

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



1/1994



GEOSTAT - компьютерная система
для автоматизации горно-геологических
расчетов.

☐ Компьютерная система **GEOSTAT** разработана канадской фирмой **GEOSTAT INTERNATIONAL INC.** Система широко используется геологоразведочными организациями, горнодобывающими компаниями, консалтинговыми фирмами, университетами и исследовательскими институтами во многих странах мира. С помощью системы **GEOSTAT** выполнено более 300 проектов по оценке запасов полезных ископаемых, моделированию месторождений, геостатистике, планированию горных работ, контролю качества минерального сырья, прогнозу экологического воздействия горных предприятий на окружающую среду и др.

Система **GEOSTAT** обеспечивает решение широкого круга проблем на всех стадиях развития горного предприятия: от разведки и подготовки месторождения до планирования горных работ и управления производством.

- ☐ Система **GEOSTAT** используется на месторождениях:
- ♦ драгоценных металлов: золота, серебра, платины...
 - ♦ цветных металлов: меди, свинца, цинка, молибдена...
 - ♦ вольфрама, олова, железной руды...
 - ♦ угля, горючих сланцев...
 - ♦ бокситов, фосфатов, известняков...
 - ♦ алмазов

Компьютерная система **GEOSTAT** поможет Вам провести геолого-экономическую оценку месторождения по международным стандартам в целях его рекламы за рубежом и поиска инвесторов для его освоения

☐ Гибкая система скидок позволяет приобрести программное обеспечение **GEOSTAT** по минимальным ценам.

Для ВУЗов и университетов - скидка 50% !

☐ По вопросам получения дополнительной информации обращайтесь к официальному представителю **GEOSTAT SYSTEM INC.** в СНГ - НВК "ВИСТ" (Россия, 113447, Москва, а/я 14, тел. (095) 360-84-65, факс (095) 360-83-77, E-mail: nvkvist@nvkvist.msk.su).

С системой **GEOSTAT** можно ознакомиться на семинарах-презентациях, проводимых НВК "ВИСТ" и ЦНИГРИ

ВНИМАНИЕ ! Пользователи **GEOSTAT** имеют возможность пройти обучение работе с системой в Канаде на фирме **GEOSTAT SYSTEMS INC.**

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



1/1994

Научно-технический журнал

Выходит 6 раз в год

Основан в 1992 году

ISSN 0869-5997

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И. Ф. МИГАЧЕВ

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

Учредитель

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

Москва

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Прикладная металлогения

Иванкин П. Ф., Назарова Н. И.
Проблемные вопросы минерагении
осадочных бассейнов

4

Игнатов П. А.
Региональные рудоконтролирующие
разломы позднедевонского возраста
в Минусинском регионе

10

Модели рудных месторождений

Кременецкий А. А.
Количественная оценка прогнозных
ресурсов металлов, генерируемых
глубинными рудообразующими сис-
темами

19

Борисов М. В., Горева Ю. С.
Модели формирования ореолов руд-
ных элементов в ближнем около-
жильном пространстве свинцово-
цинковых месторождений

30

Ермолаев Н. П., Никифоров А. В., Хо-
рошилов В. Л.
Баланс масс золота и сопутствующих
компонентов при формировании
сульфидно-вкрапленных руд место-
рождения Кумтор (Восточная Кирги-
зия)

37

Архангельская В. В., Рябенко С. В.
Количественная геолого-генетиче-
ская модель тантал-ниобий-цирко-
ниевых месторождений в щелочных
метасоматитах

45

Голенев В. Б., Гречишников Д. Н.,
Тютин А. И., Власов В. К., Макурин
В. Н.
Разведочная модель золоторудного
месторождения Кубака

57

Емельянов С. А.
Многофакторные модели колчедан-
но-полиметаллических месторожде-
ний для ускоренной геолого-эконо-
мической оценки

67

Соловьев Г. А.
Количественные петрофизические
модели для оценки и разведки руд-
ных месторождений

74

Applied Metallogeny

Ivankin P. F., Nazarova N. I.
Mineragenesis Problems of Sedimen-
tary Basins

Ignatov P. A.
Regional Ore-controlling Late-
Devonian Faults in Minusinsk Region

Models of ore Deposits

Kremenetskij A. A.
A Quantitative Assessment of the Prog-
nostic Metal Resources Generated by
Deep Seated Ore-forming Systems

Borisov M. V., Goreva Yu. S.
Formation Models of Dispersion Haloes
of Ore-forming Elements in Near Vein
Wall Rocks of Pb-Zn Deposits

Ermolaev N. P., Nikiforov A. V., Choro-
shilov W. L.
The Mass Balance of Gold and Accom-
panying Components in Forming of the
Sulfide Impregnated Ore Deposit Kum-
tor (East Kirgizstan)

Archangelskaja W. V., Rjabenko S. V.
The Quantitative Genetic-Geological
Model of Ta-Nb-Zr Deposits in Alkaline
Metasomatic Rocks

Golenev V. B., Grechishnicov D. N., Ti-
utin A. I., Vlasov V. K., Makurin V. N.
Prospecting Model of Gold Ore Deposit
Kubaka

Emeljanov S. A.
Multifactor Models for Accelerated
Economic Geology Evaluation of Mas-
sive Sulfide Deposits

Solov'jov G. A.
Quantitative Petrophysical Models for
Evaluation and Prospecting of Ore
Deposits

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений

- Мальцев В. А.* 79
Методы создания программных средств управляемой интерполяции в геологических задачах
- Харькив А. Д.* 90
Индикаторные минералы алмазоносных лампроитов и их поиски шлихо-минералогическим методом

Из редакционной почты

- Горжевский Д. И.* 99
К истории открытия и использования свинцово-цинковых руд
- Стефанович В. В.* 101
Общая математическая форма зависимости характеристик минерально-сырьевых объектов от ограничивающих условий и основные области ее применения
- Черненко М. Ю.* 103
Опыт переоценки Кумакского золоторудного поля на Южном Урале

Хроника

- Решение совещания "Количественные модели рудных месторождений для целей прогноза, поисков и разведки", Москва, ЦНИГРИ, 16-18 ноября 1993 г. 109

Поздравляем с юбилеем

- К шестидесятилетию А. И. Кривцова 111
- К шестидесятилетию Д. Г. Азгирея 112
- К шестидесятилетию Б. Я. Вихтера 113

Methods and Techniques of Deposit Prediction, Prospecting, Evaluation and Exploration

- Maltcev V. A.*
Making Methods of Program Means of Controlled Interpolation in Geological Tasks
- Kharkiv A. D.*
Minerals-indicators of Diamond-bearing Lamproite and Their Stream Sediment Prospecting

Letters

- Gorgevskij D. I.*
On the History of Discovery and use of Pb-Zn ores
- Stephanovich V. V.*
The General Mathematical form of Dependence of Particulars of Mineral Deposits upon Limiting Conditions, and Its Main Areas of Use
- Chernenko M. Yu.*
Experience of Reassessing Kumakskoye Gold Field in Southern Urals

Chronicle

- The Resolution of the Conference "Quantitative models of ore deposits in order to predict, prospect and explore"

Congratulations

- Sixtieth anniversary A. I. Krivtsov
- Sixtieth anniversary D. G. Azhgirei
- Sixtieth anniversary B. Ja. Vikhter



УДК 553.068.2

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ МИНЕРАГЕНИИ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

П. Ф. ИВАНКИН, Н. И. НАЗАРОВА (ЦНИГРИ)

Дается типизация осадочных бассейнов по мощности чехлов и степени дробления фундамента. Характеризуются особенности метасоматического преобразования осадочных пород, эндогенного соле- и нефтеобразования в них.

Несмотря на многоплановые геологические изыскания в пределах осадочных бассейнов (бассейнов древней седиментации), общепринятая геолого-тектоническая и минерагеническая систематика их пока не создана. Нет и единой сложившейся терминологии. Сравнительное изучение различных миогеосинклинальных зон, осадочных чехлов древних и молодых платформ, в том числе и таких специфических, как Прикаспийский, Днепрово-Донецкий, Ферганский и им подобных, позволяет принять в качестве главных признаков для систематики осадочных бассейнов следующие:

Масштабы прогибания консолидированной земной коры при формировании бассейнов, т.е. суммарные мощности их заполнения терригенными и карбонатно-терригенными породами.

Особенности геодинамики земной коры на этапах прогибания и инверсии, характер и степень дислоцирования консолидированной коры (фундамента) и слоистого заполнения бассейна; особенности структурно-вещественного преобразования пород на разных глубинах, включая соотношения катагенеза, метаморфизма и метасоматоза разных типов.

Своеобразие проявлений магматизма и глубинной дегазации в пределах бассейнов.

Минерагеническую и гидрогеохимическую специфику бассейнов, преобладающие типы металлических и неметаллических полезных ископаемых, включая различные со-

ли, нефтебитумы, рассолы и их пространственно-временные соотношения.

Используя эти отправные сведения, а также геофизическую информацию о строении коры и мантии, можно выделить пять главных типов осадочных бассейнов по признаку возрастания их геодинамической активности.

1. С небольшим и умеренным (до 3 км) погружением консолидированного архейско-протерозойского фундамента при крупноблоковой (150—200 км) его деструкции процессами фанерозойской активизации (прототипы — чехлы древних платформ).

2. С умеренным (4—6 км) погружением консолидированного гетерогенного фанерозойского фундамента при мелкоблоковой (10—20 км) его деструкции процессами мезо-кайнозойской активизации (прототипы — чехлы молодых плит, предгорных прогибов).

3. С большим (10—12 км) и весьма большим (более 15—25 км) погружением жестких дробленных фрагментов коры, располагающихся в пределах подвижных поясов (Днепрово-Донецкая, Амударьинская впадины), а также в узлах их клиновидных сопряжений (Прикаспийская, Ферганская впадины).

4. Пара-миогеосинклинальные сегменты подвижных поясов с неглубоким (4—6 км) погружением фундамента, резко неоднородной складчатостью и контрастным метаморфизмом толщ (прототип — Кызылкумский сегмент Тянь-Шаньского пояса).

5. Миогеосинклинали с большим (8—10

км) и весьма большим (более 12 км) погружением утратившего жесткость фундамента, общим смятием, расщеплением и сравнительно равномерным метаморфизмом осадочных толщ (прототипы — Мальгузар — Туркестанский сегмент Южного Тянь-Шаня, приосевые области Верхоянского пояса).

Между этими пятью типами осадочных бассейнов существуют различные переходные подтипы.

Природу главных типов бассейнов и закономерный характер их образования можно понять лишь выяснив основные причины длительных локальных погружений отвечающих им сегментов земной коры. В отличие от эвгеосинклиналей и других вулканических бассейнов, для акваторий осадочной седиментации такими причинами не могут быть явления массовой магматической базификации коры и прорывы мантийных расплавов на ее поверхность. Об этом свидетельствуют все геологические и геофизические данные. Установлено, что под глубокими осадочными бассейнами во многих регионах соотношения коры и мантии специфичны. Граница Мохоровичича (М) здесь менее четкая, приподнятая, мощность же консолидированной коры резко уменьшается, местами почти до полного исчезновения так, что слоистые толщи как бы с ней соприкасаются. Вместе с тем аномально возрастают средние сейсмические скорости коры. Эти специфические переходы коры к мантии иногда интерпретируются как некая «коро—мантийная смесь».

Наиболее убедительную физико-химическую интерпретацию подобных явлений предложили В.В.Артюшков и М.А.Безр [1, 2]. Они пришли к выводу, что взаимодействие коры и мантии в этом случае вызывает не глубинное магнезиальное образование, а твердофазную перекристаллизацию нижней части коры при температуре около 800° — ее эклогитизацию. Тогда плотность эклогитизированного «базальтового слоя» возрастает до $3,5\text{--}3,6 \text{ г/см}^3$, т.е. превышает даже плотность мантии. В результате происходит погружение блоков «базальтового слоя» в мантию, утонение коры и прогибание ее сегментов.

Принимая эту идею как достаточно обоснованную, мы полагаем, что причинами не расплавления, а твердофазной перекри-

сталлизации коры в рассматриваемых случаях являются сосредоточенная глубинная дегазация и очень высокая восстановленность газов, что препятствует магнезиальному образованию. С эволюцией потоков газов, проникающих через дробленую жесткую кору и массово вторгающихся в осадочные бассейны и связаны главные процессы петрогенезиса и минерогенезиса, протекающие преимущественно в режимах повышенной восстановленности флюидных систем. По тем же причинам масштаб прогибания консолидированной коры (глубина осадочных бассейнов) должен прямо зависеть не только от степени эклогитизации «базальтового слоя», но и от интенсивности дегазации, приводящей к уплотнению самой мантии. Прямым подтверждением этого, как увидим ниже, является определенная связь между глубинами бассейнов и полнотой проявления флюидно-метасоматических процессов.

Важно учитывать также разную направленность эволюции флюидов. В ряде работ [5, 6, 7, 8] нами было показано, что характер эволюции потоков глубинных газов во многом зависит от геодинамических режимов развития тех или иных сегментов земной коры и термодинамических обстановок на разных глубинах. Этими факторами определяются различные варианты «холодной» и «горячей» [10] эволюции флюидов, кардинально различающиеся, например, в нефтеносных бассейнах и в миеосинклиналях разных типов.

При «холодной» эволюции потоков глубинных флюидов наряду с нефтеобразованием происходит массовый сброс системой избыточной воды и щелочей, при «горячей» — вода и щелочи в главной своей массе поглощаются системой как при метаморфизме пород, так и при магнезиальном образовании. Поэтому нефтеобразование, рассолообразование и эндогенное солеобразование, с одной стороны, и процессы метаморфизма и магнезиального образования — с другой — глобально проявляются в литосфере как процессы — антиподы: первые в глубоких и сверхглубоких осадочных бассейнах, вторые — в подвижных складчато-геосинклинальных зонах разного типа. Рассмотрим с этих позиций минерогеническое своеобразие осадочных бассейнов главных типов.

Жестким сегментам коры с малой по-

движностью свойственны неинтенсивная дегазация недр и слабое взаимодействие газов с породами на путях инфильтрации через фундамент. Поэтому газы при вторжении в осадочные породы чехлов древних платформ сохраняют высокую восстановленность даже в случае низких температур (300—200°C). В основании чехлов, обычно в маломощных зонах послыйного смятия пород, получают развитие процессы науглероживания, сульфидизации и нефтебитумообразования, а также рассеянного окремнения, порфиробластического окварцевания, аргиллизации. Подверженные таким изменениям породы приобретают повышенную фоновую металлогенность, однако концентрированного рудообразования в этих условиях не происходит. Помимо урановой минерализации, ассоциирующей с битумами, с аргиллизитами и окварцованными породами зон смятия, судя по разрозненным опубликованным данным, бывают связаны повышенные ртутоносность и золотоносность. Такая минерализация в основании чехлов древних платформ, по-существу, остается пока не изученной.

«Холодный» тип эволюции флюидов, приводящей к нефтеобразованию, проявлен более интенсивно в подвижных двухъярусных структурах с весьма высокой проницаемостью фундамента, оптимальными мощностью и строением осадочного чехла. Примерами их служат Предуралье, Западно-Сибирская плита и другие нефтеносные бассейны с мощностью чехла порядка 4—6 км. В неравномерно дислоцированном чехле таких структур экранированные зоны вертикальной проницаемости обычно комбинируются с региональными зонами латеральной послыйной проницаемости. В них и создаются условия для интенсивного развития низкотемпературных метасоматических процессов. Петроструктурные исследования позволяют увидеть определенную направленность метасоматических процессов. Ранние науглероживание и сульфидизация алевропелитов с образованием черных сланцев со временем сменялись гидрослюдисто-кремнистым, доломитовым и битумным их замещением с переходом мягких сланцев в хрупкие полосчатые «бажениты». В зонах повышенной проницаемости развивалось слюдисто-альбит-кварцевое и существенно

кварцевое порфиробластическое замещение пород. При этом раннее шунгитовое и битум-керитовое рассеянное вещество путем его гидрогенизации превращалось в жидкую нефть. По этой причине в процессе нефтеобразования черные сланцы и бажениты осветлялись, а содержащиеся в них обильные сульфиды (нередко до 10 %) распадалась; тяжелые металлы, вероятно, растворялись нефтью и рассолами. Последние массово генерировались в зонах интенсивного окварцевания при расплаве щелочно-кремниевых флюидов, чем обусловлены тесные пространственно-временные связи между нефтями и хлоридными рассолами [8].

Такая направленность и последовательность процессов хорошо увязываются с петрографическими и физико-химическими данными, а также закономерностями локализации залежей нефти и газа в метасоматически преобразованных породах (Западно-Сибирский бассейн). Они согласуются также и с гидрогеохимическими особенностями бассейнов, в частности, с приуроченностью рассолов к нефтеколлекторам кварц-песчанистого типа и их ассоциацией с нефтяными залежами.

С инфильтрацией рассолов и смешанных вод из погруженных частей бассейнов на их периферии и разгрузкой там этих вод многие исследователи достаточно обоснованно связывают образование месторождений железа, марганца и цветных металлов [4]. Например, Западно-Сибирский бассейн полукольцом окружен железисто-глауконитовыми формациями, вмещающими сотни миллиардов тонн преимущественно гидрогетитовых оолитовых, гидрогетит-сидерит-хлоритовых и других железных руд, эпигенетически отложенных в породах пластовыми растворами. Изучение региональной минералого-геохимической зональности показало, что в зонах нефтеобразования железо находится преимущественно в закисных формах. Ближе к периферии бассейнов в полосе шириной 100—200 км преобладает глауконит, в котором сосуществуют закисные и окисные формы железа. Лишь на внешних перифериях полосы глауконитовых формаций закисные формы массово сменяются окисными, что и приводит к гигантскому по масштабам накоплению бурожелезняковых руд. Этот пример убедитель-

но доказывает, что инфильтрация пластовых вод в условиях постепенной смены восстановительной обстановки окислительной даже при низких температурах сопровождается массовым переносом железа с отложением его в режиме глубокой окисленности среды. Миграция в рассольных водах цветных металлов происходит при относительно высоких температурах, и потому для бассейнов рассматриваемого типа их переотложение и концентрирование не характерны.

Процессы петрогенезиса, собственные весьма глубоким осадочным бассейнам, специфичны в том отношении, что ранний углеродистый метасоматоз и последующая щелочно-кварцевая флюидизация, закономерно локализующиеся в низах бассейнов, здесь начинаются на больших глубинах при значительно более высоких РТ параметрах, чем в чехлах платформ. В ослабленном виде и обычно позже по времени они проникают и в верхние части бассейнов, где на умеренных глубинах приводят к возникновению обычных продуктов «холодной» эволюции флюидов, включая нефтебитумы. По этим причинам для весьма глубоких бассейнов свойственно, как правило, совмещение глубинных и малоглубинных продуктов петро-рудонафтогенеза, порождаемых дегазацией недр. Геологически это выражается в сонахождении в таких бассейнах: сульфидно-углеродистых черных сланцев, различных кремнисто-кварцевых вторичных в разной мере битуминизированных пород, скоплений солей сложного состава, гипс-ангидритов, доломитов, залежей серы, нефтей и газов, а среди металлических полезных ископаемых — рудопроявлений меди, свинца, цинка, ртути и других, нередко тесно связанных с залежами солей, окружающими их метасоматитами и своеобразными брекчиями.

Ключевым для понимания процессов петро-рудогенезиса в глубоких бассейнах является вопрос о природе ископаемых солей. Всесторонний анализ обширных материалов по этому издавна остродискуссионному вопросу приводит к выводу, что основная масса ископаемых солей в литосфере — образования эндогенные. Обычно очень сложные по составу соли — полигалиты — отлагались в уже дислоцированных толщах потоками рассолов, поступавших по разломам с глу-

бин порядка 15—25 км. По составу рассолы были сверхкрепкими и имели концентрацию солей до 50—60 % при температурах 400—600°C. Отложение солей преимущественно в форме штоко- и дайковидных тел вертикальной протяженностью до 5—10 км и их последующая многостадийная перекристаллизация происходили при температурах 300—200°C и более низких — в верхах колонн. Отщепляющиеся при этом вторичные рассолы умеренной концентрации, объем которых примерно был равен объему соляных залежей, приводили к метасоматическим изменениям вмещающих пород и локальному отложению различных руд в приапикальных частях солевых штоков.

В самих солях концентрировались сера, бор, стронций, магний, барий, а халькофильные металлы сохранялись лишь в виде следов. Свинец, цинк, ртуть концентрировались на периферии штоков, другие (медь) мигрировали на значительные расстояния.

Приведем несколько примеров. Штоки солей в Днепровско-Донецкой впадине, прорывающие породы девона, карбона, перми и нижнего триаса, в апикальных частях сопровождаются месторождениями свинца и цинка. Руды отложены металлоносными рассолами, которые, имея температуру до 300°C, обусловили березитовое, сидерит-анкерит-доломитовое и аргиллизитовое замещение пород. Вместе с сульфидами отлагались графит и керит, а в конце процесса с карбонатными прожилками — жидкие нефтебитумы [3, 11]. Соляные штоки Донбасса в апикальных частях также сбрасывали рассолы при температуре 300°C, которые вначале сформировали флюоритовую, серно-колчеданную и свинцово-цинковую минерализацию, а при снижении температуры до 135—120°C привели к отложению промышленных ртутных руд и скоплений битумов (Славянское месторождение).

Рудопроявления медистых песчаников и сланцев характерны для других частей глубоких соленосных бассейнов. Они обычно приурочены к слабо науглероженным (сероцветным) участкам дислоцированных толщ, имеющих преимущественно пестроцветный облик из-за окисления железа. Интенсивное альбит-кварцевое замещение терригенных пород с отложением углерода до 0,5—1 % типично для меднорудных зон.

Таким образом, эндогенное солеобразование сопровождается массовой миграцией тяжелых металлов и отложением их из солевых рассолов в виде сульфидных руд при температурах 300—100°C при разных окислительно-восстановительных режимах. Этим обусловлены и особенности природы литолого-геохимических барьеров для руд разных типов.

С метасоматическими процессами, сопутствующими солеобразованию, связаны специфичные месторождения самородной серы, например, в Прикаспийском бассейне. Эти месторождения возникают при наложении на зоны сульфатного метасоматоза, представленные ангидрит-гипсовыми вторичными породами по известнякам, более поздних восстановленных флюидов, приводящих к вкрапленно-прожилковой битуминизации таких зон. При этом сульфатная сера восстанавливается до самородной, а сульфаты замещаются агрегатом кальцита, серы и битумоидов. По времени сульфатообразование синхронно с соляными диапирами, а осернение сульфатов происходит позже — при тектонической активизации структур и нефтегазонакоплении в экранированных ловушках.

Качественно иначе протекают процессы петрорудогенеза в подвижных поясах, где преобладает «горячий режим» эволюции глубинных флюидов. Это выражается в преобразовании осадочных слоистых толщ в складчатые существенно метаморфические породы, подвергающиеся региональной рассеянной шунгитизации (графитизации), последующей щелочно-кремниевой флюидизации и гранитизации. В зонах умеренной геодинамики зональная колонна низко-средне-высокотемпературного метаморфизма по вертикали может превышать 12—15 км, причем не менее 4—5 км этой колонны приходится на область углеродистых сланцев с повышенной фоновой металлоносностью [6, 9]. В зонах же высокой подвижности и проницаемости — обычно в стволых глубинных разломах — колонна зонального метаморфизма может в два-три раза уменьшаться, и тогда кристаллические сланцы и гранитоиднейсы формируются на малых глубинах — до 3—4 км. Соответственно в этих условиях возрастает контрастность метаморфизма, уменьшаются масштабы сульфи-

дизации и науглероживания пород с возрастанием их интенсивности. При неоднократных повторных подвижках в катаклаз-мионитовых зонах отлагается до 10—15 % углерода.

Главными причинами зональности метаморфизма, неравномерного науглероживания и флюидизации пород в пара-миогеосинклиналях являются структурно-геологические и геодинамические неоднородности, регулирующие проницаемость толщ и режимы окисления газов при механохимических процессах. Этими же факторами регулируется распределение рассеянной металлоносности в породах, которая всегда резко возрастает в зонах интенсивного науглероживания сланцев-бластомилонитов. Выявляется также определенная геохимическая зональность в размещении металлов по вертикали. На уровне нижних этажей, т.е. среди кристаллических сланцев, парagneйсов, амфиболитов преобладают W, Co, Mo, Cu; в переходном этаже, в слюдистых и аспидных сланцах, а также обильноуглеродистых бластомилонитах — Au, As, Ag; в верхнем этаже, где черные сланцы сменяются аргиллизированными, окремненными и карбонатизированными породами с включениями керита и битумов — Hg, Sb, менее Ag, Pb, Zn. Эта зональность усложняется в литолого-геохимически неоднородных разрезах. Так, появление в нижнем этаже карбонатных горизонтов способствует отложению золота и арсенопирита даже в малоуглеродистых кварц-полевошпат-мусковит-карбонатных метасоматитах. Карбонатные породы в верхах колонны, выше зоны массового отложения углерода, способствуют концентрации Pb, Zn, Sb, Hg.

Главной предпосылкой возникновения стратиформных рудных месторождений безусловно являются высокие фоны рассеянной металлоносности в углеродистых породах. Однако конкретные геолого-структурные обстановки и модели рудоконцентрирования крайне разнообразны. Так, для золоторудных месторождений Южного Тянь-Шаня обосновывается не менее пяти-шести моделей рудоконцентрирования с разной ролью в них процессов щелочно-кварцевой флюидизации, прогрессивного метаморфизма, дайкообразования, поздне- и постмагматической деятельности гранитоидов [6, 7]. Разнообразны также модели рудоконцент-

рирования Pb и Zn из углеродистых пелитов на карбонатных барьерах. На Уч-Кулачском рудном поле, например, решающую роль играли постмагматические растворы субвулканических порфировых интрузий, на месторождениях Каратау — инфильтрация горячих пластовых вод, поступавших, вероятно, из Чу-Сарысуйского бассейна [4]; рудоконцентрация Холодненского и Филизчайского типов, по-видимому, обусловлена в основном процессами щелочно-кремневой флюидизации углеродистых сланцев, в первом случае — при сравнительно высоких, во втором — при умеренных температурах.

При формировании ртутных и сурьмяно-ртутных руд тяньшаньского типа, в которых присутствует до шести-семи разновидностей вторичного кремнезема, включая рудомещающие джаспериоды, решающее значение имела низкотемпературная щелочно-кремневая флюидизация, сменявшаяся аргиллизацией, карбонатизацией и битумообразованием.

Существенная роль щелочно-кремневых флюидов-гелей при рудообразовании в углеродистых породах объясняется двумя причинами. Эти флюиды вторичные, они закономерно возникают при смене раннего сульфидно-углеродистого метасоматоза более поздним окислительным. Вместе с тем, они обладают огромной растворяющей способностью по отношению к металлам и потому массово извлекают их из преобразуемых пород, концентрируют и затем, при распаде геля и отложении кварца, формируют руды. Процесс этот может протекать при самых разных температурах и является типичным для различных высоко-средне- и низкотемпературных стратиформных (амагматических) месторождений.

Сравнивая различные осадочные бассейны подвижных поясов (например, ряд: Верхоянье — Южный Тянь-Шань - Кызылкумы), можно видеть, что обычная геохимическая специализация их углеродистых этажей сходна, поэтому в разных бассейнах широко развиты и рудопроявления соответствующих металлов. Однако по количеству промышленных месторождений, в особенности крупных и средних, бассейны сильно различаются. В частности, в указанном ряду промышленная продуктивность бассейнов

резко возрастает слева направо, т.е. в направлении уменьшения глубины (от 12 до 4—6 км), увеличения тектонической неоднородности и складчато-блоковой подвижности, контрастности метаморфизма, углеродистого метасоматоза и щелочно-кварцевой флюидизации. Равномерное общее смятие и слабое однородное науглероживание пород неблагоприятны для крупномасштабного рудоконцентрирования. Это подтверждается и тем фактом, что все крупные месторождения (например, золота) локализируются в петроструктурно четко выраженных зонах глубинных разломов и узлах их виргаций, где интенсивно проявлены процессы неоднократного науглероживания, флюидизации, иногда также гранито- и дайкообразования.

Все это еще раз подтверждает правомерность того ключевого положения, что процессы метаморфогенного петрогенезиса и стратиформного рудообразования, обусловленные дегазацией недр, регулируются геодинамикой подвижных зон и условиями эволюции флюидных потоков в дислоцируемой литологической среде [9].

Изложенный нетрадиционный подход к анализу процессов, свойственных осадочным бассейнам разного типа, позволяет понять с единых теоретических позиций некоторые издавна установленные, но казавшиеся загадочными, связи между размещением в литосфере разнообразных амагматических рудных месторождений, ископаемых солей, рассолов и нефтей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюшков Е.В., Безр М.А. О роли вертикальных и горизонтальных движений в образовании прогибов на континентальной коре в складчатых поясах // Изв. АН СССР. Сер.геол. 1983. № 9. С. 25—52.
2. Артюшков Е.В., Безр М.А. О механизме образования нефтегазоносных бассейнов Западно-Сибирской плиты и Русской платформы // Геология и геофизика. 1987. № 1. С. 25—35.
3. Белоус И.Р., Кирикилица С.И., Левенштейн М.Л. и др. Ртутоносность в соляных куполах северо-западного Донбасса // Сов. геология, 1984. № 2. С. 40—47.
4. Горжевский Д.И., Карцев А.А., Павлов Д.И. и др. Парагенезис металлов и нефти в осадочных толщах нефтеносных бассейнов. — М.: Недра, 1990.
5. Иванкин П.Ф. Взаимодействие потоков восстановленных газов с литосферой подвижных поясов //

- Тез. докл. II Всесоюз. совещания «Дегазация и геотектоника». — М.: Наука, 1985. С. 7—9.
6. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Методика изучения рудоносных структур в осадочных толщах. — М.: Недра, 1988.
 7. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Геохимические закономерности формирования рудных полей в пара-миogeосинклинальных подвижных поясах // Геохимические критерии прогнозной оценки оруденения. — Новосибирск: Наука, 1990. С. 148—194.
 8. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Петрогенезис нефтеколлекторов и его связи с дегазацией Земли // Тез. докл. III Всесоюз. совещания «Дегазация Земли и геотектоника». — М.: Наука, 1991. С. 150—152.
 9. Иванкин П.Ф. Морфоструктуры и петрогенезис глубинных разломов. — М.: Недра, 1991.
 10. Кропоткин П.Н. Дегазация Земли и генезис углеводородов // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. Т. XXXI. 1986. С. 540—547.
 11. Корневский С.М. Рудоносность галогенных формаций и вмещающих их толщ // Литология и полезные ископаемые. 1984. № 3. С. 109—113.

Ivankin P. F., Nazarova N. I.

MINERAGENESIS PROBLEMS OF SEDIMENTARY BASINS

The classification of sedimentary basins upon sediments thickness and crushing intensity of crystal basement is given. The peculiarities of metasomatic transformation of sediment rocks, endogenic formation of salt and oil in these rocks are characterized.

УДК 551.734+553.4 (571.51)

РЕГИОНАЛЬНЫЕ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ РАЗЛОМЫ ПОЗДНЕДЕВОНСКОГО ВОЗРАСТА В МИНУСИНСКОМ РЕГИОНЕ

П. А. ИГНАТОВ (МГГА)

Выделены различные конседиментационные девонские структуры и структурно-формационные зоны в Минусинском регионе. Показано, что межблоковые региональные конседиментационные разломы и сквозные поперечные зоны разломов позднедевонского возраста контролируют стратиформное урановое и жильно-штокверковое молибденовое оруденение. Обоснована синхронность уран-молибденовых руд — гидротермально-осадочных в палеовпадинах Минусинского прогиба и гидротермальных в обрамляющих его поднятиях.

В Минусинском прогибе и его обрамлении известно много рудных месторождений золота, молибдена, урана и полиметаллов [5—8, 11, 16 и др.]. Крупнейшими металлогеническими эпохами считаются позднеордовик-силурийская, девонская и позднепалеозойская. Образование редкометалльных месторождений, в том числе молибдена и урана, связывают с девонским орогенезом.

Ниже показано особое значение позднедевонских региональных тектонических структур в локализации этого оруденения.

В последние десятилетия усилиями геологов ГРП-15 ПГО «Березовскгеология» и МГРИ были подробно изучены многочисленные разрезы позднедевонских толщ Минусинского прогиба и выявлены новые закономерности развития региона в девонском периоде [2, 3]. В том числе, установлена важная роль различных конседиментационных структур [3].

В девонской истории развития Минусин-

ского прогиба выделяется пять этапов: раннедевонский, эмс-эйфельский, живет-раннефранский, поздний фран-раннефаменский и поздний фамен-раннетурнейский [4].

Каждый из них разделен региональным перерывом осадконакопления и активизацией дифференцированных блоковых движений фундамента. От ранних к поздним этапам отмечается циклическое затухание тектонической активности, что выражается в отчетливой смене крупнообломочных отложений на тонкозернистые и карбонатные, а также уменьшении вариации мощностей изохронных пачек. Затухают и проявления магматизма от активного наземного раннедевонского вулканизма, сопровождавшегося внедрением интрузий, до становления средне-позднедевонских малых интрузий и даек. Последние достоверно установлены в отрогах Кузнецкого Алатау [6, 13], в областях региональных палеоподнятий.

Две позднедевонские фазы тектонической активизации, внутрифранская и предпозднефаменская, являются заключительными в девонском орогенезе и, в отличие от предыдущих ранне-среднедевонских фаз, не сопровождаются проявлениями магматизма в пределах палеопроггиба. Во время внутрифранской активности еще сохранялась унаследованность раннедевонских структур. Фаменская фаза дифференцированных блоковых движений непосредственно предшествовала раннекаменноугольному полуплатформенному этапу и сопровождалась изменениями регионального структурного плана. Так, в позднефамен-раннетурнейское время картируется общее опускание северной части Минусинского прогиба [14], тогда как в предшествующие девонские века фиксируется унаследованное опускание юго-запада региона.

Таким образом, позднедевонская металлогенетическая стадия отличается общим уменьшением тектонической активности, резкой сменой стиля и направленности региональных тектонических движений.

Минусинский прогиб имеет сложное блоковое строение, что обусловлено различными глубинными структурами и изменяющейся мощностью гранито-метаморфического слоя земной коры [17, 18]. Тектонические блоки ограничены северо-западными

и субширотно-северо-восточными разломами глубокого заложения, которые отчетливо устанавливаются по данным геологического картирования и в общих геофизических полях. Тектонические перемещения по этим разломам проявлялись конседиментационно во время формирования прогиба [3, 9]. В девонский период Минусинский прогиб представлял собой блок первого порядка и включал мелкие блоки. К блокам второго порядка относятся Южно-Минусинская, Северо-Минусинская и Назаровская впадины, разделенные внутренними поднятиями — Солгонским и Батеневско-Беллыкским. Последнее осложнено крупной Сыдо-Ербинской впадиной, которая рассматривается в качестве блока третьего порядка. В ней расположено Приморское месторождение урана. Южнее, в сопоставимой по размерам Моисеевской синклинали, расположен близкий его аналог — стратиформное Оглахтинское месторождение урана. Не только названные, но и другие урановые месторождения Минусинского и соседнего Тувинского прогибов объединены в Енисейский рудоносный район [7] и сопровождаются многочисленными рудопрооявлениями и точками минерализации. Преобладают урановорудные объекты стратиформного типа.

