВАЖИННОЙ РАДИОГЕОРАЗВЕДКИ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

В. Ф. КУХАРЕВ, Л. Г. СИНОДОВА (ЦНИГРИ Роскомнедра)

Проведено теоретическое обоснование использования методов скважинной радиогеоразведки (СРГР) для выделения и прослеживания в продуктивной толще осадочных бассейнов высокоомных слоев-волноводов. Проанализировано влияние поляризации возбуждаемого поля (электрический и магнитный диполи) на эффективность обнаружения и прослеживания нефтегазовых пластов методами СРГР. Выделены области электромагнитных параметров среды и частотные диапазоны преобладающей эффективности того или иного диполя.

В последнее время возник интерес к выделению, прослеживанию и выявлению сплошности нефтяных пластов методами СРГР. Первые опытные работы на Арланском нефтяном месторождении в 1992 году подтвердили перспективность использования СРГР на нефтяных месторождениях [3]. При сравнении эффективности использования электрических и магнитных излучателей были разработаны быстродействующие приближенные алгоритмы и программы расчета полей вертикальных электрического и магнитного диполей для моделей сплошного и разрывного слоя-волновода, рассчитанные на использование при экспрессной обработке результатов РВ-измерений на персональных ЭВМ типа IBM PC, (AT-286, 386, 486). Алгоритмы получены из строгих решений разложением подынтегрального выражения в ряд, представляющий собой геометрическую прогрессию, переводом пути интегрирования с действительной оси в комплексную плоскость за счет замены переменной интегрирования и последующего интегрирования каждого члена ряда методом перевала [2]. Был проведен также расчет для однородной анизотропной среды частотной зависимости отношения вертикальной электрической компоненты вертикального электрического диполя E_z к вертикальной компоненте магнитного поля вертикального

сопротивления среды (рис. 1). Выделены области преобладающей эффективности электрического и магнитного диполей. На высоких частотах (F) и при больших значениях сопротивления (ρ) более эффективным является электрический диполь, тогда как в диапазоне низких частот и при малых значениях ρ более эффективен магнитный диполь.

Рассмотрим пример частотной зависимости коэффициентов волноводности W_e , представляющих собой отношение поля в центре слоя-волновода к нормальному полю (поле в однородной среде, совпадающей по свойствам с вмещающей средой) для электрического диполя при расстояниях между скважинами $г = 250, 500$ и 1000 м для толщин слоя-волновода $h = 1; 5$ м (применительно к параметрам нефтяных и газовых месторождений) (рис. 2). Коэффициенты волноводности в зависимости от частоты, сопротивления слоя и вмещающей среды меняются в широких пределах, от полного отсутствия волноводных свойств на низких частотах до весьма больших значений на высоких. Однако при повышении частоты резко снижается дальность действия СРГР, поэтому в реальности для параметров, обеспечивающих требуемую дальность, значения коэффициентов волноводности будут колебаться от 1 до 100. Коэффициенты вол-

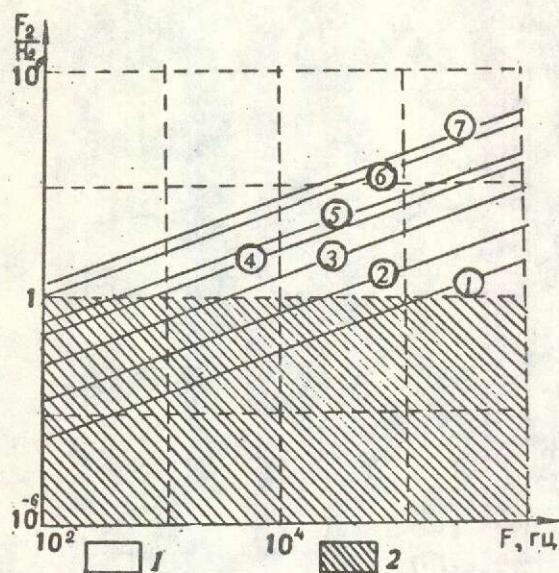


Рис. 1. Сравнительная эффективность электрического и магнитного диполей:

область преобладающей эффективности: 1 — электрического диполя; 2 — магнитного диполя; цифры в кружках — сопротивление, Ом.м: 1 — 0,1; 2 — 1; 3 — 10; 4 — 50; 5 — 100; 6 — 500

при $h = 1$ м. Кроме того, они растут с увеличением расстояния между скважинами. Влияние анизотропии на коэффициент волноводности более всего проявляется в области высоких частот.

С целью изучения волноводного эффекта в зависимости от поляризации излучаемого поля проведен расчет частотной зависимости отношения коэффициентов волноводности для электрического (Ve) и магнитного (Vm) диполей в зависимости от сопротивлений пород слоя и вмещающей среды при расстояниях $r = 250, 500, 1000$ м и толщинах слоя-волновода $h = 1; 5$ м (рис. 3).

Волноводный эффект при возбуждении поля электрическим диполем равен или больше волноводного эффекта при возбуждении поля магнитным диполем (даже в областях преобладающей эффективности магнитного диполя). Ve/Vm изменяется от 3 (в области низких частот) до 1 (в области высоких частот). Отсюда следует, что для изучения слоев-волноводов (нефтяных коллекторов, золото-кварцевых жил и т.д.) ис-

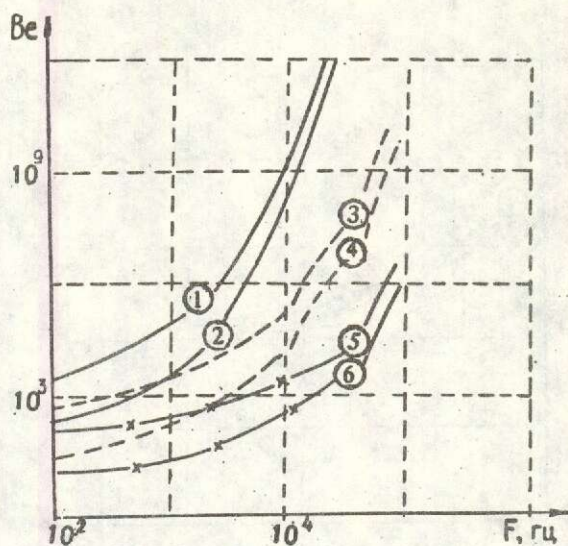


Рис. 2. Пример частотной зависимости коэффициента волноводности Ve электрического диполя при заданных тангенциальных (ρ_t, ϵ_t) и нормальных (ρ_n, ϵ_n), составляющих электропроводности и диэлектрической проницаемости:

$\rho_{1t} = 100; \rho_{1n} = 50; \rho_{2t} = 1000; \rho_{2n} = 500; \epsilon_{1t} = 25; \epsilon_{1n} = 25; \epsilon_{2t} = 25; \epsilon_{2n} = 25$; цифры в кружках — индексы кривых, соответствующих следующим значениям толщины слоя-волновода h (м) и расстояния между скважинами r (м): 1 — $h = 5; r = 1000$; 2 — $h = 1; r = 1000$; 3 — $h = 5; r = 500$; 4 — $h = 1; r = 500$; 5 — $h = 5; r = 250$; 6 — $h = 1; r = 250$

тически более предпочтительно, чем магнитного. Однако с учетом того, что изготовление коротких электрических антенн встречает значительные конструктивные и технологические сложности, выбор типа излучателя в каждом конкретном случае должен проводиться в соответствии с рис. 1, где определены области сравнительной эффективности излучательных способностей электрического и магнитного диполей в зависимости от параметров среды. Таким образом, тип излучателя необходимо выбирать в зависимости от параметров вмещающей среды.

Проведены расчеты коэффициента волноводности в нарушенном слое-волноводе. На рис. 4 приведены примеры расчета величины $V = V_{нар}/Ve$ в зависимости от $r_{нар}/r$ на низких частотах, где $V_{нар}$ — коэффициент волноводности в нарушенном слое-волноводе, $r_{нар}$ — размер разрыва слоя-волновода. Из расчетов видно, что даже небольшой размер нарушенной области слоя ведет

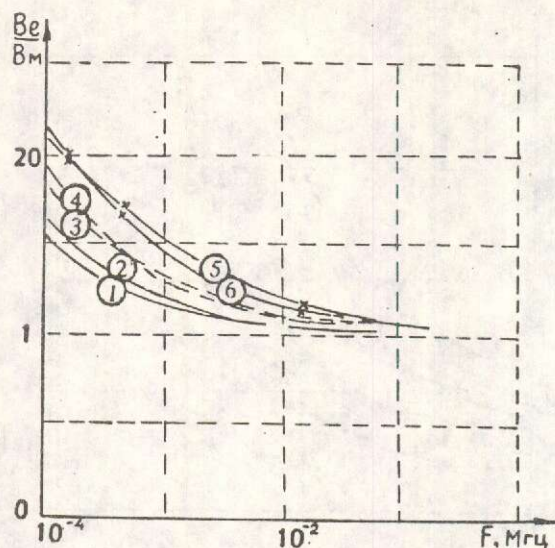


Рис. 3. Пример частотной зависимости отношения V_e/V_m при заданных тангенциальных (ρ_t, ϵ_t) и нормальных (ρ_n, ϵ_n) составляющих электропроводности и диэлектрической проницаемости:

$\rho_{1t}=100$; $\rho_{1n}=50$; $\rho_{2t}=500$; $\rho_{2n}=100$; $\epsilon_{1t}=25$; $\epsilon_{1n}=25$; $\epsilon_{2t}=25$; $\epsilon_{2n}=25$; цифры в кружках — индексы кривых, соответствующих значениям толщины слоя-волновода h (м) и расстояния между скважинами r (м): 1 — $h = 1$; $r = 250$; 2 — $h = 5$; $r = 250$; 3 — $h = 1$; $r = 500$; 4 — $h = 5$; $r = 500$; 5 — $h = 1$; $r = 1000$; 6 — $h = 5$; $r = 1000$

к резкому уменьшению V_e , вплоть до полной потери волноводных свойств. Величина этого уменьшения слабо зависит от расстояния между скважинами (r), толщины слоя (h) и сильно растет с частотой. Изучение коэффициента волноводности (V) позволит определить степень нарушения волноводного слоя.

С помощью проведенных расчетов показано, что:

методы СРГР позволяют рассчитывать продуктивную толщину осадочных бассейнов и выделять в них высокоомные слоистые волноводы толщиной $h = 1$ м и более с коэффициентом волноводности от нескольких единиц на низких частотах (порядка 1 кГц и ниже) и при слабых контрастностях (отношение сопротивлений слоя ρ_2 и вмещающей среды ρ_1 порядка 2) до сотен на более высоких частотах (порядка нескольких десятков кГц) и при больших контрастностях (ρ_2 / ρ_1 порядка 10). Значения коэффици-

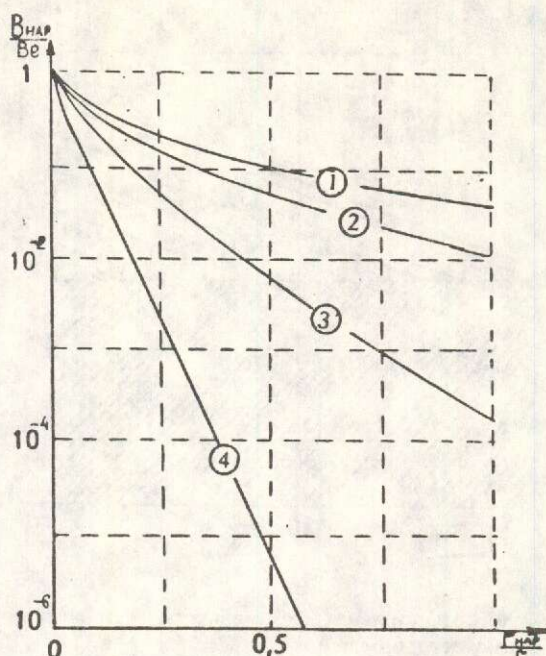


Рис. 4. Пример частотной зависимости относительного уменьшения коэффициента волноводности в нарушенном слое-волноводе (V_{nap}/V) при заданных значениях (для изотропной среды):

$h = 1$ м; $r = 250$ м; $\rho_1=200$ Ом.м; $\rho_2=100$ Ом.м; $\epsilon_1=9$; $\epsilon_2=9$; цифры в кружках — частоты, МГц: 1 — $f = 0.001$; 2 — $f = 0.01$; 3 — $f = 0.1$; 4 — $f = 1$

ентов волноводности растут с увеличением разности:

разрыв сплошности слоя-волновода существенно уменьшает коэффициент волноводности, причем величина этого уменьшения растет с частотой. Методы СРГР позволяют оценивать размер нарушения слоя-волновода по величине относительного уменьшения коэффициента волноводности;

разграничиваются области преобладающей эффективности электрического и магнитного диполей в зависимости от частоты и сопротивления среды. На высоких частотах (порядка нескольких десятков и сотен кГц) и при больших сопротивлениях (от сотен до тысяч Ом.м) более эффективным является электрический диполь, а в нижнем диапазоне частот (порядка сотен Гц) и при малых сопротивлениях (от десятых долей до десятков Ом.м) более эффективным является магнитный диполь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. — М.: Наука, 1973.
2. Кухарев В.Ф. Об асимптотиках некоторых типов кратных интегралов с несколькими параметрами. Деп.ВИНИТИ 2310.86 № 7439—В86.
3. Первый опыт опробования скважинной радиогеофизики на нефтяном месторождении Башкирии / В.Н.Мамаев, В.Ф.Кухарев, А.Т.Бондаренко. Труды международного семинара "Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электромагнитных полей". — М.: МГРИ, 1993.

Kukharev V. F., Sinodova L. G.

COMPARATIVE EFFICIENCY OF ELECTRIC- AND MAGNETIC-TYPE RADIATORS FOR USE IN BOREHOLE RADIO WAVE GEOLOGICAL PROSPECTING AT OIL DEPOSITS

Theoretical basements of using borehole radio wave geological prospecting methods (BRWGP) for marking out and tracing high-resistivity waveguide layers within productive formations of sedimentary basins are presented. The effect of polarization of the field generated by the oscillators (electric and magnetic dipole ones) on the efficiency of detecting and tracing oil-gas-bearing beds by BRWGP is studied. Predominant efficiency fields are marked out for each of the oscillators within the variation ranges of frequency and electromagnetic parameters of the medium.



ЦНИГРИ

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ШАХТНОЙ РАДИОГЕОРАЗВЕДКИ (ШРГР) ДЛЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Впервые разработан комплекс для выделения, прослеживания и оконтуривания в межвыработочном пространстве тектонических разрывов, зон повышенной трещиноватости, обрушения, закарстованности и обводнения на угольных месторождениях.

Аппаратура состоит из переносных блоков: генераторного и измерительного, имеющих повышенную газо-, пыле- взрывозащищенность. Дальность действия до 500 м в угольных пластах высокого удельного сопротивления, минимальной мощностью до 1–1,5 м.

Питание аппаратуры — батарейное и аккумуляторное. Аппаратура имеет выход на запоминающее электронное устройство для последующего введения данных измерений в ЭВМ.

Обработка и интерпретация данных измерений производится на ЭВМ по оригинальным программам.

Аппаратурно-методический комплекс широко опробован на угольных месторождениях Китая, Испании. ЦНИГРИ предлагает ноу-хау, инженеринговые услуги, создание совместного предприятия для проведения работ.

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



ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ – ВКЛАД ЦНИГРИ

Н. М. ЗАИРИ, В. Н. НОВИКОВ, В. И. ПЯТНИЦКИЙ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

Рассматриваются основные направления разрабатываемых в ЦНИГРИ специальных методов геоэкологического изучения месторождений твердых полезных ископаемых, представляющих собой две взаимодополняющие системы: опережающих экспертно-прогнозных оценок и сезонно-годового мониторинга. Постановка такого рода работ на возможно более ранних стадиях ГРР позволяет обеспечить повышение экологической безопасности при недропользовании.

В соответствии с требованиями Законов Российской Федерации о недрах и охране окружающей природной среды геоэкологические исследования должны стать важным и неотъемлемым элементом комплексного геоэкологического изучения месторождений и территорий, обеспечивающим научное обоснование экологически безопасного использования недр. Напомним, что к основным видам недропользования относятся:

- геологическое изучение;
- добыча полезных ископаемых, в том числе использование отходов горнодобывающего и связанных с ним перерабатывающих производств;
- строительство и эксплуатация подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых.

Поскольку наиболее массовые негативные воздействия на окружающую среду (ОС), в том числе и множественные нарушения самой геоэкологической среды (ГС), связаны главным образом с добычей и переработкой полезных ископаемых (твердых, жидких или газообразных), очевидно, что организация геоэкологического мониторинга при недропользовании как системы отслеживания геоэкологической ситуации при проведении геологоразведочных работ и эксплуатации горных предприятий должна рассматриваться как важнейшая научно-организационная мера, призванная снизить экологический ущерб при недропользовании.

В целом комплекс геоэкологических исследований на последовательных этапах геологоразведочных (ГРР) и горнодобычных работ (ГДР) включает в себя:

опережающие ГРР ландшафтно-экологические, инженерно-гидрогеологические и эколого-геохимические (в том числе изотопно-экогеохимические) исследования объекта, обладающего потенциальными ресурсами, с целью создания его экологического паспорта (параметры фона, изотопно-геохимические стандарты почв, вод и т.д.), общей оценки реакции ОС на техногенные воздействия при проведении ГРР и ГДР (в том числе возможного проявления опасных геоэкологических процессов), а также выявления имеющихся природных и техногенных геохимических аномалий;

на поисковой и поисково-оценочной стадии — геоэкологическое картографирование территории на основе типизации геосистем по степени их потенциальной устойчивости и нарушенности хозяйственной деятельностью, а также специализированное мониторинговое изучение структурно-литологических свойств ГС и динамики изменения физико-химического и гидрохимического режимов системы почва-подземные воды с целью прогнозирования масштабов и уровней техногенного загрязнения и вероятности инициирования иных нежелательных процессов (например,

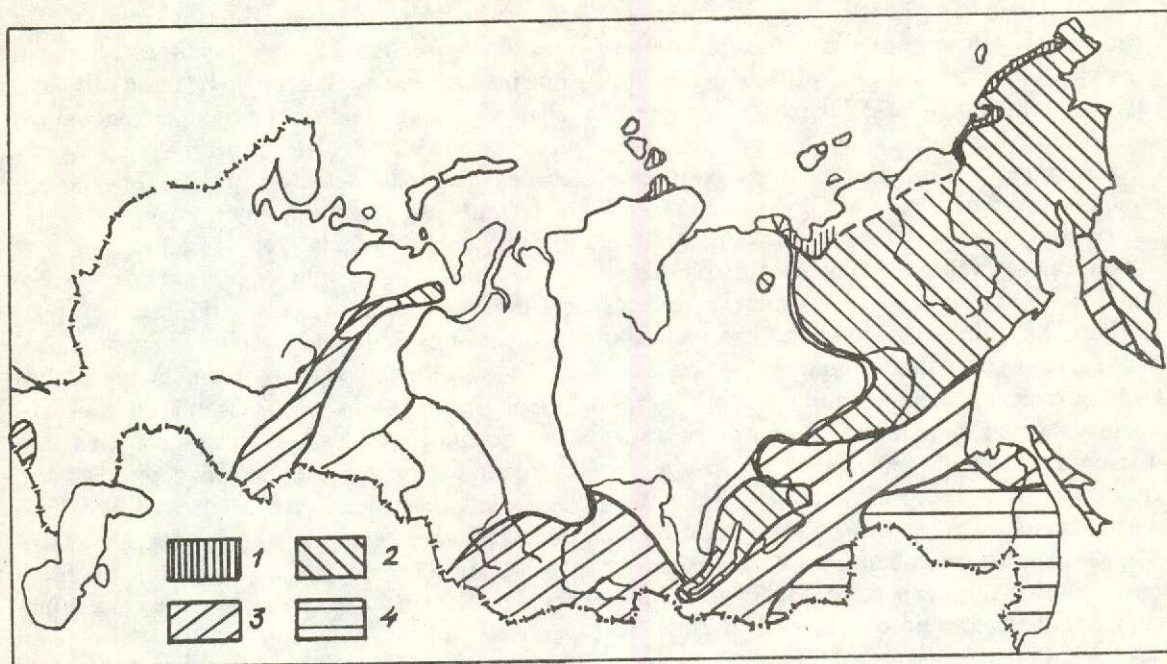


Рис. 1. Геоэкологическое районирование РФ по степени благоприятности-неблагоприятности освоенных территорий с прогнозными ресурсами россыпного золота.

Ландшафтно-экологические условия: 1 — особо неблагоприятные; 2 — неблагоприятные; 3 — относительно неблагоприятные; 4 — относительно благоприятные

на разведочной стадии — уточненную (по результатам мониторинга) характеристику состояния и динамики изменения ОС в границах горного отвода и за его пределами, определение нормативных показателей техногенеза (ПДЭН, ПДС, ПДВ), направленности и интенсивности возможного изменения ОС после ввода объекта в эксплуатацию, оценку пригодности техногенных отложений (отвалов разного типа) для биорекультивации и др.

Необходимо иметь в виду, что на последней стадии, с учетом параметров предполагаемой технологии извлечения полезных компонентов, на экспертной основе возможна оценка экологических последствий эксплуатации месторождений и разработка конкретных рекомендаций по рациональному использованию недр и комплексу необходимых предупредительных и компенсационных природоохранных мероприятий.

С учетом вышеизложенного, в ЦНИГРИ параллельно разрабатываются два направления геоэкологических исследований:

пертных оценок, направленных на обоснование экологической целесообразности их постановки и основанных на геоэкологической типизации месторождений и объектов с прогнозными ресурсами;

2) сезонно-годовой мониторинг ОС с количественной оценкой воздействия геолого-разведочных и горнодобычных работ на природную среду.

Система опережающих экспертных оценок. Месторождения твердых полезных ископаемых (ТПИ) в целом можно разделить на ряд геолого-экологических типов: коренные, россыпные моноэлементные и комплексные, а также близкие к последним месторождения нерудного, минерального сырья, в том числе и стройматериалов. Особую группу составляют месторождения ТПИ, локализованные на морском дне, а также залежи жидких и газообразных углеводородов.

Очевидно, что даже при достаточно условной типизации месторождений необходим комплекс объективных признаков, при

типоморфные геологические, минералогические, геохимические и технологические параметры объекта, соотнесенные с особенностями ландшафтных и физико-географических характеристик района работ. Подобная оптимизация главных признаков также необходима для составления функциональной карты или модели объекта, являющейся основой для экспертных и прогнозных оценок развития экологической ситуации. В качестве примера, иллюстрирующего возможности экспертно-прогнозных оценок, взяты россыпные месторождения золота, разработка которых вследствие их минералого-геохимической специфики оказывает минимальное (в сравнении с комплексными и рудными) воздействие на геохимический режим ОС.

К типовым особенностям техногенеза при эксплуатации россыпей, осуществляемой преимущественно открытыми способами, относятся:

близповерхностный (до 20—30 м) характер нарушений геологической среды, охватывающих рыхлую и слаболифидированную часть мезо-кайнозойского разреза и зоны аэрации подземных вод;

значительные площади нарушенных земель с полной или частичной деструкцией ландшафтов, превышающие в 2—5 раз (а с учетом развития сопутствующей инфраструктуры — в 7—15 раз) площадь самих месторождений;

большие объемы технологического водопотребления и сброса сточных вод, загрязненных преимущественно нетоксичными механическими взвешью, что требует устройства относительно простых водоохраных сооружений;

незначительное изменение солевого режима водной среды, предотвращающего развитие процессов выщелачивания тяжелых и токсичных элементов из объемов коренных пород;

небольшой объем суммарных вредных выбросов в атмосферу, не представляющий ощутимой опасности для экосистем.

Проведенный анализ состояния ОС в районах массовой золотодобычи из россыпей в РФ показал, что даже при таком, относительно щадящем, типе техногенеза наносится невосполнимый ущерб природным комплексам речных долин, нарушается естественный режим

потенциал территорий. Иными словами, из нормального природопользования, согласно предварительным экспертным оценкам, выводятся значительные фрагменты экосистемы на период от 20—25 лет — в условиях южной подзоны лесной зоны, до 50—70 лет и более — в условиях горнотаяжных и лесотундровых ландшафтов [4, 5].

Разработанная методика экспертной оценки развития экологической ситуации при проектировании геологоразведочных и горнодобычных работ на россыпях золота включает два основных элемента: использование системы количественных экологических показателей (абсолютных и удельных значений землеемкости, отходности, водоемкости, лесоемкости и др.), составляющих, по сути, «экологическую цену» добываемой продукции, и построение прогнозных функциональных моделей объекта с выделением зон однонаправленных изменений структуры деформируемых ландшафтов. Интегральным критерием прогнозно-экспертной оценки может служить величина показателя экологической землеемкости ($K_{ЭК}$), описывающая отношение суммарной площади всех видов нарушений, включая прогнозируемые площади зон гидрологических, гидрогеологических, биологических и иных ландшафтно-экологических и экогеохимических изменений в сфере влияния, к объему получаемой продукции [4].