Главными закономерностями локализации стратиформного уранового оруденения района являются: отчетливая стратиграфическая позиция линзовидно-пластообразных рудоносных зон; локализация оруденения в терригенных песчаных и глинистых отложениях, расположенных вблизи региональных поверхностей несогласия, главным образом, франского и фаменского возрастов; приуроченность рудоносных зон к контрастным фациально-литологическим образованиям континентальных осадочных комплексов; пространственная связь оруденения с конседиментационными структурами, определявшими высокую палеогеографическую неоднородность площадей осадкообразования; совпадение в масштабе геологического времени процессов осадко- и рудообразования.

Следует подчеркнуть отчетливый локальный стратиграфический контроль богатых урановых руд Приморского месторождения. Основные запасы оруденения сосредоточены в маломощном (2—12 м) сероцветном пласте озерных фаменских отложе-

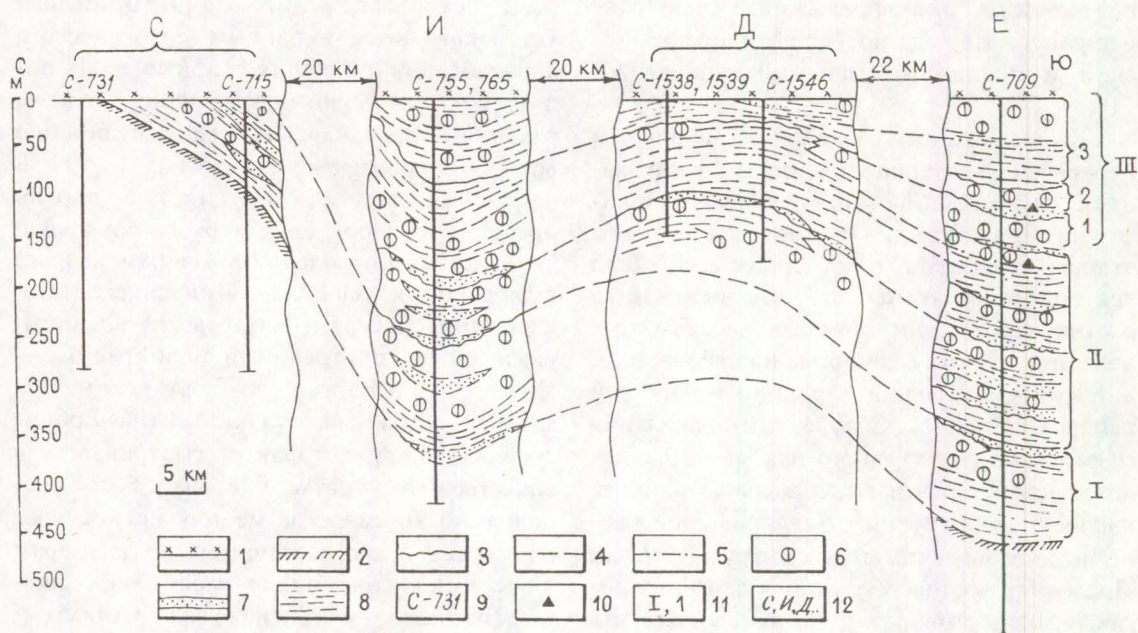


Рис. 1. Фациальный профиль тубинской свиты Северо-Минусинской и Сыдо-Ербинской впадин:

1—4 — границы: 1 — подошва покрывающей тубинскую быстрянскую свиты, 2 — кровля подстилающей тубинскую кохайской свиты, 3 — наиболее выдержанные эрозионные поверхности, 4 — фациальные; 5 — коррелятивные линии сероцветных горизонтов отложений относительно крупных озер; 6 — лессовидные субазальные отложения с карбонатными стяжениями; 7 — косослоистые песчаники аллювиально-пролювиальных отложений; 8 — красноцветные глинистые отложения мелких пересыхающих озер; 9 — опорные скважины; 10 — положение уранового оруденения основных горизонтов Приморского месторождения; 11 — подсвиты и мезоритмы тубинской свиты; 12 — впадины и мулдьы: С — Сосновская, И — Интикольская, Д — Джиримская, Е — Ербинская

ний верхней подсвиты тубинской свиты. Возраст свиты достаточно корректно определен как фаменский по остаткам флоры [10].

Позиция рудовмещающего горизонта знаменательна тем, что он фиксирует самое начало накопления пачки рудоносных озерно-аллювиальных отложений верхней подсвиты тубинской свиты во время предпозднефаменского регионального перерыва и активных блоковых подвижек. Это хорошо фиксируется при построении детальных фациальных профилей тубинской свиты. На одном из них показано положение рудоносных отложений Приморского месторождения в Ербинской палеовпадине, которая существовала во время региональных палеоподнятий в соседней Северо-Минусинской депрессии (Сосновская структура) (рис.1).

На месторождении проявлен локальный фациальный контроль оруденения. Так, в главном рудоносном пласте откартировано

четыре рудных залежи, которые приурочены к северной прибрежной мелководной части древнего озерного бассейна. Наиболее богатые руды локализованы в пределах нестабильно опускавшихся участков и тяготеют к конседиментационным тектоническим нарушениям и узлам их пересечения. Геохимические ореолы элементов-спутников урана (Mo, As) и элементов-примесей (Cu, Cr, Co и Ni) характеризуются теми же признаками палеоструктурного контроля.

Оруденение в вышележащих аллювиально-пролювиальных отложениях связано с крупной наземной дельтой радиусом 6—8 км. Здесь вскрываются многочисленные гнезда и маломощные линзовидные рудные тела, приуроченные к основаниям седиментационных ритмов. Рудоносные зоны и рудные тела контролируются участками фронтального выклинивания веерно-руслых

песчаников и гравелитов в застойноводные глинистые отложения.

Основными минералами урановых руд являются наиболее распространенные коффинит и настуран. В рудах встречаются леллингит и иордизит, в подчиненных количествах — пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит и другие сульфиды, гематит. Рудные минералы находятся в тесном сростании с аутигенными породообразующими: анальцимом, альбитом, кремнеземом и карбонатами.

Как в рудах основного озерного рудовмещающего горизонта, так и в вышележащих рудных линзах аллювиально-пролювиальных отложений типична тесная связь урановых минералов с органическим веществом. В озерных отложениях тонкодисперсное битуминозное органическое вещество обогащает средние глинистые части седиментационных ритмов. Здесь оно рассеяно в глинистом субстрате и в цементе алевролитов, тесно прорастает с коффинитом. Мощность слоев, обогащенных органическим веществом, сопоставима с мощностью рудных тел и составляет 15—20 см. Содержание $C_{орг.}$ достигает 0,5—1,0 %. В вышележащих наземно-дельтовых отложениях урановые руды связаны со скоплениями углефицированных остатков растений.

В рудоносных породах отмечаются новообразования хлорита и гидрослюд, которые маркируют седиментационные восстановительные условия, но не контролируют распределение уранового оруденения.

Для руд типичны очень мелкие минеральные выделения и их агрегаты (за редким исключением не превышают десятки микрон). Другая особенность — сложность и разнообразие минеральных ассоциаций, сформировавшихся в различные стадии литогенеза.

Наиболее ранняя дорудная ассоциация представлена пиритом, карбонатами и аморфным кремнеземом. Вторая рудная ассоциация сложена леллингитом, альбитом, анальцимом, коффинитом и гематитом. Леллингит корродирует ранний пирит, образуя каркасную структуру. Коффинит находится в парагенетических сростаниях с леллингитом, альбитом и анальцимом. Третья ассоциация — кварц-карбонат-иордизит-настурановая с сульфидами (пиритом, галенитом, халькопиритом и пирротин-

ном). Четвертая послерудная — сложена главным образом прожилковидными карбонатами с редкой вкрапленностью сульфидов. Встречаются переотложенные поздние настуран, леллингит, марказит, галенит, лейкоксен и барит. Среди карбонатов преобладает железистый доломит.

Первые три ассоциации формировались в стадию диагенеза в нелитифицированных озерных осадках. Это обосновано рядом фактов: наличием обломков рудных анальцимитов с коффинитом, встреченных в слоях, перекрывающих рудные слои; текстурами размыва, взламывания и оползания рудных слоев, в которых удлиненные кристаллы леллингита ориентированы согласно оползневой деформации; наличием трещин контракции в оруденелых слоях; огибанием рудных слоев вокруг позднедиагенетических кремнистых конкреций; нарушением микроградиационной слоистости рудных слоев текстурами биоглифов; парагенетическим сростанием рудных, в том числе урановых, минералов с породообразующими.

Четвертая ассоциация формировалась в условиях катагенеза и чаще встречается в вышележащих рудах среди наземно-дельтовых отложений. Здесь, помимо тонковкрапленных микротекстур, настуран-сульфидная минерализация связана с сетью эпигенетических мелких послойных и косесекущих прожилков.

Для руд характерны слоисто-полосчатые текстуры, включая микрослоистые, оползневые и биогенные; для рудных агрегатов — микротекстуры заполнения мельчайших пустот, а также коррозионная, метазернистая и псевдоморфная структуры.

Результаты масс-спектрометрических анализов по уран-свинцовым изохронам урановых руд в разных лабораториях показали, что они имеют позднедевонский — раннекаменноугольный возраст (табл. 1). Разброс значений, возможно, связан с гипергенными изменениями руд, поскольку все три пробы были взяты из поверхностных выходов рудного тела.

По опробованию урановых руд в озерных отложениях актиноурановая изохрона ^{207}Pb ^{235}U дает 356 млн лет, по отношению ^{206}Pb ^{238}U отмечаются большие расхождения [1]. Для ураносодержащего пласта озерных отложений получают заниженные оценки возра-

1. Расчетный возраст урановых руд

Лаборатория	Модельный возраст, млн лет
ВСЕГЕИ	330
ВИМС	370
ГЕОХИ	390

ста, для выше- и нижележащих отложений — завышенные, что объясняется закрытой системой глинистых пород, эманированием и миграцией ^{222}Rn [1]. Обобщенная проба по всему рудоносному пласту позволяет оценить возраст урановых руд в 357 млн лет [1], что соответствует фаменскому веку. Приведенные данные, несомненно, доказывают проявление позднефаменской рудной стадии девонской металлогенической эпохи.

Геолого-структурная позиция названных рудоносных депрессий определяется их локализацией в поднятых блоках второго порядка Хакасского массива. Так, по данным интерпретации геолого-геофизических материалов, Сыдо-Ербинская и Моисеевская синклинали располагаются в блоках основания, где имеется архей-протерозойский фундамент [17]. Они локализованы на контакте байкальского и каледонского складчатого основания прогиба.

Урановорудные поля и узлы пространственно тяготеют к отдельным мульдам или центриклинальным частям крупных позднепалеозойских депрессий. Месторождения расположены в их краевых частях и приурочены к местам пересечения долгоживущих разломов глубокого заложения. Последние создают сеть нарушений субширотного и субмеридиально-северо-западного направлений.

В центре Минусинского прогиба субмеридиональный разлом, простирающийся вдоль долины Енисея, контролирует положение Приморского и Оглахтинского месторождений. Он является глубинным и отчетливо фиксируется в геофизических полях [17, 18]. Вдоль него характерны резкие формационные изменения пород. В кембрии он разделял эв- и миогеосинклинальные зоны [4], в раннем-среднем девоне — ареалы вулканитов разного состава [6, 9], в позднем девоне контролировал крупные палеодолины [3], в неоген-четвертичное время — различные ландшафтные

зоны. Вдоль этого разлома в фамене простирались оси аллювиальных долин, в том числе крупных рукавов наземных дельт, и цепочки внутриконтинентальных бессточных озер. Поперечные субширотно-северо-восточные нарушения контролировали фронтальные зоны выклинивания наземных дельт и вдольбереговые палеогеографические зоны крупных озер. Именно с этими генетическими типами отложений связано стратиформное оруденение. В целом, названные разломы определяли структурный план древних геоморфологических поднятий и впадин различных палеогеографических зон. Последние соответствуют более обширным структурно-формационным зонам.

В каждом прогибе откартировано три типа девонских структурно-формационных зон (СФЗ): унаследованно опускавшихся, испытывавших прерывистые неунаследованные опускания и преимущественно поднимавшихся (рис. 2). Зоны соответствуют палеотектоническим блокам второго порядка и устанавливаются по особенностям состава, строения и изменениям мощностей девонских толщ (табл. 2).

СФЗ первого типа совпадают с блоками, в которых устанавливается океаническая земная кора, второго и третьего типа — переходная кора.

Выделенные региональные палеоструктуры охватывают площади от многих сотен до первых тысяч квадратных километров. Ограничивающие и контролируемые их разломы имеют глубокое заложение и обычно фиксируются в геофизических полях. Для упрощения картины такие конседиментационные разломы на данной схеме не показаны (см. рис. 2).

СФЗ с неунаследованным развитием занимают большую часть Минусинского региона. Палеоструктуры унаследованного прогиба локализуются лишь на юго-западе. Среди первых выделено две разновидности — СФЗ с умеренными и интенсивными поднятиями. Они конформно окаймляют зоны палеоподнятий и отличаются по интенсивности внутри- и межформационных размывов. Зоны девонских поднятий картируются по их периферии и в целом совмещаются с современными горными сооружениями. Кроме унаследованных, выделены внутренние линейные поднятия, устанавливаемые по изменениям мощностей верхней пачки тубинской свиты,

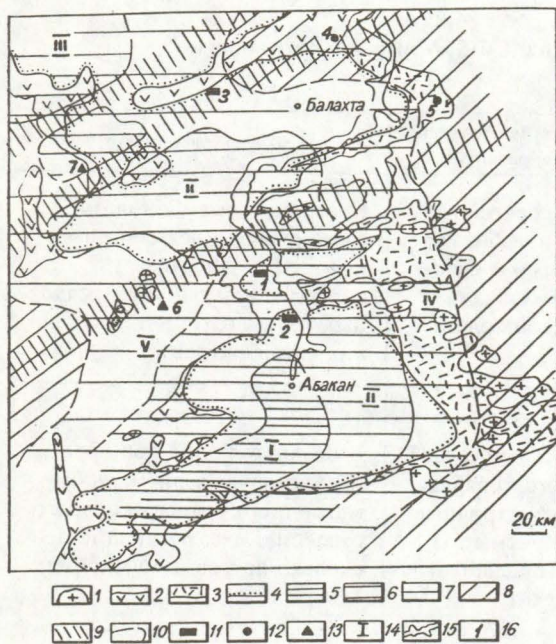


Рис. 2. Девонские структурно-формационные зоны Минусинского региона:

1 — силур-раннедевонские и ранне-среднедевонские гранитоиды; 2 — ранне-среднедевонские вулканы преимущественно основного состава; 3 — ранне-среднедевонские вулканы преимущественно кислого состава; 4 — граница распространения средне-позднедевонских осадочных отложений; 5 — 8 — типы девонских структурно-формационных зон (СФЗ): 5 — унаследованные депрессионные, 6 — депрессионные с неунаследованным развитием и умеренными поднятиями, 7 — депрессионные с неунаследованным развитием и интенсивными поднятиями, 8 — палеоподнятия, 9 — сквозные линейные зоны; 10 — границы СФЗ; 11 — 12 — месторождения урана: 11 — стратиформные, 12 — жильно-штокверковые; 13 — месторождения медно-молибденовые и молибденовые, связанные с девонской активизацией; 14 — СФЗ: I — Таштыпская, II — Тагарско-Интикольская, III — Белоозерская, IV — Казырьско-Балахтинская, V — Кузнецко-Алатауская; 15 — контур Красноярского водохранилища; 16 — рудные месторождения: 1 — Приморское, 2 — Оглахтинское, 3 — Кызынджуское, 4 — Кемчугское, 5 — Солнечное, 6 — Сорское, 7 — Агаскырское

которая накапливалась во время позднефаменского перерыва и региональной структурной перестройки. На схеме изопакит данного локального стратиграфического интервала они представлены линейными субширотными зонами, установленными по нулевым значениям (рис. 3).

Геологическая интерпретация выделенных региональных палеоструктур следующая. Раз-

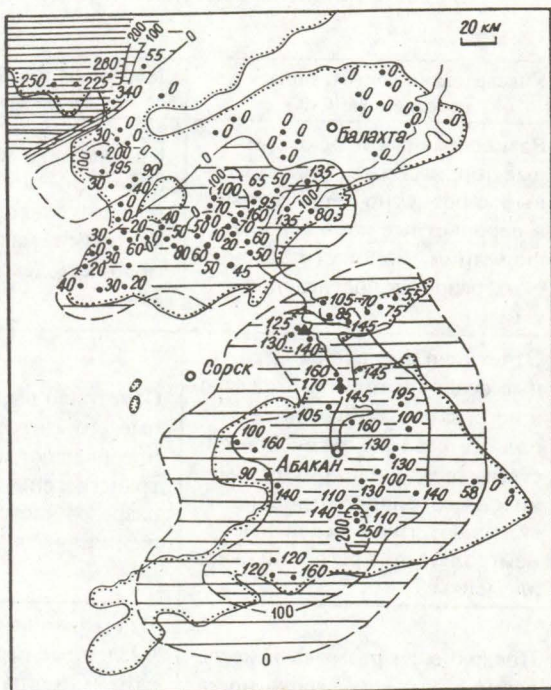


Рис. 3. Схема изопакит верхней рудоносной пачки тубинской свиты Минусинского прогиба, синхронной позднефаменскому перерыву осадконакопления:

1 — граница распространения средне-позднедевонских осадочных отложений; 2 — точка наблюдений и мощность пачки; 3 — изопакиты, проведенные через 100м; 4 — области с малыми и умеренными мощностями; 5 — области с большими мощностями; 6 — контур Красноярского водохранилища; 7 — позиция Приморского и Оглахтинского месторождений

ные типы СФЗ понимаются как блоки со своеобразным составом додевонского фундамента и специфической направленностью конседиментационных движений. Сквозные линейные поперечные структуры можно рассматривать в качестве крупных взбросов, синхронных позднефаменской фазе тектонической активности. По этим разломам были, вероятно, смещены крупные блоки консолидированного додевонского и ранне-среднедевонского основания, в результате чего сформировались гряды холмообразных позднефаменских поднятий, разделявших

2. Отличительные признаки девонских СФЗ Минусинского прогиба

Унаследованно опускавшиеся депрессионные СФЗ	Депрессионные СФЗ, испытавшие унаследованное развитие	СФЗ палеоподнятий
Разнообразные красноцветные терригенные, пестроцветные карбонатно-терригенные и сероцветные карбонатные формации, мощности девонских разрезов достигают 6—7 км	Красноцветные терригенные формации резко преобладают над пестроцветными и сероцветными, максимальная мощность девонской толщи 2 км	Красноцветные формации ассоциируют с кислыми наземными эффузивами, наибольшие мощности осадочных толщ достигают нескольких сотен метров
Отчетливо выражены крупные осадочные ритмы, слагающие стратиграфически полные разрезы девонской системы, осадочные ритмы имеют симметричное строение и включают трансгрессивные, нейтральные и регрессивные элементы	Отчетливо выражены осадочные ритмы разного порядка, преобладают асимметричные трансгрессивные ритмы, из разрезов часто выпадают отложения ярусов и свит	Выделяются один-два крупных осадочных ритма асимметричного трансгрессивного строения, охватывающие несколько ярусов девонской системы
Поверхности размыва и несогласия в разрезах девона не характерны, отмечается согласное залегание раннекаменноугольных постплатформенных отложений	Отчетливо выражены многочисленные стратиграфические и иногда угловые несогласия, маркируемые системами сближенных эрозионных поверхностей, раннекарбоновые толщи залегают на девонских субсогласно	Отмечаются крупные стратиграфические и отчетливые угловые несогласия
Характерен базальтоидный магматизм раннего-среднего девона	Помимо базальтоидных толщ распространены кислые эффузивы ранне-среднедевонского возраста	Широко распространены кислые эффузивы, вулканокупольные структуры и девонские гранитоиды

палеокотловины. Источник такого типа горизонтальных напряжений, по-видимому, связан со становлением рифтоподобных впадин в Западном Саяне. Последние, вероятно, были унаследованы от рифтов, намеченных для кембрийского периода [4].

Стратиформное урановое оруденение приурочено к депрессионным СФЗ, испытавшим знакопеременные унаследованные движения. В СФЗ интенсивных палеоподнятий Восточно-Саянского обрамления прогиба встречаются проявления гидротермального молибдено-уранового оруденения с прожилково-вкрапленными молибденит-коффинит-настурановыми рудами в ореолах березитов. Они локализируются в тектонически нарушенных эффузивах кислого и основного состава ранне-среднедевонского возраста.

В региональных депрессионных палеоструктурах обрамления Минусинского прогиба,

испытывавших интенсивные поднятия, расположены Сорское медно-молибденовое, Агаскырское молибденовое месторождения и ряд рудопроявлений молибдена жильно-штокверкового типа. Они пространственно связаны с менее интенсивными поднятиями девонского возраста, что подтверждается расположением вблизи Сорского и Агаскырского рудных полей мелких девонских впадин. Состав руд, стадийность рудообразования и метасоматиты молибденовых объектов близки [16]. На Сорском месторождении среди поздних стадий рудного этапа наблюдается уранинитовая минерализация [11].

Намечается пространственная связь ряда месторождений молибдена и урана и сквозных конседиментационных линейных зон (см. рис. 2). Видно, что не только типично жильно-штокверковые Сорское, Агаскырское, Кемчугское месторождения, но и стратиформные

рудные объекты (Кызынджульское, и, в какой-то мере, Приморское) тяготеют к этим скрытым структурам, которые, по И.Н.Томсону [15], следует рассматривать как рудоконцентрирующие. Напомним, что Приморское и Оглахтинское месторождения контролируются узлами пересечения отчетливо выраженных региональных конседиментационных разломов.

Изложенный материал позволяет сделать следующие выводы.

Поздняя фаза девонской рудной эпохи отличалась двухстадийным проявлением активных блоковых перемещений на фоне общего затухания, изменения стиля и направленности региональных тектонических движений.

Региональные конседиментационные структуры позднедевонского возраста разделяются на следующие типы: изометричные структурно-формационные зоны с различной направленностью тектонических блоковых движений; зоны крупных разломов субмеридиально-северо-западного и субширотно-северо-восточного направлений; сквозные поперечные субширотные нарушения.

Все перечисленные структуры имеют металлогеническое значение: в депрессионных неунаследованных СФЗ локализовано стратиформное урановое оруденение, в палеоподнятиях — жильно-штокверковое молибдено-урановое, медно-молибденовое и молибденовое; узлы пересечения крупных разломов контролируют положение месторождений урана и молибдена обоих морфологических типов; сквозные поперечные зоны, вероятно, являлись рудоконцентрирующими в позднедевонскую стадию рудообразования.

Выделение рудоконцентрирующих структур позднедевонского возраста в северной части Минусинского региона является новым фактором рудолокализации, что требует их более детального металлогенического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А.Г. и др. Эманирование радона как причина несходящихся оценок возраста стратиформного уранового оруденения // Геохимия. 1981. № 10. С. 1554—1559.

2. Игнатов П.А. Особенности девонского периода развития Северо-Минусинской впадины // Изв. вузов. Геология и разведка. 1983. № 12. С. 30—37.
3. Игнатов П.А. О связи строения девонской красноцветной формации и конседиментационных движений блоков фундамента в Минусинском прогибе // Проблемы изучения и тектонического анализа геологических формаций. — М.: Наука, 1983. С. 122—125.
4. Ильин А.В. Геологическое развитие Южной Сибири и Монголии в позднем докембрии-кембрии. — М.: Наука, 1982.
5. Ильинский Ю.В., Кузнецов В.А. Основные черты металлогении Алтае-Саянской складчатой области / Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. XIV. — М.: Наука, 1985. С. 103—114.
6. Ковалев В.П. Герцинский магматизм Предсаянья. — Новосибирск: Наука, Сиб. отд. 1980.
7. Лавров Н.П., Величкин В.И., Шумилин М.В. Урановые месторождения стран содружества: основные промышленно-генетические типы и их размещение // Геология рудных месторождений. 1992. № 2. С. 3—18.
8. Левченко С.В. Доплатформенная металлогения Кузнецко-Минусинского рудного района. — М.: Наука, 1975.
9. Моссаковский А.А. Тектоника Минусинских впадин и их фундамента // Тектоника Сибири, Т. II. — Новосибирск: Изд. Сиб. отд. АН СССР, 1963. С. 208—221.
10. Надлер Ю.С., Кузнецова В.Г. Палинологическая характеристика фаменских отложений Саяно-Алтайской области // Палинология Сибири. 5-я Междунар. палинологич. конф. — Кембридж — М., 1980. С. 12—17.
11. Покалов В.Т. Месторождения молибдена. Рудные месторождения СССР. Т. 3 — М.: Недра, 1974. С. 117—170.
12. Раковец О.А. и др. Алтае-Саянская область сводово-глыбовых поднятий. Новейшая тектоника нефтегазоносных областей Сибири // Тр. СНИИГ-ГИМС. Вып. 285. — М.: Недра, 1981. С. 112—120.
13. Рихванов Л.П. и др. Магматизм сводово-глыбового этапа развития и тектоно-магматической активизации Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. 1985. № 11. С. 96—100.
14. Сабиров М.А., Игнатов П.А., Аствацатуров С.А. Строение и генезис нижнетурнейских отложений Северо-Минусинской впадины // Изв. вузов. Геология и разведка. 1988. №3. С. 17—22.
15. Томсон И.Н. Металлогения рудных районов. — М.: Недра, 1988.
16. Хомичев В.Л. и др. Агаскырское молибденовое месторождение (Кузнецкое Алатау) // Геология рудных месторождений. Т. 20. 1978. № 2. С. 27—39.
17. Шатов Я.В. и др. Особенности строения фундамента Минусинского межгорного прогиба. // Тектоника Сибири. Т. IX. — Новосибирск: Наука, Сиб. отд. 1980. С. 39—40.
18. Шарловская Л.А. Дейтероорогенные прогибы Алтае-Саянской области и методика интерпретации физических полей. — Новосибирск: Наука, 1985.

Ignatov P. A.

REGIONAL ORE-CONTROLLING LATE-DEVONIAN FAULTS IN MINUSINSK REGION

The various Devonian consedimentational structures and structural formational zones are distinguished in Minusinsk region. Late-Devonian consedimentational regional interblock faults and the through cross measure faults zones are shown to control stratiform U-ore deposits and vein-stockwerk Mo ones. The synchronism of U-Mo hydrothermal-sedimentary deposits in Minusinsk paleosyncline and hydrothermal ones in the framing uplifts is grounded.

Создан премиальный и издательский фонд имени академика В.И. Смирнова

В.И. Смирнов — признанный мировой лидер в области рудной геологии, много сделавший для развития учения о геологии полезных ископаемых, создания и расширения минерально-сырьевой базы России и подготовки национальных кадров.

После кончины Владимира Ивановича в 1988 году Геологическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова ежегодно в день его рождения проводятся памятные научные чтения.

С целью увековечения памяти выдающегося российского геолога МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет МГУ, кафедра полезных ископаемых, МГГА, Геолбанк, Роскомнедра, ВСЕГЕИ, ИГЕМ, ЦНИГРИ, МАГКО, ВИМС, ИМГРЭ, ИГГ УрО РАН, Институт геологии КНЦ РАН учредили премиальный и издательский фонд имени академика В.И. Смирнова.

19 мая состоялось организационное собрание учредителей, на котором утверждены устав фонда, положение о премиях научным работникам и студентам, избран Совет учредителей, Бюро Совета учредителей и намечена программа деятельности фонда. 9 сентября 1993 года фонд был официально зарегистрирован. Средства фонда формируются из ежегодных взносов учредителей на специальный счет. В 1993 г. наиболее крупный взнос сделал Геолбанк. Все ведущие геологические институты и организации поддержали фонд и перевели денежные взносы.

Фонд планирует ежегодно присуждать две премии научным сотрудникам и несколько премий студентам МГУ, МГГА и других вузов России. Присуждение премий приурочивается к Смирновским научным чтениям и производится на конкурсной основе по заявкам организаций или научных работников. Студенческие премии присуждаются по результатам ежегодных научных студенческих конференций. Все материалы представляются в Совет фонда к 1 октября по адресу: Москва 119899, Воробьевы горы, Геологический факультет МГУ, кафедра полезных ископаемых, Смирновский фонд.

Заявка на премию должна содержать необходимую мотивацию, включая указания и ссылки на работы и направления деятельности В.И. Смирнова, получившие развитие в соответствующем исследовании. К заявке прилагается текст работы либо ее аннотированное содержание, которое может быть основой для доклада на научных чтениях и последующей публикации, а также письма-рекомендации организаций или одного-двух известных ученых в области геологии рудных месторождений и металлогении.

Победители конкурса получают дипломы и денежные премии. Размер денежного вознаграждения зависит от уровня накопленного мемориального фонда и определяется Советом учредителей. Через каждые два года публикуются в специальном сборнике материалы научных чтений и лучшие доклады студентов.

Совет учредителей обращается к широкой общественности, геологическим комитетам, научно-исследовательским, производственным и коммерческим организациям, частным фирмам и банкам, ученикам и последователям В.И. Смирнова как в России, так и в других странах поддержать Смирновский фонд. Форма поддержки может быть самая разнообразная -- вхождение в состав учредителей, разовый финансовый взнос, участие в работе фонда, и возможны другие варианты деятельности, способствующие творческому развитию научного наследия академика В.И. Смирнова.

Реквизиты для перевода взноса в премиальный фонд Смирнова: Р/с 141334 в Ленинском отд. МББ г. Москвы. МФО 201188. Геологический факультет. Фонд Смирнова. Телефон для справок: 939--23--51, 220--70--43.



УДК 553.4.044

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ МЕТАЛЛОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ГЛУБИНЫМИ РУДООБРАЗУЮЩИМИ СИСТЕМАМИ

А.А. КРЕМЕНЕЦКИЙ (ИМГРЭ)

Рассматриваются механизмы аутигенно-метаморфического метаморфогенно-гидротермального и магматогенного рудогенеза. На основе этих механизмов предложены способы количественной оценки прогнозных ресурсов TR, W, Au, Ag и других металлов.

Представление о прогнозных ресурсах полезного компонента является одним из важных аргументов для принятия решения о том, каким должен быть финансовый риск при постановке и проведении поисковых работ.

Расчет прогнозных ресурсов обычно базируется на оценках экспертов, которые, в свою очередь, опираются либо на личный опыт и интуицию, либо на принцип подобия с эталонной количественной моделью месторождения. Имеется и иной путь — установление механизма и следствий развития рудогенерирующей системы с целью количественной оценки прогнозных ресурсов полезного компонента по его рудообразующим агентам (S, Fe, Ca, P, H₂O).

Последнее направление рассмотрим на примере месторождений Au — W — TR, локализованных в углеродсодержащих терригенных толщах (черных сланцах). Специфической особенностью этих месторождений является то, что они формируются в черносланцевых толщах широкого возрастного диапазона (от О—S до J) и с существенным влиянием последних на источники рудного вещества (рис. 1). При этом обычными являются три механизма рудогенерации: аутигенно-метаморфический, метаморфогенно-гидротермальный и магматогенный (табл. 1).

Аутигенно-метаморфический механизм рудогенерации рассмотрим на примере Eu-монацитноносных черносланцевых толщ Испании.

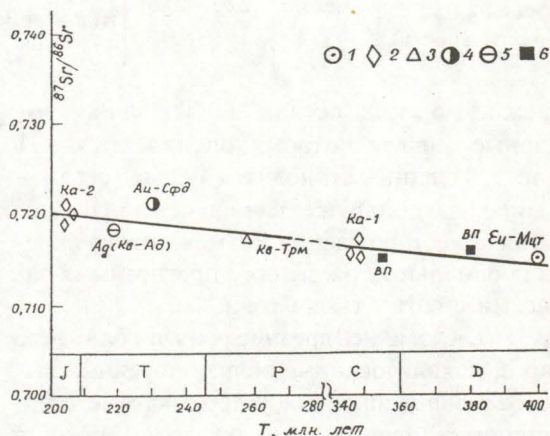


Рис. 1. Изотопный состав стронция в минералах аутигенно- и гидротермально-метаморфогенного оруденения и вмещающих «черных сланцах» в зависимости от геологического времени (по [2] с добавлениями автора):

1 — аутигенно-метаморфический Eu-монацит (Испания); 2—6 — минералы и породы месторождения Мурунтау: 2 — карбонаты, 3 — кварц-турмалиновая жила, 4 — кварц-адюляровая жила с Ag, 5 — кварц-арсенопиритовая жила с Au, 6 — вмещающие породы

Eu — монацит («серый») является типичным акцессорным компонентом аллювиальных отложений Великобритании, Франции, Бельгии, Испании, России, Тайваня, Бангладеш, Пакистана, Марокко, Заира, Габона, Мадагаскара, США, Канады, Боливии, Перу и других стран. Около 10 % Eu-монацита содержится в тяжелых при-

1. Механизмы рудогенерации в истории развития черносланцевых толщ (на примере Центральных Кызылкумов и Испании)

Этапы		T, млн. лет	Механизм	Компоненты		Месторождения
				рудные	рудообразующие	
Осадконакопление		> 500--400	аутигенно-метаморфический	TR, Au-1, Ag-1	Сорг, P, S-1, Ca	Россыпи Еу-монацита
Региональный метаморфизм (добатолитовый)		400	дегидратация, десульфидизация, декарбонатизация	—	S-2, C(грф.), K-1	—
Орогенез (синбатолитовый метаморфизм и постбатолитовая гидротермальная деятельность)	ранний	250—230	метаморфогенно-гидротермальный	Au-2, Ag-2	S-3, Fe, As	Au-сульфидные, Au- кварцевые Au-серебряные
	поздний	220—210	магматогенно-гидротермальный	W, Mo, Sn, Li, Be, Ta, Nb, Ag-3	Si, F, K-2, Na	Шеелит-кварцевые, серебряные

брежно-морских песках на Тайване, суммарные запасы которых оцениваются в 1 млн т. Испания становится первой страной в мире, где обнаружены и изучены промышленные месторождения Еу-монацита в палеоаллювиальных россыпях с прогнозными запасами в сотни тысяч тонн.

Исследовались древние россыпи ближнего сноса, локализованные вблизи коренных выходов монацитоносных углеродисто-метатерригенных (черносланцевых) толщ нижнего ордовика. Мощность продуктивных пластов россыпей колеблется от 0,5 до 4 км; содержание в них Еу-монацита варьирует от 0,5 до 25 кг/м³. Сравнительные морфометрические, электроноскопические, микрозондовые и другие исследования доказывают полную идентичность строения и состава Еу-монацитов из коренных пород и пространственно ассоциирующих с ними россыпей.