Итогом реализации разработанных методических подходов, опирающихся на методологию ландшафтно-экологического районирования и прогнозирования, явились:

геоэкологическая типизация районов и объектов с прогнозными ресурсами россыпного золота на территории РФ, позволившая выделить группы районов с особо неблагоприятными (6,5 %), неблагоприятными (16,7 %), относительно неблагоприятными (42 %) и относительно благоприятными (34,8 %) ландшафтно-экологическими условиями (рис. 1);

разработка принципов построения и легенды карты геоэкологического районирования золотороссыпных районов РФ (М 1:4000000), на основе которой будет существенно уточнена и детализирована проведенная типизация и дана экспертная прогнозная оценка развития экологической ситуации как в традиционных, так и потенциально перспективных новых районах

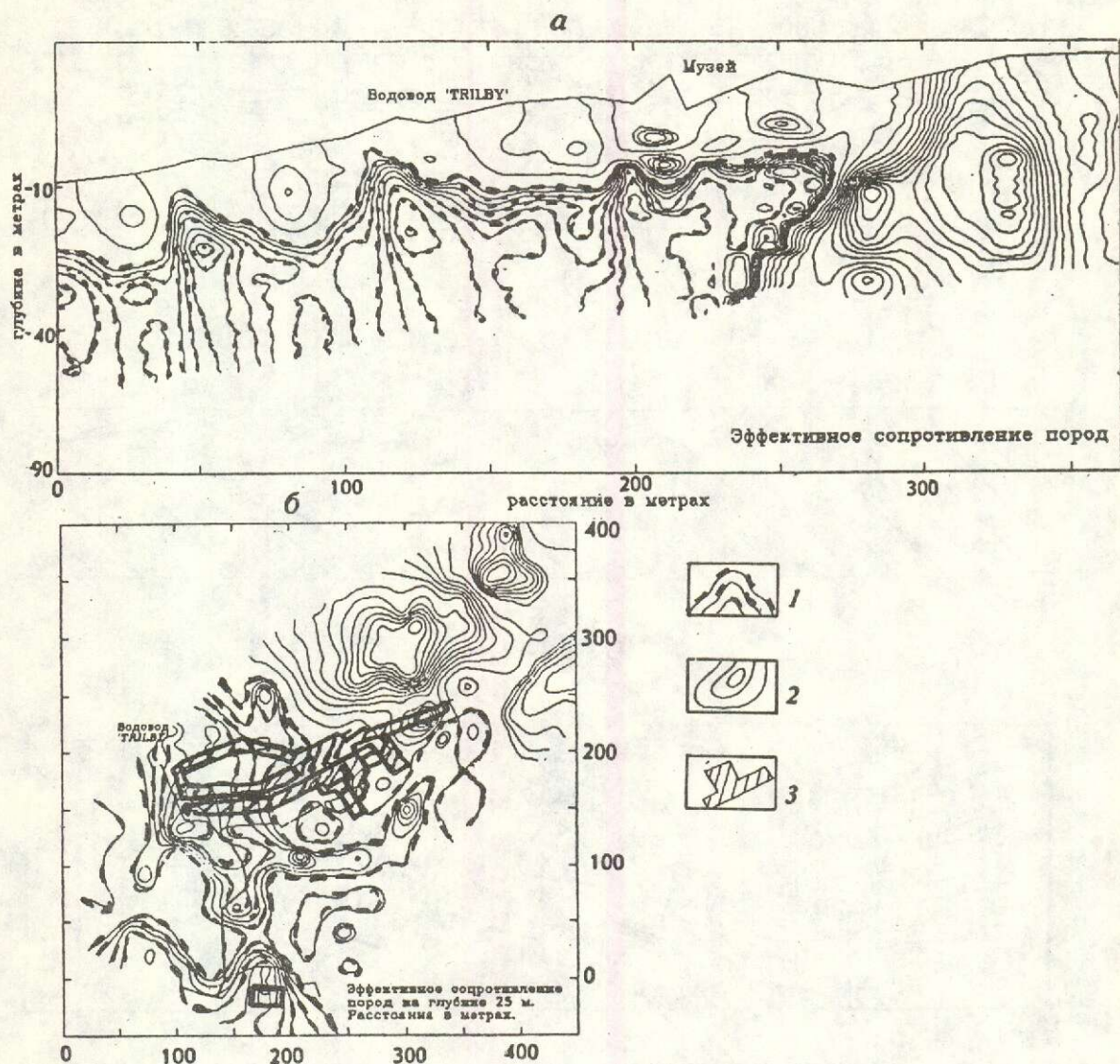


Рис. 2. Геоэлектрическое картирование разуплотненных и обводненных пород на территории Воронцовского дворца (южный берег Крыма) методом переходных процессов:

a — разрез; *b* — план; 1 — зона разуплотненных и обводненных пород; 2 — зоны плотных пород; 3 — сооружения дворца

определение некоторых важных средне-отраслевых удельных экологических показателей золотодобывающей промышленности РФ (например, удельной эффективной землеемкости, нормативной водоемкости, лимитированного сброса сточных вод), динамика которых за период с 1965 по 1990 гг. свидетельствует о примерно двукратном возрастании общей ресурсоемкости и отходности при эксплуатации россыпей золота за

зателей, районированный по основным золоторудным провинциям России, в определенной мере может служить нормативной базой для геологической оценки разведываемых россыпей и лицензирования.

Система сезонно-годового мониторинга окружающей среды. Постановка ГРП неизбежно приводит к нарушению сплошности почвенного покрова и в различной степени литифицированных пород, изменению

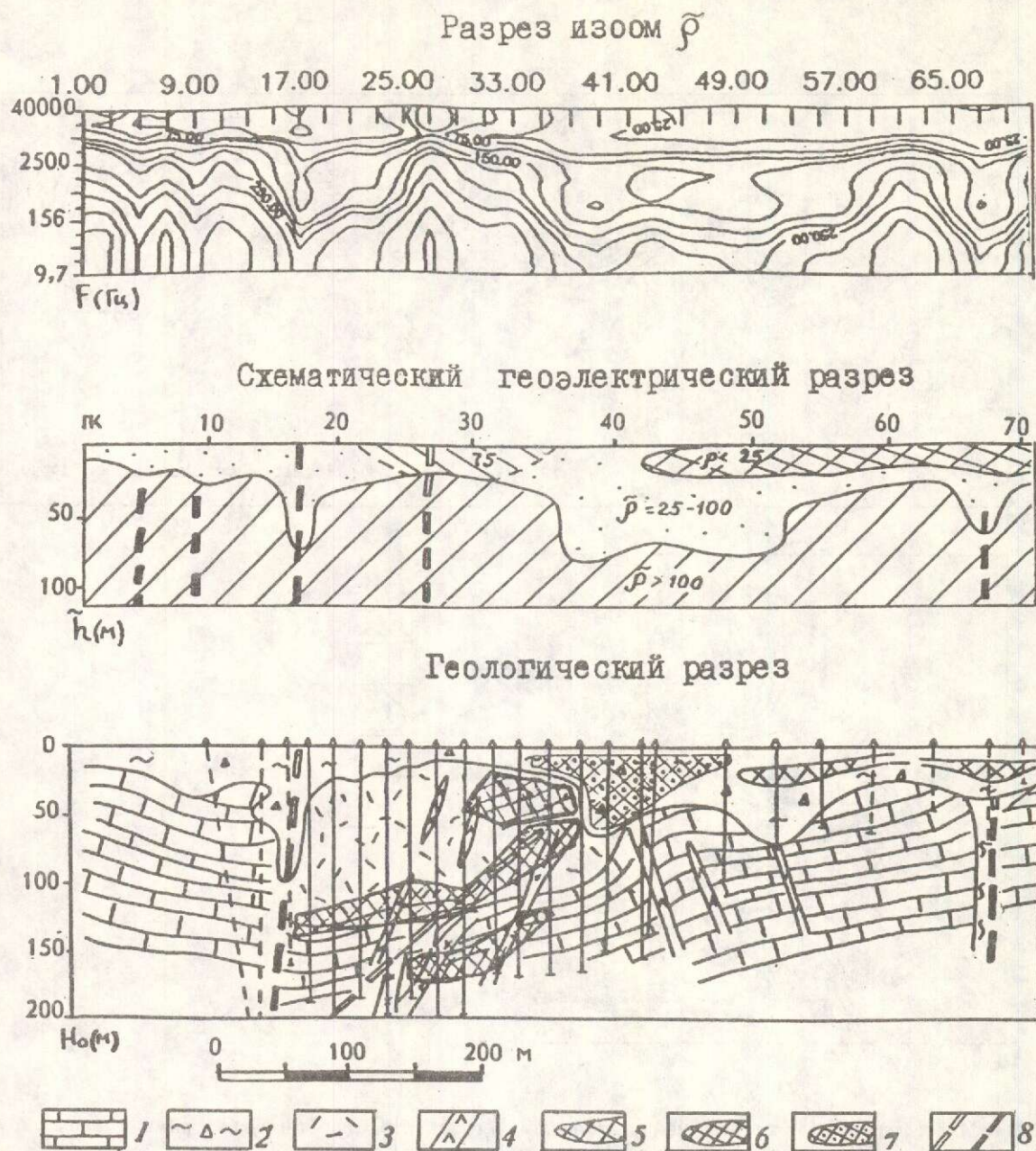


Рис. 3. Картирование карста и тектонических нарушений методом ЧЭЗ (Северный Урал):

1 — известняки; 2 — продукты кор выветривания; 3 — вулканогенно-осадочные породы; 4 — дайки основного состава; 5 — окисленные железные руды (бурые железняки); 6 — первичные руды; 7 — окисленные (вторичные) руды; 8 — тектонические нарушения различных порядков

земных вод, инициирующих такие природные процессы, как оползневые, карстообразование, изменение геохимического режима ОС и т.д. С целью прогнозирования проявления этих и ряда других процессов от этапа, предшествующего постановке ГРР, до стадии промышленного освоения объекта была проведена постановочная специализиро-

ванных комплексных исследований, направленных на разработку прецизионных геофизических и изотопно-геохимических методов изучения геологической среды в режиме сезонно-годового мониторинга.

Опережающая и сопутствующая ГРР геофизическая система мониторинга геологической среды

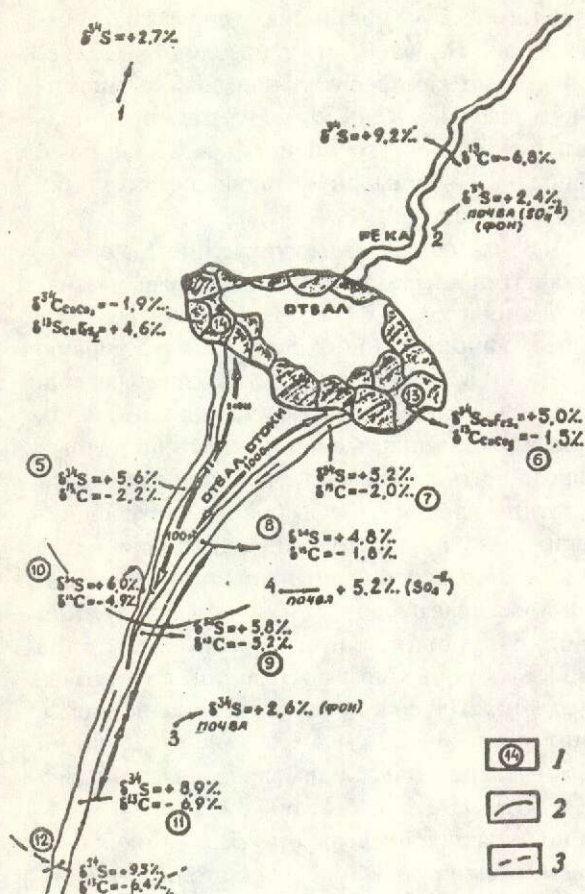


Рис. 4. Карта-схема с данными изотопно-геохимического мониторинга одного из месторождений Алматинского рудного района (М 1:10000):

1 — места отбора проб; границы техногенного загрязнения по данным: 2 — геохимической съемки ($> \text{ПДК}$), 3 — изотопно-геохимической съемки ($\leq \text{ПДК}$)

лекс современных прецизионных и экспрессных геофизических методов. Результаты проводимых научно-исследовательских и опытно-методических работ показали, что:

для экспрессного картирования в интервале глубин 0—30 м эффективен метод переходных процессов «широкого диапазона времени», позволяющий на основе получаемых геоэлектрических характеристик ранжировать площади планируемых ГРП по степени нарушенности ГС (в структурно-литологическом аспекте) и выделять участки с различной степенью обводненности. Метод позволяет также выделять фрагменты геосферы, отвечающие максимумам зон

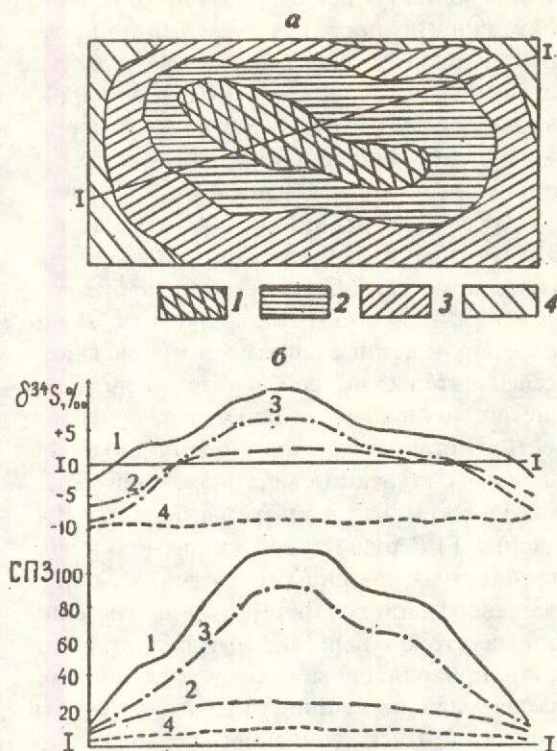


Рис. 5. Характер распределения загрязнения почвенного покрова по площади (М 1:500) и в вертикальном разрезе (обобщенные данные по Апшеронскому и Краснодарскому полигонам):

а — суммарный показатель загрязнений (СПЗ) в условных единицах: 1 — >100 , 2 — 60—100, 3 — 30—60, 4 — 16—30; б — цифры на графике СПЗ — глубина покрова в см: 1 — 0—20, 2 — 20—40, 40—60, 80—200; $\delta^{34}\text{S}$, ‰ — изотопный состав серы сульфатов

карстовые образования и разуплотнения геосреды, в том числе и при термокарстовых процессах в криолитозоне, обнаруживаются на основе метода частотного электромагнитного зондирования (ЧЭЗ); выявленная глубинность метода — 300—500 м (рис. 3);

прогноз развития оползневых явлений возможен на основе комплексирования методов измерений электромагнитных полей удаленных сверхдлинноволновых радиостанций (СДВР) и ЧЭЗ. Проведенные профильные исследования на Коркинском угольном разрезе показали устойчивую зависимость микродвижений на оползнеопасных участках от изменения дебита метеоных и грунтовых вод. Более того, была выявлена

что позволило в режиме сезонного мониторинга спрогнозировать момент инициирования подвижек, идентифицировать другие потенциально оползнеопасные фрагменты в районе работ, а также определить основные направления инженерно-геологических мероприятий по их нейтрализации.

Другим нетрадиционным методом геоэкологического изучения окружающей среды является разрабатываемая с 1985 г. комплексная изотопно-геохимическая методика. Проведенные опытно-методические и исследовательские работы показали большие возможности методики и ее применимость от стадии поисков и оценки до завершения эксплуатации месторождений [2].

Известно, что вскрытие в процессе проведения ГРП рудных зон приводит к существенным изменениям кислотно-щелочного и солевого составов формирующихся техногенных стоков вод. Их высокая агрессивность, приводящая к резкому усилению процессов выщелачивания тяжелых токсичных элементов и ускорению массопереноса, при определенных геологических условиях может инициировать процессы техногенного карстообразования. Для своевременного принятия необходимых природоохранных мер в первую очередь требуется выявление динамики изменения во времени таких параметров, как pH, Eh, солевого и компонентного составов. Контрольным методом служит анализ изотопных составов серы и углерода с определениями концентраций H_2S , SO_4^{2-} и CO_3^{2-} для идентификации источников выноса в водной фазе компонентов и прогнозирования на этой основе направлений развития процессов техногенеза.

Влияние подобных техногенных водных систем на окружающую среду можно проиллюстрировать данными по изотопно-геохимическому мониторингу штокверковых и речных вод при их фильтрации через штокверковые отвалы одного из медно-полиметаллических месторождений Средней Азии (рис.4). Было установлено, что общая площадь загрязнения почв тяжелыми и токсичными металлами превышает суммарный размер источника на порядок (по ПДК — литогеохимическими методами). Изотопно-геохимическим картированием были выявлены и окарены ореолы вновь формирующихся (из того же источника) зон

экологическая обстановка считалась безопасной. Площадь этих ореолов, выделяемых нами как фронтальная зона техногенного загрязнения (ТЗ), в два раза превышает площадь внутренней зоны ТЗ и на 4 порядка — суммарную площадь источника загрязнения.

В настоящее время практически отсутствуют данные о вертикальном размахе изменения геохимического режима среды от идентифицированного источника и в первую очередь в зонах аэрации подземных вод. Проведенные нами исследования в пределах зон влияния промышленных и горнорудных предприятий показали, что, в зависимости от типа ландшафтов и физико-географических условий, достоверно оцененная величина зон развития вертикального техногенеза простирается до 2 м и ниже (рис. 5). Как видно, уровни концентрации металлов (СПЗ) в почвенном покрове имеют ступенчатый характер с небольшим максимумом в интервале 0—20 см ($>$ ПДК), от 20 до 60 см — экологически псевдобезопасная зона ($<$ ПДК) и глубже 60 см до забоя — многократное превышение ПДК. Ключевым моментом при расшифровке столь сложного распределения были методы геохимии изотопов S и C, которые стабильно, по всему исследованному разрезу, показывали присутствие техногенных компонентов идентифицированного источника загрязнения. При этом ниже отметки 60 см по уровням концентрации металлов была установлена зона вторичного ТЗ, в пределах которой содержания продуктов техногенеза на порядок превышали их содержания на поверхности.

Приведенные материалы отражают лишь незначительную часть проводимых в ЦНИГРИ исследований в области геоэкологии месторождений цветных и благородных металлов. Они свидетельствуют о широких возможностях и взаимодополняемости разработанных методических подходов, таких как:

системы опережающих экспертно-прогнозных оценок развития экологической ситуации в районах планируемых ГРП, не требующей использования дорогостоящих мониторинговых комплексов;

системы сезонно-годового мониторинга, себестоимость которого должна быть вклю-

сов от стадии ГРП до периода стабилизации экологической обстановки.

Эти материалы показывают также необходимость постановки аналогичного рода работ на месторождениях с более сложными (химическим, минералогическим) составами руд. До настоящего времени практически не освещены некоторые кардинальные вопросы современной геоэкологии, в частности, в рамках самостоятельного направления — экоминералогии (реакционная способность ОС относительно вновь формирующихся техногенных химических сообществ; типизация руд цветных и благородных металлов по степени токсичности и др.).

На месторождениях цветных и благородных металлов геохимический и изотопно-геохимический режим реликтовых почв и вод определяют такие минералы, как пирит, галенит, сфалерит, арсенопирит, халькопирит и ряд других. Даже в случаях выхода рудных зон или отдельных тел на поверхность в условиях развития электрохимических процессов окислительного режима формируются вторичные минералы, типичные для зон гипергенеза. Согласно справочным данным, растворимость сульфатных минералов высока и по различным источникам варьирует: для сульфата Fe — 150 г/л, Cu — 170 г/л, Zn — 550—1100 г/л. Столь высокая растворимость и обуславливает превращение атмосферных вод в агрессивные при их взаимодействии как с породами зон гипергенеза, так и с отвалами шахт, штолен и карьеров. Согласно нашим наблюдениям, происходят коренные изменения физико-химических свойств атмосферных вод (например, снижается pH от 6,0 до 3,0) с выносом окислов Fe, Zn, As и др.

Геохимическая миграционная активность подобных техногенных новообразований зависит от многих факторов, в том числе геологических. Так, например, при наличии в стратиграфическом разрезе известковисто-карбонатных пород происходит нейтрализация агрессивных атмосферных (равно как и рудничных) вод с формированием трудномигрирующих техногенных химических сообществ. Подобная картина была выявлена на вышеуказанном среднеазиатском месторождении, а также отмечена в работе [1].

Очевидно, что на основе разработанных методических подходов с учетом геохимического режима вод и почв районов и объектов, обладающих потенциально промышленными ресурсами, возможна количественная оценка воздействия геолого-разведочных и горнодобывающих работ на различные компоненты природной среды, обеспечивающая повышение экологической безопасности недропользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амосов Р.А., Давуреченская С.С. Минералы-убийцы // Руды и металлы. 1992. Стартовый номер. С. 152—155.
2. Заири И.М., Виленкин В.А. и др. Технология проведения изотопно-экологических исследований: Методические рекомендации — М.: ЦНИГРИ, 1990.
3. Кальницченко С.С., Новиков В.Н., Тучина Н.Н. Основы методологии геологических исследований при разведке россыпей // Россыпи и месторождения кор выветривания — объект инвестиций на современном этапе. — М., 1994. С. 90—91. (X Междунар. совещ. 21—26 ноября).
4. Крупская Л.Г. Охрана и рациональное использование земель на горных предприятиях Приамурья и Приморья. — Хабаровск, 1992.
5. Новиков В.Н., Жукова Г.А., Буланов С.А. Геоэкологические исследования при разведке и освоении россыпей. — М.: Геоинформмарк, 1992.

Zairi N.M., Novikov V.N., Pyatnitsky V.I.

GEOECOLOGICAL MONITORING DURING EXPLOITATION OF MINERAL RESOURCES: TSNIGRI'S CONTRIBUTION

General leads presenting specialized methods purposively elaborated in TsNIGRI for use in geoecological testing of solid mineral deposits are set forth. These methods form two complementary systems: advance expert-forecasting assessment and seasonal-annual monitoring. Organization of these activities at possibly earlier stages of geological prospecting would provide enhanced ecological safety as regards the

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ



УДК [622.7+543]:553.41/.48+553.81

© Г. В. Седельникова, А. И. Романчук,
А. Н. Курский, 1995

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ БЛАГОРОДНЫХ, ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И АЛМАЗОВ В ЦНИГРИ

Г. В. СЕДЕЛЬНИКОВА, А. И. РОМАНЧУК, А. Н. КУРСКИЙ (ЦНИГРИ
Роскомнедра)

Технологические исследования руд в ЦНИГРИ развиваются с конца сороковых годов. На начальном этапе основной задачей являлось совершенствование процессов извлечения благородных металлов на действующих фабриках. В дальнейшем тематика исследований была расширена за счет включения работ по изучению алмазосодержащего и редкометалльного сырья и руд цветных металлов. Начиная с 60-х годов основной задачей технологической службы ЦНИГРИ стало изучение и технологическая оценка руд разведываемых месторождений благородных, цветных металлов и алмазов. Это потребовало углубления теоретических и экспериментальных исследований в области обогащения минерального сырья.

На основе электрохимических исследований было установлено различие поверхностных и адсорбционных свойств частиц природного и химически чистого золота и показано, что частицы природного золота обладают неоднородностью поверхностных свойств вследствие наличия на их поверхности сплошных или пятнистых оксидных пленок благородных металлов. Флотируемость таких частиц существенно улучшается за счет применения эффективных реагентов с сочетанием сульфгидрильных и оксигидрильных собирателей, депрессоров и новых способов флотации. Так, при исследовании комплексной руды Дукатского месторождения, содержащей, помимо серебра, золото, свинец и цинк, был использован новый способ флотации — пенная сепарация. Этот способ дает возможность за считанные секунды получать из руды весьма богатый по серебру концентрат — до 40 кг/т. Разработанная технология (с включением пенной сепарации) по сравнению с традиционной позволяет:

вдвое снизить потери серебра с хвостами;

получать почти все извлекаемое серебро и золото непосредственно на фабрике в виде высококачественного продукта, цена металлов в котором значительно ниже, чем в концентратах;

извлекать из руды свинец и цинк в виде кондиционных концентратов;

сократить в 2,5 раза количество отправляемых на пирометаллургические заводы концентратов.

Технология была использована при подсчете и утверждении запасов в ГКЗ, а также при проектировании фабрик. На построенной в 1980 г. фабрике впервые в мире для переработки золото- и серебросодержащих руд использована пенная сепарация. При исследовании руды Хаканджинского месторождения обнаружено, что значительная часть серебра тонко диспергирована в марганцевых минералах и недоступна для цианидного выщелачивания. Было предложено перед цианированием проводить сернокислотное разложение марганцевых минералов. Этот оригинальный способ позволил повысить извлечение серебра из руды с 60 до

90—92 % и попутно извлечь 86 % марганца.

Значительный вклад внесли технологи в разведку уникального по запасам месторождения Большой Канимансур. Это месторождение весьма сложное по вещественному составу руд и бедное по содержанию серебра, свинца и цинка. С использованием созданных в ЦНИГРИ новых флотационных реагентов была разработана эффективная технология обогащения руд, обеспечивающая высокое извлечение серебра и получение кондиционных концентратов свинца и цинка. Запасы месторождения утверждены в ГКЗ, а участники работы от ЦНИГРИ Р.А. Амосов и В.И. Зеленев стали лауреатами Государственной премии 1989 г.