Монацитоносные толщи коренных пород (мощностью 50—300 м) залегают на допалеозойских кварцитах Арморикан (рис. 2); они характеризуются чередованием металевролитов и метапесчаников, присутствием редких прослоев фосфоритов и горизонтов ожелезнения. При микроскопических исследованиях коренных пород установлены все стадии аутигенного зарождения РЗЭ-фосфатов и их последующей дегидратации при метаморфизме по схеме, рабдофанит →

метаморфогенный монацит. Последний образует в основной ткани пород редкие эллипсоидальные порфиروбласты (размером 0,1—2,5 мм) с признаками S-вращения, отчетливой микрогелицитовой микроструктурой (за счет включений обломочных минералов осадков) и характеризуется зональным строением и составом (от края к центру зерна): C_{орг}—Fe₂O₃—Al, Ti (SiO₄)—Ce, La (PO)₄—Ce, Eu (PO₄) (рис. 3).

Аутигенный генезис Еу-монацита определяет специфику его свойств (аномально низкие значения плотности — до 4,2 г/см³) и химического состава (высокие содержания Н₂О, SiO₂, Fe₂O₃, TiO₂, Eu₂O₃, Nd₂O₃ и низкие — Y₂O₃ и ThO₂, см. рис. 3).

Реконструкция условий зарождения и развития аутигенного Еу-монацита позволила нам [3] объяснить природу Еу аномалии в серых монацитах, а также выявить физико-химический механизм концентрирования РЗЭ в углеродисто-терригенных осадках. По-существу, эти явления имеют единую природу и регулируются следующими факторами:

ресурсы всех индивидуальных РЗЭ и фосфора задаются условиями осадконакопления и в количественном выражении являются штатными для прибрежно-морских палеообстановок;

механизм концентрирования РЗЭ определяется двумя параметрами: количеством СаО и наличием органического вещества.

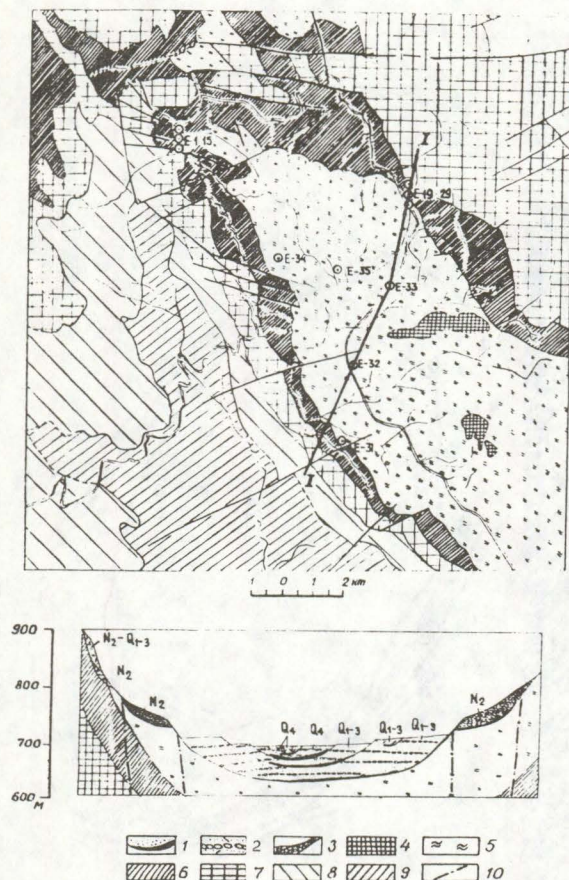


Рис. 2. Схематические геологическая карта и разрез монацитосодержащих черных сланцев и ассоциирующих с ними монацитовых россыпей. Месторождение Новас де Эстена, Испания:

1—3 — кайнозойские континентальные отложения: 1 — россыпи аутигенно-метаморфического монацита, 2, 3 — аллювиально-пролювиальные отложения; 4—9 — метаморфические комплексы нижнего палеозоя: 4, 5 — песчанико-сланцевые толщи, 6 — кварциты свиты Арморикан; 7—9 — углеродсодержащие породы свиты Почико: 7 — тонкослоистая пачка метапесчаников и черных сланцев, 8 — черные сланцы; 9 — метапесчаники; 10 — разрывные нарушения

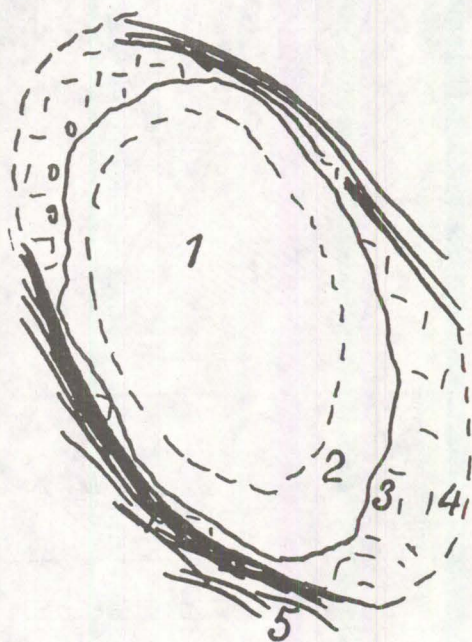
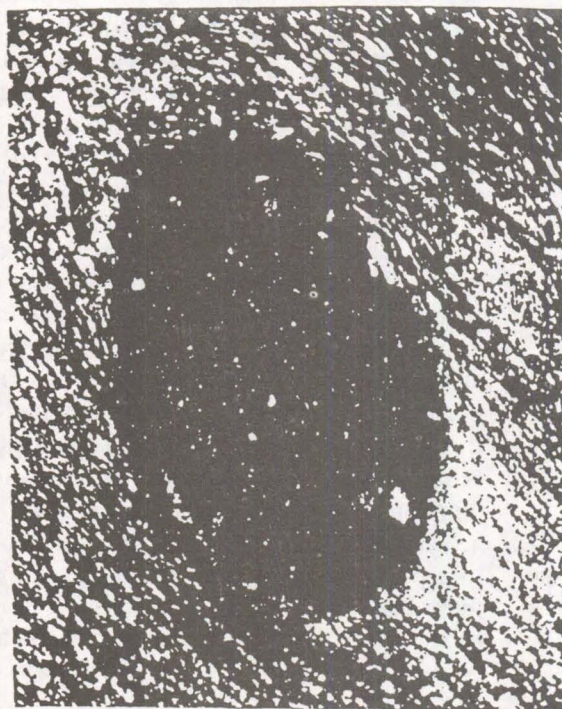
В случае избытка CaO в водной среде ($> 0,5\%$) новообразуемые аутигенные фазы кристаллизуются в виде апатита, сфена и других Ca -содержащих минералов, стехиометрия которых будет ограничивать количество входящих в них РЗЭ. Иными словами, произойдет их рассеивание, в том числе и в ассоциирующих с карбонатными фациями фосфоритах. При дефиците CaO ($< 0,5\%$) и восстановительной среде осадконакопления органическое вещество становится ведущим фактором, контролирующим новообразование РЗЭ-фосфатных агрегатов. При

этом первой должна формироваться фаза, обогащенная европием, так как двухвалентная модификация данного элемента является относительно активной формой для сорбции и концентрирования ее органическим веществом из водной среды. По мере достижения предельной концентрации Eu^{+2} в ядре новообразуемого соединения в нем происходит формирование микрозон, обогащенных Nd , Sm , а затем органоцериевой оболочки. При диагенезе в ходе самоочистки органического вещества от сорбированных РЗЭ последние при пониженной доле углекислоты могут связываться в самостоятельные фосфатные фазы, например, рабдофанит. Одновременно происходит соосаждение и кристаллизация внешних оболочек и самостоятельных дисперсных фаз (кремнезема, оксидов титана и железа). В общем виде можно наметить следующую схему аутигенно-метаморфического минералообразования при формировании коренных источников Eu -монацита в углеродисто-терригенных толщах: обломочные минералы (кварц-1, полевые шпаты, слюды, магнетит, циркон и др.) + TiO_2 + $\text{C}_{\text{орг}}$ + рабдофанит + $\text{SiO}_2 \rightarrow$ монацит + кварц-2 + рутил + гематит + $\text{C}_{\text{орг}}$ (графитизированный).

По данным выполненного нами количественного минералогического анализа, в интегральной пробе (обр. Е = 28—Е = 31; см. рис. 2) среднее содержание аутигенно-метаморфических монацитов в продуктивной полосе коренных пород оценивается в 300 г/т и не противоречит нормативной оценке количества монацита по данным химического анализа $\sum \text{TR}$ в этих же породах (250—380 г/т).

Учитывая протяженность выходов продуктивной зоны (ориентировочно оцениваемой по геологической карте в 22500 м, см. рис. 2), площадь монацитоносных коренных пород составляет $22500 \times 1000 = 22\,500\,000 \text{ м}^2$. По площади этой зоны и среднему содержанию в ней монацита можно рассчитать высоту эродированной части продуктивной зоны.

По данным структурно-геоморфологического анализа (см. разрез на рис. 2) прогнозный суммарный объем двух россыпей в С—З замыкании синклинали Новас де Эстена предположительно равен $15,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ (в том числе объем замковой россыпи: $4750 \cdot 4000 \cdot 0,5 = 9,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3$; объем второй



Компоненты	Монацитовое ядро		Алюмосиликатная зона		Fe-Сорг. зона
	1	2	3	4	5
P ₂ O ₅	29,79	30,61	—	—	6,00
ΣTR ₂ O ₃	61,80	64,04	—	—	—
Eu ₂ O ₃	0,70	0,17	—	—	—
ThO ₂	0,04	0,14	—	—	—
Fe ₂ O ₃	1,49	0,22	0,79	46,16	81,29
CaO	0,13	0,14	0,23	0,37	0,02
SiO ₂	1,96	1,03	57,15	22,72	2,49
Al ₂ O ₃	—	—	33,42	19,39	6,07
K ₂ O	—	—	5,73	1,26	0,09
Na ₂ O	—	—	1,94	0,16	0,96
TiO ₂	—	—	0,14	1,59	0,04
SO ₄	—	—	—	—	2,72

Рис. 3. Внутреннее строение и химический состав аутигенно-метаморфического Eu-монацита.

россыпи — $4000 \cdot 3000 \cdot 0,5 = 6 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. При условном среднем содержании монацита в россыпи (1 кг/т или $2,6 \text{ кг/см}^3$) и средней плотности отложений, слагающих россыпь ($2,5 \text{ т/м}^3$), суммарные запасы монацита в этих двух россыпях могут быть оценены в 38750 т ($15,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \cdot 2,5 \text{ т/м}^3 \cdot 1 \text{ кг/т}$).

Если именно эти запасы содержались в продуктивной зоне коренных пород, то высоту эродированной части зоны (h) можно вычислить по формуле $h = \frac{Q}{S \cdot d \cdot C}$, где Q — запасы монацита в россыпи, S — площадь продуктивной зоны коренных пород, C — среднее содержание монацита в коренных породах. Подставляя рассчитанные выше значения, получаем: $h = 38750 : (22,5 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot 2,7 \text{ т/м}^3 \cdot 0,3 \text{ кг/т}) = 2,1 \text{ м}$, т.е. коренные породы продуктивной зоны должны были быть эродированы на высоту не менее 2,0 м на протяжении 22,5 км замка и бортов синклинали Новас де Эстена.

В действительности же эрозии была подвергнута значительно большая высота коренных пород (40 м и более), что доказывается результатами структурно-геоморфологического анализа рельефа долины реки Эстена. Из этого следует, что объем продуктивной зоны и, следовательно, прогнозные ресурсы коренного монацита могли превышать расчетные, как минимум, в 20 раз (!). Такие масштабы оруденения, во-первых, соответствуют известным пропорциям между запасами полезного компонента в коренном источнике и запасами в образованной из него россыпи ближнего сноса (2:1—10:1), а во-вторых, указывают на возможность переноса части россыпного монацита вниз по долине реки описываемого района.

Магматогенно-гидротермальный механизм рудогенерации. В последние годы выполнено большое количество исследований по выявлению сущности связи месторождений W, Mo, Sn, Ta, Nb с гранитными интрузиями (И.Д.Рябчиков, Г.Д.Холланд, Д.А.Эннинг и др.). Среди этих работ особое место занимают работы Ф.Г.Рейфа, посвященные исследованию флюидных включений в минералах магматических и гидротермальных пород методами термометрии, криометрии, лазерной спектроскопии, а также использованию методики

инструментального определения содержания H_2O в расплавных включениях. Полученные им ранее данные [8] позволили установить следующее:

металлоносные растворы, формирующие W, Mo, Sn-месторождения главнейших типов, являются дериватами гранитных магм;

промышленные руды этих металлов образуются при кристаллизации и дегазации остаточных очагов высоководных (не менее 6 вес. % H_2O) расплавов, которые формируются в крупных гранитных плутонах с исходным водосодержанием расплава не менее 3 вес. % H_2O .

Дальнейшее развитие это направление получило при геохимическом и термобарогеохимическом изучении гранитов Эльджуртинского массива по разрезу Тырнаузкой глубокой скважины и ее спутников от кровли на глубину 4800 м. В результате этих исследований [9] была фактически подтверждена реальность механизма центростремительной кристаллизации интрузива, предсказанного [10] с помощью количественного моделирования «диффузионного оттеснения» подвижных компонентов от продвигающегося фронта кристаллизации. Выявленная тенденция состоит в том, что по мере погружения фронта кристаллизации от кровли в глубь интрузива температура ликвидуса (T^L), т.е. зарождения фенокристов кварца, понижалась от 895 до 690°C, а концентрация воды в расплаве ($C_{\text{H}_2\text{O}}^L$) увеличивалась от 3,1 % до 9,8 % (табл. 2, рис. 4); флюидное давление при кристаллизации верхней части массива было близко к литостатическому, но после образования кристаллической коры мощностью $\approx 3,5 \text{ км}$ и увеличения $C_{\text{H}_2\text{O}}^L$ до 6—7 % прирост $P_{\text{фл.}}$ начал резко опережать возрастание $P_{\text{лит.}}$ с глубиной. На расстоянии $\approx 4,5 \text{ км}$ от апикали массива намечается смена выявленной тенденции на противоположную (см. рис. 4) и это, видимо, означает, что «точка инверсии» расположена вблизи места встречи нисходящего и восходящего фронтов кристаллизации, оттеснявших воду к центру интрузива. Представляется, что сформировавшаяся в недрах плутона на поздних стадиях его консолидации область высоководного относительно низкотемпературного расплава вполне соответствует понятию «остаточный очаг».

В геохимическом отношении особенность

2. Результаты изучения расплавных включений и сопутствующих флюидных включений (СФВ) в «дефектных ядрах» кварцевых вкрапленников гранитов Эльджуртинского массива по [9]

№ п/п	Номер образцов	Абсолютная отметка, м	Глубина относительно апикали, м	Наличие СФВ	СН ₂ О, мас. %	T _r , °С
1	МБВ-13	+2102	0,4	—	2,6±0, 8(1)	895±9 (64)
2	МВ 5/8	+2102	0,5	—	3,1±0, 6(3)	Н. д.
3	1500/19	+1062	1040	+	3,8±0, 5(5)	825±15 (16)
4	1500/447	+1027	1075	+	Н. д.	Н. д.
5	1/841	- 202	2304	+	4,7±0, 9(3)	
6	1/1179	- 238	2340	+	4,9±1, 1(2)	760±5 (61)
7	1/5634	- 1027	3129	+	5,5±1, 0(3)	740±10 (13)
8	1/6971	- 1321	3423	+	5,8±1, 0(4)	740±10 (35)
9	1/9473	- 1682	3784	+	7,6±1, 7(2)	700±15 (50)
10	1/12445	- 2181	4283	+	4,8±1, 1(2)	Н. д.
				+	7,0±2, 2(1)	720±10 (42)
				+	9,3±2, 9(1)	Н. д.
11	1/13950	- 2428	4530	+	9,8±2, 2(2)	690±5 (73)
12	1/15783	- 2681	4783	+	7,0±2,0,9(6)	720±10 (11)

Примечание. Инструментальное определение содержания воды (СН₂О) в расплавных включениях проводилось по методикам [6, 8]. Н. д. — нет данных; в точке 10 три значения СН₂О получены по трем разным вкрапленникам. В скобках — количество изученных включений; границы доверительного интервала при значениях СН₂О — для 5 %-ного уровня значимости.

гранитов остаточного очага состоит в том, что, по сравнению с породами ранее затвердевшей части массива, они в 1,8 раз обогащены W и Li, в 1,8—5 раз обеднены Ni, Cr, V, Ti, Mn, Mo при мало различающихся содержаниях Rb, Cs, Zr, Sn, Nb, Ag, Co, U, Th. Обращает на себя внимание, что элементы, распределения которых в разрезе массива обнаруживают противоположные тенденции (рис. 5), принципиально различаются величиной коэффициента распределения между кристаллами и расплавом гранитного состава ($K^{S/L}$): для W и Li он значительно меньше единицы; для Ti, Cr и, видимо, Mo — больше.

Таким образом, на поздних стадиях центростремительной кристаллизации описываемого интрузива сформированный в его ядерной части остаточный расплав должен был последовательно обогащаться некогерентными элементами (в т. ч. W, Li) или, иными

словами, в результате саморазвития становиться реальным источником металлоносных растворов. В этом случае при наличии данных о массе конкретного металла, вынесенного из данного источника, можно оценить максимально возможные его запасы и определить, что может являться объектом поисков — отдельная рудная залежь или крупное месторождение.

Так как магматические источники характеризуются высоким водосодержанием и повышенной концентрацией рудных элементов (позднее экстрагированных и удаленных из расплава при его дегазации), то, ориентируясь на среднее остаточное содержание металла в зонах максимального водосодержания и на коэффициент его распределения между флюидом и расплавом, можно рассчитать количество металла, вынесенного из каждой тонны гранита. А зная объем остаточного рудогенерирующего очага, можно оце-

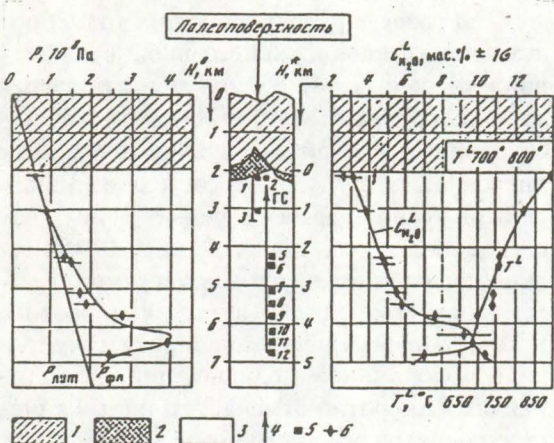


Рис. 4. Температура (T^L), водосодержание расплава (CH_2O) и давление (P) в период окологидридной кристаллизации на разных уровнях массива, по результатам изучения РВ в «дефективных ядрах» фенокристов кварца (по [9]):

1, 2 — эродированная и сохранившаяся части надинтрузивной зоны; 3 — граниты массива; 4 — Тырныаузская ГС и проекция скважины 600; 5 — точка отбора образцов для изучения РВ (их номера соответствуют таковым в таблице и на рис. 4); H^0 — глубина относительно палеоперфорации; H^x — то же относительно апикули массива; на графиках: 6 — измеренные и вычисленные значения параметров с указанием стандартной ошибки определения ($\pm 1\delta$)

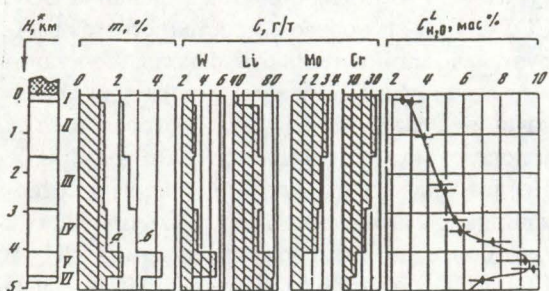


Рис. 5. Сопряженность изменения закрытой (а) и общей (б) пористости (m) гранитов, содержания в них примесных элементов (С) и концентрации воды в расплаве на ликвидусе (CH_2O) с глубиной.

На схематической колонке: H^x — глубина относительно апикули массива; I—VI — зоны преобладания тех или иных разновидностей гранитов

нить и его ресурсы. Например, при содержании вольфрама в остаточном очаге 4,7 г/т (интервал глубин 3,7—4,6 км), коэффициенте распределения его между водно-хлоридным флюидом и гранитным расплавом

около 7 [11] можно принять для расчета, что из каждой тонны гранита флюидом вынесено около 30 г вольфрама. Следовательно, при кристаллизации 1 км³ гранита во флюид перейдет 81 тыс. т вольфрама (102 тыс. т в пересчете на WO_3). Если принять (с учетом не только нисходящего, но и восходящего и бокового оттеснения флюида в ходе кристаллизации) объем остаточного очага 1,5 км³, то с магматическим флюидом должно было поступить около 157 тыс. т вольфрама, что достаточно для образования среднего месторождения. Не связывая эти ресурсы с образованием Тырныаузского вольфрам-молибденового месторождения, можно предположить наличие еще не выявленных руд, возможно, в совершенно других структурах, чем известное месторождение. Подобный расчет можно привести и для молибдена, но, как было показано выше (см. рис. 5), его концентрация в процессе кристаллизации понижалась.

Метаморфогенно-гидротермальный механизм рудогенерации. В качестве контрастных эталонов исследовались два генетических типа золотого оруденения: золото-кварцевый с самородным золотом (Мурунтауское месторождение) и золото-сульфидный с субдисперсным золотом (Кокпатаасское месторождение). Оба месторождения залегают в углеродсодержащих метатерригенных и метатерригенно-вулканогенных толщах («черных сланцах») нижнего палеозоя Центрально-Кызылкумской подзоны Зеравшано-Туркестанской структурно-формационной зоны южного Тянь-Шаня.

Мурунтауское месторождение представляет собой линейный штокверк. Обогащенные золотом участки внутри штокверка распределяются весьма неравномерно: интервалы с промышленными содержаниями разделяются сравнительно безрудными промежутками беспанской свиты и устанавливаются только по данным опробования. Рудные зоны сложены кулисообразно расположенными кварцевыми жилами, окаймленными зонами секущего прожилкового окварцевания, маломощными крутопадающими кварц-сульфидными и сульфидными прожилками, а также согласными и близсогласными кварцевыми прожилками. Самородное золото локализуется главным образом в жилах и прожилках крупно- и среднезернистого кварца и сульфидов в ассоциации с пиритом, арсенопиритом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, сульфидом

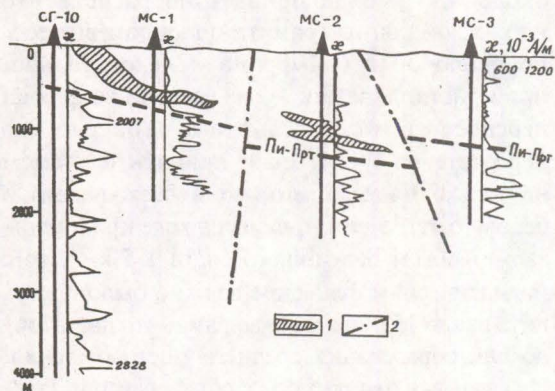


Рис. 6. Схема глубинного строения Ю-В фланга Мурунтауского месторождения по данным глубоких скважин:

1 — золоторудные тела; 2 — тектонические нарушения; $\chi \cdot 10^{-6}$ СГС — каротажные кривые изменения магнитной восприимчивости; Пи-Прт — граница пирит-пирротинового превращения

солями висмута, серебра и др. В кварце оно образует тонкие прожилки, иногда мелкие гнезда, приуроченные к границам кварцевых зерен, обособлений сульфидов, где выполняет тонкие трещины и интерстиции между зернами.

Бурение профиля глубоких скважин — СГ-10 (до глубины 4296 м), МС-1 (1827 м), МС-2 (2217 м), МС-3 (1250 м) позволило изучить сводный глубинный разрез рудного поля с суммарной мощностью более 6000 м (рис. 6).

Ниже приводятся установленные изменения состава рудовмещающих толщ с глубиной:

1. В исследованных толщах сверху вниз происходит смена метаморфических индекс-ассоциаций: хлорит + серицит (0—455 м) → серицит + биотит (455—1700 м) → биотит + мусковит (1700—2500 м) → актинолит + биотит (ниже 2500 м), что обусловлено зональностью прогрессивного плутоногенного метаморфизма, качественная оценка температуры которого может быть выражена соответствующими ступенями — $250^\circ \rightarrow 350^\circ \rightarrow 450^\circ$. Подобные изменения слюдистых минералов свидетельствуют о протекании в процессе метаморфизма реакций дегидратации, вследствие чего во вмещающих породах формируется поровый водно-солевой флюид.

2. В разрезе рудовмещающих толщ происходит изменение акцессорной сульфидной минерализации. В верхней части разреза фиксируются аутигенно-метаморфические пирит и марказит в виде послойных линзовидных выделений, состоящих из агрегатов ксеноморфных зерен. В разных частях рудного поля ниже глубин 400—800 м акцессорный пирит сначала частично, а затем полностью преобразуется в пирротин, который преимущественно присутствует в виде моноклинной модификации. Гексагональный пирротин отмечается лишь в качестве реликтов среди агрегатов моноклинного. Пространственное положение границы пирит-пирротинового (Пи-Прт) превращения совпадает по глубине (см. рис. 6) с положением биотитовой изограды, что свидетельствует о влиянии температурного фактора на это явление при нарастании регионального метаморфизма.

Повышение температуры в первую очередь давало толчок к преобразованию рассеянного органического вещества (РОВ). Этот процесс, в общем виде, заключается в конденсации кислородсодержащих ароматических колец РОВ, при которой происходит потеря функциональных групп и раскрытие ароматических колец. В результате уже при температуре около 200°C начинается выделение CO_2 , CO , CH_4 — в поровом пространстве формируется восстановительный флюид. Восстановительная среда снижает температуру дегидратации серицита, хлорита, которая в этих условиях может начинаться уже при 300°C . Последующее гидратирование кислородсодержащих ароматических колец РОВ приводит к еще более интенсивному выделению CH_4 и CO [1]. Образуется слабокислый ($\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$) восстановительный газово-водный поровый флюид, в который начинает поступать K^+ из разлагающихся слюд. Увеличение концентрации сильных щелочей изменяет свойства флюида на щелочные, при этом происходит восстановление пиритной серы ($\text{S}_2^{-1} \rightarrow \text{S}^{-2}$) и более устойчивым минералом становится пирротин. При низких температурах смесимость воды и газов ограничена, и часть последних удаляется из системы вверх, в область развития низкотемпературных фаций (сера в виде S_2 , H_2S и др.). Таким образом, горизонты выше Пи-Прт перехода

обогащаются сероводородом и могут представлять собой активный геохимический барьер — осадитель халькофильных металлов любого источника и генезиса.

Из расчета реакции Пи-Прт превращения ($\text{FeS}_2 \rightarrow \text{FeS} + \text{S}$) следует, что синтез каждые 100 г пирротина сопровождается выделением 30 г свободной серы. Выполненные для 1 км³ породы расчеты показывают, что при содержании аутигенного пирита в количестве 0,25 %, выделяемой серы недостаточно даже для формирования малосульфидного (около 3 % сульфидов) пирит-арсенопиритового оруденения; для этого требуется $14 \cdot 10^6$ т серы, выделяемой при десульфидизации 1—1,5 % пирита. Образование же богатого сульфидного оруденения (сумма сульфидов более 10 %) требует на порядок больше серы ($205\text{—}210 \cdot 10^6$ т), что может быть обеспечено либо аномальными скоплениями аутигенного пирита (что маловероятно), либо высвобождением серы из больших объемов толщ (при нормальном содержании пирита) и концентрированием ее в малых объемах, например, под экранами (своды антиклинальных складок и т.п.).

Так как локализация богатого золотого оруденения, ассоциирующего с сульфидами, возможна лишь гипсометрически выше границы Пи-Прт превращения, предлагается [5] следующий способ количественной оценки положения нижней границы залегания линейных золоторудных штоков: в полированных шлифах приближенно-количественно определяется суммарное содержание всех сульфидных минералов ($\Sigma_{\text{сфд}}$) и отдельно содержание моноклинного пирротина, затем рассчитывается коэффициент распространенности моноклинного пирротина по формуле $K = \text{Прт}^{\text{м}} / \Sigma_{\text{сфд}}$. Эмпирически установлено, что значение K , равное $0,8 \pm 0,1$, соответствует границе Пи-Прт перехода, тогда как для развитых выше промышленных рудных залежей этот коэффициент не превышает 0,01—0,25.

Эффективность этого способа демонстрируется на рис. 6, из которого видно, что все промышленные золоторудные тела расположены выше границы Пи-Прт превращения, при этом последняя отчетливо фиксируется на каротажных кривых скачкообразным увеличением значений магнитной восприимчивости.

Руды золото-сульфидного Кокпатасского месторождения сконцентрированы в линзо-

видных полого- и крутопадающих прожилково-метасоматических телах, локализующихся (в подавляющем большинстве) в породах карашахской свиты и контролируемых разрывными нарушениями (рис. 7, а, б). Сульфидные залежи характеризуются сходством минерального состава: главные рудные минералы — пирит и арсенопирит, при соотношении 2 : 1; общее количество сульфидов колеблется от 1—1,5 до 14—15 %. Околорудные изменения представлены преимущественно кварцем, серицитом и карбонатами. Концентраторами золота являются пирит и арсенопирит. По масштабам проявления и промышленным содержаниям ведущим типом руд является прожилково-вкрапленный пирит-арсенопиритовый с субдисперсным золотом. Максимальные содержания золота в рудах достигают 30 г/т, рядовые содержания около 1 г/т.

При минералого-геохимическом исследовании нами, по данным изучения глубоких (до 722 м) скважин, была выделена маркирующая пачка вулканомиктовых метапесчаников и метатUFFитов, мощность которой варьирует от 400 до 600 м (см. рис. 7, а). К этой пачке приурочены промышленные золоторудные залежи (см. рис. 7, в). Типоморфным геохимическим признаком выделенной пачки является повышенное содержание титана — 0,4—0,5 % (в перекрывающей и подстилающей пачках сланцевых пород ($\text{Ti} = 0,2 \%$)).

Реконструкция природы титановой аномалии показала, что повышенные содержания этого элемента обусловлены присутствием в породах большого количества (до 20 об. % и более) оксидов титана (рутила и анатаза), имеющих либо метаморфическое, либо реликтивно-обломочное происхождение. При этом наибольший интерес представляют решетчатые выделения рутила, оставшиеся после выщелачивания железа из обломочных зерен со структурой распада твердого раствора ильменит + магнетит (явление деферритизации). Микроскопические наблюдения в участках с наложенной золото-сульфидной минерализацией свидетельствуют, что вокруг этих решетчатых обособлений и непосредственно в их ячейках кристаллизуются новообразованные пирит и, иногда, моноклинный пирротин. Подобное явление «пиритизация магнетита» ранее было описано П.Рамдором на примере

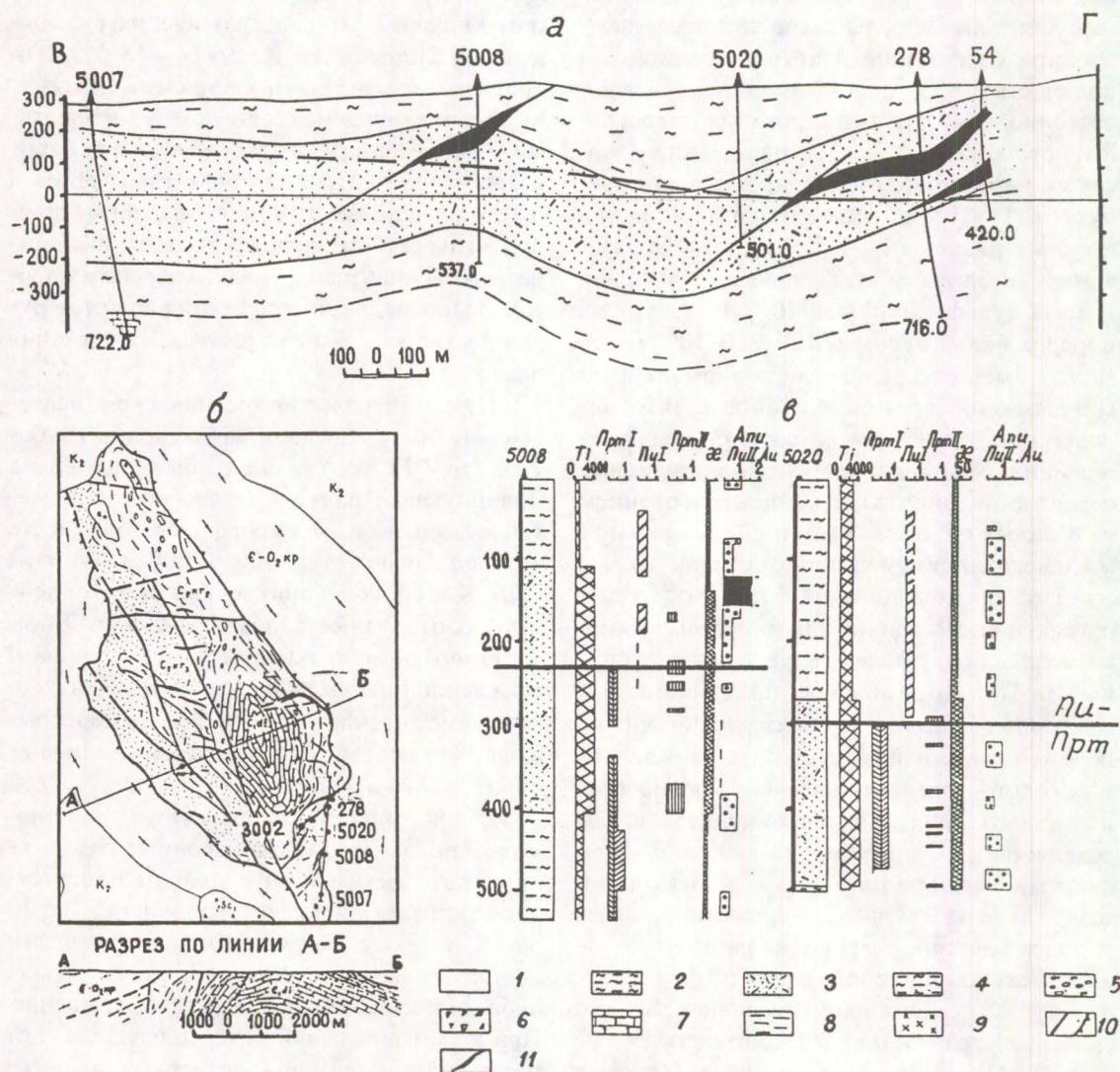
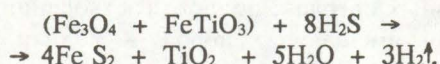


Рис.7. Геологический разрез (а), схематическая геологическая карта (б) и глубинное строение (в) Ю-В фланга Кокпатасского месторождения:

1 — глины и песчаники, К₂; 2—5 — отложения карашахской свиты, С₂: 2 — метапелиты и метаалевролиты с прослоями кремней, доломитов, туфов, 3 — метапесчаники, в т.ч. вулканомиктовые, 4 — углеродсодержащие метапелиты с прослоями метапесчаников, 5 — метаконгломераты с прослоями туфов и углеродсодержащих метапелитов; 6 — конгломераты и гравелиты лайгакской свиты, С₁; 7 — доломиты и мрамора джускудукской свиты, С₁; 8 — кремнистые породы с прослоями углеродсодержащих метапелитов кокпатасской свиты, С-О₂; 9 — граниты, гранодиориты, С₃; 10 — разрывные нарушения; 11 — рудные тела; Пи — пирит, Прт — пирротин, Али — арсенопирит, φ — магнитная восприимчивость (10⁻⁶ СГС)

Подобное явление «пиритизация магнетита» ранее было описано П.Рамдором на примере золотоносных россыпей Витватерсранда [7]. Это, а также более молодой возраст золотого оруденения в Центрально-Кызылкумском регионе (220—240 млн л) относительно возраста метаморфизма вмещающих толщ (400 млн л), позволяет предположить, что процесс деферритизации происходил в период тектоно-магматической активизации при воздействии на углеродсодержащие осадочно-метаморфические толщи аллогенных гидротрем. Следовательно, пачка вулканомиктовых метапесчаников, содержащая повышенное количество ильменомagnetита, являлась источником железа для образования сульфидных залежей.

Процесс деферритизации можно представить схематической реакцией:



На основе этой реакции была проведена количественная оценка прогнозных ресурсов железа в рудолокализирующей титансодержащей пачке юго-восточного фланга Кокпатаасского месторождения. Для расчета был принят рудный блок объемом 0,9 км³ (площадь 2,9 м², мощность 300 м). При среднем содержании титана в породах этого блока (0,4 вес. %) количество его в данном объеме составляет 9,6 млн т. Если предположить, что все это количество титана входило в состав только ильменомagnetита, то при 5 %-ном содержании титана в ильменомagnetите ресурсы железа должны быть равными 129 млн т. Чтобы проверить, достаточно ли этого количества для образования сульфидных руд, рассчитаем, сколько требуется сульфидного железа, например, для золото-сульфидного месторождения с запасами 100 т. При среднем содержании золота в руде 3 г/т и средних содержа-

ниях золотоконцентрирующих пирита и арсениопирита (10 и 6 об. % соответственно) требуемое количество железа должно быть не менее 4 млн т.

Таким образом, для образования золото-сульфидных руд Кокпатаасского месторождения вполне достаточно даже 1/8 части от расчетного количества железа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 93—05—9917).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галимов Э.М. Источники и механизмы образования углеводородных газов в осадочных породах // Геохимия. 1989. № 2. С. 163—180.
2. Костицын Ю.А. Rb-Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. 1. Датирование рудных жил изохронным методом // Геохимия. 1993. № 3. С. 1308—1309.
3. Кременецкий А.А. Новый геолого-промышленный тип редкометалльных россыпей // Разведка и охрана недр. 1993. № 3. С. 15—19.
4. Кременецкий А.А., Лапидус А.В., Скрыбин В.Ю. Геолого-геохимические методы глубинного прогноза полезных ископаемых. — М.: Наука, 1990.
5. Кременецкий А.А., Щербачев Д.К. и др. Патент № 1811752 Способ геохимической разведки. — М., 1990.
6. Наумов В.Б. Определение концентрации и давления летучих компонентов в магматических расплавах // Геохимия. 1979. № 7. С. 997—1007.
7. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. — М.: Иностранная литература. 1962.
8. Рейф Ф.Г. Рудообразующий потенциал гранитов и условия его реализации. — М.: Наука, 1990.
9. Рейф Ф.Г., Кременецкий А.А., Удод Н.И. Об остаточном очаге Эльджуртинского гранитного массива, вскрытом Тырнаузской глубокой скважиной // Геохимия. 1993. № 3. С. 332—342.
10. Шапаров В.Н., Черепанов А.Н. Динамика дифференциации магм. — Новосибирск: Наука, 1986.
11. Manning D.A.C., Henderson P. The behaviour of tungsten in granitic meltvapour system. — Ibid. 1984. Vol. 86. № 3. P. 286—293.

Kremenetskiy A. A.

A QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE PROGNOSTIC METAL RESOURCES GENERATED BY DEEP SEATED ORE-FORMING SYSTEMS

Mechanisms of authigene-metamorphic, metamorphogene-hydrothermal and magmatogene oreogenesis are considered. Methods of the quantitative evaluation of the prognostic TR, W, Au, Ag a.o. resources are proposed on the basis of these mechanisms.

УДК 550.42

МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ОРЕОЛОВ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В БЛИЖНЕМ ОКОЛОЖИЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

М. В. БОРИСОВ, Ю. С. ГОРЕВА (МГУ)

Проведены новые геохимические исследования первичных ореолов на Pb-Zn жильном месторождении Холст Садонского рудного поля. Выделены три типа распределений металлов в ближнем околожильном пространстве крутопадающих рудных тел. Построены на ЭВМ равновесно-динамические модели гидротермального процесса в областях мобилизации рудных компонентов, образования жил выполнения и формирования первичных ореолов. Моделирование выполнено при температурах 100—370°С и давлении 1 кбар в системе «гранит-флюид».

Первичные ореолы рудных месторождений содержат в себе полную информацию о процессах, которые происходили в гидротермальной системе на различных этапах ее функционирования. Существующие методы исследования первичных ореолов позволяют получить только часть данных, «записанных» в них. Обычно они направлены на решение чисто практических задач поисковой геохимии и редко могут быть использованы для разработки генетических проблем. В работе предлагается новый подход к реконструкции условий и механизмов образования рудных тел и первичных ореолов жильных гидротермальных месторождений. Он основан на сочетании детального геохимического исследования структур первичных ореолов и термодинамического моделирования на ЭВМ процессов, происходящих в изучаемой гидротермальной системе.

Наши недавние исследования моделей уранового рудообразования [1, 2] показали, что при инфильтрационном кислотном выщелачивании пород происходит существенное перераспределение рудных элементов, содержащихся в них в кларковых количествах, а ореолы имеют сложную структуру. Термодинамическое моделирование проводилось при 150°С в системе «липарит — фильтрующий через него безрудный раствор». Структура ореолов в этих моделях зависит главным образом от состава исходного гидротермального флюида. Расчетами

установлено несколько областей перераспределения урана и свинца пород в околожильных ореолах: полного растворения металлов вмещающих пород — вблизи трещинного канала; надфоновых концентраций или вкрапленных руд (переотложение в твердую фазу); ненарушенных фоновых содержаний в неизменной породе.

Эти модельные представления были перенесены на месторождения, где процессы рудообразования проходили при более высоких температурах и давлениях, возможно, в термобарогradientных условиях, при участии рудоносных, а не безрудных исходных растворов. В качестве объекта исследования было выбрано жильное свинцово-цинковое месторождение Холст Садонского рудного пояса, большинство крутопадающих жил которого расположено в пределах гранитов среднего палеозоя. Первичные ореолы месторождения изучались неоднократно [5, 6], их линейные размеры редко превышают первые 10 м. Однако отсутствие необходимой степени детальности при изучении ореолов поставило перед нами задачу проведения новых геохимических исследований для выявления закономерностей распределения элементов в ближнем околожильном пространстве, где можно с уверенностью предполагать максимальный эффект химического взаимодействия неравновесных между собой вмещающих гранитов и исходного гидротермального флюида.

Геохимические данные и задачи моделирования. Методика детального исследования структуры первичных ореолов состояла

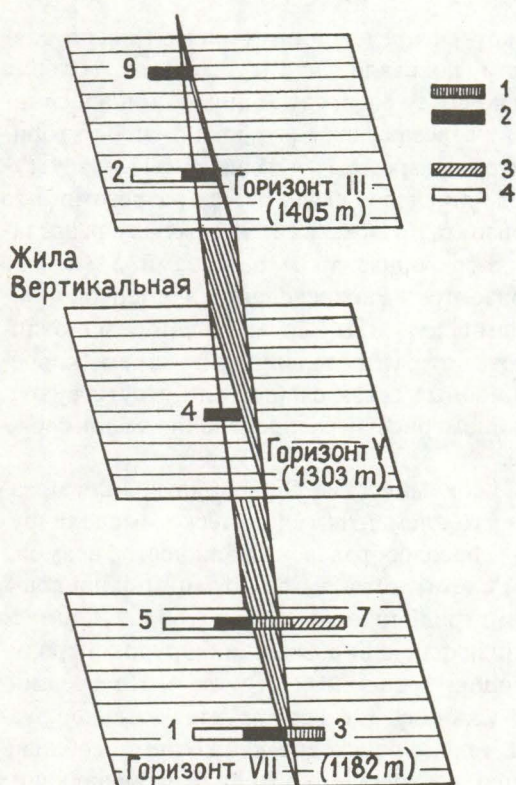


Рис.1. Схема расположения разрезов (жила Вертикальная, месторождение Холст).

Интервалы сплошного опробования: 1 — висячий бок, 2 — лежащий бок. Интервалы опробования методом пунктирной борозды: 3 — висячий бок, 4 — лежащий бок. Цифры около линий — полевые номера разрезов. Цифры в скобках — абсолютная высота горизонта над уровнем моря

в сплошном отборе ориентированных монокристаллов вмещающих гранитов с последующим разделением их на отдельные пробы — длина разреза 2—3 м, шаг опробования 2—5 см. В настоящее время мы располагаем данными анализов по девяти разрезам на трех гипсометрических уровнях для рудных тел, т.е. более 650 анализов на рудные и сопутствующие элементы и более 250 шлифов. Часть разрезов на интервале 2—20 м опробованы методом пунктирной борозды. В первый круг обработки включены данные по трем элементам — Pb, Zn, Cu, т.е. всего 27 выборок. На рис.1 приведена схема расположения разрезов для одного из рудных тел: жилы Вертикальной (7 разрезов из 9).

Исследование закономерностей распределения металлов в околожильном про-

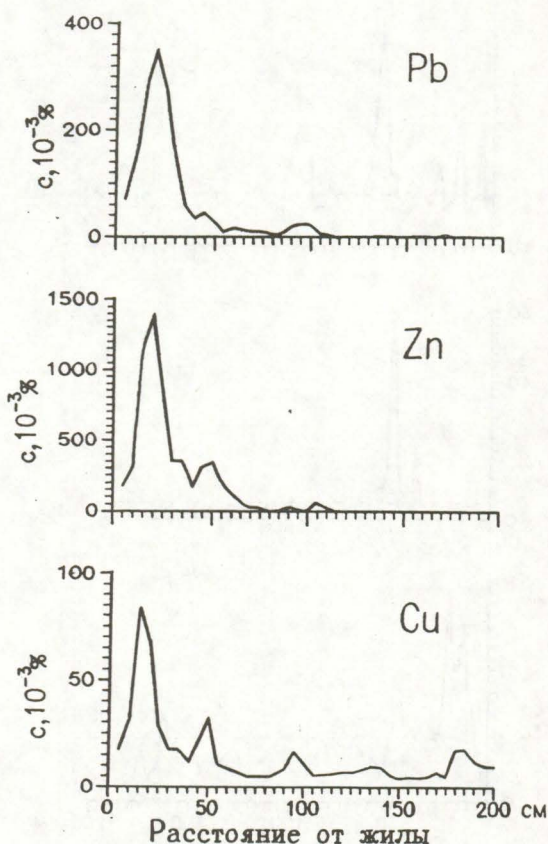


Рис.2. Распределение рудных элементов на интервале сплошного опробования, разрез 4 (исходные дискретизированные содержания, шаг 5 см).

Плотность опробования: 35 проб на 2 м (первая точка на графике отвечает интервалу 0—5 см)

странстве крутопадающих свинцово-цинковых рудных тел показало, что существует несколько различных типов распределений

1. «Классическое» — близкое к экспоненциальному — с понижением содержаний от жильного тела в глубь вмещающих гранитов (можно отнести 2 выборки из 27).

2. Распределение второго типа (рис.2) характеризуется низкими содержаниями вблизи жильного тела и образованием интервалов обогащения вплоть до вкрапленного оруденения (до п %) на расстоянии 20—30 см от жилы. Установлено, что вне зависимости от преобладающего рудного элемента в жилах, в примыкающих ореолах соотношение содержаний металлов в главных максимумах постоянно: $Zn > Pb > Cu$. К этому типу можно отнести 12 выборок из 27. Степень метасоматического преобразования гранитов в таких разрезах максималь-

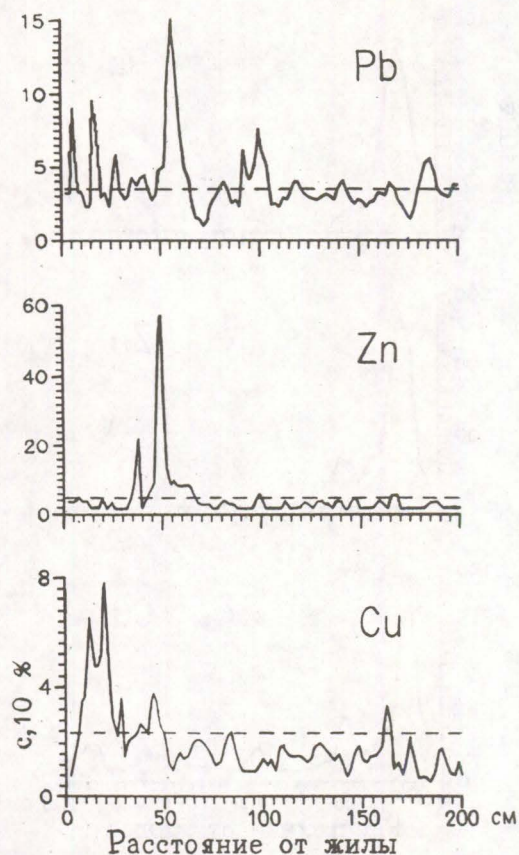


Рис.3. Распределение рудных элементов на интервале сплошного опробования, разрез 2 (исходные дискретизированные содержания, шаг 2 см).

Плотность опробования: 103 пробы на 2 м. Пунктиром показан уровень фоновых содержаний: Pb - 0,003, Zn - 0,004, Cu — 0,002 %

на — окварцевание, карбонатизация, серицитизация.

3. На рис.3 приведена наиболее яркая иллюстрация распределения третьего типа (9 выборки из 27), которое характеризуется содержаниями на уровне фоновых вблизи жильного тела (концентрация Zn в жиле, примыкающей к разрезу 2, достигает 11 %) и слабыми максимумами рудных элементов до $n \cdot 10^{-3}$ — $n \cdot 10^{-2}$ % на расстоянии до 60 см от жилы. В распределениях этого типа установлено разделение в пространстве максимумов содержаний элементов, которое совпадает с характерным для вертикальной зональности: Cu-Zn-Pb (положение максимумов хорошо видно на рис.3). Степень метасоматического преобразования гранитов в таких разрезах минимальна (хлоритизация, серицитизация).

Исследование корреляционных связей

между распределениями элементов по разрезам показало, что существует сильная связь между распределениями цинка и свинца в разрезах лежачего бока 5- и 7-го горизонтов (разрезы 1, 4, 5 на рис.1). Отсутствует или слабая связь между разрезами 3-го горизонта (разрезы 2 и 9) и между разрезами 3-го горизонта и разрезами 5- и 7-го горизонтов. Распределения элементов в ви-сячем боку жилы Вертикальной резко отличаются от распределений в лежачем (корреляционные связи слабые или отсутствуют). Закономерности распределения меди сложнее.

Геохимические данные позволили предложить элементы генетической модели рудо- и ореолообразования в качестве возможной схемы потоков фильтрации флюидов в термоградиентных полях, образующихся вблизи флюидопроводящих и рудоконтролирующих трещинных структур. По трещинному каналу, где формируется жильное рудное тело, происходит движение преобладающего восходящего потока рудообразующих растворов. Частичное растекание потоков растворов возможно на уровне 5- и 7-го горизонтов, т.е. там, где преобладают ореолы второго типа. Частичное стягивание потоков возможно на уровне 3-го горизонта, где преобладают ореолы третьего типа. В корневых частях рудообразующей системы, вероятно, происходила мобилизация рудных компонентов при реакции первичных гидротермальных растворов и гранитов. Таким образом выделены четыре взаимосвязанных элемента гидротермальной системы, для которых было проведено термодинамическое моделирование на ЭВМ: 1) область мобилизации — наиболее высокотемпературная (корневая) часть системы (в моделях 370°C и 1 кбар); 2) образование жил выполнения при восходящем движении рудоносного раствора с понижением температуры; 3) развитие вкрапленного оруденения (ореолов второго типа) в зонах возможного растекания части флюидов; 4) формирование ореолов третьего типа в зонах возможного стягивания потоков из вмещающих пород к трещинному каналу.

Причины возникновения интервалов растекания и стягивания потоков гидротермальных растворов разнообразны: изменение проницаемости трещинного канала, из-

менение проницаемости вмещающих пород, изменение геометрии трещинного канала и др. [3].

Для каждого типа ореола предложены возможные механизмы их формирования:

ореолы первого типа («классические») — за счет диффузионного или инфильтрационного обмена между рудоносными растворами и гранитом;

ореолы второго типа — преобразование ореолов первого типа при взаимодействии с потоком флюидов из трещинного канала в граниты. Взаимодействие осуществляется на фронте понижения температуры: от максимальной (растворы в трещинном канале) до температуры вмещающих пород. Происходит частичное или полное растворение и переотложение металлов в ореоле, вплоть до образования вкрапленных руд. Породы при этом должны изменяться достаточно сильно (реакция неравновесных растворов и пород);

ореолы третьего типа — разрушение ореолов первого типа за счет взаимодействия с потоком флюидов из вмещающих пород к трещинному каналу.

Разделение максимумов элементов на температурном барьере и вынос металлов в трещинный канал происходит на фронте повышения температуры: от вмещающих пород до растворов в трещинном канале. Растворы стягивающегося потока уравниваются по макрокомпонентам гранита, поэтому породы изменяются незначительно.

Результаты термодинамического моделирования и их обсуждение. Термодинамические расчеты выполнены по программе GBFLOW, в основу алгоритма которой положен принцип минимизации свободной энергии системы и метод многоволновых ступенчатых проточных реакторов (разработка кафедры геохимии МГУ для IBM PC, авторы Ю.В.Шваров, М.Ю.Коротаев, Д.В.Гричук). Система «гранит - флюид» описана 15 независимыми компонентами: H, O, K, Na, Ca, Mg, Al, Si, Fe, C, Cl, S, Zn, Pb, Cu. Модель водного флюида включает 82 частицы, в том числе 26 частиц для рудных элементов (Cu^+ , CuOH^0 , $\text{Cu}(\text{HS})_2^-$, $\text{Cu}(\text{HS})_2\text{H}_2\text{S}^-$, CuOHCl^- , CuCl^0 , CuCl_2^- , CuCl_3^{--} , Cu^{++} , Zn^{++} , ZnOH^+ , $\text{Zn}(\text{OH})_2^0$, ZnHCO_3^+ , $\text{Zn}(\text{HS})_2^0$, ZnCl^+ , ZnCl_2^0 , ZnCl_3^- , ZnCl_4^{--} , ZnSO_4^0 , Pb^{++} , PbOH^+ , $\text{Pb}(\text{HS})_2^0$, PbCl^+ ,

PbCl_2^0 , PbCl_3^- , PbCl_4^{--}). В число возможных твердых фаз включены 54 минерала (главные породообразующие, метасоматические и рудные). Термодинамические данные рассчитаны при использовании базы данных UNITHERM (кафедра геохимии МГУ — Ю.В.Шваров, М.В.Борисов, Д.В.Гричук) для температур 100 — 370°C и давления 1 кбар. По данным Е.М.Некрасова [7], предполагаемая глубина формирования месторождения соответствует 2,5—3,0 км. Поэтому давление 1 кбар можно принять как близкое к литостатическому, а температуру 100°C как температуру вмещающих гранитов (при градиенте 30—35°C/км). За максимальную принята в расчетах температура 370°C, превышающая высшую температуру рудной стадии (по данным Ю.В.Ляхова, К.Н.Поздеева и др., 1983). Состав неизмененного гранита и возможное соотношение макрокомпонентов в первичном гидротермальном растворе взяты по данным Я.Д.Гатмана и В.М.Малаховой (1966), Ю.В.Ляхова, К.Н.Поздеева и др. (1983). За первичный гидротермальный раствор принят раствор углекисло-хлоридного состава с концентрацией NaCl до 1 моль/1000 г H_2O .

Результаты моделирования состава исходного рудоносного раствора, т.е. насыщение первичного углекисло-хлоридного флюида по гранитам в корневых частях гидротермальной системы, показаны на рис. 4 (приведены данные только по содержаниям рудных элементов и сульфидной серы в равновесном растворе). Установлено, что при увеличении массы породы в реакторе происходит рост концентрации металлов во флюиде (отвечает полному переходу элементов в раствор), а затем резкое понижение, отвечающее концентрациям металлов в равновесии с галенитом, халькопиритом или борнитом, сфалеритом и минералами измененных гранитов (кварц, микроклин, альбит, мусковит, Fe-Mg хлорит, эпидот и т.д.). Для дальнейших расчетов — формирование жил выполнения и ореолов — взяты составы растворов, отвечающие dw6 и dw7 на рис. 4. Из рис. 4 видно, что система «гранит-раствор» при 370°C и 1 кбар может являться потенциальным источником рудных компонентов и сульфидной серы для исходного флюида в данной гидротермальной системе. Содержания металлов зависят

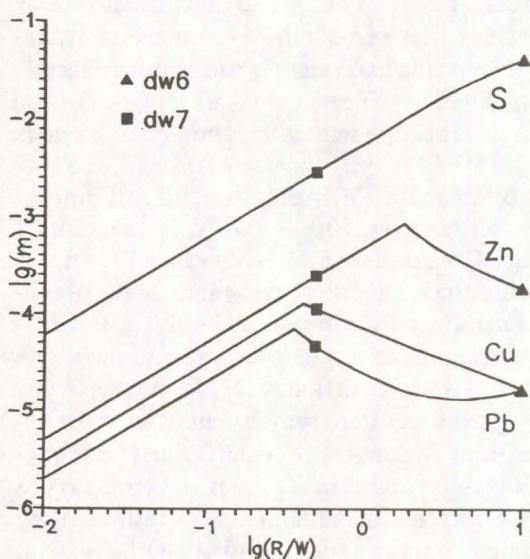


Рис.4. Изменение концентраций рудных элементов и сульфидной серы в зависимости от изменения отношения породы/вода в системе «гранит — первичный раствор»

$t = 370^\circ\text{C}$, $P = 1$ кбар, состав первичного раствора: $\text{H}_2\text{CO}_3 = 0,5 \text{ м}$; $\text{NaCl} = 1 \text{ м}$; $\text{HCl} = 0,1 \text{ м}$. Ось ординат — логарифм суммарной концентрации компонента в равновесном растворе (концентрация, моль/1000 г H_2O). Ось абсцисс — логарифм отношения породы/вода (R/W). Концентрации компонентов в растворах, исходных для расчетов по моделям dw6 и dw7

от концентрации хлоридов в реагирующем флюиде и от количества сульфидной серы в исходном граните и могут достигать 10^{-3} — 10^{-4} молей/1000 г H_2O . Установленная зависимость концентраций рудных элементов от соотношений масс реагирующих породы и раствора (R/W) может характеризовать эволюцию составов растворов, исходных для системы. Так, постепенное возрастание R/W может отвечать все большему вовлечению массы породы в реакцию выщелачивания с течением времени и соответственно прохождению через максимум концентраций рудных элементов в растворе.

Охлаждение исходного рудоносного флюида, имитирующее восходящее движение по трещинному каналу, приводит в наших моделях к образованию жил выполнения. Результаты расчетов для моделей dw6 и dw7 приведены в табл. 1. Основным минералом является кварц (до 99 %). Содержания сфалерита достигают 7,42, галенита

1,93, минералов меди 1,25 %. Вверх по разрезу (в сторону уменьшения температуры) отношение Pb/Zn возрастает, что характерно для рудных тел месторождения. Температуры начала кристаллизации рудных минералов, их количественные соотношения в жильной ассоциации определяются составом исходного гидротермального флюида (главным образом концентрацией сульфидной серы). Так, при 370°C и 1 кбар раствор модели dw7 имеет более высокие концентрации Zn , Pb , Cu ($2,5 \cdot 10^{-4}$, $4,65 \cdot 10^{-5}$, $1,15 \cdot 10^{-4}$), чем раствор модели dw6 ($1,9 \cdot 10^{-4}$, $1,66 \cdot 10^{-5}$, $1,71 \cdot 10^{-5}$), но на порядок меньшую концентрацию сульфидной серы ($2,92 \cdot 10^{-3}$ против $4,11 \cdot 10^{-2}$). Это различие приводит к образованию в модели dw7 борнита, а не халькопирита; началу отложения сфалерита и галенита при более низких температурах.

Растекание части рудоносных растворов в стороны от трещинного канала и их фильтрация во вмещающих гранитах представлены в наших моделях последовательностью ступенчатых проточных реакторов. Масса породы во всех реакторах равна 100 г. Раствор, уравновешенный при 350°C с минералами жилы выполнения, вступает в реакцию с гранитом в первом реакторе. В результате получаем измененную породу и раствор, который переходит во второй реактор, и т.д. Вторая, третья и следующие порции растворов из трещинного канала реагируют уже не с гранитом, а с измененной породой. Фильтрация происходит на фоне понижения температуры. В моделях заложено существование высокотемпературного плато в области, примыкающей к трещинному каналу, которое может возникать за счет конвективного теплообмена (первые три реактора имеют температуру 350°C) [4]. На рис. 5 и рис. 6 (для свинца, меди) показано, что образуются два максимума концентрирования металлов: первый — на контакте с жилой (кислотно-основной барьер), второй — на фронте понижения температуры (температурный барьер). Второй максимум значительно меньше. Такой характер распределения достаточно типичен для месторождения (цинк — разрез 1, жила Вертикальная; цинк и свинец — жила Луарская-5). При низких скоростях фильтрации (в моделях — аналогично отсутствию высокотемпературного

1. Количество сфалерита, галенита и халькопирита (вес. %), осажженных при охлаждении раствора:

Номер реактора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура, °C	350	340	330	320	310	300	290	280	250	200	150	100
Модель dw6												
ZnS	2,67	2,26	2,05	1,87	1,69	1,55	1,04	1,02	0,98	0,74	0,47	0,48
PbS	0,08	0,10	0,12	0,14	0,17	0,21	0,19	0,24	0,34	0,54	0,64	0,48
Cu ₅ FeS ₂	0,48	0,32	0,29	0,27	0,27	0,28	0,24	0,24	0,24	0,16	0,05	0,01
Модель dw7												
ZnS	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,24	7,42	2,57
PbS	—	—	0,02	0,31	0,51	0,72	0,57	0,85	1,46	1,74	1,93	0,75
Cu ₅ FeS ₂	1,25	1,14	1,13	1,14	1,16	1,18	0,91	0,97	1,04	0,77	0,37	0,15

плато) второй максимум вплотную приблизится к первому и получим распределение металлов классического типа. Интенсивности первого и второго максимумов определяются длительностью существования режима растекания (в моделях — числом «волн» рудоносных растворов, прошедших через реакторы — на рис. 6 сравнение первой и десятой волн).

Эволюция составов растворов в пределах рудогенерирующей части гидротермальной системы может привести к образованию безрудных или малонасыщенных рудными элементами исходных растворов (взаимодействие с измененными гранитами). Такие растворы при фильтрации будут изменять ореолы, сформированные рудоносными растворами (рис. 5). Разрушается максимум вблизи жилы, и рудное вещество переотлагается на интервале второго максимума. Если этот процесс идет достаточно долго (20 и 30 волны в модели dw6 на рис. 5), то первый максимум разрушается полностью, а на месте второго могут образовываться вкрапленные руды. Такой же эффект может дать фильтрация рудоносного раствора, если не достигается насыщение по основному рудному минералу (сфалерит или ореол цинка в модели dw7, рис. 6). Следует отметить, что на данной стадии исследований не удалось получить в моделях интенсивное окварцевание вмещающих пород, хотя развитие кварц-серицит-полевошпатового метасоматоза фиксируется.

Моделирование взаимодействия гранита со стягивающимся к трещинному каналу потоком растворов проведено в системе ступенчатых проточных реакторов (масса породы в каждом равна 1 кг) при увеличении температуры от 100 до 350°C. За исходный для этой модели принят раствор последнего реактора моделей растекания. Установлено, что при высоких температурах (от 200–250 до 350°C) происходит растворение рудного вещества и вынос его в трещинный канал. Если такой процесс осуществляется на фоне ранее сформированных ореолов металлов (например, ореолы первого типа), то происходит их разрушение и разделение максимумов металлов в пространстве. Наши модели показали вероятность протекания такого процесса. Степень изменения гранитов (при прохождении 20–30 «волн» растворов) незначительна.

Представленные в статье результаты моделирования не являются окончательными. Важно, что удалось показать принципиальную возможность формирования рудоносных растворов в корневых частях гидротермальной системы, предложить механизмы и подтвердить их работоспособность для описания процессов образования первичных ореолов трех типов.

Авторы выражают глубокую благодарность за помощь в проведении данного исследования доценту кафедры геохимии МГУ С.А. Воробьеву. Работа выполнялась при финансовой поддержке проекта «Геомо-

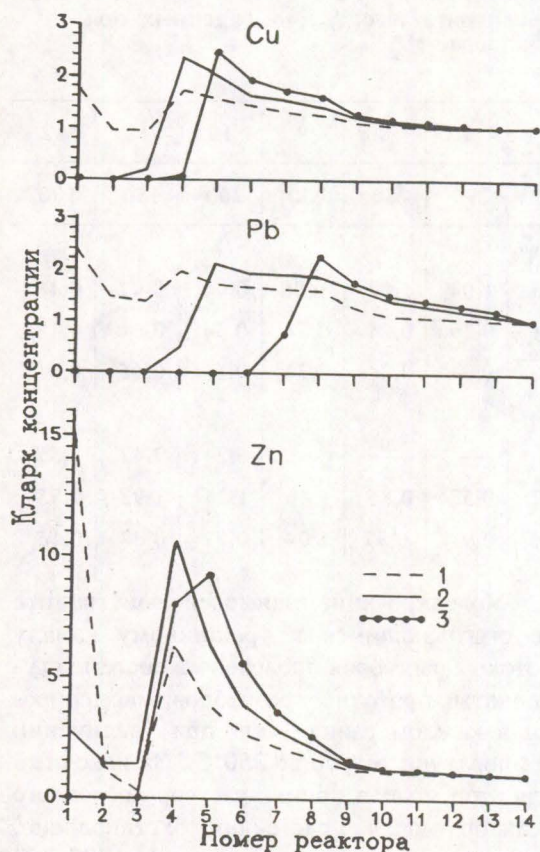


Рис.5. Структура ореола, формирующегося при взаимодействии рудоносного и безрудного растворов с гранитом — модель dw6.

Ось ординат — кларки концентрации (отношение содержаний металлов в измененной породе к кларковому, принятым за единицу). Ось абсцисс — номера ступенчатых реакторов модели. Температура реакторов уменьшается от 1 к 14: 1 — 350°C, 2 — 350°C, 3 — 350°C, 4 — 340°C, 5 — 330°C, 6 — 320°C, 7 — 310°C, 8 — 300°C, 9 — 290°C, 10 — 280°C, 11 — 250°C, 12 — 200°C, 13 — 150°C, 14 — 100°C. «Волны» потоков растворов: 1 — результат по 10-й волне рудоносного раствора, 2 — результат по 20-й волне (раствор безрудный), 3 — результат по 30-й волне (раствор безрудный)

дель» программы «Университеты России» и гранта 93-05-9256 Российского фонда фундаментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсуков В.Л., Борисов М.В. Поведение рудных элементов при автосмешении гидротермальных растворов. I.ЭВМ-модель формирования уран-свинцовых рудных жил за счет металлов вмещающих пород // Геохимия. 1988. № 10. С. 1429-1446.
2. Барсуков В.Л., Борисов М.В. Поведение рудных

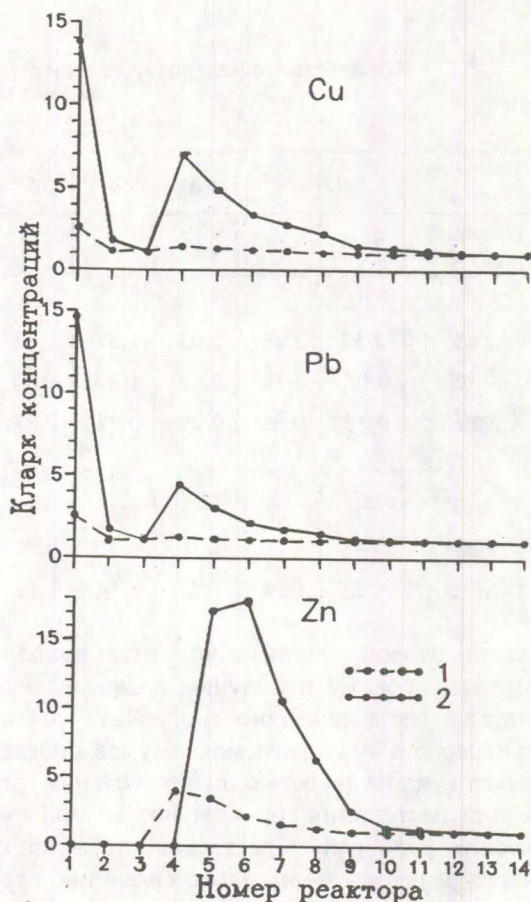


Рис.6. Структура ореола, формирующегося при взаимодействии рудоносного раствора с гранитом — модель dw7.

«Волны» потоков растворов: 1 — результат по 1-й волне, 2 — результат по 10-й волне

элементов при автосмешении гидротермальных растворов. III. Перераспределение U и Pb пород поровой составляющей растворов // Геохимия. 1990. № 4. С. 545-557.

3. Геологическая среда и структурные условия гидротермального рудообразования/ Ю.Г.Сафонов, А.А.Пэк, Л.И.Лукин, Е.П.Малиновский. — М.: Наука, 1982.
4. Голубев В.С., Шарапов В.Н. Динамика эндогенного рудообразования. — М.: Недра, 1974.
5. Куйкин С.С. Первичные ореолы рассеяния элементов садонских полиметаллических месторождений. Автореф. дис. канд. геол.-минер. наук. — М., 1966.
6. Методические основы прогноза и поисков свинцово-цинковых месторождений/ Д.И.Горжецкий, Н.К.Курбанов, Е.Н.Филатов, Г.В.Ручкин. — М.: Недра, 1987.
7. Некрасов Е.М. Структурные условия локализации жильных свинцово-цинковых месторождений. — М.: Недра, 1980.