Разведка ряда месторождений упорных золото-мышьяковых сульфидно-прожилково-вкрапленных руд в углеродсодержащих толщах выдвинула задачу создания эффективной технологии первичного обогащения этого типа сырья и переработки получаемых мышьяковистых золотосодержащих концентратов. Особенностью состава этого типа руд является тонкая, иногда субмикроскопическая вкрапленность золота в сульфидах (арсенопирит и пирит) и наличие вредных примесей мышьяка, сурьмы, углеродистого вещества и др., которые обуславливают «упорный» характер руд. На основании изучения форм нахождения и крупности золота и сульфидов были разработаны эффективные гравитационно-флотационные специальные схемы обогащения золото-мышьяковых руд, которые использованы при подсчете запасов месторождений. Рекомендуемые технологии обеспечивают 90—94 % извлечения золота в концентраты. ЦНИГРИ совместно с Институтом микробиологии РАН, Институтом стали и сплавов и Тульским филиалом ЦНИГРИ разработана и проверена в полупромышленном масштабе биогидрометаллургическая технология переработки упорных золото-мышьяковых концентратов разведываемых и эксплуатируемых месторождений: Майское, Нежданинское, Олимпиадинское, Дарасунское, Бақырчик, Саяк и др. Эта технология включает: биокисление золотосодержащих сульфидов тионовыми бактериями, вскрытие тонковкрап-

Преимуществами микробиологического способа перед альтернативным пирометаллургическим являются: высокая степень извлечения золота, отсутствие газо- и пылевыведений, перевод серы и мышьяка в малотоксичную форму — арсенаты железа [1].

Положительному решению экологических вопросов во многом способствовало накопление экспериментальных данных о природе и свойствах микроорганизмов, а также подбор режимов для их активной жизнедеятельности в «жестких условиях»: pH = 1,2—2,0 и концентрация в растворе, г/л: мышьяка 10—15, железа до 20—23. Экспериментально определены соотношения Au:Fe в бактериальных растворах, при которых образуются практически нерастворимые соединения мышьяка, пригодные к хранению в хвостохранилищах. В настоящее время ЦНИГРИ проводит полупромышленные испытания на установке ТулНИГП концентрата массой 100 т, полученного на обогатительной фабрике АО «Нежданинское золото». Целью работы является выдача данных для составления технологического регламента и последующего проектирования опытно-промышленного предприятия с биогидрометаллургической переработкой концентрата.

Использование научных разработок ЦНИГРИ позволило создать технологию и технологическую основу для утверждения запасов в ГКЗ СССР по всем разведанным за период 1960—1994 гг. месторождениям упорных золото-мышьяковых руд. К числу этих месторождений относятся: Тарорское, Нежданинское, Майское, Олимпиадинское, Ключо, Кокпата, Даугызтау, Бирани и др. Технология ЦНИГРИ получила признание за рубежом. В 1989-1993 гг. успешно выполнен контракт с горнорудным объединением Рудне-Бане (ЧССР) по разработке и полупромышленной проверке биогидрометаллургической технологии извлечения полезных компонентов из золото-мышьяковых концентратов месторождения Пезинок.

Возрастающие требования к охране окружающей среды выдвинули задачу создания экологически безопасных высокорентабельных схем обогащения руд благородных металлов. Особую актуальность эта пробле-

ложенных в отдаленных, заповедных, рыбохозяйственных и т.п. районах. В ЦНИГРИ разработана, проверена в полупромышленном масштабе и рекомендована для промышленного использования безреагентная гравитационная схема извлечения золота из золото-кварцевых и золото-сульфидных руд. Благодаря применению стадийного гравитационного обогащения достигается высокая степень извлечения золота — до 80—98 %. Рекомендуемая технологическая схема положена в основу разработанного ТулНИГП совместно с ЦНИГРИ модульного обогатительного комплекса производительностью 100 т/сут., производство которого организовано в Туле.

Значительные успехи достигнуты в последние годы по исследованиям, испытаниям и внедрению нового для российской золотодобывающей промышленности процесса извлечения благородных металлов — кучного выщелачивания (КВ) [4]. Работы были начаты в 1988 г. с анализа сырьевой базы. По разработанным критериям оценивали перспективность отработки методом КВ золоторудных месторождений и объектов техногенного сырья (лежалых хвостов, рудных отвалов, концентратов и промпродуктов). В настоящее время ЦНИГРИ владеет кадастром, включающим около 200 перспективных для КВ месторождений и объектов, расположенных в России и странах СНГ.

Следующий этап работ заключался в разработке методики технологической оценки золото- и серебросодержащего сырья, намечаемого к переработке способом КВ. Теоретические и экспериментальные исследования гидродинамики КВ доказали, что процесс хорошо моделируется в перколяторах определенных размеров без фильтрующих перегородок в нижней части, создающих дополнительный подпор. Такие перколяторы были созданы: раствор в них, так же как и в промышленных кучах, вначале просачивается сверху вниз, затем выходит из перколяторов через слой материала в горизонтальном направлении. Перколяторы различных размеров вошли в состав многовариантной по производительности установки для испытаний по кучному выщелачиванию. Испытания на установке по разработанной методике [2] обеспечивают получение всех

как для проведения технико-экономических расчетов, так и для проектирования опытно-промышленных установок и промышленных предприятий.

С применением метода КВ испытано 84 объекта: руды, лежалые хвосты, коры выветривания и концентраты. Для большинства объектов (62) доказана эффективность их кучного выщелачивания. Непригодными для КВ оказались руды с тонкодисперсным золотом, не вскрываемым при дроблении даже до -5 мм, а также руды с углистыми компонентами, сорбирующими растворенное золото. В случае присутствия в руде большого количества глинистого материала или шламов для подготовки к КВ может применяться процесс окомкования материала с добавлением связующего (цемента). Использование предварительного окомкования позволяет значительно повысить фильтрационные свойства рудной массы, что в конечном итоге позволяет эффективно перерабатывать глинистые и шламистые руды золота методом КВ. На базе ряда объектов разработаны проекты опытно-промышленных предприятий КВ. На стадии проектирования предложена оригинальная, замкнутая и закрытая система циркуляции цианистых растворов, что позволило полностью удовлетворить жесткие требования природоохранных служб.

Основными преимуществами разработанной системы являются:

- полный контроль рабочих и продуктивных растворов;

- капельное орошение штабеля, снижение испарения воды и выделений в атмосферу вредных выбросов за счет отсутствия открытого зеркала растворов;

- использование площади КВ в качестве хвостохранилища с контролируемым потоком сточных вод и атмосферных осадков.

В результате выполненного комплекса научно-исследовательских, проектных и методических работ созданы основы для промышленного внедрения технологии кучного выщелачивания в золотодобывающую промышленность.

По технологии и проектам, разработанным в ЦНИГРИ, созданы и работают опытно-промышленные предприятия: первое — на Южном Урале (Павловский район).

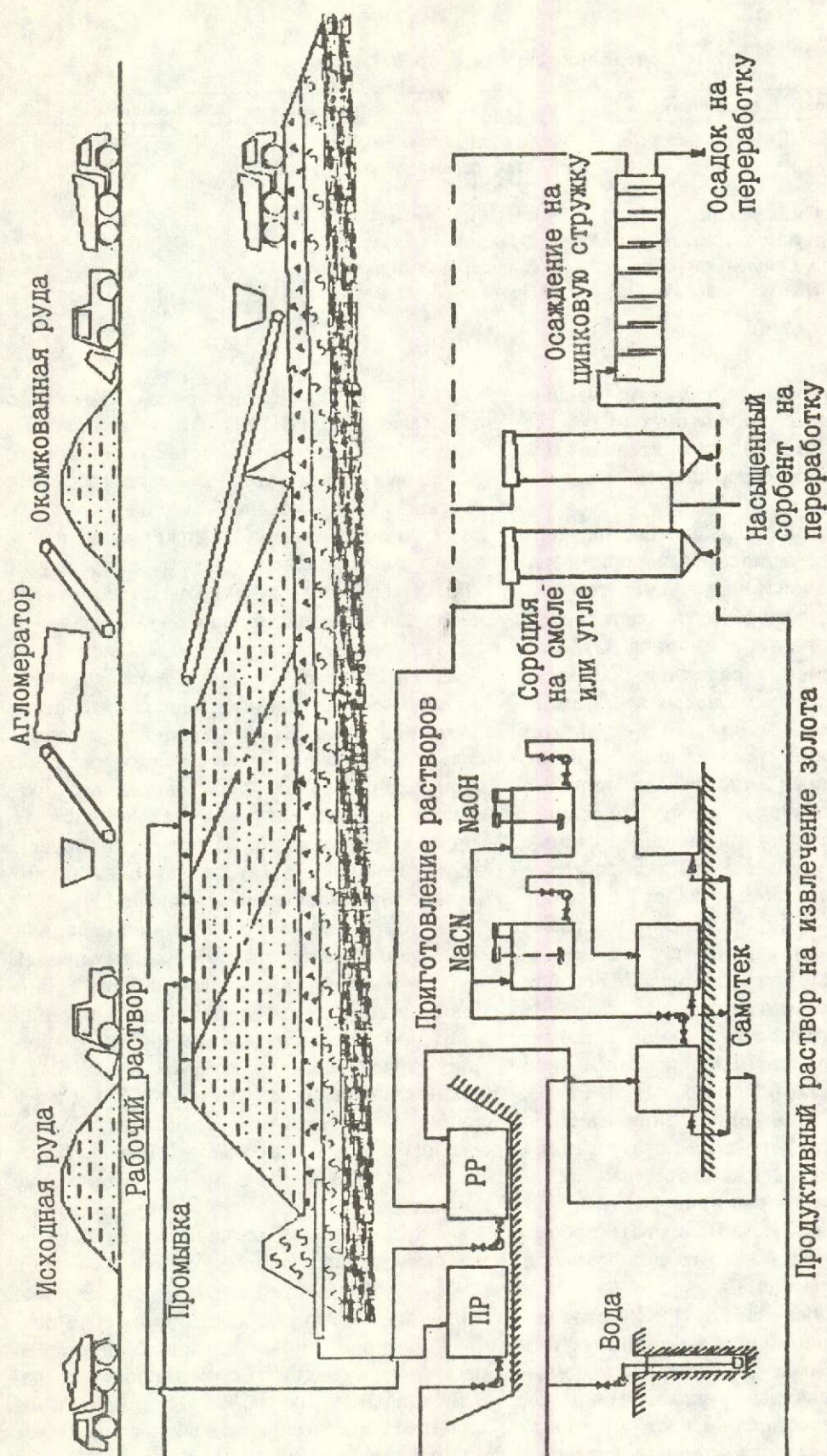


Рис. 1. Схема переработки золотосодержащего сырья (руда, эфеля и т.п.) методом кучного выщелачивания

1. Содержание золота в пробах песков

Наименование предприятия	Место отбора пробы	Содержание золота, г/т
АО "Вяземский ГОК" Смоленская обл.	Сбросный зумпф ДСФ-1	0,25—0,32
	Законсервированный зумпф ДСФ-2	2,1
	Фракция -1 мм	0,18
Пески карьера Смоленский	Фракция -1 мм	0,26
Пески карьера Кучино, Смоленская обл.	Сбросный зумпф	0,15
Сычевский ГОК, Смоленская обл.	Постель корытной мойки	4,7
Хромцовский ГОК, Ивановская обл.		

второе — в Казахстане по кучному выщелачиванию золота из окисленных руд месторождения Жанан. На рис. 1 приведена схема переработки золотосодержащего сырья методом КВ.

В ряде регионов (Северо-Восток, Камчатка и др.) промышленное использование кучного выщелачивания сдерживается из-за высокой токсичности реагента-растворителя благородных металлов — цианида натрия. В ЦНИГРИ в течение ряда лет проводятся исследования по поиску новых малотоксичных растворителей золота [3]. Результатом этих исследований стала технология извлечения благородных металлов из пиритных продуктов и другого золотосодержащего сырья методом кучного выщелачивания с использованием иодсодержащих растворителей. Технология обеспечивает извлечение золота свыше 80 %, полную регенерацию растворителя и получение металла в форме катодного осадка, пригодного для переработки на аффинажном заводе.

Работы по обработке проб золотосодержащих россыпей концентрировались в основном в Тульском филиале ЦНИГРИ. За 35 лет работы в этом направлении выполнен большой объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, разработан и внедрен в отрасли ряд приборов и установок, позволяющих механизировать процесс обработки проб и повысить достоверность разведки месторождений.

В октябре 1993 г. в ЦНИГРИ состоялось рабочее координационное совещание по разработке программы «Русская платформа», на котором отмечалось прикладное значение работ по оценке металлогенности месторождений обломочных строительных материалов

(ПГС) и др. Одновременно по инициативе специалистов ЦНИГРИ, Московского горного института и руководства горно-обогатительных комбинатов Смоленской, Московской и Ивановской областей начаты работы по определению содержания золота в некоторых отвальных продуктах переработки ПГС и оценке возможности его попутного извлечения на действующих ГОКах.

При организации работ по опробованию продуктов переработки ПГС была учтена неизбежность сегрегации песков в процессе промывки и транспортировки, а, следовательно, возможность накопления тяжелых минералов и золота в определенных промышленных аппаратах — постелях корытных моек, зумпфах и др., поэтому на первом этапе отбирались и исследовались пробы именно этих продуктов (табл. 1).