Borisov M. V., Goreva Yu. S.

FORMATION MODELS OF DISPERSION HALOES OF ORE-FORMING ELEMENTS IN NEAR VEIN WALL ROCKS OF PB-ZN DEPOSITS

Geochemical reinvestigation of primary dispersion haloes on the Pb-Zn Holst deposit in the Sadon ore field have been made. Three metal distribution types are distinguished in wall rocks near the steep dipping ore bodies. Computer technique is used to create the equilibrium-dynamic models of hydrothermal process in ore components mobilization areas, of the infilling veins making and of the primary haloes formation. The modelling is accomplished in the system «granite - fluid» within the range 100 - 370°C at pressure 1 kilobar.

УДК 552.57:550.42

БАЛАНС МАСС ЗОЛОТА И СОПУТСТВУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СУЛЬФИДНО-ВКРАПЛЕННЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУМТОР (ВОСТОЧНАЯ КИРГИЗИЯ)

Н. П. ЕРМОЛАЕВ, А. В. НИКИФОРОВ, В. Л. ХОРОШИЛОВ (ИЛСАН)

Рассмотрен баланс вещества для системы «порода — рудная зона» в черных сланцах месторождения Кумтор. Рассчитан объем породы, который при окварцевании освобождает количество золота, необходимое для образования этого месторождения. Показана возможность формирования рудного флюида при метазенезе пород и его разгрузки в конкретной геологической структуре. Результаты органического анализа битуминозных сланцев позволяют оценить реальные мощности пород, участвующих в рудообразовании. Установлено, что геометрия блока таких сланцев соответствует параметрам месторождения.

Месторождение Кумтор, залегающее в терригенно-углеродистых сланцах венда, относится к объектам спорного генезиса. Крайние точки зрения, предполагающие источник вещества ювенильным, принадлежат, с одной стороны, ЦНИГРИ и ГЕОХИ РАН. С другой стороны, Фрунзенский политехнический институт (Бишкекская техническая академия) и Институт литосферы РАН приводят данные в пользу заимствования ценных компонентов на месте залегания руд. Ниже рассматривается материал по минералого-геохимическим балансам пород и руд этого месторождения с установлением количественных зависимостей между массами элементов, извлеченных из породы, и мас-

сами рудного вещества, сконцентрированного в метасоматитах.

Геологическая позиция и структура рудного поля Кумтор изучались коллективами ЦНИГРИ (В.Г.Дзялошинский) и Фрунзенского ПТИ (У.Асаналиев). Это протяженное оруденение, контролируемое системой продольных нарушений в толще черных сланцев венда, развитых на периферии жесткого кристаллического массива рифейских вулканитов и метаморфитов (рис. 1). Контакты терригенно-углеродистых пород с подстилающими рифейскими и перекрывающими палеозойскими толщами — тектонические, по надвигам.

Особое внимание следует обратить на существование двух морфологических типов руд: субпластовых (по мнению отдельных исследователей, соскладчатых) метасомати-

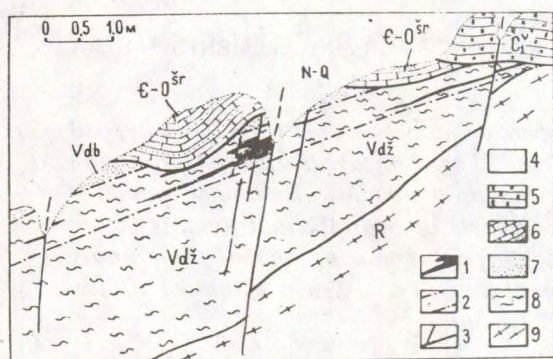


Рис. 1. Принципиальная схема геологического строения центральной части месторождения Кумтор (по материалам А.В.Гончаренко, Б.А.Трифонов и др.):

1 — рудные метасоматиты; 2 — продольные разломы, ограничивающие Кумторскую зону смятия; 3 — надвиги и секущие нарушения; 4 — неоген-четвертичные делювиальные и гляциальные отложения; 5 — визейские известняки; 6 — терригенно-карбонатные отложения нерасчлененного кембро-ордовика (шорторская свита); 7 — терригенные отложения джаболотской свиты (венд); 8 — терригенно-углеродистые золотоносные отложения джетымтауской свиты (венд); 9 — кристаллические сланцы и риолиты рифея

тов и развившихся по ним секущих штокверковых руд (рис. 2.). Субпластовые руды развиты по простиранию черносланцевой толщи на многие сотни метров — километр, а по крупным продольным разломам — с перерывами на 10 км. По нашим определениям, средние содержания в этих рудах золота составляют 4,26, платины 1,06, палладия 2,46 г/т. Переходы экономически интересных концентраций в нерудные породы неконтрастные. Минеральный состав руд простой: кварц, альбит, пирит, реликтовое и переотложенное высокоуглеродистое вещество, небольшое количество ферродолomite. Температуры становления таких руд 340—300°C, т.е. близки условиям глубокого катагенеза и начального регионального метаморфизма.

Штокверковые руды — контрастные. Содержания золота в них варьируют от 3—4 до 25 г/т. По нашим определениям, средние содержания в таких рудах (в центральном блоке месторождения) Au — 7,14, Pt — 1,21, Pd — 3,01 г/т. Минеральный состав более разнообразен. Высокоуглеродистое вещество разрушается, но за его счет кристаллизуется большое количество анкерита и доломита. Отлагаются сульфаты бария и

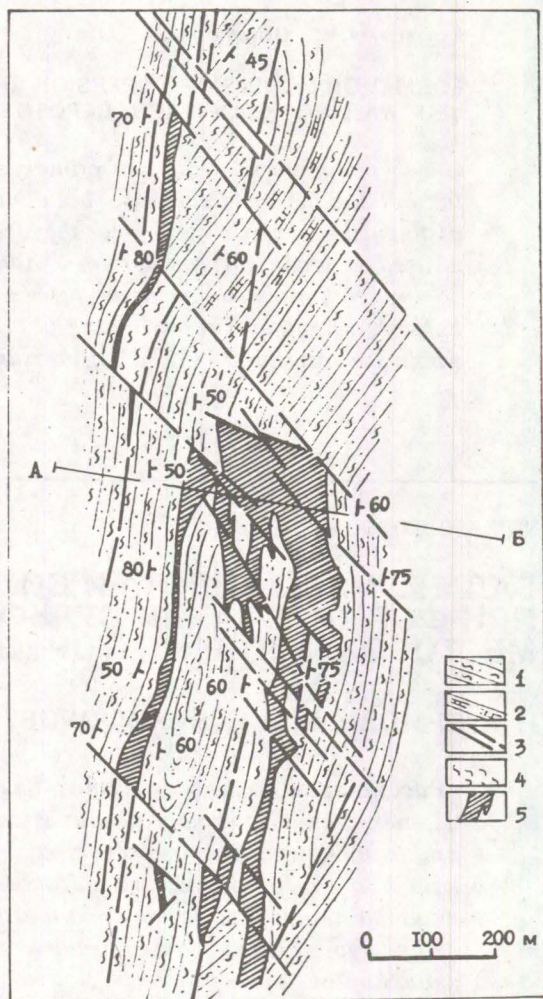


Рис. 2. Геологический план центрального рудного блока (по В.В.Никонорову, Т.Г.Князевой):

1 — терригенно-углеродистые метасадки (тиллиты, песчаники, алевролиты, филлиты); 2 — алевролиты с повышенной карбонатностью; 3 — разломы; 4 — мощные зоны тектонического смятия; 5 — рудные метасоматиты

стронция, а в группе рудных минералов, кроме пирита, получают развитие теллуриды золота, серебра, никеля; самородное золото и серебро; сульфиды меди, свинца; гематит. Температуры формирования штокверковых руд варьируют от 260 до 180°C, характеризую обстановки поздней (герцинской) активизации

Анализ изотопов кислорода* из карбонатов руд разных морфологических типов позволяет выявить тенденцию их облегчения

* Анализы выполнены Е.Д.Сынгаевским (ВИМС) и В.А.Чиненовым (ИЛСАН).

при формировании штокверковой минерализации: в рудах субпластовых по десяти пробам $\delta^{18}\text{O}_{\text{карб.}} = + (16,28 \pm 0,52) \text{‰}$, а в рудах штокверковых по девяти пробам $\delta^{18}\text{O}_{\text{карб.}} = + (10,60 \pm 1,5) \text{‰}$. Пересчет этих данных на изотопный состав кислорода минералообразующего раствора позволяет установить, что при формировании руд субпластовых $\delta^{18}\text{O}_{\text{воды}} = + 12 \text{‰}$, а штокверковых $\delta^{18}\text{O}_{\text{воды}} = + 7 \text{‰}$. Отмеченное изотопное облегчение является следствием перехода рудообразующей системы из физико-химически закрытой в открытую (собственно гидротермальную) с внедрением в раствор штокверковой структуры метеорных вод.

Приведенные данные позволяют предположить, что субпластовые руды формировались в условиях, близких метаморфогенным, при тесном взаимодействии вещества терригенно-углеродистых пород и развившихся в них продольных нарушений. Изучение перераспределения рудного вещества предпринято для системы «углеродистый алевролит — субпластовый метасоматит». Штокверковые руды образовались путем перекристаллизации и ассимиляции вещества субпластовых метасоматиов. В рамках данной статьи они не рассматриваются.

Рудовмещающие терригенно-углеродистые породы джетымтауской свиты венда изучены в полосе протяженностью 12 км: от ледника Боорду на юго-западе до ледника Петрова на северо-востоке. Центральный блок этой полосы высокорудный, фланги — малорудные или безрудные. Сопоставление в этом продольном профиле средних концентраций золота позволяет видеть, что на флангах рудного поля геохимический фон ценного компонента составляет соответственно $7,36 \cdot 10^{-6}$ и $7,86 \cdot 10^{-6} \text{‰}$, а в центральном блоке — $1,3 \cdot 10^{-6} \text{‰}$, то есть в шесть раз ниже, чем на флангах. Эти фоновые значения в 10—40 раз превышают кларк золота в глинах и сланцах, но хорошо совпадают со средними величинами Р.Бойля [4], приведенными им для осадочно-метаморфических пород золоторудных провинций.

В этом же профиле прослежено изменение количественно-минералогического состава углеродистых алевролитов. Кроме то-

го, для флангов и центрального блока месторождения составлены минералого-геохимические балансы золота (табл. 1).

Из анализа таблицы следует, что в алевролитах, например, западного фланга с альбит-серицит-графитовой составляющей связано 95 % всего золота породы, тогда как с той же ассоциацией в центральном блоке — только 65 %. Это означает, что в ходе замещения силикатов кварцем меняется характер распределения ценной примеси между пороодообразующими фазами. Замещение части алюмосиликатного материала, содержащего диспергированное в нем высокоуглеродистое вещество, сопровождается освобождением и переходом в геохимическую миграцию значительных количеств золота, распределенного до начала рудообразования по всему объему серицита и альбита породы.

Аналогичное исследование, выполненное для паллadia, позволяет видеть, что в алевролите западного фланга с альбит-серицит-графитовой составляющей породы связано 92 % этого элемента, тогда как в центральном блоке — 69 %. Четвертая часть примеси этого платиноида, содержащегося в алевролите первоначально, при окварцевании последнего переходит в геохимическую миграцию (табл. 2).

Установленная тенденция освобождения драгметаллов из силикатов при их окварцевании позволяет перейти к балансу масс золота в системе «вмещающий алевролит — субпластовый метасоматит». Учитывая высокую активность сульфидной серы при рудообразовании (что следует из общих представлений об условиях формирования сульфидно-вкрапленных руд), в процессах окварцевания и фельдшпатизации кристаллизуются значительные количества пирита. Пирит — главный концентратор рудного золота. Рассмотрена субпластовая колчеданная залежь с содержанием ценного компонента 19 г/т, в которой сохранились реликтовые серицит и высокоуглеродистое вещество (табл. 3).

Из таблицы видно, что метасоматическая перекристаллизация кварца пород сопровождается его 5-кратным обогащением примесью золота, а перекристаллизация альбита — 50-кратным обеднением. Содержание золота в сериците снижается в 2,2 раза, а в графите, наоборот, значительно

1. Минералого-геохимический баланс золота в алевролитах

Минерал	Средний минеральный состав породы, вес. %	Содержание металла в минерале, вес. %	Доля металла породы в минерале, отн. %
Фланг			
Серицит	37,45	$9,83 \cdot 10^{-6}$	36,07
Графит+антраксолиты	1,36	$3,03 \cdot 10^{-5}$	4,04
Кварц	32,45	$9,10 \cdot 10^{-7}$	2,86
Альбит	28,67	$1,96 \cdot 10^{-5}$	55,06
Пирит	$3,34 \cdot 10^{-2}$	$2,54 \cdot 10^{-4}$	0,83
Ферродоломит	$1,58 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-6}$	$1,62 \cdot 10^{-5}$
Биотит	$2,57 \cdot 10^{-4}$	$5,12 \cdot 10^{-5}$	$1,28 \cdot 10^{-3}$
Сумма	99,96		98,87
Центральный участок			
Серицит	26,01	$2,20 \cdot 10^{-6}$	12,69
Графит+антраксолиты	5,74	$3,03 \cdot 10^{-5}$	38,57
Кварц	56,16	$2,68 \cdot 10^{-6}$	33,38
Альбит	11,04	$5,60 \cdot 10^{-6}$	13,71
Пирит	$4,67 \cdot 10^{-3}$	$7,81 \cdot 10^{-5}$	0,08
Ферродоломит	0,32	$1,05 \cdot 10^{-6}$	$7,45 \cdot 10^{-2}$
Биотит	$8,21 \cdot 10^{-2}$	$7,96 \cdot 10^{-5}$	1,45
Сумма	99,36		99,95

возрастает. По геохимической роли высокоуглеродистое вещество в контрастной субпластовой руде конкурирует с пиритом, локализуя около четверти всего золота.

На основании данных табл. 3 можно считать, что рудное золото заимствовано из плагиоклаза и серицита породы. При этом из 1 т алевролита освобождается 0,055 г золота из альбита и 0,007 г из серицита, всего 0,062 г. Следовательно, для образования 1 т богатой золотом руды (19 г/т) необходима переработка 306 т или 113 м³ углеродистых алевролитов. Для образования рядовых по золоту руд (2 г/т) потребное количество алевролитов будет в десять раз меньше.

Проверка баланса, составленного по золоту, выполнена по петрогенному компоненту — сере (табл. 4). Гидроалюмосиликаты при фельдшпатизации и окварцевании освобождают 1477 г S от 1 т исходного алевролита, а породообразующие карбонаты, замещаемые при рудообразовании прак-

тически нацело, освобождают 1200 г S, всего 2677 г. Добавка серы в рудную зону от дисперсных сульфидов ничтожна и во внимание не принимается.

В кварц-полевошпат-сульфидном метасоматите практически вся сера связана в пирите. Одна тонна богатой колчеданной руды (содержание пирита 29 %) несет 550 000 г S. Следовательно, для возникновения 1 т такой руды требуется переработка 205 т или 76 м³ джетымтауских алевролитов. Эти величины в общем близки к величинам, рассчитанным по золоту. Итак, для образования 1 т контрастной руды необходима переработка 76—113 м³ углеродистого алевролита.

Картина, сходная с заимствованием золота из породы, имеет место для палладия, скандия, редкоземельных элементов. Во всех этих случаях альбит-серицит-графитовая составляющая алевролита является носителем рудных элементов, мобилизуемых растворами метаморфогенной природы. Ди-

2. Сокращенный минералого-геохимический баланс Pd в алевролитах

Минерал	Средний минеральный состав породы, вес. %	Содержание металла в минерале, вес. %	Доля металла породы в минерале, отн. %
Фланг			
Серицит+графит	38,81	$1,77 \cdot 10^{-5}$	88,14
Кварц	32,45	$1,81 \cdot 10^{-6}$	7,81
Альбит	28,67	$1,00 \cdot 10^{-6}$	3,81
Пирит	$3,34 \cdot 10^{-2}$	$5,21 \cdot 10^{-5}$	0,23
Сумма	99,96		99,99
Центральный участок			
Серицит+графит	31,75	$8,37 \cdot 10^{-6}$	65,88
Кварц	56,16	$1,81 \cdot 10^{-6}$	30,76
Альбит	11,04	$1,00 \cdot 10^{-6}$	3,34
Пирит	$4,67 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$	0,01
Сумма	99,30		99,99

намика и энергетика такой мобилизации исследованы специалистами [1, 2], применившими при решении задачи аппарат термодинамики необратимых процессов. Данный подход к проблеме основан на представлениях о перераспределении энергии при процессах дегидратации и преобразовании монтмориллонита в иллит, а последнего — в серицит-мусковит. Это позволяет рассматривать в качестве источника тепла и металлоносного флюида («мобилизата») крупные объемы осадков, вовлеченных в глубокий катагенез и начальный метаморфизм. Суть такого явления заключается в десорбции воды из глинистых (и цеолитовых) коллоидно-дисперсных частиц и их укрупнении. При этом имеет место десорбция петрогенных компонентов и рудной микропримеси, то есть формирование мобилизата. Экзотермический эффект при укрупнении коллоидных частиц, а затем при перекристаллизации гидрослюда в мусковит иллюстрируется тепловым уравнением Пригожина-Дефея, в котором суммируются теплота адсорбции, теплота кристаллизации и теплота синтеза новых фаз [3]. Все компоненты этого уравнения имеют отрицательный знак, а их сумма $\Delta Q < 0$, что находится в соответствии с принципом уменьшения энтропии системы при упорядочении ее структуры. Иначе говоря, эти процессы являются теплогенери-

рующими. Возникает внутренний источник энергии, а также водно-органический раствор, обогащенный петрогенными и рудными элементами.

Фильтрация флюидных потоков из условий высокого метаморфизма в менее напряженные по P- и T-параметрам зоны предполагает рассеяние тепла и рудных компонентов в верхних слоях горных пород и в термодинамическом холодильнике — атмосфере. Отсюда возникает необходимость в экране, препятствующем как рассеянию тепла, так и утечке флюида. В условиях Кумтора это терригенно-карбонатные толщи кембро-ордовика (шорторская свита), перекрывающие черносланцевый венд, а на северо-восточном фланге также и карбонатные покровы визейского яруса (см. рис. 1). Под такими карбонатными (терригенно-карбонатными) экранами сформировались сульфидно-вкрапленные руды рассмотренного выше типа. На юго-западном фланге, где таких перекрывающих пород нет, несмотря на высокие геохимические фоны благородных и редких элементов, золото и сопутствующие ему компоненты не сконцентрировались, руды не возникли.

Баланс масс золота в рудах Кумтора и вмещающих их углеродистых алевролитах позволяет установить следующую зависимость между запасами этого компонента и

3. Геохимические балансы золота по главным минералам породы и руды

Минерал	Вмещающий алевролит			Рудный метасоматит		
	Количество минерала в породе, вес. %	Содержание металла в минерале, вес. %	Доля металла породы в минерале, отн. %	Количество минерала в породе, вес. %	Содержание металла в минерале, вес. %	Доля металла породы в минерале, отн. %
Кварц	56,16	$2,68 \cdot 10^{-6}$	33,38	40	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$4,27 \cdot 10^{-1}$
Альбит	11,04	$5,60 \cdot 10^{-6}$	13,71	18	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,20 \cdot 10^{-3}$
Серицит	26,01	$2,20 \cdot 10^{-6}$	12,69	10	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$6,68 \cdot 10^{-4}$
Графит	5,74	$3,03 \cdot 10^{-5}$	38,57	1	$3,6 \cdot 10^{-2}$	24,04
Биотит	$8,21 \cdot 10^{-2}$	$7,96 \cdot 10^{-5}$	1,45	2	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$2,00 \cdot 10^{-3}$
Пирит	$4,67 \cdot 10^{-3}$	$7,81 \cdot 10^{-5}$	$8,09 \cdot 10^{-2}$	29	$3,9 \cdot 10^{-3}$	75,53
Сумма	99,04		99,99	100		99,99

объемом переработанных пород. При среднем содержании золота в субпластовых метасоматитах 4,3 г/т и общих разведанных запасах по центральному блоку 700 т промышленно ценная горная масса составляет 163 млн т. В соответствии с данными баланса в системе «вмещающая порода — руда» для формирования 1 т руды со средним содержанием 4,3 г/т требуется переработать $25,6 \text{ м}^3$ алевролита джетымтауской свиты. Следовательно, для формирования 163 млн т такой руды необходимы окварцевание и фельдшпатизация $4,173 \text{ млрд м}^3$ сланцев, что соответствует объему $4,17 \text{ км}^3$.

Следующий параметр модели, определяемый довольно точно, это мощность околорудных сланцев, вовлеченных в преобразование. Этот параметр складывается из мощности окварцованных пород висячего и лежащего боков рудной залежи и мощности собственно кварц-полевошпат-сульфидных метасоматитов. Суммарная мощность субпластовых тел по среднему в разрезе горизонту (горизонт штольни №2, см. рис. 2) составляет 30 м. Мощность боковых изменений оценивается по результатам группового химического состава битумоидов черных сланцев. Битумы — это количественно небольшая (сотые доли процента от массы породы), но весьма информативная группа углеводородов, масел и смол, сопутствующих графиту и высшим антраксолитам сланцев. Метод инфракрасной спектроскопии битумоидных вытяжек из породы позволяет установить, что по мере приближения к

рудной зоне в их составе уменьшается доля изначально присущих сланцам парафиновых структур, но увеличивается роль ароматических построек. Одновременно возрастает количество низкомолекулярных углеводородов (спиртов, альдегидов, кетонов). Появляются сернистые битумы (сульфоны, сульфонаты), что связано с возрастанием активности сульфидной серы при рудообразовании (рис. 3).

Рассмотренные изменения в составе битумоидов становятся ощутимы на расстоянии 240—260 м от рудной зоны. Средняя величина (250 м) в каждую сторону от рудных тел используется при расчете мощности переработанных пород. Итого, толща сланцев, преобразованных в рудном процессе и отдавших свою рудную примесь в субпластовые нарушения, составляет $250 + 30 + 250 \text{ м}$ или $0,53 \text{ км}$.

Наиболее глубокие подсечения рудной минерализации скважинами сделаны на глубине 1000 м. Развитие преобразованных пород по вертикали принимаем 1500 м (1 км реального оруденения; $0,5 \text{ км}$ — экстраполяция толщи сланцев, миграция золота из которых происходила вверх). Следовательно, $4,17 \text{ км}^3$ преобразованных пород, обеспечивавших возникновение запасов золота в 700 т, могут быть представлены параллелепипедом шириной $0,53 \text{ км}$, высотой $1,5 \text{ км}$ и длиной $5,2 \text{ км}$, что близко реальным параметрам интенсивного оруденения, ограниченного разломами Кумторской зоны смятия.

4. Геохимические балансы серы по породе и руде

Минерал	Вмещающий алевролит			Рудный метасоматит		
	Количество минерала в породе, вес. %	Содержание металла в минерале, вес. %	Доля металла породы в минерале, отн. %	Количество минерала в породе, вес. %	Содержание металла в минерале, вес. %	Доля металла породы в минерале, отн. %
Серицит	26,01	0,24	95,33	10	0,24	0,15
Ферродоломит	0,32	0,12	0,58	$4,8 \cdot 10^{-5}$	0,12	$3,63 \cdot 10^{-7}$
Пирит	$4,67 \cdot 10^{-3}$	53,98	3,85	29	54,99	99,85
Халькопирит	$4,01 \cdot 10^{-4}$	37,53	0,23	$6,8 \cdot 10^{-4}$	26,65	$1,22 \cdot 10^{-3}$
Сумма	26,34		99,99	39,00		100,00

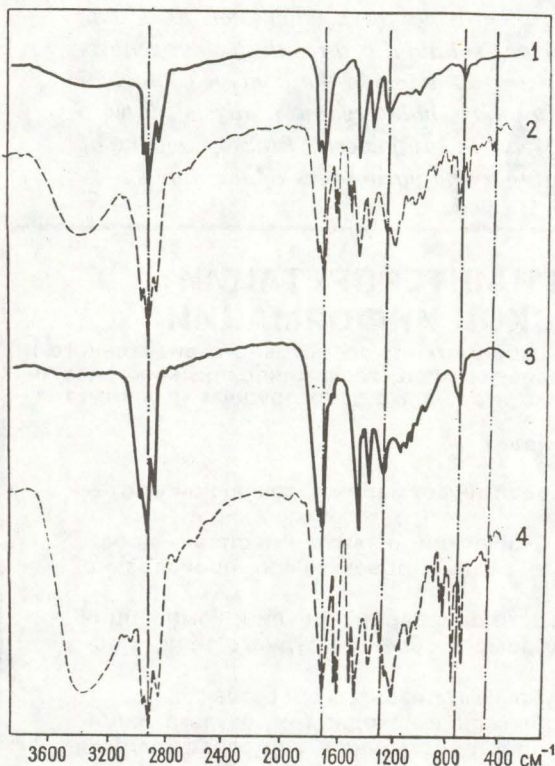


Рис. 3. Инфракрасные спектры поглощения битумов:

1, 2 — из Даугыстау (Кызылкумы); 3, 4 — из Кумтора (Восточная Киргизия). Жирные линии — для неизмененных углеродистых алевролитов; прерывистые линии — для околорудных окварцованных пород: полоса 500 см^{-1} — для сернистых битумов; полосы 720 , 1300 и 1800 см^{-1} присущи парафиновым структурам; сопряженные полосы 690 , 740 , 1740 см^{-1} — от ароматических построек; диффузная область 3400 см^{-1} присуща низкомолекулярным углеводородам (спиртам, альдегидам, кетонам)

Исходные посылки предложенной количественной модели формирования месторождения Кумтор:

невозможность объяснить сонахождение в единых парагенезисах геохимически разнородных элементов — литофильных (вольфрама, редких земель) и сидерофильных (платины, палладия) — единым ювенильным источником вещества;

резко повышенные геохимические фоны золота и сопутствующих элементов во вмещающих терригенно-углеродистых сланцах (десятки кларков);

приуроченность ценных компонентов, главным образом, к альбит-серицит-графитовой составляющей пород, активно замещаемой в процессе окварцевания, что сопровождается переходом рудных элементов в геохимическую миграцию;

сбалансированность масс золота в ограниченном объеме вмещающих пород и в субпластовых рудах, сформировавшихся в относительно закрытой физико-химической системе;

возможность возникновения автономной рудогенерирующей системы на стадиях глубокого катагенеза и начального регионального метаморфизма;

наличие тепло-флюидозкрана (карбонатных толщ), перекрывающего продуктивные породы в период металлогенической активизации;

реальность объемов переработанной горной породы в масштабах конкретного рудного поля и их сбалансированность с количеством отложившегося рудного вещества.

Эти компоненты количественной моде-

ли позволяют рассматривать ее как вариант методического подхода к вопросам разведки и оценки масштабов рудной минерализации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-05-9561).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котина Р.П., Митлин В.С. Количественная оценка термических эффектов процесса дифференци-

ации вещества на стадии метатенеза // Геология и разведка. 1990. № 3. С. 56—64.

2. Котина Р.П., Швецов П.Ф. Формирование автономной рудогенерирующей структуры на стадии метатенеза // Докл. АН СССР. 1988. Т. 302. № 2. С. 396—399.
3. Пригожин И., Дефей Р. Химическая термодинамика. — Новосибирск: Наука, 1966.
4. Boyle R.W. The geochemistry of gold and its deposits // Ottawa, 1979.

Ermolaev N. P., Nikiforov A. V., Choroshilov W. L.

THE MASS BALANCE OF GOLD AND ACCOMPANYING COMPONENTS IN FORMING OF THE SULFIDE IMPREGNATED ORE DEPOSIT KUMTOR (EAST KIRGIZSTAN)

The mass balance for the system «country rock - ore zone» in the black shales of the Kumtor deposit is considered. The rock volume, when saturated with quartz, sets free the gold quantity needful to made this deposit has been calculated here. The theoretical possibility of the formation of the ore-solution as a result of metagenesis is shown. The possibility exsolution of this ore fluid inside the concret geological structure is also shown. The results of bituminous shale organic analysis allow to evaluate real thickness of the rocks, taking part in ore genesis. Block geometry of these shales is ascertained to be corresponding to the parameters of the deposit.

СИСТЕМА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Методика предназначена для накопления, обработки и оперативного визуального и графического отображения геофизической, геологической, геохимической, минералогической, аналитической информации при оценке и разведке золоторудных и полиметаллических объектов.

Комплекс программных средств обеспечивает

- управление базой данных
- координирование многопараметровой информации в локальной системе
- статистико-вероятностный и иерархический анализы массивов чисел
- классификацию и распознавание рудных объектов по произвольно ориентированному сечению
- выявление зональности изменчивости однопараметровой и композиционной информации в объеме изучаемого объекта (рудного тела, месторождения, рудного поля)
- прогнозную оценку флангов и глубоких горизонтов объектов
- визуализацию и оперативное отображение исходной и результативной информации в плоскостной и пространственной картографической формах.

Комплексы программных средств, используемые в системе, работают в операционной системе MS DOS на ЭВМ IBM PC AT

Технологией системы предусматривается ее применение при оценке и разведке месторождений золота, редких и цветных металлов.

Система апробирована на золоторудных месторождениях Западного Тянь-Шаня и полиметаллических - Алтая.

Виды реализации - продажа брошюры, инжиниринг

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

УДК 553.065

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТАНТАЛ-НИОБИЙ-ЦИРКОНИЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАСОМАТИТАХ

В. В. АРХАНГЕЛЬСКАЯ, С. В. РЯБЕНКО (ВИМС)

Рассмотрена модель тантал-ниобий-циркониевых месторождений в щелочных метаморфогенных метасоматитах охарактеризованы ее последовательные вертикальные разрезы. К главным геолого-генетическим элементам модели отнесены: положение месторождений в планетарных, региональных и локальных структурах; морфология, внутреннее строение, минерально-петрографические и геохимические характеристики рудовмещающей залежи метасоматитов и ее ореола; степень щелочности метасоматитов и др. К количественным показателям модели относятся: масштаб месторождения; величины содержаний в рудах петрогенных и рудных компонентов; количественные характеристики свойственных рудам геофизических полей и др. Характеристика модели сравнивается с другими тантал-ниобий-циркониевыми месторождениями в сходных щелочных метасоматитах.

Тантал-ниобий-циркониевые месторождения в метасоматитах щелочных гранитов известны сравнительно давно во многих странах мира и, в том числе, в России. Это месторождения плато Джос в Африке, Эшассьер во Франции, Улуг-Танзек и Зашихинское в России и другие.

В последние годы в России обнаружены и изучены месторождения тантала, ниобия и циркония, локализованные в щелочных метаморфогенных (образованных по метаморфическому субстрату) и в щелочных гранитогенных (сформированных по гранитам нормальной щелочности) метасоматитах. Эти месторождения представляют собой новый промышленно-генетический тип редкометалльного сырья.

Те и другие возникают в узлах пересечения линеаментов — зон планетарной трещиноватости и глубинных разломов, залечивают один из разломов какого-либо линеамента и формируются при действии высокотемпературных гидротермальных мантийных флюидов на породы алюмосиликатного состава (метапелиты, бластомилолиты по гранитогнейсам, граниты и др.). Метасоматоз в ультраосновных и основных породах (меланократовые гнейсы и кристал-

лические сланцы, диабазы и т.п.) проявляется слабо или не развивается вообще.

Термобарометрические параметры формирования метаморфогенных метасоматитов соответствуют условиям низких ступеней амфиболитовой фации метаморфизма низкого давления. Метасоматиты образуются близкоодновременно с проявлением метаморфизма этой фации, который развивается в тех же зонах разломов. Метаморфизм проявляющийся в зонах разломов, относительно регионального может быть регрессивным, а чаще — прогрессивным.

Модель тантал-ниобий-циркониевых месторождений в щелочных метаморфогенных метасоматитах показана на рис. 1. Ее главные геолого-генетические элементы приведены в табл. 1, количественные данные — в тексте.

Метаморфогенные метасоматиты образуют залежь, залечивающую пологий глубинный разлом — один из составляющих планетарного линеамента. Разлом находится в том отрезке линеамента, который протягивается по шиту какой-либо платформы, по срединному массиву или по участку ранней консолидации складчатого пояса, где этот отрезок пересекается другим линеamentом. Разлом архейского заложения, активный на протяжении всей геологической истории, длиной в сотни километров, мощно-

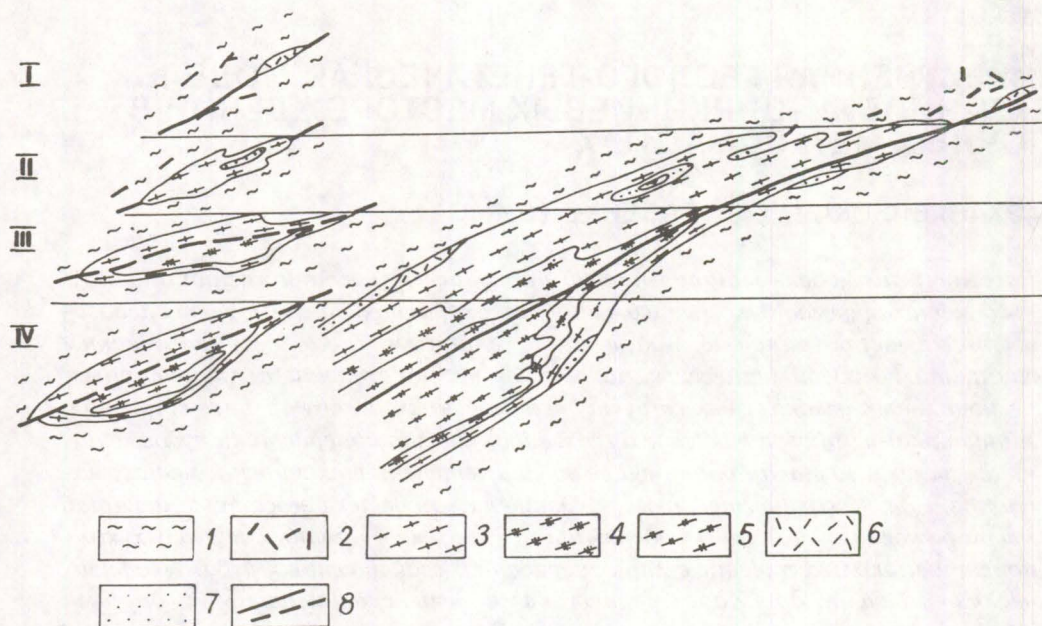


Рис. 1. Обобщенная модель тантал-ниобий-циркониевых месторождений в щелочных метаморфогенных метасоматитах.

Части модели: I — надрудная, II-IV — рудные (II — бедных руд, III — рядовых руд, IV — богатых руд). Слева планы горизонтальных сечений, справа вертикальный разрез. Условные обозначения: 1 — вмещающие породы: гнейсы, кристаллические сланцы; 2 — жилы с молибденитом; 3-7 — метасоматиты: 3 — биотитовые, 4 — биотит-амфиболовые, 5 — эгирин-амфиболовые, 6 — альбититы, 7 — слюдиты; 8 — подводные разрывные нарушения

стью в сотни метров, фиксируется дайками основного и ультраосновного состава и blastomylonитами более древними, чем метасоматиты. В геофизических полях он отображается положительной магнитной аномалией. Дайки основных и ультраосновных пород свидетельствуют об его мантийном заложении.

Мощность залежи — многие сотни метров, протяженность — первые десятки километров. Она содержит пластообразные останцы неполно замещенных вмещающих метаморфических кристаллических сланцев и гнейсов, сохранивших свое залегание, и сложена кварц-микроклин-альбитовыми лейко- и мезократовыми метасоматитами с литиевыми лепидомеланом и аннитом, эгирин-ом, литий-содержащими щелочными амфиболами, представленными конечными и промежуточными членами изоморфной серии рибекит — железистый арфведсонит. Породы обладают полосчатыми, псевдослоистыми, псевдогнейсовидными текстурами и ясно выраженными коррозионными струк-

турами замещения ранних минералов поздними. Внутреннее строение залежи поперечно-зональное, обусловленное чередованием производных разных зон метасоматической колонки по обе стороны от флюидоподводящего разлома. Передовые (периферические) зоны представлены слюдяными, промежуточные — амфиболовыми, тыловая — эгирин-амфиболовыми метасоматитами. В верхней части залежи зоны несоизмеримо мощнее, нежели в лежащей. Минералы передовых зон корродируются и замещаются минералами тыловых.

По количественным соотношениям петрогенных элементов и породообразующих минералов метасоматиты соответствуют щелочным гранитам (табл. 2, 3). Коэффициент их апаитности колеблется от 0,9 в продуктах фронтальной зоны колонки до 1,8 в тыловой ее зоне, а в среднем составляет 1,2.

Метасоматиты содержат Ta, Nb, Zr, Y, TR, U, Th, Li, F, Rb, Mo, Pb, Zn, Be, Sn во много раз выше их кларков для алюмосиликатных пород (гранитов, щелочных грани-

1. Главные геолого-генетические элементы тантал-ниобий-циркониевых месторождений в щелочных метаморфогенных метасоматитах

Части модели	Позиция месторождения относительно тектонических структур	Морфология залежей метасоматитов	Морфологический тип оруденения	Главные рудные элементы и минералы	Сопутствующие элементы и минералы	Геохимическая характеристика	Геофизическая характеристика	Зоны метасоматической колонки	Масштабы оруденения
I—надрудная	В узлах сочленения и пересечения глобальных зон повышенной трещиноватости (линеаментах) на консолидированных участках земной коры (щитах, срединных массивах и др.); в глубинных разломах вне связи с интрузивными образованиями	Линзы, жилы, жилкообразные тела с Mo, Be	Жильный для Mo, вкрапленный для Be, Y, TR	Mo, Be, Y, TR, молибденит, гадолинит	U, Th, берилл, торит	Содержания Be, Ce, La, Y, F, U, Th выше фонового	Гаммааномалии ($Th > U$)		Рудопроявления, возможные мелкие месторождения молибдена
II—рудная, бедных руд		Пластовые и линзовидные тела зонального внутреннего строения	Тонковкрапленный	Ta, Nb, TR, Y, Zr, TR-пироксид, циркон, TR-флюорит, гагаринит	U, Th, Hf, Zr, фергусонит, колумбит, ильменорутит, монацит и сфалерит	Повышенные (на несколько порядков) против кларка для щелочных гранитов содержания Be, Li, Zr, Pb, Mo, Cu, Ta, Nb, Zr, F, TR, Y, U, Th	Положительные наземные и аэроаномалии магнитного поля на залеченной зоне разрыва, гаммааномалии ($Th > U$) на площади залежей, особенно интенсивные по их периферии — до 6000 мкР/ч	Передовая: биотитовые и биотит-амфиболитовые метасоматиты	Крупные и весьма крупные месторождения, в экзоконтактах метасоматических залежей возможны крупные месторождения иттрия и редких земель
III—рудная рядовых, частично и богатых руд			Тонковкрапленный с резко подчиненным жильным	Ta, Nb, TR, Y, Zr, TR-пироксид, циркон, криолит, гагаринит	U, Th, Hf, Zr, сфалерит, TR-флюорит			Промежуточная: амфиболовые метасоматиты	
IV—рудная, богатых руд			«	«	U, Th, Hf, Zr, колумбит, пироксид, сфалерит			Тыловая: эгирин-амфиболовые метасоматиты	

2. Средний химический состав метасоматитов (мас. %)

Оксиды	1	2	3	Оксиды	1	2	3	Индикаторные отношения (в атомных количествах)	1	2	3
SiO ₂	74,14	72,56	70,62	Nb ₂ O ₅	0,075	0,186	0,369	Na/K	1,53	1,55	2,0
TiO ₂	0,20	0,22	0,25	Ta ₂ O ₅	0,006	0,014	0,02	Fe ²⁺ /Fe ³⁺	4,3	2,8	0,9
Al ₂ O ₃	11,33	11,33	10,35	ZrO ₂	0,34	0,62	1,13	Ta/Nb	1:12,5	1:13	1:14
Fe ₂ O ₃	1,00	2,04	4,11	ThO ₂	0,26	0,20	0,19	K/Rb	140	78	35
FeO	2,44	2,11	4,54	$\sum Y_2O_3 + Y_2O_3$	0,110	0,076	0,2	Коэффициент апантности	1,0	1,12	1,34
MnO	0,045	0,062	0,071	$\sum Ce_2O_3$	0,156	0,124	0,139	$\frac{\sum Y_2O_3 + Y_2O_3}{\sum Ce_2O_3}$	0,7	0,61	0,38
MgO	0,13	0,09	0,12	F	0,39	0,59	1,12	$\frac{\sum Ce_2O_3}{\sum Y_2O_3 + Y_2O_3}$	1,42	1,63	2,67
CaO	0,20	0,11	0,11	Cs ₂ O	0,0013	0,0013	0,0013				
K ₂ O	4,02	4,25	4,25	Li ₂ O	0,0226	0,012	0,031				
Na ₂ O	4,59	4,83	5,45								
Rb ₂ O	0,033	0,062	0,156	P ₂ O ₅	0,35	0,08	0,05				

Примечание: 1 — аннитовые и аннит-ребекитовые, 2 — ребекит-арфведсонитовые, 3 — эгирин-арфведсонитовые метасоматиты. Содержания петрогенных элементов и циркония определялись химическим методом, для подсчета средних содержаний использован 21 анализ. Анализы проводились в ХАЛе ВИМСа, аналитики С.П.Титова, В.М.Лурье, А.Н.Коломникова. Содержания остальных элементов определялись количественно-спектральным методом, в лаборатории ВИМСа. Для подсчета средних содержаний использованы: по графе 1 — 383; 2 — 328; 3 — 599 анализов. Разброс частных значений пентоксида тантала колеблется от 0,003 до 0,038, в богатых рудах до 1,26 %, пентоксида ниобия от 0,101 до 10 %, тантал-ниобиевое отношение для частных проб колеблется от 1:30 до 1:8.

тов, метапелитов), В, Sc, Cs, напротив, — ниже их кларков. Так, в метасоматитах количество F, Ta, Nb, Zr выше кларка в 100 и более раз; U, Th, TR — в 30—80 раз; Be, Mo, Pb, Zn — в 20—50 раз; F — в 100 и более раз. Содержание Na₂O достигает 5 %, F до 10, а в среднем около 1 %; Ta₂O₅ до 1,26, в среднем 0,02 %, Nb₂O₅ до 10, в среднем 0,369 %, ZrO₂ до 20, в среднем 1,5 %; Y₂O₃ + TR₂O₃ до 10, в среднем 0,2 %. В соответствии с этим метасоматиты обогащены минералами-концентраторами перечисленных элементов в виде тонкой более или менее равномерной вкрапленности в них. Среди таких минералов наиболее распространены редкоземельный уран-торий-свинец-содержащий пироксид, циркон, гагаринит, редкоземельный флюорит, ильменит

(по составу близкий стрювериту), криолит, а спорадически наблюдаются флюоцерит, галенит, сфалерит, молибденит и многие другие, более редкие (см. табл. 3). В кристаллах циркона присутствуют реликтовые ядра с радиологическим возрастом, совпадающим с возрастом вмещающих залежь пород.

Сочетание высоких — промышленных — Ta, Nb, Zn, Y, TR с большими размерами залежи обуславливает наличие в ней уникального по масштабам и содержанию полезных компонентов тантал-ниобий-циркониевого месторождения с попутными Y, TR и криолитом. Главные рудные минералы месторождения пироксид, циркон, гагаринит, редкоземельный флюорит, криолит. Запасы Ta₂O₅ в нем более сотен тысяч тонн,

3. Содержания породообразующих и главных акцессорных минералов в метаморфогенных метасоматитах:

Минералы	Метасоматиты		
	аннитовые и аннит-рибекитовые	рибекит-арфведсонитовые	эгирин-арфведсонитовые
Содержания породообразующих минералов, объемные %			
Количество определений	40	86	72
Кварц	$\frac{30}{22-39}$	$\frac{34}{25-42}$	$\frac{35}{16-50}$
Микроклин	$\frac{36}{25-40}$	$\frac{36}{27-41}$	$\frac{35}{25-39}$
Альбит	$\frac{27}{15-37}$	$\frac{20}{17-21}$	$\frac{19}{10-25}$
Аннит	$\frac{6}{2-13}$	—	—
Щелочные амфиболы	$\frac{4}{2-14}$	$\frac{7}{5-18}$	$\frac{6}{3-20}$
Эгирин	—	—	$\frac{3}{0,1-6}$
Средние содержания главных акцессорных минералов, г/т			
Количество определений	812	523	401
Пирохлор (мариньякит)	701	4535	5320
Колумбит**	279	—	—
Гагаринит***	181	583	311
Флюоцерит	35	5	15
Криолит	115	10244	20041
TR-флюорит	3719	1058	121
Монацит	950	511	115
Ильменит	4816	2066	1820
Магнетит	209	—	—
Циркон	8005	12894	15096
Апатит	402	21	15
Сфалерит	977	204	358
Молибденит	12	13	10
Галенит	18	27	20

Примечание:

числитель — среднее содержание, знаменатель — пределы колебаний содержаний. Подсчеты производились на интеграционном столике и для 15% всех проб — количественно — фазовым анализом в НКФЭ ВИМСа и округлялись до целых процентов.

* В том числе пертитовый

** Колумбит + колумбитизированный пирохлор

***Гагаринит + сростки его с редкоземельным флюоритом

4. Результаты криометрического изучения состава включений минералообразующих сред во фторидах и кварце из месторождения Восточной Сибири

Минерал	Температура, °С		Концентрация растворов в эквиваленте, %, NaCl	Температура минералообразования (с учетом поправок на концентрацию и флюидное давление), °С	Давление, тысячи атмосфер	Предполагаемый макрокомпонентный состав солевой состав
	плавления эвтектики	плавления последней твердой фазы				
Криолит вкрапленный	-42,8-43,0	-5,9±13,4*	8—17	330—420	до 2,0	NaCl, MgCl, NaF, FeCl ₂
Криолит гнездовый	-3,5±4,0	-0,4±3,1*	0,5—6	160—245	0,5	NaF, NaHCO ₃ , KHCO ₃
Кварц	-35,4±36,8	-16,2±19,9*	20—23	365—410	до 2,0	NaCl, NaF, MgCl ₂
Гагаринит	-36,0±38,4	-11,4±19,4*	15—21	до 500	до 2,0	"
Флюорит	-53,9±55,0	+332±400**	35—40	330—400	1,6—2,2	NaCl, NaF, CaCl ₂

* твердая фаза представлена льдом

** твердая фаза представлена галитом

5. Радиологический возраст циркона и пирохлора метасоматитов (по Л.В.Сумину)

Минерал	Метод определения	Возраст, млн лет		
		реликтовых ядер в минерале	истинный	активизации
Циркон из биотитовых метасоматитов	Pb—Pb	3000, 2200	2000—1900	
Пирохлор метасоматитов	«		2000—1900	1400, 1200, 1100
Поздний пирохлор из метасоматитов	«		1400	1200, 1100, 560

Nb₂O₅ более полутора миллионов тонн, ZrO₂ — миллион тонн, криолита — десятки миллионов тонн, руды — многие сотни миллионов тонн. По содержанию Ta и Nb руды модели бедные, рядовые, богатые и уникально богатые, соответственно содержащие 0,01; 0,02; 0,03; более 1 % Ta₂O₅. Бедные руды — продукты фронтальной, рядовые — промежуточной, богатые — тыловой зон метасоматической колонки, уникально богатые руды встречаются спорадически, образуют жило- и линзообразные тела.

Залежи окружены мощным (> 1 км)

ореолом неполно метасоматически измененных вмещающих их метапелитов с повышенными против фоновых содержаниями вышеперечисленных элементов-примесей. Содержания Be, Th, Y в нем выше, чем в метасоматитах, и эти элементы образуют здесь свои минералы: берилл, гадолинит, торит, редкоземельный флюорит. Остальные же элементы, содержания которых ниже, чем в метасоматитах, рассеяны в виде примеси в породообразующих и аксессуарных минералах: кейльгауите, слюдах и др.

Различные вертикальные срезы модели

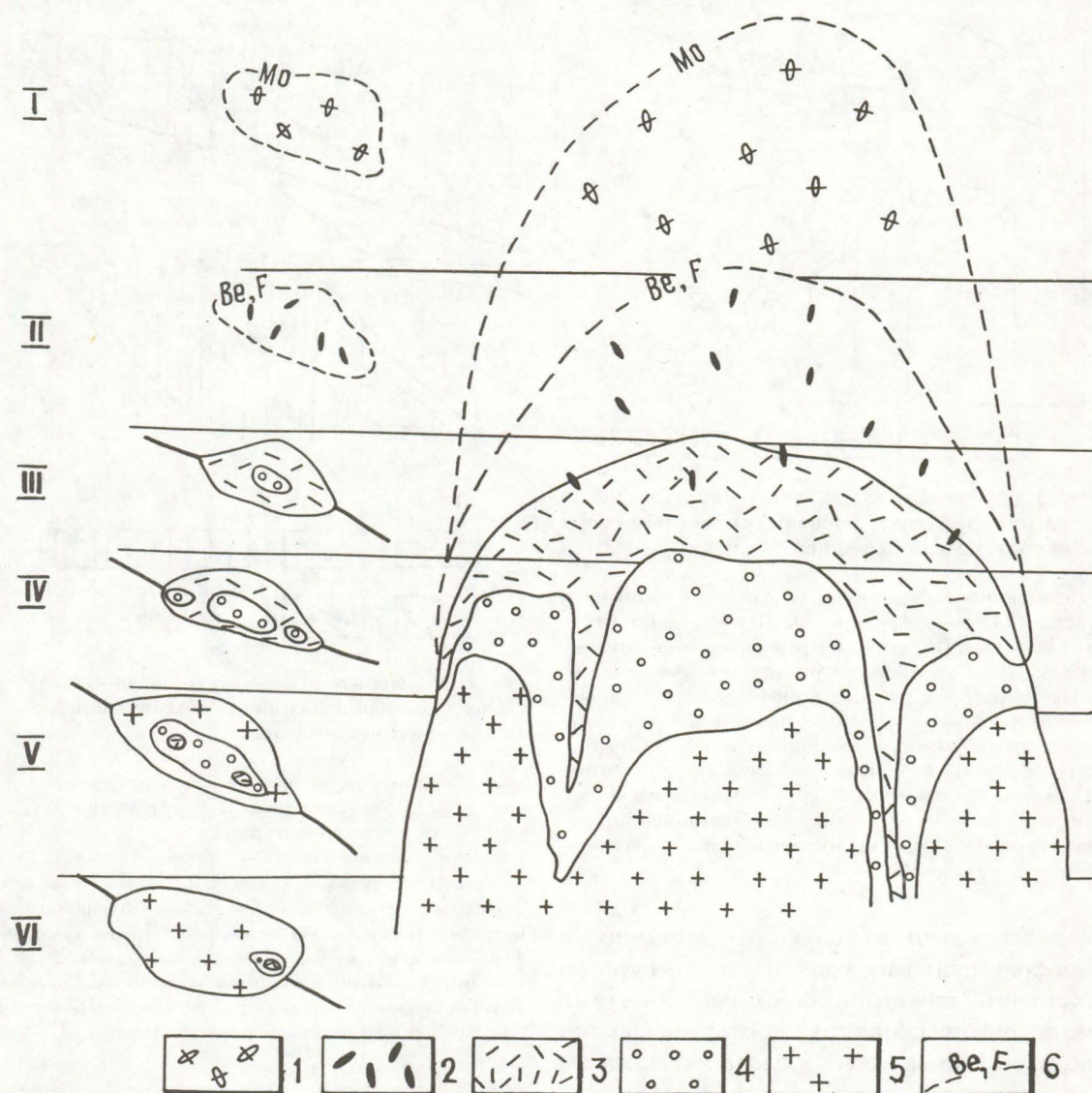


Рис. 2. Обобщенная модель тантал-ниобиевого месторождения в щелочных метасоматически измененных гранитах.

Части модели: I — надрудная, II — экзоконтактов рудных тел, III — VI — рудные (III — богатых руд, IV — рядовых и бедных руд), V — подрудная, участками слабо рудная, VI — безрудная. Слева планы горизонтальных сечений, справа вертикальный разрез.

Условные обозначения: 1 — кварц-полевошпатовые жилы с сидеритом и сульфидной минерализацией; 2 — кварц-полевошпатовые жилы с бериллиевой минерализацией; 3—4 — метасоматически измененные граниты: 3 — альбититы, 4 — лейкократовые метасоматиты с горошковидным кварцем, протолитионит-амфиболовые метасоматиты; 5 — щелочные рибекитовые граниты; 6 — ореолы выноса рудных элементов

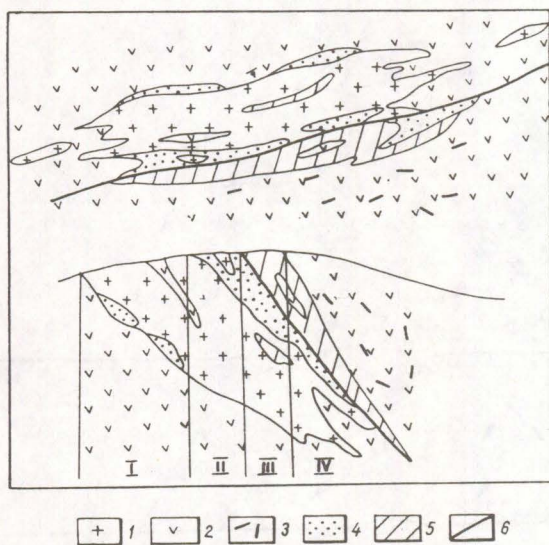


Рис. 3. Обобщенная модель тантал-ниобиевого месторождения в щелочных автономных метаморфогенных и апогранитных метасоматитах.

Части модели, обнаженные на заданном эрозионном срезе: I, IV — безрудные, II, III — рудные (II — апогранитная, III — метаморфогенных метасоматитов). Вверху план горизонтального сечения, внизу вертикальный разрез. Условные обозначения: 1 — щелочно-земельные граниты; 2 — апоэффузивные сланцы, метапелиты; 3 — флюорит-кварц-полевошпатовые жилы с сульфидами; 4 — микроклиновые мусковит-кварц-альбитовые метасоматиты с эгиринитом и щелочным амфиболом; 5 — биотит-микроклин-кварц-альбитовые метасоматиты с редкими эгиринитом и щелочным амфиболом; 6 — разрывы

характеризуются только им присущими морфологией, минеральным и химическим составом, геохимическими особенностями метасоматических тел и геофизическими полями. Над залежью и вдоль вмещающего ее разлома в дальних ее экзоконтактах наблюдаются кварц-полевошпатовые жилы с молибденитом; ближе к ней — кварц-альбитовые жилы с бериллом, фенакитом, торитом, гадолинитом, кейльгауитом; явления окварцевания, микроклинизации, вкрапленность редкоземельного флюорита, содержащего до 30 % $Y + TR$, $Y + TR(Y) > TR(Ce)$, а в непосредственных экзоконтактах — слюдиты по биотитовым кристаллическим сланцам и альбититы по лейкократовым гнейсам и катаклазитам. Средние содержания флюорита в экзоконтакте залежи могут достигать 1 и более процентов. В этом случае в экзоконтакте может быть

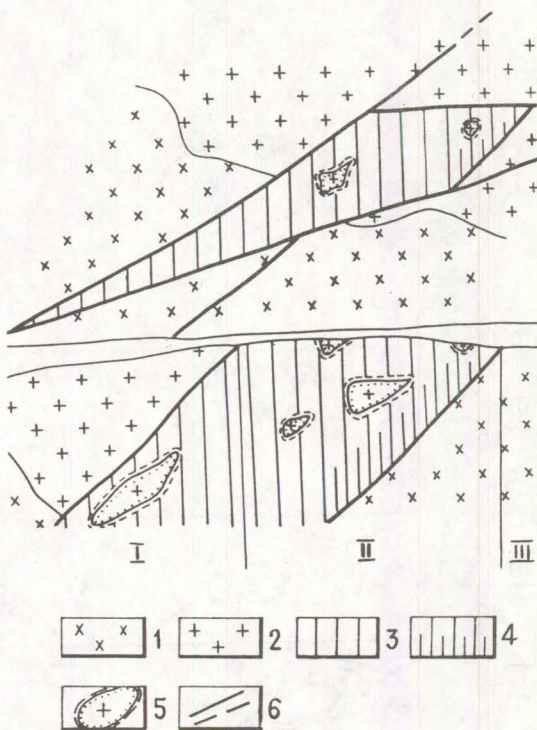


Рис. 4. Обобщенная модель тантал-ниобий-циркониевого месторождения в щелочных автономных апогранитных метасоматитах.

Части модели, обнаженные на заданном эрозионном срезе: I, III — безрудные, II — рудная. Вверху план, внизу вертикальный разрез.

Условные обозначения: 1 — древние граниты; 2 — молодые граниты; 3 — существенно альбитовые лейкократовые метасоматиты; 4 — альбит-микроклиновые метасоматиты со щелочным амфиболом или со слюдой; 5 — обломки брекчий гранитов в метасоматитах с тонкими оторочками слюдитов в экзоконтактах и новообразованного щелочного амфибола в эндоконтактах; 6 — разрывы, прослеженные и предполагаемые

локализовано самостоятельное редкоземельно-иттриевое месторождение.

Над залежью наблюдаются обусловленные ее химическим составом контрастные литогеохимические аномалии всех присутствующих в ней элементов примесей, но ореолы Ta и Nb не выходят за пределы контура залежи, а ореолы остальных элементов участками располагаются и вне ее. Над залежью прослеживается положительная наземная (порядка 50—100, максимум до 6000 мкР/ч) и аэрогадоаномалия (30—40 мкР/ч при фоне 20 мкР/ч) существенно ториевой природы ($Th : U \geq 3-5$) с $(Th_{\text{рад.}} + U_{\text{рад.}}) : K_{\text{рад.}} \geq 1$.

6. Главные геолого-генетические элементы модели тантал-ниобиевого месторождения в щелочных метасоматически измененных гранитах

Части модели	Позиция месторождения относительно массива материнских гранитов	Морфологический тип оруденения	Главные рудные элементы и минералы	Сопутствующие рудные элементы и минералы	Геохимическая характеристика	Геофизическая характеристика	Зоны метасоматической колонки	Масштабы оруденения
I, надрудная	Надintrузивные жилы, линзы с Мо и Ве	Жильный	Fe, Ce, Zn, Pb, пирит, халькопирит, халькозин, сидерит, галенит, сфалерит	Bi, Mo, Au, висмутин, молибденит, самородные Ag, Au	Вышефоновые содержания Fe, Cu, Zn, Pb, Bi, Au, Ag	Несколько вышефоновые положительные гаммааномалии (Th > U)		Рудопроявления
II, экзоконтактов рудных тел	Надintrузивные жилы, линзы с Ве	Жильный и жильно-штокерковый	F, Ве, берилл, фенакит, берtrandит	Флюорит	Высокие содержания F, Ве	Положительные аэро- и наземные гаммааномалии (Th > U)		Ве-минерализация, мелкие месторождения Ве с высокими его содержаниями
III, рудная, богатых руд	Апикальные части массивов	Тонко-вкрапленный	Ta, Nb, Zr, колумбит, ильменорутит, малакон	Sn, U, Th, TR, касситерит, ксенотим	На порядок и более вышекларковые для щелочных гранитов содержания Ta, Nb, Zr, F, Li, Rb, TR, Y, U, Th, Mo, Zn, Pb	над экзоконтактами и апикальными частями гранитного массива, отрицательное магнитное поле над самим массивом	Передовая: альбититы	Крупные месторождения
IV, рудная, рядовых и бедных руд	Верхние внутриintrузивные части массивов	«	Ta, Nb, Zr, колумбит, пироклор, малакон	TR, Y, гагаринит, монацит, криолит	«	«	Промежуточная и тыловая: лейкократовые и амфиболовые метасоматиты	
V, подрудная, участками слабо рудная	Внутренние части массивов	«	Ta, Nb, Zr, пироклор, циркон	отсутствуют	Вышекларковые для щелочных гранитов содержания Ta, Nb, Zr, F, Li, U, Th, Y, TR, Rb, Pb, Mo, Zn	«		«

7. Главные геолого-генетические элементы модели тантал-ниобиевого месторождения в щелочных метаморфогенных и апогранитных метасоматитах

Части модели	Структурная позиция месторождения	Морфология залежей метасоматитов	Морфологический тип оруденения	Главные рудные элементы и минералы	Сопутствующие элементы и минералы	Геохимическая характеристика	Геофизическая характеристика	Зоны метасоматической колонки и типы метасоматитов	Масштабы оруденения
II, рудная, апогранитные руды	В нарушенных разрывах контактах небольших массивов щелочно-земельных гранитов с метаморфическими сланцами	Линзовидные и пластовые тела с прослоями ксенолитами слабо замещенных гранитов и сланцев. Наиболее мощный метасоматоз и оруденение в пологих контактах гранитных массивов	Тонко-вкрапленный	Ta, Nb, Zr, Y, TR, Sn, фергусонит, малакон, касситерит	Pb, U, Th, Rb, Zn, Li, Pb-пироксид, колумбит, самарскит, магнетит, сфалерит, галенит, торит	В два и более раз выше кларковые для гранитов содержания Ta, Nb, Y, TR, Zr, Li, Be, U, Th, Sn, F, ниже кларковые содержания Cs, В	Положительные наземные и аэрогаммааномалии (Th > U) средней степени интенсивности	Лейкократовые мусковитовые с редкими эгирином и рибекитом (выражены неясно)	Мелкие месторождения с бедными апогранитными и богатыми апосланцевыми рудами
III, рудная, метаморфогенные руды			Тонко-вкрапленный	Ta, Nb, Zr, Y, TR, Pb-пироксид, малакон	U, Th, Zr, Pb, Rb, Li, фергусонит, колумбит, пироксид, ильменит, торит, сфалерит, галенит			Мезократовые биотит-рибекитовые с эгирином (выражены неясно)	
IV, безрудная, метаморфических сланцев с жилами — гидротермальными дериватами метасоматитов			Жильный и реже жильно-штоковый	Молибденит, галенит, сфалерит в жилах ближнего экзоконтакта метасоматитов, молибденит в жилах на удалении в сотни метров — первые километры от метасоматитов	Гадолинит в жилах ближнего экзоконтакта, флюорит в жилах ближнего и дальнего экзоконтактов, в жилах обоих типов пирит, халькопирит, халькозин, пирротин				Рудопроявления, редко мелкие месторождения молибдена

8. Главные геолого-генетические элементы модели тантал-ниобий-циркониевого месторождения в щелочных автономных апогранитных метасоматитах

Части модели	Позиция месторождения относительно тектонических структур	Морфология метасоматических залежей	Морфологический тип оруденения	Главные рудные элементы и минералы	Сопутствующие элементы и минералы	Геохимическая характеристика	Геофизическая характеристика	Зоны метасоматической колонки	Масштабы оруденения
II, рудная, метасоматитов по катклазитам гранитов	В зонах пологих региональных разломов. Рудоносные метасоматиты замещают брекчии гранитов	Пластообразные залежи с участками слабо замещенных пород субстрата	Тонковкрапленный	Ta, Nb, Zr, колумбит, фергусонит, малакон	Sn, U, Th, TR, Y, Li, Be, Zr, Pb, Mo, F, пироксеноид, литиевые слюды, торит, касситерит, топаз, флюорит	В 3—5 раз выше кларковых для гранитов содержания Ta, Nb, Zr, Li, Be, Rb, U, Th, Zr, Pb, Mo, F, TR, Y	Средней степени интенсивности положительные наземные гаммааномалии ($Th > U$)	Выражены неясно: передовая и промежуточная зоны представлены лейкократовым альбититом, тыловая (приподошвенная часть залежи) альбит-микроклиновым метасоматитом с рибекитом или биотитом	Средние, реже крупные месторождения

Судя по составу солевых вытяжек из включений в минералах метасоматитов (табл. 4), флюид, производящий метасоматоз, был преимущественно фторидно-натриевый. Давление, под которым он находился, незначительно превышало литостатическое, температура соответствовала гидротермальной. Процесс метасоматоза был весьма длительным (табл. 5).

Другие тантал-ниобий-циркониевые месторождения в щелочных метасоматитах не достигают таких масштабов и содержаний полезных компонентов, как месторождения этой модели. Сравнение с ней и друг с другом моделей этих месторождений (рис. 2—4) и их главных геолого-генетических элементов (табл. 6—8) показывает, что они различаются в основном химическим составом субстрата, по которому развивался метасоматоз, и его физическими свойствами,

обуславливающими все остальные различия, и, кроме того, положим или крутым залеганием флюидоподводящего разрыва и степенью однородности замещаемых пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методика комплексной оценки редкометалльных месторождений в щелочных метасоматитах на разных стадиях геолого-разведочных работ*, ч. I. Геологическая и собственно методическая/ В.В.Архангельская, Е.А.Калиш, Л.П.Каташева и др. — М.: ВИМС. 1991.
2. *Минералы щелочных редкометалльных метасоматитов и практические результаты их изучения*/Под ред. В.В.Архангельской. — М.: ВИМС. 1989.

Archangelskaja W.V., Rjabenko S.V.

THE QUANTITATIVE GENETIC-GEOLOGICAL MODEL OF TA-NB-ZR DEPOSITS IN ALKALINE METASOMATIC ROCKS

A model of Ta-Nb-Zr deposits in alkaline metasomatic rocks is considered. The main genetic-geological elements of the model are position of the deposits in the planetary, regional and local structures; morphology; inside structure; mineralogical, petrological and geochemical characteristics of the ore-bearing metasomatic rocks; alkaline degree of the latter a. o. The quantitative parameters of the model are the deposit dimensions; concentrations of ore-forming and rock-forming components; intensity of geophysical fields surrounding the ore deposit a.o. The model is compared with other Ta-Nb-Zr deposits, arising in similar alkaline metasomatic rocks.

ПРОГНОЗ, ПОИСКИ И ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБСТАНОВКАХ

Методика прогноза поисков и оценки месторождений свинца и цинка основана на применении формационного, литолого-фациального, литолого-структурного, рудно-металлогенического анализов, специализированных видов картирования, комплексной интерпретации геофизической и геохимической информации, а также методики составления базовых комплексных прогнозно-поисковых моделей рудных районов, рудных полей и месторождений.

Методика обеспечивает качественную и достоверную оценку территории. При минимально-оптимальных затратах позволяет выделять перспективные участки с количественной оценкой ожидаемых запасов, устанавливать минимально необходимый комплекс геологоразведочных работ.

Вид реализации - инжиниринг.

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

УДК 550.812.14.012:553

РАЗВЕДОЧНАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУБАКА

В. Б. ГОЛЕНЕВ, Д. Н. ГРЕЧИШНИКОВ, А. И. ТЮТИН (ЦНИГРИ), В. К. ВЛАСОВ, В. Н. МАКУРИН (СЕВЕРО-ЭВЕНСКОЕ ГГП)

Приводится пример оценки месторождения, выбора параметров и оперативной корректировки разведочного процесса на основе банка золоторудных месторождений с помощью компьютерной технологии. Последняя обеспечивает обработку информации и поиск аналогов разведочных систем и сетей, способов опробования в соответствующих банках данных.

Назначение модели — оценка месторождения, выбор параметров и оперативная корректировка разведочного процесса для повышения достоверности получаемой информации. Основа моделирования — банк золоторудных месторождений и компьютерная технология, предназначенные для выбора параметров методики разведки. Модель апробирована при защите запасов в комиссиях по запасам РФ и Севвостгеолкома.

Модель месторождения Кубака представлена пятью блоками:

- выбора разведочной системы;
- выбора разведочной сети;
- выбора методики опробования;
- заверочных работ;
- компьютерной обработки информации.

Рассмотрим некоторые фрагменты перечисленных блоков этой модели.

Блок выбора разведочной системы. Выбор системы определяется сочетанием следующих факторов:

геолого-промышленным типом месторождения;

формационной принадлежностью, минеральным типом оруденения;

морфологическим типом рудных тел;

структурой рудного поля месторождения;

группой сложности строения по классификации запасов;

структурой распределения запасов;

распределением оруденения на уровне разведочной системы;

физико-географическими условиями местности.

Выявление этих факторов, выбор разведочной системы по банку аналогов и оперативная ее корректировка в соответствии с изменениями представлений о факторах — основное назначение данного блока.

Рассмотрим близповерхностное золото-серебряное оруденение вулканогенных областей. Отношение золота к серебру 1 : 1; руды убогосульфидные (0,01—0,5 %); золото свободное, мелкое — 0,001—0,07 мм, пробность 450—750. Промышленное оруденение локализуется в трех крупных (1—2 км) системах ступенчатых сколовых трещин, рассекающих пологозалегающие вулканогенно-осадочные породы вулcano-тектонической депрессии девонского возраста (рис. 1). Рудное поле подвержено пострудной меловой активизации, приведшей к нарушению сплошности и смещению рудных тел, разбивке их на относительно мелкие блоки. Подавляющая часть запасов золота (80 %) сосредоточена в одной из трех зон — Центральной. В двух других (Северной и Цокольной) — по 10 % запасов. Расстояние между зонами 500—1000 м. Рельеф местности и условия залегания рудных тел благоприятны для эффективной штольневой разведки Северной и Центральной зон, для Цокольной штольневое вскрытие невозможно.