В соответствии с полученными данными, содержание золота в отобранных пробах колеблется в пределах 0,15—4,7 г/т. Наибольшее содержание определено в постели корытной мойки Хромцовского ГОКа. Изучение распределения золота по классам крупности показало, что до 90 % металла концентрируется в классе -0,25 мм. Золото в основном имеет крупность 0,05—0,25 мм, пробность 906—950. Отмечены единичные зерна в 0,5 мм.

На основании полученных результатов совместно с руководством одного из ГОКов Смоленской области было принято решение о крупнообъемном опробовании мытых песков, складированных в хвостохранилище и песковой части ПГС текущего производства. В течение июня-июля 1994 г. специалистами ЦНИГРИ было отобрано и обработано более 40 проб объемами 200—300 т. В 1994 г. в ЦНИГРИ

пользованием передвижной обогатительной установки ПОУ. Полученные продукты доводились до концентратов в лабораториях ЦНИГРИ. Золото определено во всех пробах песков комбината. Его содержание зависит от места отбора пробы, однако можно считать, что среднее содержание золота в классе -3 мм песков составляет 100 мг/т. Степень извлечения предварительно оценивается в 50 %, т.е. из каждой тонны песков можно извлечь до 50 мг золота. В настоящее время проводятся работы по подготовке и опытно-промышленным испытаниям технологии попутного извлечения золота на двух ГОКах Центральной части РФ.

Технологические исследования алмазосодержащего сырья проводятся в ЦНИГРИ с середины 70-х годов. В связи с открытием крупных месторождений импактных алмазов в Западной Сибири технологи Института совместно со специалистами других институтов участвовали в разработке и полупромышленных испытаниях технологии обогащения импактных руд на одной из фабрик Якутнипроалмаза. В результате выполненных работ была предложена эффективная схема обогащения руд с получением товарного концентрата, содержащего 95—98 % алмазов при извлечении 82—84 %. Технология была использована при подсчете запасов руд двух месторождений в РФ.

С 1979 г. в ЦНИГРИ были начаты исследования по разработке технологии руд Кокчетавского рудного района. Руды крупного по запасам и высокому содержанию алмазов месторождения Кумдыкольского представляли новый, ранее не изучавшийся и не имеющий аналогов в отечественной и мировой практике некимберлитовый вид сырья, содержащий алмазы крупностью, в основном, 0,05—0,01 мм. По абразивной способности они превосходят кимберлитовые и, тем более, синтетические алмазы. Существующая практика обогащения кимберлитового сырья была непригодна для извлечения алмазов мельче 0,2 мм. Для алмазов крупностью в 5—15 раз меньше требовалась разработка принципиально новых методов извлечения их из руд. Особенностью алмазов Кумдыкольского месторождения, кроме малой крупности, является интенсивная графитизация их поверхности.

мазов из руд в высококачественный товарный концентрат. Решающим условием эффективной технологии являлось первичное обогащение руд дешевым и высокопроизводительным методом, обеспечивающим выход черного концентрата не более 0,5—1,0 %, т.е. сокращение в 100—200 раз, при высоком извлечении алмазов.

Изучение вещественного состава и технологических свойств алмазосодержащих руд проводилось на ряде лабораторных (массой по 0,5—1,0 т) и полупромышленных (200—500 т) технологических проб, характеризующих как отдельные природные разновидности руд, так и всю разведанную часть месторождения в целом, в частности, его верхние, глубинные горизонты и контур предполагаемого карьера I-й очереди разработки месторождения. Испытания обогатимости руд выполнены на основе широкого комплекса технологических методов — гравитации, пенной сепарации, флотации, магнитной и электрической сепарации, а также различных химических методов доводки получаемых концентратов. Это позволило разработать высокоэффективную, защищенную пятью авторскими свидетельствами технологию извлечения алмазов, принципиально отличающуюся от используемой в практике переработки кимберлитовых руд.

Предложенная ЦНИГРИ технологическая схема переработки руд Кумдыкольского месторождения включает: селективную флотацию алмазов, обжиг полученного концентрата с последующей флотационной очисткой от графита и термохимической доводкой черного алмазного концентрата. Разработанная технология использована при защите запасов месторождения и в настоящее время реализуется в промышленном масштабе на Целинном ГОКе в Казахстане. За значительный личный творческий вклад в разведку и разработку технологии обогащения руд Кумдыкольского месторождения специалистам института Берлинскому А.И. и Горохову С.С. присуждена Государственная премия СССР.

В начале 80-х годов на севере Европейской части страны открыты пять кимберлитовых трубок, представляющих новую крупную алмазоносную провинцию. Проблема обогащения сильноглинистых алмазосодер-

физико-механическим свойствам от добываемых кимберлитов Якутии, возникла в Российской Федерации впервые. Широкомасштабные исследования на обогатимость укрупненных лабораторных проб и полупромышленные испытания нескольких вариантов схем позволили в кратчайшие сроки создать рациональную технологию первичного обогащения руды и доводки концентратов, обеспечивающую извлечение алмазов в товарный продукт на уровне 97—99 %, и утвердить запасы месторождения в ГКЗ СССР.

В последние годы для извлечения алмазов из руд месторождений разработаны технология и технологический регламент для составления проекта опытно-промышленного предприятия и рабочая документация на изготовление нового нестандартного обогатительного оборудования для будущей фабрики.

Опыт, приобретенный в процессе изучения технологических свойств природного сырья, позволил успешно решить еще одну актуальную задачу и создать высокоэффективную и экологически чистую технологию извлечения алмазов из продуктов синтеза. Институтами ЦНИГРИ совместно с ВНИИ-Алмаз в 1988—1990 гг. разработана комбинированная технология обогащения продуктов синтеза алмазов. Технология прошла все стадии испытаний — от лабораторных до опытно-промышленных — и в 1991—1992 гг. внедрена на Полтавском алмазном заводе [2].

Начало технологических исследований руд и песков цветных металлов в ЦНИГРИ связано с обеспечением потребности страны в титане, цирконии, ниобии. Для россыпей Верхне-Днепровского комбината в 1954 г. была разработана и испытана на фабрике флотационная схема получения циркониевого и титанового концентратов. В дальнейшем технологические разработки специалистов ЦНИГРИ обеспечили получение высоких технологических показателей обогащения песков одного из месторождений Западной Сибири с выходом циркониевого, ильменитового, монацитового концентратов, высококачественных кварцевых песков для строительной промышленности и каолина для производства огнеупоров. Со-

лось при разработке технологии комплексного использования уникального вида рудного сырья — нефтеносных титановых песчанников. Проблема нейтрализации негативного влияния на процесс обогащения присутствующей в песчанниках нефти была успешно решена за счет применения специальных реагентных режимов, что позволило наряду с нефтью получать кондиционный титановый концентрат и внедрить технологию ЦНИГРИ на опытной фабрике Ярегского комбината.

Дальнейшее расширение работ по технологической оценке руд цветных металлов связано с организацией специализированных лабораторий в Москве и Туле и строительством установок для полупромышленной проверки разработанных в городах Богородицке и Туле (1965 г.), а затем и в Баку (1989 г.).

В 60-х годах специалисты института обследовали большинство фабрик страны, обогащающих полиметаллические руды и перерабатывающих медные, свинцовые и цинковые концентраты. На основе полученных данных для промышленности были разработаны рекомендации по увеличению извлечения цветных и благородных металлов. Основные потери полезных компонентов при переработке колчеданных руд связаны с отсутствием эффективной технологии их извлечения из пиритных продуктов. Предложенная и проверенная в полупромышленных условиях технология ЦНИГРИ, включающая сульфатизирующий обжиг пирита и гидрометаллургическую переработку огарка, позволяет с высокими показателями извлекать из пиритсодержащих отходов цветные и благородные металлы. Для снижения потерь золота с жидкой фазой пульпы при разделении медно-свинцовых концентратов предложено использование сорбента — сульфатгеля (Майкаинская, Белоусовская и другие фабрики).

Широкомасштабные исследования проведены в направлении усовершенствования флотационного процесса. Применение ионообменных смол позволило решить проблему комплексного использования Майкаинских, Сибайских и Белоусовских руд; для депрессии сфалерита рекомендован новый, более эффективный реагент — гидрометаллургический

меди разработан метод регулирования флотационных свойств сульфидов с применением реагентов-восстановителей и аэрации пульпы; предложены и обоснованы технология флотации с использованием жидкой фазы после электрохимической обработки; метод активации галенита солями этилен-диамин-тетрауксусной кислоты и многие другие прогрессивные разработки. С начала 70-х годов руды практически всех крупных медных и полиметаллических месторождений Советского Союза исследуются в лабораториях ЦНИГРИ. Кроме того, разрабатываются технологии обогащения руд месторождений Румынии, Кубы, Монголии, Вьетнама, Алжира и других стран. К настоящему моменту технологами-цветниками ЦНИГРИ изучены и доведены до защиты запасов руды десятков месторождений. Среди них такие крупные, как Холоднинское, Озерное, Физлижайское, Уч-Кулач, Жайрель.

В восьмидесятых годах Министерством геологии СССР ЦНИГРИ было поручено возглавить работы по созданию эффективных технологий извлечения полезных компонентов из принципиально новых видов сырья - железомарганцевых конкреций (ЖМК), кобальтомарганцевых рудных корок (КМК) и глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС), образующих богатейшие месторождения на дне Мирового океана. На основе глубокого изучения сырья выявлены уникальные физико-химические, технологические свойства ЖМК. Разработанная и защищенная шестью авторскими свидетельствами на изобретения схема переработки ЖМК обеспечивает комплексное использование в народном хозяйстве: получение медного и никель-кобальтового концентрата, сульфата марганца для производства минеральных удобрений и катализаторов; электролитического марганца и ферросплавов, а также применение исходных и модифицированных конкреций для очистки от вредных примесей отходящих газов и сточных вод промышленных предприятий (рис. 2) [7]. Технология ЦНИГРИ в 1988 году была представлена на Международном конкурсе стран-участниц СЭВ и получила призовое место. В результате целенаправленных геологоразведочных работ и технологических исследований, выполнен-

океана выявлены, изучены и оценены практически неограниченные ресурсы ЖМК и КМК.

ЦНИГРИ является единственной в России организацией, которая с 1985 г. ведет комплексное изучение другого перспективного вида глубоководного минерального сырья — полиметаллических сульфидов, обеспечивая потребности морской геологии в методических разработках и технологических исследованиях проб сложного и разнообразного вещественного состава. Основными полезными компонентами в ГПС являются медь, цинк, сера, попутными — благородные металлы, кадмий. Общими особенностями изученных проб являются следующие: чрезвычайно тесная ассоциация сульфидов и их тончайшие выделения в породе, неоднородность химического состава сульфидных минералов с развитием изоморфных замещений, микронные выделения халькопирита в сфалерите, иногда до твердого раствора, тесная ассоциация сфалерита и пирита, наличие пленок оксидных соединений железа, меди и цинка и отдельных микронных включений вторичных сульфидов меди в кварц-карбонатной матрице. Указанные особенности сырья существенно осложняют технологию переработки. Разработанные в ЦНИГРИ комбинированные технологии переработки ГПС включают флотационный цикл с набором нестандартных реагентных режимов, позволяют получать медно-цинковый или селективные медные и цинковые концентраты, пригодные для переработки стандартными способами и обеспечивают извлечение 92—98 % меди, 94—96 % цинка, 87—94 % золота, 93—95 % серебра и 45—50 % серы [5].

Неотъемлемой частью всех технологических исследований является анализ минерального сырья и продуктов его переработки. Аналитические исследования, выполняемые в ЦНИГРИ, призваны решать следующие задачи:

создание и усовершенствование методик анализа минерального сырья на благородные металлы и алмазы для нужд геологической отрасли;

обеспечение потребностей геологических и технологических подразделений института в анализах на цветные и благород-

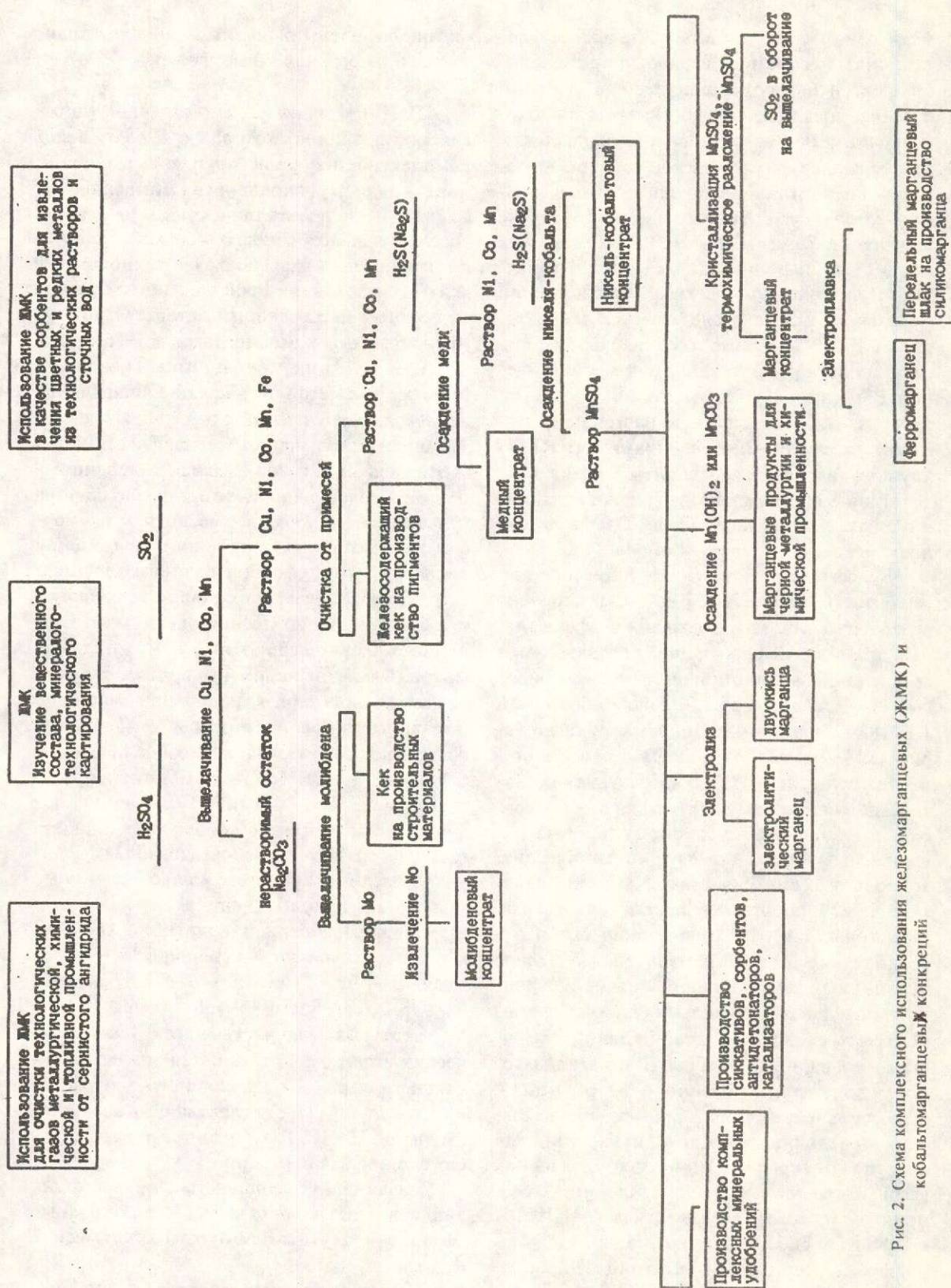


Рис. 2. Схема комплексного использования железомарганцевых (ЖМК) и кобальтомарганцевых (КМК) концентратов

другие компоненты пород и продуктов их технологической переработки;

выполнение контрольных и арбитражных анализов на благородные металлы для организаций отрасли.

Чрезвычайное разнообразие минерального сырья и необходимость определения малых содержаний (следов) элементов требует от аналитиков ЦНИГРИ владения самыми эффективными аналитическими методами, постоянного совершенствования своей научной и производственной квалификации. Этапы развития аналитики в ЦНИГРИ неотделимы от истории отечественной аналитической химии, стремительно развивающейся в период 1960—90 гг. В этот период на помощь традиционным методам пробирного анализа и классической «мокрой» химии: объемному, весовому, калориметрическому пришли ядерно-физические и спектроскопические методы анализа, прежде всего метод атомно-абсорбционной спектроскопии. Рост удельного веса инструментальных методов отнюдь не означает уменьшение роли классической химии с ее осадками, растворами и т.д. Снижение пределов обнаружения элементов ниже 1 г/т требует использования комбинированных методик, включающих химическое разложение пробы, выделение и концентрирование определяемых компонентов с последующим инструментальным измерением концентрации. Такого же подхода требует специфика геологических образцов, их неоднородность, разнообразие состава, влияющие на правильность измерений. Роль и место классической аналитики в наши дни наглядно иллюстрирует тот факт, что и сегодня свыше 40 % определений золота в ЦНИГРИ выполняется наиболее старым известным аналитическим методом пробирной плавки. Пробирный анализ остается до сих пор основным методом определения золота и серебра в минеральном сырье. Высокая точность определения, представительность навесок, высокая степень концентрирования, приемлемая экспрессность обеспечивают хорошие перспективы для этого метода. С 1968 г. пробирная лаборатория работает в качестве контролирующей и арбитражной в геологической отрасли. Наряду с выполне-

были разработаны методики пробирного анализа золотосодержащих руд с высоким содержанием сурьмы и мышьяка, а также в присутствии теллура. Значительное внимание уделялось созданию комбинированных пробирно-инструментальных методик определения золота и металлов платиновой группы (МПГ). Были разработаны пробирно-спектрофотометрическая, пробирно-полярографическая, пробирно-атомно-эмиссионная, пробирно-активационная методики.

Благодаря выполненным в ЦНИГРИ опытно-конструкторским разработкам была создана современная техническая база пробирного анализа на основе последних достижений теплофизики и электроники. В комплекс оборудования для типовой пробирной лаборатории вошли оснащенные тиристорными следящими системами электрические шахтные печи для тигельной плавки, полуавтоматические печи для купелирования, шерберования, станок для изготовления капелей, электронные микровесы. Техническое переоснащение лаборатории позволило разработать прецизионную методику пробирного анализа I и II категории точности и выпустить отраслевые методические рекомендации по проведению пробирного анализа различных типов руд, в т.ч. упорных, содержащих сурьму, мышьяк, углерод, цветные металлы. На основе пробирного концентрирования разработаны количественные инструментальные методики определения золота и металлов платиновой группы (МПГ) с кларковой чувствительностью: пробирно-атомно-абсорбционная, пробирно-нейтронно-активационная, пробирно-атомно-эмиссионная. Наряду с исследованиями в области пробирного анализа развиваются работы по созданию современных химических методов.

Ранее разработанные в ЦНИГРИ электрохимический и экстракционно-спектрофотометрический методы уступили место высокочувствительным, экспрессным и производительным методам пламенной фотометрии и атомно-абсорбционному. Последний является одним из основных используемых сегодня химических методов анализа. Разнообразные приемы пробоподготовки —

окончанием позволяют определять нижние содержания благородных металлов, в первую очередь золота, платины, палладия и родия в различных типах минерального сырья. На этой основе разработаны и метрологически аттестованы методики атомно-абсорбционного определения этих элементов в сульфидных медно-никелевых рудах, ультраосновных породах, железомарганцевых конкрециях и корках Мирового океана, редкометалльно-ванадиевых рудах.

В последние годы в практику аналитических исследований работ внедрен кинетический метод определения редких платиновых элементов — иридия, рутения и осмия. Кинетический метод анализа практически не применяется в геологической отрасли. Связано это с относительной молодостью метода и, вероятно, консерватизмом аналитиков-практиков. Метод основан на зависимости скорости некоторых реакций (называемых индикаторными) от концентрации катализатора. В роли катализатора выступает определяемый элемент. Существует мнение о низкой селективности и высокой сложности кинетического метода. Однако это мнение не соответствует действительности. Известны индикаторные реакции, катализируемые редкими платиновыми элементами, с коэффициентом селективности по большинству макрокомпонентов более 10^4 . Оборудование, необходимое для этого метода, имеется практически в любой аналитической лаборатории. Метод отличается исключительно высокой чувствительностью, а использование приемов концентрирования позволяет довести нижнюю границу определяемых содержаний до первых мг/т. Все разработанные методики атомно-абсорбционного и кинетического анализа утверждены НСАМ при ВИССе в качестве отраслевых.

Химические методы анализа нашли применение и при исследовании алмазосодержащего сырья. Специалистами института разработана, утверждена НСАМ и широко используется при поисковых работах на алмазы (менее 50 мкм) методика пирощелочного сплавления, предусматривающая селективное разделение графита и алмазов. Для определения содержания алмазов всего диапазона крупности в пробах алмазосодержащего сырья и продуктов его обработки

ке разработана и защищена авторским свидетельством методика потенциометрического определения содержания алмазов, основанная на измерении количества углекислого газа, образованного при сжигании алмазов в токе кислорода.

В начале 90-х гг. освоен ионо-потенциометрический метод определения содержания элементов-индикаторов золотого оруденения, нашедший применение при выявлении тонких геохимических аномалий. Обострившиеся проблемы контроля загрязнения среды сточными водами технологической переработки золотых руд стимулировали разработку в химической лаборатории методик определения мышьяка и цианида на уровне ПДК. При поисковых работах на золото по первичным и вторичным ореолам рассеяния используется усовершенствованная в 60-е годы в аналитическом отделе института методика полуколичественного химико-спектрального определения золота с пределом обнаружения 0,002 г/т. Особый интерес представляет разработанная в ЦНИГРИ методика количественного спектрального определения 20 элементов-примесей в самородном золоте, которая используется геологами при изучении месторождений золота, а также при идентификации образцов золота.

В связи с расширением работ по поискам месторождений платины в 80-е годы потребовалось создание методики высокочувствительного определения металлов платиновой группы. В результате комплексирования различных аналитических методов была создана методика атомно-эмиссионного определения золота, платины, палладия и родия с предварительным концентрированием благородных металлов в серебряный королек массой 5 мг. Методика оперирует с достаточно представительной навеской 50 г руды и позволяет определять три металла платиновой группы с чувствительностью до 0,001 г/т. В эти же годы был создан уникальный лазерный фотоионизационный спектрометр и разработаны методики лазерного фотоионизационного определения рутения, родия, иридия, палладия и платины с чувствительностью до 10^{-8} %. С помощью этих

2. Основные виды анализов, используемые ЦНИГРИ для определения благородных металлов

Вид анализа	Навеска	Нижняя граница определяемых содержаний элементов, г/т							
		Au	Ag	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Os
Пробирный	1—50*	0,05	0,1**						
Химико-спектральный	10	0,002							
Атомно-абсорбционный	2—5	0,002	0,002						
	10			0,05	0,03	0,01			
Кинетический	0,5					0,004			0,004
	5							0,004	
Нейтронно-активационный инструментальный	0,1	0,005	1,00						
	1,0			1,00	0,5		0,5	0,01	0,1
Химико-нейтронно-активационный	2,0	0,00001		0,01	0,02	0,001	0,05	0,00001	0,001
Пробирно-спектральный	50	0,004**		0,001	0,001	0,001			
Пробирно-атомно-абсорбционный	50	0,004**		0,01	0,005	0,002			
Пробирно-кинетический	50							0,0005	
Пробирно-нейтронно-активационный	25	0,05**		0,01	0,02	0,0001	0,00001		

* Зависят от типа сырья;

** Ограничено значением холостого опыта.

Виды анализируемого сырья на благородные металлы: руды, концентраты благородных, цветных и черных металлов, металлы, сплавы, шламы, золы, шлаки, электронный лом и др.

океанической среды в разнообразных горных породах.

На основе физических методов была разработана методика инструментального нейтронно-активационного анализа до 40 элементов без химического вскрытия образцов; усовершенствован и внедрен флуоресцентный рентгенорадиометрический метод определения мышьяка, сурьмы, олова, серебра и других элементов, обеспечивающий экспрессный анализ технологических продуктов обогащения руд для технологов ЦНИГРИ. Разработанная методика нейтронно-активационного определения всех ме-

выделением. Для анализа самородной платины и других руд благородных металлов разработана методика гамма-активационного анализа. В табл. 2 приведены сведения о видах анализа благородных металлов, используемых в ЦНИГРИ.

Многопрофильный характер аналитических работ ЦНИГРИ был успешно использован при создании проектов трех модульных аналитических передвижных лабораторий, предназначенных для анализа геологических и технологических проб на вновь создаваемых в последнее время золотодобывающих предприятиях. Модульные лаборатории разработаны в трех вариантах:

родных металлов; 2 — спектрофотометрического (атомно-абсорбционного или фотокориметрического); 3 — рентгенорадиометрического [6]. Экспериментальный образец спектрофотометрической модульной лаборатории был изготовлен и введен в действие в 1994 г. на месторождении Валунистое (Чукотка). Лаборатория состоит из двух модулей: химического и пробирного; укомплектована приборами, химической посудой, вспомогательным оборудованием, методической и эксплуатационной документацией и позволяет проводить до 20 определений золота в сутки.

Новым направлением в деятельности аналитических лабораторий ЦНИГРИ, которые в 1994 г. были аккредитованы Росстандартом, является сертификация на благородные металлы экспортируемой продукции черной и цветной металлургии РФ, а также проведение количественных химических анализов на благородные, черные, цветные, редкие и легкие металлы минерального сырья и продуктов его переработки с целью сертификации.