Рудные тела образованы двумя разноориентированными прожилково-жильными системами. Основная (75 % запасов) вертикальная северо-восточного простирания представлена ранним карбонат-анортотлаз-кварцевым агрегатом и гидротермальной халцедон-кварцевой брекчией. Протяженность рудных тел по простиранию до 400, по

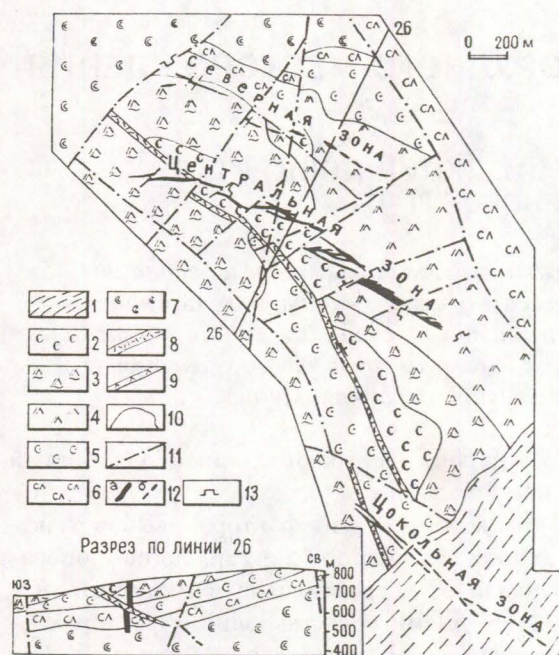


Рис. 1 Схема геологического строения месторождения Кубака:

1 — углисто-глинистые сланцы раннего карбона; 2—8 — средне-позднедевонские породы: 2 — агломеративные туфы, 3 — кристаллокластические игнимбриты, 4 — риолито-дациты, 5 — вулканические туфопесчаники, 6 — туфы риолито-дацитов, 7 — туфы трахиандезитов, 8 — дайки риолитов; 9 — дайки диоритов; 10 — границы разновозрастных геологических образований; 11 — разрывные нарушения; 12 — рудные тела: а — выходящие на дневную поверхность, б — не выходящие на поверхность; 13 — устья штольневых горизонтов

падению до 200 м, мощность — 10—20 м, содержания золота до 15 г/т. В Центральной и Цокольной зонах жильно-прожилковые рудные тела имеют по классификации запасов третью группу сложности. Вторая система широтной ориентировки с падением 60—70°, оперяющая по отношению к первой, сложена хлорит-адуляр-кварцевым более поздним агрегатом. Тела этой системы быстро выклиниваются от линии сочленения. Их протяженность по простиранию не более 150, по падению — 100 м, мощность — первые метры. Они отличаются более высокими содержаниями золота (20—30 г/т) и количеством кварца. По сложности строения рудные тела относятся к четвертой группе, преимущественно жильного типа, сосредоточены в Северной и Центральной зонах.

Основными особенностями распределения оруденения, влияющими на выбор системы разведки, являются: изменение морфологии рудных тел по падению (рис. 2), экранирование, ярусность или этажность оруденения, его резкое выклинивание по падению (рис. 3). Это обусловлено неоднородностью вмещающей среды, переходом оруденения по вертикали сверху вниз последовательно из агломеративных туфов в игнимбриты дацитов, затем — риодациты, а далее — туфопесчаники.

Подготовленность месторождения к промышленному освоению достигается разведкой практически всех запасов Центральной зоны до категории C_1 , а Цокольной и Северной — C_2 . Исходя из факторов, определяющих выбор системы, соответствующего банка месторождений (их участков), запасы категории C_1 могут быть разведаны только горными работами (см. блок заверочных работ) — системой штольневых горизонтов. Расстояние между горизонтами (50 м), их количество обусловлено необходимостью изучения влияния состава вмещающих пород на морфологию рудных тел, закономерности локализации и изменчивость оруденения. Достаточность этого расстояния между горизонтами доказана специальным анализом. Ниже последнего горизонта горных работ запасы категории C_1 (незначительное количество в подвеске) разведываются бурением. Применению бурения благоприятствует тот факт, что разрез с глубиной становится более однородным. Штольневое вскрытие позволяет изучить поведение оруденения по вертикали системой восстающих, которые задаются для изучения характера изменения морфологии рудных тел и закономерностей локализации золота при переходе из одних пород в другие, выявления границ распространения промышленного оруденения и обоснования увязки рудных тел между штольневыми горизонтами. Запасы категории C_2 Северной и Цокольной зон разведываются буровой системой.

Блок выбора разведочной сети. Основная цель блока — выявление геологических факторов, влияющих на выбор, подбор по банку данных оптимальных разведочных сетей для исследуемых рудных тел.

Основными факторами, определяющими

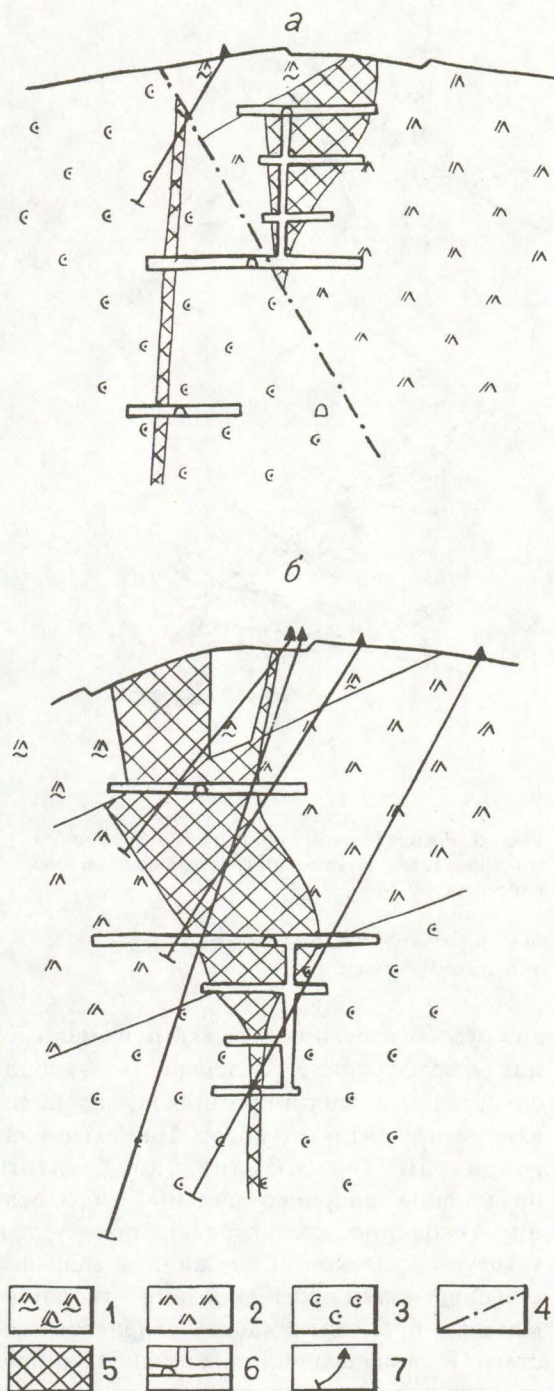


Рис. 2 Влияние вмещающих пород на морфологию рудных тел:

a — профиль 36 + 20, *б* — профиль 32; 1 — кристаллокластические игнимбриты; 2 — риолито-дациты; 3 — вулканические туфопесчаники; 4 — разрывные нарушения; 5 — рудные тела; 6 — подземные горные выработки; 7 — скважины

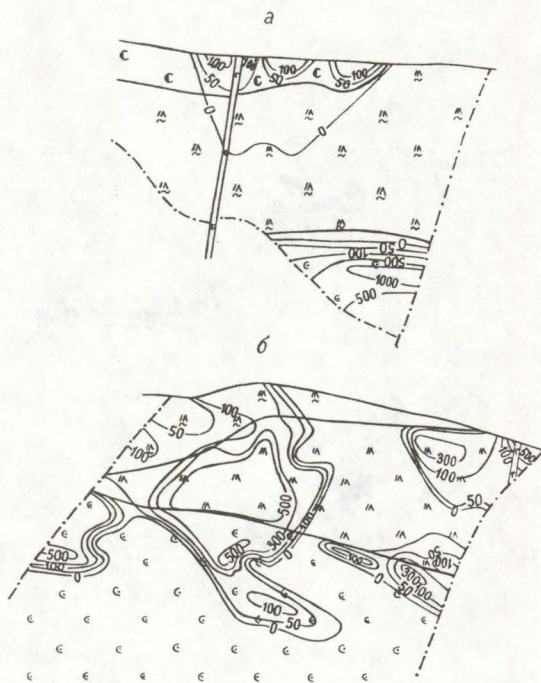


Рис. 3 Распределение продуктивности богатых руд (в проекции на вертикальную плоскость).

Усл. обозначения см. рис.1

ми выбор плотности разведочной сети на месторождении, являются:

- морфологический тип рудного тела;
- характер распределения полезного компонента на заданном уровне;
- осложнение морфологии рудного тела разрывными нарушениями.

На месторождении встречаются два морфологических типа рудных тел (жильно-прожилковые зоны и жилы), отличающиеся, как показано выше, размерами, условиями залегания, моделью распределения золота (рис.4, 5). В жильно-прожилковых зонах эта модель такова, что средние размеры обособлений богатых руд (35—75 м) по простиранию в 1,2—1,3 раза больше таковых по падению. Этим обусловлена анизотропия оруденения. В жильных телах средние размеры рудных обособлений не превышают 20 м по простиранию при сохранении показателя анизотропии. Полигармонический анализ показал отсутствие скрытой периодичности в распределении богатых руд для обоих типов тел. С богатыми содержаниями в жильных зонах связано до 20 % запасов

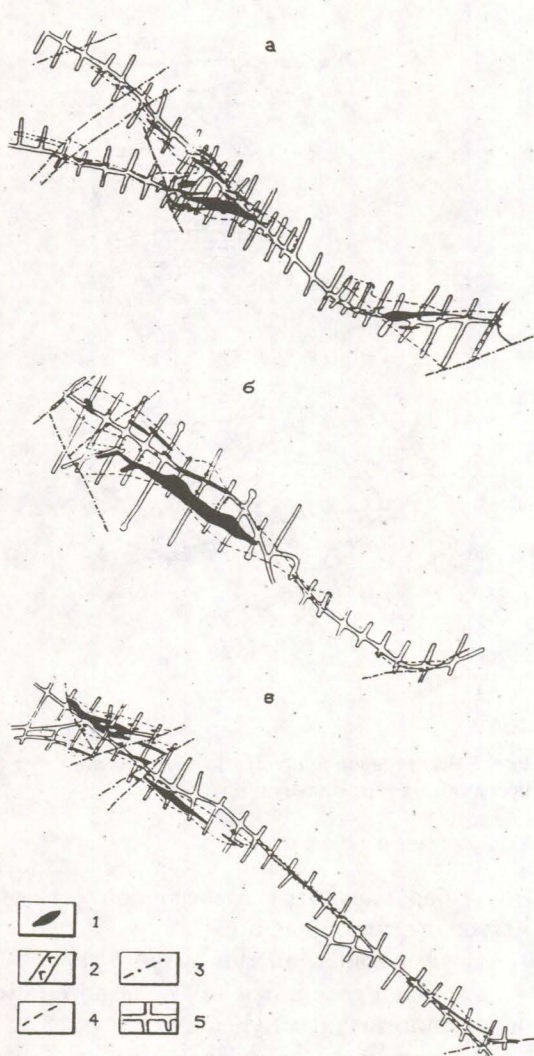


Рис. 4 Распределение богатого оруденения в жильно-прожилковых зонах (в проекции на горизонтальную плоскость):

а — горизонт 714 м, *б* — горизонт 664 м, *в* — горизонт 614 м; 1 — богатые руды; 2 — дайки диоритов; 3 — разрывные нарушения; 4 — граница рудных тел; 5 — подземные горные выработки

руды и 80 % металла, тогда как в жилах — до 40 % запасов руды и 90 % металла. Мощности обособлений богатых руд соответственно 3—4,5 и 1,0 м; содержания золота — 70—80 и более 100 г/т. Богатые руды имеют юго-восточное склонение в плоскости рудных тел ($20\text{--}30^\circ$).

Богатые руды тяготеют к центральным частям тел, постепенно затухая на флангах; контролируются минералами поздней ста-

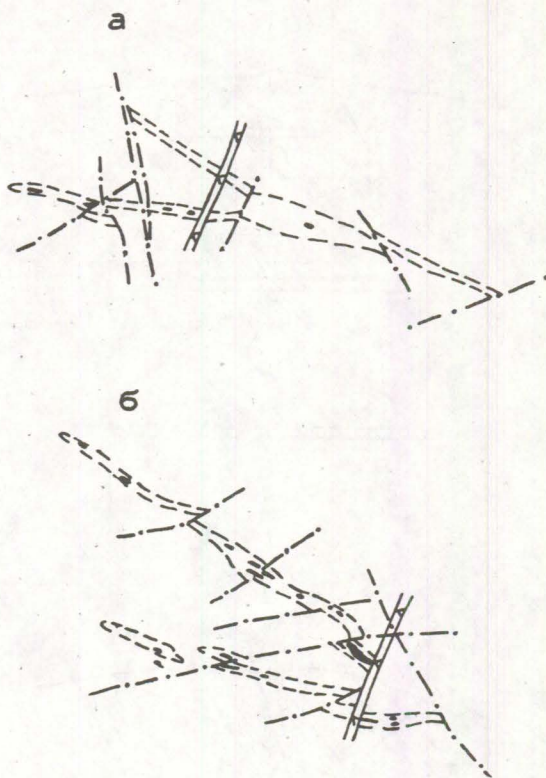


Рис. 5 Распределение богатого оруденения в жильных телах (в проекции на горизонтальную плоскость):

а — горизонт 714 м, *б* — горизонт 664 м.
Усл. обозначения см. рис. 4

дии рудообразования, участками их наложения на более ранние, сочленением разноориентированных жил и прожилков, экранированием на контактах пород. Наиболее благоприятны для локализации богатого оруденения кварцево-жильные образования, особенно колломорфно-полосчатой текстуры, эндоконтакты жил, в меньшей степени — зоны прожилкования и гидротермальные брекчии халцедон-кварцевого состава. Из вмещающих пород наиболее благоприятны горизонты дацитов и туфопесчаников. Их контакты с игнимбритами играют роль экранов. Богатые руды характеризуются повышенным золото-серебряным отношением.

Исходя из модели концентрации богатых руд и соответствующего банка данных, выявление характера распределения золотого оруденения в жильно-прожилковых зонах

возможно при расстоянии между рассечками по простиранию до 30 м, а в жильных телах — до 10 м с обязательным прослеживанием рудного тела забоем выработки. Исходя из анизотропии оруденения, оптимальное расстояние между рассечками в восстающих — 15 м для жильно-прожилковых зон и 7—8 м для жил. Характер взаимоотношения рудных тел и разрывных нарушений изучается также дополнительными выработками вне разведочной сети. При разведке скважинами запасов категории C_2 в жилах Северной зоны сеть бурения составляет 20×15 м, а в жильно-прожилковых телах Цокольной зоны — 40×30 м.

Блок опробования выявляет возможное негативное влияние на достоверность опробования геологических факторов и способствует выбору в соответствии с ними оптимальной методики опробования. Этими факторами являются:

неоднородность геологического строения руд на уровне рядовой пробы;

распределение золота по элементам выявленной неоднородности;

соотношение прочностных свойств элементов неоднородности.

Руды на месторождении имеют различную геологическую природу и морфологию. Выделяются адуляр-кварцевые жилы (прожилки) и вмещающие их вулканогенно-осадочные породы, а по характеру распределения золота — еще и эндоконтакты жил, отличающиеся повышенным содержанием золота. Соотношение распределения золота и прочностных свойств по элементам неоднородности отражено на рис. 6.

Исходя из выявленных факторов и используя банк руд, предназначенный для выбора оптимальных параметров опробования, не находим предпосылок для избирательного истирания керна и ограничений применения бурения по этой причине. При бороздовом опробовании необходимо обращать особое внимание на сохранение постоянного поперечного сечения борозды по всем природным разновидностям руд. Соблюдая это условие, получаем достоверные данные по бороздovому способу опробования. Выводы о достоверности выбранной методики опробования подтверждает комплекс соответствующих экспериментальных работ.

Блок заверочных работ нацелен на под-

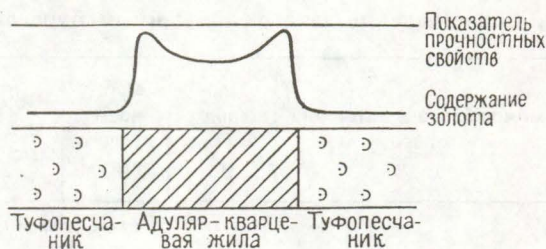


Рис. 6 Схема распределения содержаний золота и прочностных свойств по элементам неоднородности строения руд.

тверждение правомерности выбора параметров методики разведки с помощью банков данных и включает следующие операции:

сопоставление данных разведки и эксплуатации;

сопоставление горной и буровой систем разведки;

анализ шага между разведочными горизонтами;

детализацию разведочной сети;

моделирование сети методом разрезания;

обоснование достоверности бороздового опробования;

обоснование достоверности опробования керна.

Каждая из операций содержит методики проведения и обработки материалов заверочных работ на основе компьютерных технологий, а также результирующую часть. Не рассматривая методическую часть блока, остановимся на результатах заверочных работ. Сопоставление данных разведки жильно-прожилковых зон, проведенной горными выработками по сети 50×20 м, с эксплуатационным опробованием в опытном карьере (сеть 10×10 м) показало практически полное подтверждение геометризации, количества и качества запасов руды и металла. Анализ выполнен на примере блока, содержащего около 5 % запасов металла всего месторождения.

Сопоставление буровой и горной систем разведки в блоке с 10 % запасов металла месторождения выявили следующие недостатки первой, не позволяющие отнести запасы, разведанные скважинами, к категории C_1 :

не устанавливается влияние вмещаю-

1. Сопоставление запасов по данным буровой и эталонной горно-буровой систем разведки

Номер блока и категория запасов	Площадь руды, тыс. м ²	Мощность рудного тела, м	Объем руды, тыс. м ³	Объемная масса руды, т/м ³	Запас руды, тыс. т	Содержания, г/т		Запасы, кг	
						золота	серебра	золота	серебра
Сеть скважин 40 × 30—40 м									
6C ₂ -1	15,29	21,0	321,1	2,56	822,0	12,4	12,8	10192,8	10521,6
6C ₂ -2	7,61	4,2	32,0	2,56	81,9	8,0	11,6	655,2	950,0
Всего по рудному телу	22,90	15,4	353,1		903,9	12,0	12,7	10848,0	11471,6
Горно-буровая система (эталон) 20 × 25—30 м									
6C ₁ -1	8,76	20,7	181,3	2,56	464,1	11,8	12,5	5476,4	5801,3
6C ₁ -2	8,14	10,5	85,5	2,56	218,9	14,4	17,3	3152,2	3787,0
6C ₁ -3	2,36	12,4	29,3	2,56	75,0	13,1	17,1	982,5	1282,5
6C ₁ -4	1,94	3,2	6,2	2,56	15,9	14,8	14,6	235,3	232,1
6aC ₂ -1	2,77	4,9	13,6	2,56	34,8	9,2	15,6	320,2	542,9
Всего по рудному телу	23,97	13,2	315,9		808,7	12,6	14,4	10166,6	11645,8
Расхождения, %	-4,5	+16,7	+11,8		+11,8	-4,8	-11,8	+6,7	-1,5

2. Влияние промежуточного горизонта на результаты определения геологоразведочных параметров

Характеристики	Площадь рудного тела, м ²	Мощность, м	Запасы руды, тыс. т	Содержания, г/т		Запасы, кг	
				золота	серебра	золота	серебра
С горизонтом	8140	10,5	218,9	14,4	17,3	3152	3787
Без горизонта	7500	11,2	215,0	14,9	17,6	3204	3784
Расхождения, %	-7,9	+6,7	-1,8	+3,5	+1,7	+1,6	-0,1

щих пород на морфологию рудных тел и закономерности распределения оруденения;

потери субширотных оперяющих рудных тел из-за высокой ошибки геометризации запасов, происходящей вследствие невозможности выявления нарушений сплошности оруденения тектоникой;

выпадение на глубоких горизонтах из рудного тела при оконтуривании по мощности бедных руд, приводящее наряду с ошибкой геометризации к завышению содержания золота, увеличению доли богатых руд в их общем балансе;

определение более пологого (на 5—10°)

падения рудного тела, приводящего к увеличению его мощности.

Однако погрешности в геометризации запасов оказали разнонаправленное влияние на их количество и качество. Поэтому расхождения отдельных геологоразведочных параметров и запасов в целом по блоку не существенны (табл. 1) и позволяют использовать буровую систему как самостоятельную при разведке запасов категории С₂.

Анализ шага между разведочными горизонтами показал (табл. 2), что значения геологоразведочных параметров практически не зависят от того, участвуют ли в их

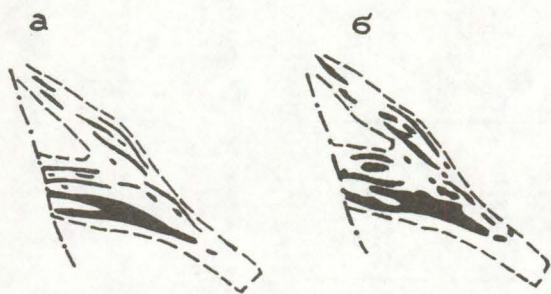


Рис. 7 Морфология и распределение богатых руд по участку детализации (в проекции на горизонтальную плоскость, гор.714м):

а — до сгущения сети; б — после сгущения сети в два раза.

Усл. обозначения см. рис. 4

выводе только два горизонта через 50 м (один в туфопесчаниках, другой в дацитах) или привлекается промежуточный горизонт (на границе дацитов и туфопесчаников), созданный скважинами. Детализация разведочной сети для жильно-прожилковых зон показала правомерность использования расстояния между пересечениями 20 м для разведки запасов категории C_1 . В результате сгущения сети практически не меняются представления о морфологии и внутреннем строении рудного тела (рис. 7), а также значения геологоразведочных параметров (табл. 3).

Анализ изменения погрешностей оценки геологоразведочных параметров при разрежении сети (по отдельным вариантам и в целом) и моделирование изменчивости оруденения с помощью аппарата случайных функций свидетельствуют, что расстояние по простиранию для оценки запасов маломощных жильных тел по категории C_1 должно быть не более 10—12 м (табл. 4), а мощных жильно-прожилковых зон — 40 м (рис. 8).

Результаты обоснования достоверности опробования скважин и горных выработок приведены в табл. 5 и свидетельствуют о правильном выборе методики опробования.

Блок компьютерной обработки информации состоит из базы разведочных данных и программного обеспечения, позволяющих автоматизировать подсчет запасов, в том числе и многовариантный, при обосновании

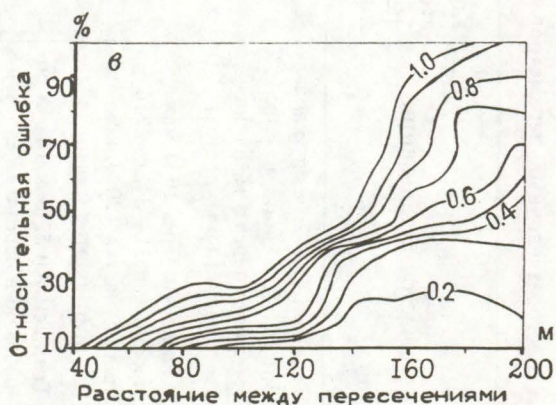
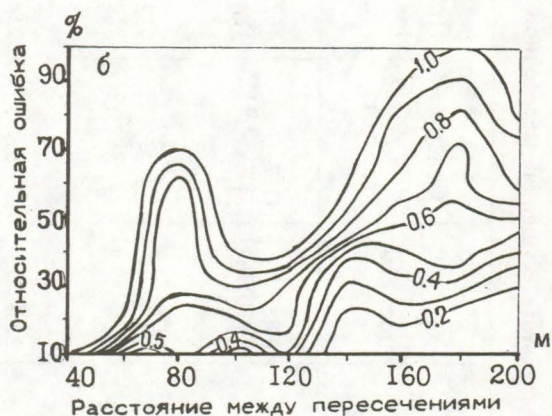
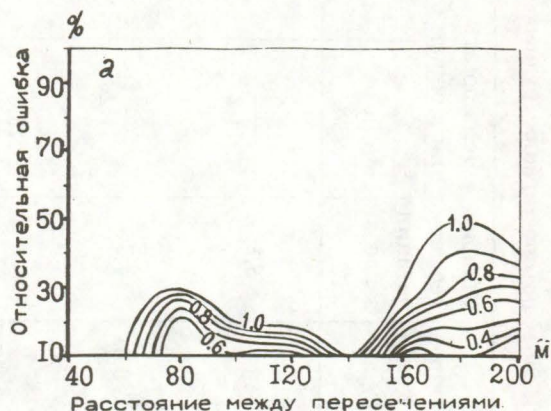


Рис. 8. Распределение вероятностей погрешностей оценки геологоразведочных параметров (а — мощность, б — содержание, в — продуктивность) при различном расстоянии между пересечениями по простиранию жильно-прожилковой зоны

3. Изменения геологоразведочных параметров в результате сгущения разведочной сети 20 м по простиранию рудных тел

Морфологический тип рудных тел	Участок детализации	Количе- ство пе- ресече- ний	Мощ- ность, м	Содержа- ние золо- та, г/т	Продуктив- ность золо- та, мг/т	Ошибка геомет- ризации запасов, %	Доля богатых содержа- ний в общем балансе, %	
							по руде	по золоту
Жильные зоны боль- шой мощности с пре- обладанием столбового характе- ра распределения оруденения	Траншеи 41, 42 между канава- ми 18—83 с линиями опробо- вания через 5 м, длина участка 60 м, дациты	$\frac{4^*}{15}$	$\frac{39,5}{39,7}^{(+0,5)}$	$\frac{11,7}{12,1}^{(+3,4)^{**}}$	$\frac{462,15}{480,37}^{(+3,9)}$	5,8	$\frac{13,0}{11,2}$	$\frac{53,4}{55,7}$
	Рассечки через 10 м между профилями 31—34, гор.714 м, длина участка 120 м, контакт игнимбритов и дацитов	$\frac{7}{17}$	$\frac{28,6}{26,7}^{(-6,6)}$	$\frac{33,3}{35,9}^{(+7,8)}$	$\frac{952,38}{958,53}^{(+0,6)}$	4,3	$\frac{18,5}{21,2}$	$\frac{80,8}{81,6}$
	Траншеи 7 и 52 с линиями оп- робования через 5 м, суммар- ная длина участка 60 м, агломератовые туфы	$\frac{5}{13}$	$\frac{22,1}{23,6}^{(+6,8)}$	$\frac{11,5}{10,7}^{(-7,0)}$	$\frac{254,15}{252,52}^{(-0,6)}$	13,7	$\frac{18,8}{16,4}$	$\frac{63,3}{62,4}$
Жильные зоны сред- ние по мощности с преобладанием гнез- дового характера рас- пределения оруденения	Рассечки через 10 м между профилями 21 — 23+20, гор.664 м, длина участка 100 м	$\frac{5}{10}$	$\frac{7,4}{7,5}^{(+1,4)}$	$\frac{16,9}{16,3}^{(-3,6)}$	$\frac{125,06}{122,25}^{(-2,2)}$	13,4	$\frac{18,2}{15,8}$	$\frac{78,2}{78,5}$
	Траншеи между профилями 6—13 с линиями опробования через 5 м, суммарная длина участка 215 м, игнимбриты	$\frac{13}{53}$	$\frac{7,6}{7,5}^{(-1,3)}$	$\frac{12,8}{13,1}^{(+2,3)}$	$\frac{97,28}{98,25}^{(+1,0)}$	12,3	$\frac{8,6}{10,5}$	$\frac{38,6}{44,5}$

* в числителе — значение по редкой сети, в знаменателе — по густой

** в скобках — изменение параметров, %, после детализации

4. Результаты разрежения разведочной сети по простиранию маломощных жильных тел

Расстояние между пересечениями, м	Количество пересечений по вариантам	Мощность, м	Содержание золота, г/т	Продуктивность золота, мг/т	Длина рудного интервала, м	Условные запасы руды	Условные запасы золота
Рудное тело 5 (горизонт 614 м)							
4,0	(эталон) 34	2,2	60,6	133,32	120,0	264,0	16,0
8,0	15—17	$\frac{+4,5}{4,5}$	$\frac{+9,9-2,1}{6,0}$	$\frac{+14,9+2,3}{8,6}$	$\frac{0-16,7}{8,4}$	$\frac{+4,5-12,9}{8,7}$	$\frac{+15,0-15,0}{15,0}$
12,0	10—12	$\frac{+9,1-9,1}{7,6}$	$\frac{+36,6-21,9}{22,9}$	$\frac{+24,2-18,4}{20,9}$	$\frac{+4,2-16,7}{11,1}$	$\frac{+8,9-20,4}{12,8}$	$\frac{+8,8-15,0}{7,9}$
16,0	7—8	$\frac{+9,1-0}{5,7}$	$\frac{+31,4-33,8}{30,4}$	$\frac{+43,3-33,8}{37,7}$	$\frac{-5,8-16,7}{12,3}$	$\frac{-5,3-9,5}{7,4}$	$\frac{+24,2-37,5}{23,6}$
20,0	6—7	$\frac{+13,6-4,5}{9,1}$	$\frac{+37,0-20,8}{18,6}$	$\frac{+55,6-16,2}{25,8}$	$\frac{+10,0-14,2}{10,2}$	$\frac{+4,9-2,3}{2,6}$	$\frac{+33,8-19,4}{16,0}$
Рассечки по профилям через 20 м	7	+9,1	-3,6	+5,1	0	+9,1	+5,0
Рудное тело 15 (горизонт 664 м)							
4,0—6,0	(эталон) 18	2,0	30,4	60,8	46,4	120,0	3,6
10,0	6—7	$\frac{+10,0-0,0}{5,0}$	$\frac{+3,6-6,6}{5,1}$	$\frac{+3,6+2,8}{3,2}$	$\frac{-2,2-20,3}{11,2}$	$\frac{+10,0-0}{5,0}$	$\frac{+5,6+2,8}{4,2}$
15,0	4	$\frac{+25,0-10,0}{13,3}$	$\frac{+81,6-65,5}{55,6}$	$\frac{+72,5-56,8}{52,4}$	$\frac{+24,9+49,4}{26,0}$	$\frac{+25,0-10,0}{13,3}$	$\frac{+75,0-55,6}{52,8}$
Рассечки по профилям через 20 м	4	+25,0	+7,9	+34,9	+9,4	+25,0	+36,1

* в числителе — максимальные и минимальные погрешности для данной сети, в знаменателе — средняя погрешность, определенная без учета знаков

5. Результаты работ по оценке достоверности опробования

Способ оценки достоверности	Величина расхождений содержаний, %
Керновое опробование	
Прямая заверка скважин восстающими	-4,4
Сопоставление сближенных буровых и горных пересечений	-13,9
Анализ зависимости между содержаниями в пробах и их массой	+5,0
Экспериментальное моделирование избирательного истирания керна	+5,0
Бороздвое опробование	
Заверка бороздого способа опробования валовым	-9,5
Заверка бороздой большего сечения	-1,9
Оценка воспроизводимости бороздого опробования	+5,0
Анализ зависимости между содержаниями в пробах и их массой	+5,0

Примечание: характер расхождений всегда случайный.

параметров кондиций; получать информацию о закономерностях распределения и изменчивости оруденения, качестве геолого-разведочных работ, факторах, определяющих выбор системы разведки, плотности сети, методики опробования; производить поиск аналога параметра методики разведки месторождения в соответствующем банке данных; готовить отчетные материалы. База данных (не путать с банками данных) отражает положение каждой пробы в разведочной системе (принадлежность разведочному горизонту, профилю, выработке, блоку подсчета запасов) и содержит такие параметры пробы как номер, интервал опробования,

длина, содержания золота и серебра, масса, геологическая характеристика, отношение к оруденению.

Таким образом, модель месторождения Кубака — пример возможности выбора параметров разведочного процесса на основе банка различных элементов методики разведки (разведочных систем и сетей, способов опробования) и факторов, определяющих выбор этих элементов, а также применения компьютерных технологий при обработке информации, поиске аналогов в банке данных и оперативной корректировке разведочного процесса.

Golenev V. B., Grechishnicov D. N., Tiutin A. I., Vlasov V. K., Makurin V. N.

PROSPECTING MODEL OF GOLD ORE DEPOSIT KUBAKA

Here is the example of the evaluation of the deposit, the choice of parameters and the operative correction of exploration on the basis of gold-ore deposits data bank by computer technology. This approach allows to process information, to search on the analogy of exploration systems, grids and sampling methods.

УДК 553.435.001.57

МНОГОФАКТОРНЫЕ МОДЕЛИ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ УСКОРЕННОЙ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

С.А. ЕМЕЛЬЯНОВ (ЦНИГРИ)

Показана структура многофакторных моделей и изложены принципы моделирования. Учет допустимых и средних случайных погрешностей, а также анизотропии распределения оруденения дает возможность оптимизировать плотность и геометрию разведочной сети для эталонных, а затем и разведываемых объектов. Степень экономического риска освоения месторождения помимо экономических факторов определяется величиной случайной погрешности запасов.

Многофакторные модели представляют собой обобщенные математические модели рудных залежей для целей оценки и разведки. Они состоят из совокупностей количественных признаков, среди которых можно выделить следующие блоки: геологический, морфометрический, статистический, концентрационный, методический и экономический. Многофакторные модели являются композитными, объединяющими несколько видов моделей, и дополнены признаками целевого методического блока. Последний включает следующие признаки: угол падения, среднюю и минимальную глубину залегания, средние радиусы автокорреляции, коэффициенты анизотропии распределения, средние случайные погрешности подсчетных параметров и запасов, рациональную плотность сети, а также стоимость разведки единицы запасов условной категории C_1 в ценах 1984г. Основные технико-экономические показатели, к которым относятся бортовое и минимальное промышленное содержания, производительность, потери, разубоживание, срок обеспеченности запасами, себестоимость продукции, капиталовложения, основные фонды, рентабельность и др., не входят в число факторов, поскольку каждый из них является величиной переменной и зависит от проектных решений. Но они играют существенную роль на заключительном этапе моделирования.

Рудные залежи колчеданно-полиметаллических месторождений, описанные совокупностью признаков, образуют ряд пересекающихся

множеств, а признаки, на первый взгляд совершенно не связанные между собой, при углубленном статистическом анализе обнаруживают сложные взаимозависимости. На статистическом учете трудно выявляемых связей признаков и количественном анализе закономерностей их изменений основана методика создания и использования многофакторных моделей для целей оценки и разведки. Задачами многофакторного моделирования являются (рис.1):

оценка информативности каждого признака;

типизация (классификация) на количественной статистической основе;

определение аналогов разведываемым месторождениям среди достоверно оцененных.