Таким образом, результатом аналитических работ за последние 25 лет явилось создание 37 отраслевых документов: методик, инструкций, методических указаний, утвержденных НСАМ при ВИССе, наиболее важными из которых являются: методические рекомендации по пробирному анализу золота, комплекс методик анализа самородной шлиховой платины, а также создание и утверждение в ранге отраслевого первого в мире стандартного образца самородной шлиховой платины. Разработанные методические материалы нашли широкое применение при разведке и подсчете запасов месторождений золота, серебра, платины, алмазов и цветных металлов.

Дальнейшее развитие технологических и аналитических исследований планируется проводить в направлении создания эффективных способов обогащения и анализа руд разведываемых и вовлекаемых в эксплуатацию месторождений благородных, цветных металлов и алмазов. Приоритетность в изучении будет отдана наиболее перспективным высокорентабельным и экологически безопасным технологиям, к которым относятся: кучное выщелачивание золота из бед-

ривания и техногенного сырья; биогидрометаллургическая переработка упорных золото-мышьяковых руд и концентратов, гравитационная безреагентная технология извлечения золота, в т.ч. тонкого из труднопромывистых глинистых россыпей и песчано-гравийных смесей, комбинированные обогатительно-металлургические технологии комплексной переработки руд цветных металлов и сырья Мирового океана.

Аналитические исследования будут направлены на:

создание методик пробоподготовки и анализа сложных по составу углеродсодержащих руд благородных металлов, исключая потери золота, платины, палладия в виде летучих соединений;

создание и аттестацию стандартных образцов состава золото- и платиносодержащих руд месторождений черносланцевой формации;

разработку методических рекомендаций по определению содержаний токсичных веществ (мышьяк, цианид и др.) в растворах технологической переработки руд

Одновременно с исследованиями по разработке новых технологий будут проводиться работы по созданию современного технологического и аналитического оборудования, в т.ч. в модульном исполнении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биогидрометаллургическая технология переработки золото-пиритного концентрата / Р.Я.Аслануков, Г.В.Седельникова, Т.А.Пивоварова, Г.И.Каравайко, О.Б.Воронина, С.Б.Макаров // Цветные металлы. 1992. № 4. С. 27—29.
2. Вафин И.А. Технология получения алмазов из техногенных источников //Мат-лы науч.-практич. конф. ЦНИГРИ. — М.: ЦНИГРИ, 1992. С. 49—50.
3. Зеленов В.И., Крылова Г.С., Рябой В.И. Новые малотоксичные реагенты для обогащения руд благородных металлов //Мат-лы науч.-практич. конф. ЦНИГРИ. — М.: ЦНИГРИ, 1993. С. 80—81.
4. Елисеев В.Н., Королев Н.И., Нарсеев А.В., Седельникова Г.В. Опыт внедрения технологий кучного выщелачивания золота из рудного и техногенного сырья //Мат-лы науч.-практич. конф. ЦНИГРИ. — М.: ЦНИГРИ, 1993. С. 73—75.
5. Клименко Н.Г., Ивановская В.П., Бочек Л.И. Технологическая оценка глубоководных полиметаллических сульфидов Мирового океана //Металлогения современных и древних океанов. — М., 1992. С. 202—205.

рия аналитического контроля разведки и переработки золотосодержащих руд /Мат-лы науч.-практич. конф. ЦНИГРИ. — М.: ЦНИГРИ, 1993. С. 81—82.

7. Романчук А.И., Маниф А.Б. Комбинированная

безотходная технология комплексного использования железомарганцевых корок (КМК) Мирового океана /Металлогения современных и древних океанов. — М., 1992. С. 203—205.

Sedel'nikova G.V., Romanchuk A.I., Kursky A.N.

TECHNOLOGICAL AND ANALYTICAL TESTING OF PRECIOUS, BASE METAL AND DIAMOND RAW MATERIALS IN TSNIGRI

Technological testing of ores is developed in TsNIGRI since late 1940s. In the initial stage, the main challenge consisted in refinement of precious metal recovery processes at factories in production. Later, the subject matter of the inquiries has been extended through including works on examination of diamond-containing and rare metal raw materials and base metal ores. Since 1960s, the activity of TsNIGRI's technological service is essentially aimed at studies and technological assessment of ores from precious, base metal and diamond deposits under prospecting. This caused need in more thorough theoretical and experimental investigations in the field of concentration of mineral raw materials.



ЦНИГРИ

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Если возникли проблемы с переработкой самого сложного минерального сырья — тонковкрапленных полиметаллических руд, обращайтесь в ЦНИГРИ.

У нас разработана универсальная комбинированная технология, модификации которой дали отличные результаты при переработке колчеданных медных, медно-цинковых, свинцово-цинково-баритовых, медно-свинцово-цинковых руд разведываемых месторождений Урала, Сибири, Дальнего Востока, ближнего и дальнего зарубежья, а также многолетних отвалов и хвостов перерабатывающих предприятий и нового минерального сырья — глубоководных полиметаллических сульфидов Мирового океана.

Комбинированная схема позволяет извлечь в товарные продукты, %:

Cu, Pb и Zn — 85—90;

S — 90;

Fe — 80;

Te, Se — 50—60;

Cd — 85—90;

Au, Ag — 80—85.

Высокая степень комплексного использования сырья до 280—85 % обеспечивается эффективным сочетанием обогатительно-пиро-гидрометаллургических процессов и оригинальных технологических решений.

Утилизация техногенного сырья улучшит экологию района, обеспечивая безотходность производства при полном водообороте процесса.

Вид реализации — от анализа состава и определения ценности сырья до инжинирингового обеспечения внедрения разработанной технологии.

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

Телефон: (095) 313-18-18, 315-26-38

Телетайп: 114142 АДУЛЯР



СОЗДАНИЕ АМР

По инициативе ученых Московского государственного открытого университета 27 июня 1994 г. состоялось общее учредительное собрание, на котором была создана Академия минеральных ресурсов (АМР) и принят ее Устав.

Министерством юстиции Российской Федерации 19 августа 1994 г. был утвержден Устав Академии минеральных ресурсов как общественного объединения.

На общем собрании АМР, состоявшемся 9 декабря 1994 г., были проведены выборы действительных членов (академиков) и членов-корреспондентов Академии. В число избранных вошли и ведущие ученые ЦНИГРИ.

Почетными академиками избраны:

Воларович Георгий Павлович,
Горжевский Давид Иосифович,
Иванкин Петр Филиппович.

Действительными членами (академиками) избраны:

Константинов Михаил Михайлович,
Кривцов Анатолий Иванович,
Курбанов Намик Курбанович,
Мигачев Игорь Федорович,
Ручкин Георгий Владимирович.

Членами-корреспондентами избраны:

Ваганов Валерий Иванович,
Заири Намик Манафович,
Седельникова Галина Васильевна,
Щепотьев Юрий Михайлович.

Ученый Совет ЦНИГРИ и редколлегия журнала поздравляют всех избранных и желают им дальнейших творческих успехов.

**ЦНИГРИ**

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПОИСКАХ И ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ, БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И АЛМАЗОВ НА БАЗЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ <ГЕНЕЗИС> И <АСТРА>

В основу технологии положены: базы данных по многочисленным хорошо изученным объектам СНГ, базы знаний (модели эталонных объектов), созданные с учетом многолетнего опыта прогноза, поисков и оценки, разработанных в ЦНИГРИ прогнозно-поисковых комплексов, включающих рациональные наиболее эффективные методы поисков и оценки, оригинальную систему проектирования баз знаний, систему принятия решений.

Экспертные системы обеспечивают с высокой степенью достоверности экспресс-оценку объектов исследования на разных металлогенических уровнях (провинция, район, узел, поле, месторождение) для различных, в том числе и сложных, геологических обстановок, а также рекомендуют рациональный комплекс видов поисковых работ в случае недостаточной изученности.

Технология обеспечивает эффективное и широкое использование знаний квалифицированных экспертов при проведении геолого-разведочных работ.

Вид реализации – инжиниринг.

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

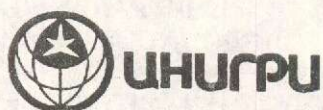
Технический редактор Н. П. Кудрявцева

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

Сдано в набор
01.03.95
Подписано в печать
01.03.95
Тираж 300 экз.

Формат 185×270 1/8
Бумага офсетная №1
Печать офсетная
Заказ 134

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



ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ
ИНСТИТУТ ЦВЕТНЫХ И
БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА СПОСОБОМ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Кучное выщелачивание — высокоэффективный способ переработки низкосортных руд, техногенного сырья (старые забалансовые отвалы, лежалые хвосты обогатительных фабрик и др.), а также тонкодисперсного золота россыпных месторождений, неизвлекаемого гравитационным способом.

На предприятиях, использующих технологию кучного выщелачивания, благодаря простоте аппаратного оформления, низкой энергоемкости, капитальные вложения в 4—5 раз, а эксплуатационные расходы в 2—4 раза ниже по сравнению с соответствующими затратами на золотоизвлекающих фабриках. Рентабельность предприятий от 50% и более. Срок окупаемости вложений — один—два года.

Если Вы хотите создать предприятие по добыче золота способом кучного выщелачивания, обращайтесь в ЦНИГРИ.

ЦНИГРИ имеет практический опыт организации предприятий кучного выщелачивания по извлечению золота из руд и отвалов обогатительных фабрик.

Высококвалифицированные специалисты за короткий срок:

- выберут наиболее благоприятные объекты для отработки способом кучного выщелачивания;
- проведут полный комплекс технологических исследований с выдачей техрегламента;
- составят технико-экономическое обоснование строительства предприятия и выполнят проектные работы.

ЦНИГРИ обеспечит изготовление и поставку сорбционного оборудования, высококачественного пленочного покрытия, специальных контрольно-измерительных приборов и инженеринговое сопровождение на всех этапах строительства и эксплуатации предприятия.

Экологическая чистота и высокая прибыльность предприятия гарантируются.

Наиболее эффективной формой нашего сотрудничества является создание Совместного предприятия.

В сотрудничестве с ЦНИГРИ гарантия Вашего успеха.

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 Б, ЦНИГРИ
Отдел обогащения минерального сырья
Телефон: (095) 113-68-22
Телетайп: 114142 АДУЛЯР
Факс: (095) 315-27-01



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.

Institute Profile — forecasting, prospecting, evaluation, exploration of ore deposits, advanced technologies of geological prospecting, diamond, gold, silver, platinum, copper, lead, zinc, nickel, cobalt ore processing and analysis.

Main fields of TsNIGRI researches:

- Geological, metallogenic and scientific-methodological principles of detecting mineral resources.
- Quantitative models of ore-forming processes and systems for forecasting, prospecting and evaluation of ore deposits.
- Non-traditional sources of diamonds, precious and non-ferrous metals.
- Complex methods and technologies of prospecting, evaluation and exploration of ore deposits.
- Geophysical methods and instrumentation for prospecting and exploration of ore deposits.
- Computer-aided geological prospecting technologies.
- Geological-and-economic appraisal of ore deposits and mineral market situation.
- Analytical and mineralogical methods, techniques and equipment for ore studies.
- Mineral processing technologies and equipment.
- Mechanized complexes and drilling technologies for evaluation and exploration of placers.
- Mining exploration equipment and technologies.
- Exploration methods and design of equipment for mining the World ocean mineral deposits.
- Special methods of geocological studies.
- Safety equipment and safe technologies of geological prospecting.

The TsNIGRI's developments contributed to the discovery and exploration of many diamond, precious and base metal deposits on the territory of Russia and other CIS countries. TsNIGRI's applies its developments in a number of foreign countries.

Address: Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals (TsNIGRI), Varshavskoe sh., 129 B, Moscow 113545, Russia
Phone: (095) 313-18-18 or 315-26-38
Fax: (095) 315-27-01



ЦНИГРИ

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

ИЗУЧЕНИЕ И МОНИТОРИНГ «ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ» ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Методика основана на определении спектрального состава электромагнитных полей в городе и последующих измерениях интенсивности магнитных составляющих электромагнитного поля выявленных частот спектра, а также мониторинга электромагнитного поля на контрольных пунктах и маршрутах.

Технология работ включает наблюдения спектра низкочастотного электромагнитного поля в городе с определением его основных частот, многократные измерения интенсивности составляющих переменного магнитного поля по маршрутам, определение источников излучений «загрязняющего» электромагнитного поля. Измерения производятся с помощью мобиль-

ной геофизической электромагнитной аппаратуры.

Реализация методики позволяет получать данные о спектральном составе и величинах интенсивности электромагнитных полей в области ультранизких и низких (звуковых) частот, изучать их поведение во времени, определять их источники для оценки экологической ситуации в области электромагнитных излучений в городе.

Результаты работы представляются в виде профилей и карт интенсивностей составляющих электромагнитного поля с локализацией источников излучений, графиков зависимости интенсивностей излучений электромагнитного поля от времени суток.

Форма реализации — инжиниринг.

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

© Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов, 1993

RL-13.5