Определение высокоинформативных признаков выполняется методами факторного и корреляционного анализа. В результате двустадийной селекции по факторным нагрузкам и коэффициентам парной корреляции получен необходимый и достаточный для типизации ряд из 34 признаков, представляющих все пять блоков.

Типизация объектов заключается в разделии выборки на непересекающиеся классы методами кластерного и логико-информационного анализа. Кроме того, по максимальной величине меры сходства пар моделей устанавливаются ближайшие аналоги. В результате машинной типизации выделены десять групп колчеданно-полиметаллических залежей [2], обладающих сходными значениями большинства информативных признаков. Наиболее информативными или классификационными при-

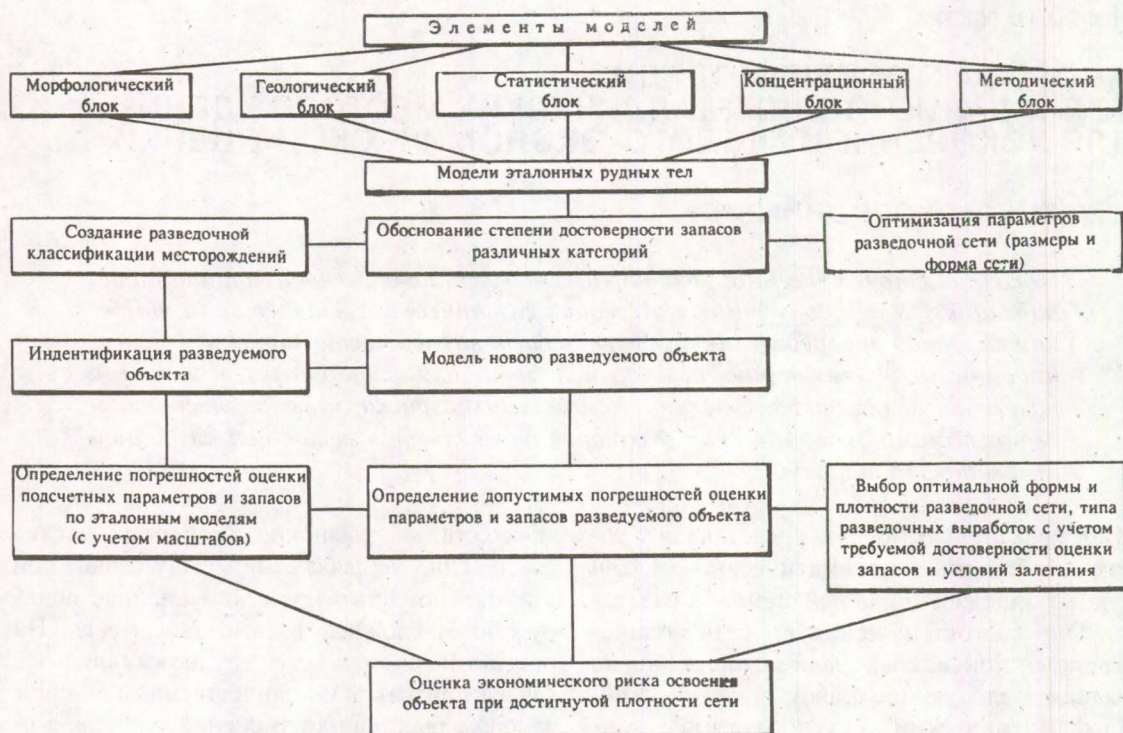


Рис.1. Структура и использование многофакторных моделей рудных тел колчеданно-полиметаллических месторождений.

знаками оказались относительный химический состав руд и отношение длины, ширины и мощности (форма) залежей.

Наряду с близкими значениями геологических, морфометрических и концентрационных факторов объекты, входящие в одну группу, обнаруживают сходную изменчивость оруденения и, как следствие, близкий уровень погрешностей оценки количества и качества руды в пересчете на относительную плотность разведочной сети (рис. 2).

На диаграмме «запасы руд — запасы металлов» отмечается некоторая группировка месторождений различного масштаба и состава руд (рис.3).

Взаимосвязь или коррелируемость таких показателей как масштаб и форма рудных объектов, состав руд и уровень погрешностей оценки запасов в пересчете на относительную плотность сети дает предпосылки для разработки новой разведочной классификации рудных месторождений, подобной классификации ГКЗ СССР, но опирающейся на систему коли-

чественных характеристик, в том числе и уровни погрешностей подсчетных параметров и запасов.

Вопросам определения погрешностей подсчетных параметров при достигнутой и более редкой сети, а также обоснованию ее оптимальной плотности посвящены многочисленные теоретические и экспериментальные исследования. В связи с необходимостью сокращения сроков оценки и разведки месторождений и оптимизации плотности разведочной сети количественная характеристика погрешностей оценки подсчетных параметров, а в совокупности и запасов, имеет важное практическое значение.

Возможные случайные погрешности подсчетных параметров и запасов определяются методами градиентов, многовариантного разрежения и крайгинга двумерных моделей рудных тел. Средние случайные погрешности, вычисленные наиболее применяемым методом разрежения сети, целесообразно нормировать путем взвешивания на число пересечений в варианте разрежения (или на величину, обратную кратности разрежения сети), в ре-

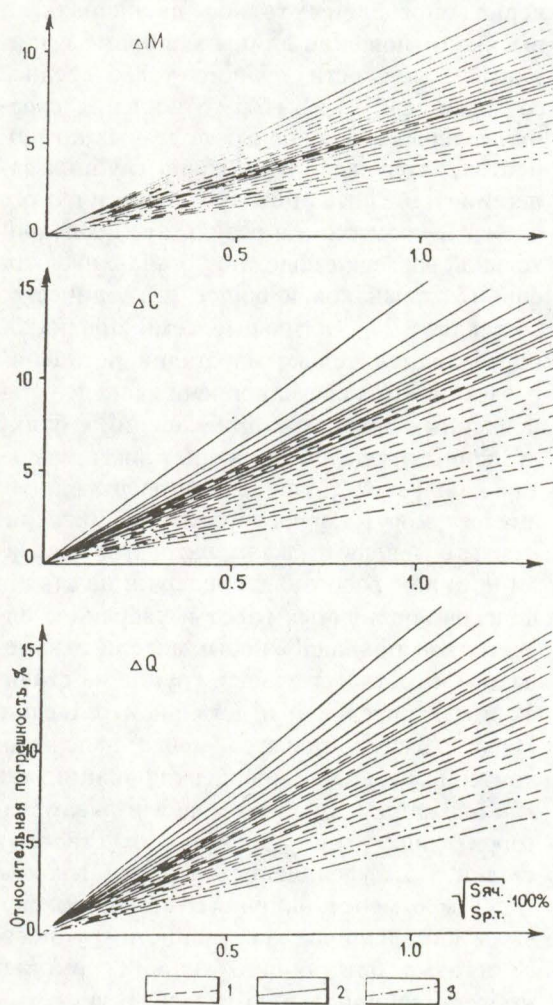


Рис.2. Погрешности оценки средней мощности (ΔM), среднего содержания $\text{Cu} + \text{Pb} + \text{Zn}$ (ΔC) и запасов (ΔQ) в пересчете на среднее относительное расстояние между выработками.

Типы месторождений: 1 — колчеданно-медно-цинковые, 2 — колчеданно-полиметаллические, 3 — колчеданно-свинцово-цинковые (холоднинский и атасуйский типы). $S_{\text{яч.}}$ — площадь ячейки разведочной сети, м

зультате чего получаем строго линейную зависимость величины средней погрешности от среднего расстояния между пересечениями или параболическую — от площади ячейки разведочной сети.

Расчет допустимых погрешностей оценки среднего содержания (ΔC) и запасов руды (ΔP), металлов (ΔQ) осуществляется на базе технико-экономических показателей разработки месторождения [1]:

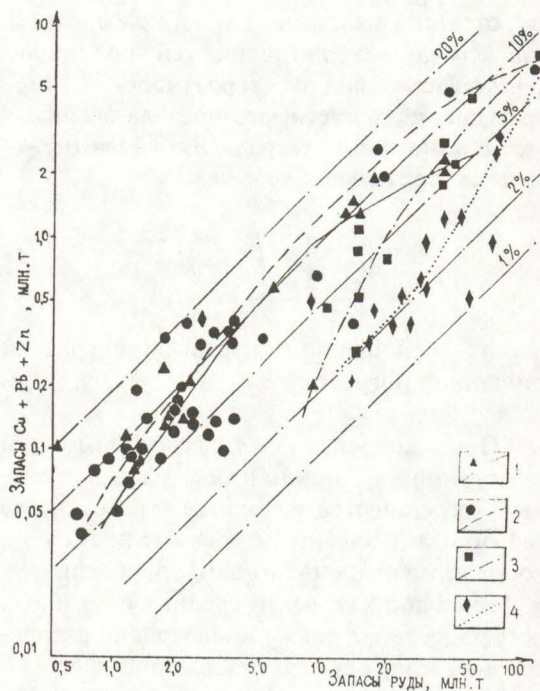


Рис.3. Диаграмма «запасы руд — запасы металлов».

Типы месторождений: 1 — колчеданно-медно-цинковые, 2 — колчеданно-полиметаллические, 3 — колчеданно-свинцово-цинковые, 4 — стратиформные свинцово-цинковые

$$\Delta C = \frac{(\bar{C} - C_{\min}) \cdot 100\%}{\bar{C} \cdot \sqrt{T}} \quad (1)$$

$$\Delta P = \frac{(C_{\text{и}} - C_0) \cdot 100\%}{C_{\text{и}} \cdot \sqrt{T}} \quad (2)$$

$$\Delta Q = \sqrt{\Delta C^2 + \Delta P^2} \quad (3)$$

где $\bar{C}$ — расчетное среднее содержание металлов, %;

$C_{\min}$ — минимальное промышленное содержание, %;

$C_{\text{и}}$ — извлекаемая ценность 1 т руды, руб.;

C_0 — себестоимость добычи и переработки 1 т руды, руб.;

T — срок обеспеченности запасами, год или финансово-отчетный период.

Количественные оценки погрешностей позволяют обоснованно подойти к определению достоверности подсчитанных запасов. Отношение допустимых и средних случай-

ных ошибок при соответствующей плотности сети определяет вероятность безубыточной отработки запасов. Так как распределение случайных погрешностей подчинено нормальному закону, вероятность (ω) не превышения допустимого предела вычисляется с помощью интеграла Ляпунова (центральная предельная теорема):

$$\omega = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \frac{-t^2}{e^2} dt \quad (4)$$

где: t - отношение допустимой и средней случайной погрешностей.

При корректировке промминимума и себестоимости 1 т руды в формулах допустимых погрешностей находится и вероятность разработки с заданным уровнем рентабельности или внутренней нормы прибыли.

Учет допустимых и средних случайных погрешностей, а также анизотропии распределения мощностей и содержаний дает возможность оптимизировать разведочную сеть для каждого эталонного объекта. Плотность сети или среднее расстояние между разведочными пересечениями выбирается, исходя из принимаемого отношения допустимой и средней случайной погрешностей запасов. Форма ячейки разведочной сети должна быть адекватной эллипсу анизотропии, который представляет собой геометрическое место точек, удаленных от условного центра на величину зоны влияния крайгинга или радиуса автокорреляции наиболее изменчивого параметра.

Применение многофакторного моделирования наиболее эффективно на ранних стадиях изучения месторождений, когда высок темп роста объема информации или числа факторов и необходимо выбрать систему разведки, плотность разведочной сети, не допуская излишних затрат времени и средств на оценку малоперспективных рудных объектов.

После установления классификационных и ряда других признаков новый вовлекаемый в разведку объект можно отнести даже по неполному числу факторов к определенной группе, найти ближайший аналог и прогнозировать некоторые неустановленные признаки и погрешности. Из 34 высоко-

информативных признаков на стадии поисково-оценочных работ могут быть достоверно определены только двенадцать, а именно: отношения длины к ширине и ширины к мощности рудного тела, среднее содержание $\text{Cu} + \text{Pb} + \text{Zn}$, отношения средних содержаний основных полезных компонентов, угол падения, средняя глубина залегания и все пять признаков геологического блока. В процессе и в результате предварительной разведки надежно устанавливаются еще 15 признаков и общее их количество составляет 27. Остальные семь признаков определяются только на стадии детальной разведки. По мере накопления числа установленных признаков и обращения к банку эталонных моделей принадлежность объекта к какой-либо группе и выбор ближайшего аналога могут корректироваться. Эксперименты с моделями-экзаменаторами показали неточное распознавание групп на стадии поисково-оценочных работ и уверенное определение принадлежности модели-экзаменатора к соответствующей группе на стадиях предварительной и детальной разведки. Мера сходства является менее надежным критерием типизации и идентификации, так как ближайшие аналоги моделей-экзаменаторов существенно меняются от стадии к стадии, т.е. с увеличением числа признаков.

Тем не менее, начиная со стадии поисковых работ, наличие усредненного группового и даже ближайшего аналога помогает выбрать рациональную разведочную сеть с учетом различия масштабов объектов и требуемой достоверности запасов. В пределах разведуемого и предварительно оцененного месторождения, исходя из оптимального объема участка первоочередной отработки, необходимой достоверности запасов и используя линейную зависимость погрешности от среднего расстояния между точками наблюдения, можно определить рациональную плотность сети для оценки запасов высокой категории с последующим анализом фактического уровня погрешностей.

Выбор технических средств разведки определяется условиями залегания рудных тел, рельефом и требуемой плотностью сети. Стоимость разведки единицы запасов руды и металлов обуславливается не системой разведки, а масштабами месторождения. На рис. 4 можно видеть, что буровая система

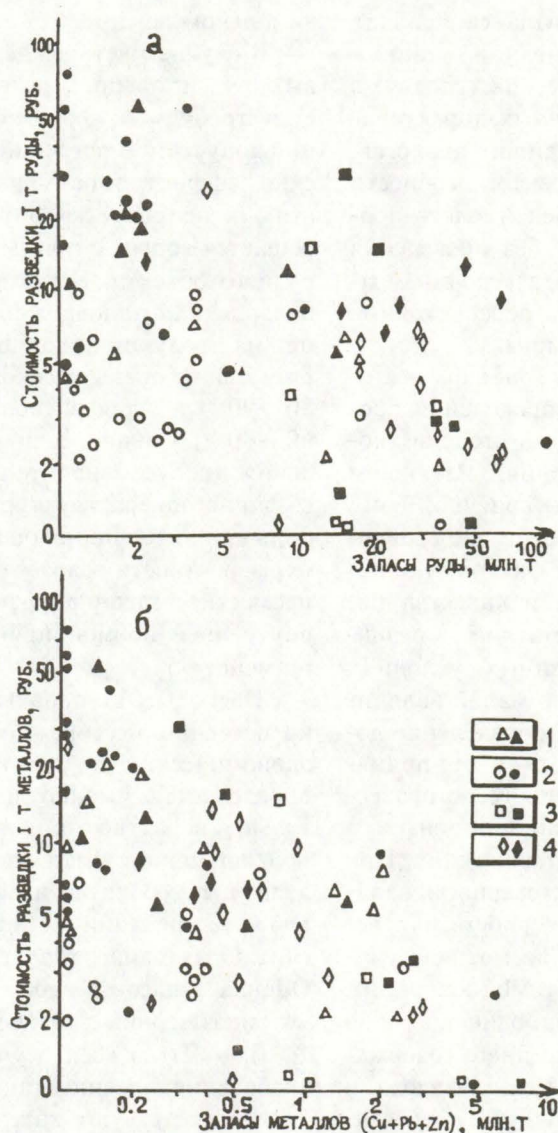


Рис.4. Зависимости стоимости разведки единицы запасов руды (а) и металлов (б) от запасов залежей полиметаллических месторождений.

Условные обозначения см. рис. 3. Залитые точки соответствуют объектам, разведанным горной и горно-буровой системами, незалитые — буровой системой

разведки не имеет большого преимущества над горно-буровой, т.к. невозможно в целом выделить какие-нибудь соответствующие уровни.

Вместе с тем, отмечается некоторое разделение объектов по стоимости в классе мелких месторождений с запасами руды до 5 млн т и металлов до 300 тыс. т. Однако именно для этих месторождений целесооб-

разно совмещение детальной разведки со вскрытием, но при расчете стоимости разведки единицы запасов условной категории C_1 не учтен возврат денег за горно-капитальные и горно-подготовительные выработки.

Помимо новых разведываемых месторождений, объектами многофакторного моделирования могут служить резервные разведан-

ные и не намечаемые к освоению, а также снятые с Государственного баланса. Ревизия таких месторождений, в основном мелких и средних, в новых экономических условиях с установлением количественных характеристик разведанности и ближайших аналогов, а также оценка их конкурентоспособности на выборке, охватывающей геолого-промышленный тип, позволят без проведения полного комплекса геологоразведочных работ дополнительно выявить перспективные источники минерального сырья.

Геолого-экономическая оценка месторождения заключается в определении промышленной значимости его и степени экономического риска освоения. Главными факторами риска являются, конечно, чисто экономические и политические. По сравнению с ними геологический фактор, т.е. неподтверждение количества и качества полезного ископаемого, представляется незначительным, а в современных условиях России — почти бесконечно малой величиной. Тем не менее, точное определение достоверности запасов необходимо для принятия решений о продолжении геологоразведочных работ или получении лицензии и кредита на разработку месторождения. При этом важна не столько достоверность запасов вообще, сколько достоверность или вероятность непревышения возможной случайной погрешности допустимой величины. Возьмем два месторождения, одинаковые по всем показателям, кроме среднего содержания, которое отличается вдвое, отсюда и допустимые погрешности будут существенно отличаться. При одинаковой степени разведанности вероятность рентабельного освоения месторождения богатых руд будет намного выше.

В работах ВИЭМСа [3, 4] на основании сравнения эффективности разведки в пересчете на 1 % снижения погрешности сделан однозначный вывод о целесообразности более детального изучения богатых месторождений. Но здесь следует иметь в виду только возможность, т.к. ценность богатого (или сказочно богатого) месторождения не сравнима с любыми затратами на разведку и можно уточнять подсчетные параметры почти бесконечно. Это может стать бессмысленным, поскольку в данной ситуации разумно в кратчайшие сроки оценить (даже в общих

чертах), вскрыть и отработать запасы в оптимальном режиме.

В случае месторождения бедных (рядовых) руд детальность разведки обуславливается требуемой вероятностью непревышения допустимой погрешности, и экономическая эффективность разведочных работ отнюдь не является определяющей, когда решается вопрос о промышленном освоении рудного объекта. Если предполагаются небольшие капиталовложения или повышение цен на продукцию, возможно освоение объекта при не очень высокой достоверности — 80—90 %, а для рискованного капитала — и 60—80 %. Однако, если освоение месторождения требует значительных инвестиций, создания инфраструктуры, даже при стабильных политико-экономических условиях, вероятность разработки на период окупаемости с заданной рентабельностью или внутренней нормой прибыли должна быть не менее 95 %.

Поскольку степень экономического риска освоения месторождения помимо чисто экономических и политических факторов определяется именно интервалом вероятности непревышения случайной погрешности запасов допустимого предела, целесообразно использовать эту меру для категоризации геометризованных и подсчитанных запасов полезных ископаемых. Оценка запасов с вероятностью нулевой и «отрицательной» рентабельности не более 5 % ($t = 2$) во всех случаях удовлетворяет требованиям эксплуатации, и запасы в целом соответствуют категориям доказанных (proved) и измеренных (measured) зарубежных классификаций. Вероятные (probable) и исчисленные (indicated) запасы оцениваются с возможными отклонениями не более (-30) — +45 %. Отсюда, вероятность безубыточной отработки подобных запасов обеспечивается при средней случайной погрешности меньшей или равной допустимой (при $t = 1$ $\omega = 0,68$).

Очевидно, действующая «Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», предполагающая субъективную квалификацию запасов, будет устраивать как геологическую отрасль, так и недропользователей лишь до тех пор, пока не сложится практика нормального предпринимательства в горно-

добывающей промышленности и не будет введен налог на запасы, который применяется во многих странах.

Таким образом, использование многофакторных моделей позволяет не только создавать объективную количественную геологическую модель разведваемого месторождения, но и оперативно управлять геологоразведочным процессом с прогнозом и оценкой достоверности запасов. Кроме того, при условии создания базы данных только путем многофакторного моделирования возможно объективное решение ближайшей задачи альтернативного выбора первоочередных, лицензионных рудных объектов, в том числе и среди разведанных неразрабатываемых как балансовых, так и забалансовых.

1. Емельянов С.А. Допустимая погрешность оценки качества и количества руд как основа новой классификации запасов месторождений твердых полезных ископаемых // Науч.-техн. достижения и передовой опыт в области геологии и разведки недр: Науч.-техн. информ. сб./ МГП «Геоинформмарк». 1992. Вып. 5. С. 24—32.
2. Емельянов С.А., Тарасов А.С., Тютин А.И. Опыт классификации колчеданно-полиметаллических месторождений для разведки на основе многофакторного моделирования // Науч.-техн. достижения и передовой опыт в области геологии и разведки недр: Науч.-техн. информ. сб./ МГП «Геоинформмарк». 1993. Вып. 2. С. 13—25.
3. Кац А.Я., Кочетков Б.В., Регентов С.Н. Методические положения по экономической оценке месторождений полезных ископаемых/ ВНИИ экон. минер. сырья и геол.-развед. работ (ВИЭМС). — М.: ВИЭМС. 1990.
4. Марголин А.М. Оценка запасов минерального сырья. Математические методы. — М.: «Недра», 1974.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Emeljanov S. A.

MULTIFACTOR MODELS FOR ACCELERATED ECONOMIC GEOLOGY EVALUATION OF MASSIVE SULFIDE DEPOSITS

The structure of multifactor models is shown and some principles of modelling are stated. Taking into consideration permissible and random errors, it is possible to optimize the density and geometry of exploration network on standard objects and then on those which are explored. An economical risk degree of the exploitation of a deposit, besides economical and political factors, is determined by a random error value at evaluation of mineral resources.

ЦНИГРИ РАЗРАБОТАНЫ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ IBM PC/AT: "ЕКОМЕТ", "ALTER", "SEBES", "ТЕР" ПО ОЦЕНКЕ ОСНОВНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И АЛМАЗОВ

Программы позволяют на ранних стадиях геологоразведочного процесса произвести **многовариантный расчет основных параметров геолого-экономической оценки месторождений**

Программы предназначены для оценки коренных месторождений **золота** — "ЕКОМЕТ", **алмазов** — "ALTER", для **россыпей золота** — "SEBES" и "ТЕР"

Универсальная программа "SEBES" предусматривает возможность использования различных комплексов технологического оборудования на вскрышных и добычных работах: программа "ALTER" применима для разных схем освоения месторождений алмазов.

Программы работают в основном в диалоговом режиме

Виды реализации - инжиниринг, продажа программного продукта

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

УДК 553.048:[552.08:53]

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Г. А. СОЛОВЬЕВ

В работе на основе петрофизической классификации построены количественные модели рудных месторождений для задач их оценки и разведки.

В связи с увеличением глубин поисков и разведки рудных месторождений возрастает роль геологической интерпретации геофизической информации, которая опирается на результаты петрофизических исследований. Изучение пространственной зональности физических свойств вмещающих горных пород, метасоматитов и руд является основой для создания физико-геологических моделей месторождений с целью прогнозирования их геологического разреза.

Физико-геологической моделью является упрощенный геофизический аналог месторождения, у которого размеры, форма и физические свойства вмещающих горных пород, метасоматитов и руд с той или иной степенью приближения аппроксимируют наиболее существенные характеристики изучаемого месторождения. Главное отличие физико-геологической модели от геологической заключается в том, что отдельные ее элементы — петрофизические зоны — характеризуются не возрастом или литологическим составом, а одним или несколькими физическими параметрами.

Под *петрофизической зоной* понимается часть эндогенного месторождения, в пределах которой физические свойства по одному или ряду статистических показателей однородны, а под *петрофизической зональностью* — закономерное изменение физических свойств горных пород и руд в пространстве. Границы петрофизических зон могут не совпадать с геологическими. Например, одному однородному пласту могут соответствовать несколько петрофизических зон, а нескольким пластам — одна петрофизическая зона. Учет петрофизической зональности повышает глубинность исследований, уровень качественной и точность ко-

личественной интерпретации как отдельных геофизических методов, так и их комплекса.

Второе направление использования результатов петрофизических исследований — непосредственное решение различных геологических задач, включая оценку эндогенных месторождений, картирование границ штокверков и зон гидротермального изменения.

Эффективность применения геофизических и петрофизических методов для оценки и разведки неоднозначна для различных месторождений. Анализ причин этого на основе геологических классификаций оказался не всегда возможным, так как часто существуют различные точки зрения относительно генезиса одного и того же месторождения, а промышленные классификации месторождений по металлам объединяют месторождения с различной петрофизической зональностью. Так, к железорудным месторождениям относятся магматические, контактово-метасоматические, гидротермальные, вулканогенно-осадочные, осадочные, метаморфические, руды и вмещающие горные породы которых сильно отличаются по физическим свойствам. В связи с этим для решения поставленной задачи наиболее удачной оказалась петрофизическая классификация (табл. 1).

В основу петрофизической классификации постмагматических рудных месторождений было положено понятие «*петрофизическая ассоциация*», под которой понимается совокупность горных пород, руд и метасоматитов, имеющих одинаковые физические свойства. Использование этого понятия позволяет дать количественные критерии для оценки интенсивности рудных процессов и гидротермальных изменений, а также осуществить переход от петрофизических моделей к геофизическим полям, связанным с изучаемыми месторождениями.

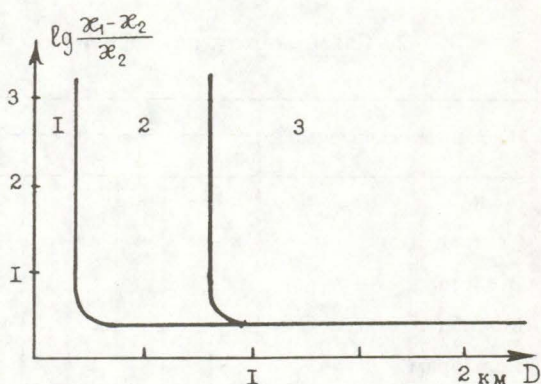
1. Петрофизическая классификация рудных месторождений

Плотность, δ		Удельное электрическое сопротивление, ρ		Магнитная восприимчивость, χ			Поляризуемость, η		Тип	Рудные формации (типичные месторождения)
Руды	Метасоматиты	Руды	Группа	Руды	Метасоматиты	Вмещающие	Руды	Метасоматиты		
В	Н	Н	1	М	М	НС	В	СВ	1	Медно-колчеданная, медно-цинк-колчеданная, колчеданно-полиметаллическая, серноколчеданная, золото-сульфидная (Кафанское)
				НС	М	М	В	СВ	2	Медно-цинк-колчеданная, колчеданно-полиметаллическая (Кизил-Дере)
				В	С	МНС	В	СВ	3	Медно-колчеданная, медно-цинк-колчеданная метаморфизованная (Приорское)
В	Н	СВ	2	М	М	МН	С	С	4	Колчеданно-полиметаллическая (им.Шаумяна)
							Н	Н		Барит-полиметаллическая (Ахтальское)
				В	С	М	В	СВ	5	Магно-магнетитовая (Тагарское)
В	С	СН	3	В	ВС	МСН	В	В	6	Халькопирит-магнетитовая известково-скарновая (Саяк)
							СВ	С		Магнетитовая известково-скарновая (Шерегешское)
				В	МН	МСН	ВС	СВ	7	Магнетитовая известково-скарновая (Ауэрбаховское)
				НС	НС	МН	ВС	С	8	Свинцово-цинковая скарновая (Алтын-Топкан)
Н	С	В	4	НС	НС	МН	НС	НС	9	Шеелит-молибденитовая скарновая, молибденовая скарновая, золоторудная скарновая (Чорух-Дайрон)
Н	Н	В	5	М	М	НС	В	СВ	10	Медно-молибденовая, золото-кварцевая, золото-серебряная (Каджаран)
							С	СН		Молибденовая (Унтатское)

Плотность, δ		Удельное электрическое сопротивление, ρ		Магнитная восприимчивость, χ			Поляризуемость, η		Тип	Рудные формации (типичные месторождения)	
Руды	Метасоматиты	Руды	Группа	Руды	Метасоматиты	Вмещающие	Руды	Метасоматиты			
Н	Н	В	5	М	М	МНС	С	СН	11	Молибден-урановая, вольфрамовая грейзеновая, молибден-вольфрамовая грейзеновая (Инкур)	
							В	С		Медно-молибденовая (Кальмакыр)	
				МН	МНС	МНС	СВ	СН	12	Вольфрамовая грейзеновая, молибден-вольфрамовая грейзеновая (В.Кайракты)	
							В	СВ		Медно-молибденовая (Шикахох)	
				МНС	М	МНС	СВ	СВ	13	Молибденовая, молибден-вольфрамовая грейзеновая (Булуктай)	
				М	М	СВ	СВ	СН	14	Магнезиально-карбонатно-киноварная, лиственитовая золоторудная (Чонкойское)	
				М	М	М	НС	С	15	Кварц-флюорит-киноварная, кварц-диксит-киноварная месторождений сурьмы (Хайдаркан)	
							СН	СН		Медистых песчаников (Джезказган)	
				НС	М	МНС	СН	СН	16	Кварц-полиметаллическая, золото-кварц-сульфидная, касситерит-сульфидная, касситерит-силикатная (Архон)	
				МНС	МНС	НС	СН	СН	17	Редкоземельно-торий-урановая, золото-кварц-сульфидная (Дарасун)	
М	Н	МН	Н	С	18	Редкометалльные пегматиты, уранинит-настуран-титанат-урановая (Малиновая Варака)					
Степень петрофизических показателей						$\chi \cdot 10^{-5}$ (СИ)		δ (г/см ³)		ρ (Ом·м)	η (%)
М (малая)						<60		—		—	—
Н (низкая)						60—600		<2,85		<3	<2
С (средняя)						600—6000		2,85—3,7		3—50	2—10
В (высокая)						>6000		>3,7		>50	>10

Петрофизические группы выделяются в соответствии с плотностью и электропроводностью руд, а также плотностью метасоматитов. Первая петрофизическая группа характеризуется высокими плотностью и электропроводностью сплошных руд, низкой плотностью метасоматитов. Она включает колчеданные месторождения. Вторая петрофизическая группа характеризуется высокой плотностью руд, низкой плотностью метасоматитов, средним и высоким сопротивлением сплошных руд. В нее входят колчеданные месторождения с повышенными количествами сфалерита, баритовые месторождения, а также железорудные месторождения Ангара-Илимского типа. Третья группа отличается высокой плотностью сплошных руд, средней плотностью метасоматитов, низким и средним сопротивлением сплошных руд, приуроченных к скарнам. Метасоматиты месторождений четвертой группы, представляющие собой скарны, также имеют среднюю плотность. Однако у руды, наложенной на скарны, здесь отмечается низкая плотность и высокое удельное электрическое сопротивление. Пятая петрофизическая группа является наиболее обширной. Она включает штокверковые, жильные и другие месторождения, характеризующиеся низкими плотностью и электропроводностью как руд, так и метасоматитов.

Ввиду рассеянного характера оруденения штокверки мало отличаются по физическим свойствам от вмещающих измененных горных пород, хотя слагающие их рудные минералы обычно обладают повышенной плотностью, а в ряде случаев низким электрическим сопротивлением. Характерной особенностью штокверковых месторождений является широкое развитие гидротермальных изменений. Если рассеянность оруденения в большинстве случаев предопределяет трудность или даже невозможность непосредственного обнаружения месторождений геофизическими методами, то наличие гидротермальных изменений может служить одним из поисковых критериев. При этом, ввиду малой мощности отдельных прожилков и значительного числа их, геофизические методы могут быть использованы только для оконтуривания и изучения всего штокверка в целом.



Зависимость запасов месторождения от средних размеров штокверка и интенсивности изменения магнитной восприимчивости:

1 — область значений, характерных для рудопоявлений; 2 — область значений, характерных для мелких и средних месторождений; 3 — область значений, характерных для крупных месторождений; D — средние размеры штокверка в горизонтальной плоскости χ_1 — магнитная восприимчивость вмещающих горных пород; χ_2 — магнитная восприимчивость горных пород штокверка

Петрофизические группы подразделяются на петрофизические типы в соответствии с магнитной восприимчивостью руд, метасоматитов и вмещающих горных пород. По поляризуемости руд и метасоматитов типы делятся на петрофизические подтипы. Один петрофизический тип часто включает несколько рудных формаций. Месторождения некоторых рудных формаций могут относиться к различным петрофизическим типам (табл. 2).

Максимальная эффективность использования геофизических методов отмечается для рудных месторождений, относящихся к первым трем петрофизическим группам. Здесь параметры рудных залежей и их запасы могут быть определены несколькими геофизическими методами. Наименее благоприятными для применения петрофизических и геофизических методов являются месторождения, входящие в последнюю петрофизическую группу. Каждый петрофизический тип, входящий в эту группу, включает несколько рудных формаций; что объясняется сходством физических свойств вмещающих горных пород и метасоматитов у месторождений различных типов.

В большинстве случаев метасоматиты характеризуются низкими значениями маг-

2. Связь между петрофизической и геологическими классификациями

Полезные ископаемые	Петрофизический тип																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Медь	к	к	к			с				г	г	г			г			
Свинец, цинк	к	к	к	к				с								г		
Железо					г	с	с											
Молибден									с	г	гр	гр	гр					
Вольфрам									с	г	гр	гр	гр					
Золото	к								с	г			г	г		г	г	
Олово											гр					г		
Уран										г	г		г				г	а
Ртуть														г	г			
Сурьма																		
Рубидий															г			п

Месторождения: а — альбититовые, гр — грейзеновые, с — скарновые, г — гидротермальные, к — колчеданные, п — пегматитовые

нитной восприимчивости, что обусловлено значительным уменьшением в них количества магнетита и титаномagnetита. Анализ изменения физических свойств горных пород в пределах штокерков или вблизи кварцевых жил показывает, что наибольшая мощность метасоматитов и наиболее сильное изменение физических свойств в их пределах при прочих одинаковых условиях отмечается у месторождений, имеющих промышленное значение. Для малых месторождений и рудопроявлений такая закономерность не является характерной (рисунок).

При поисках, поисково-оценочных работах и в ходе предварительной разведки происходит уточнение петрофизической характеристики месторождения — от определения его петрофизического типа до создания физико-геологической модели.

Если при поисках выделяются наиболее мощные из петрофизических зон, то при предварительной разведке выделяются все петрофизические зоны и определяются их параметры, что позволяет наиболее эффективно провести количественную интерпретацию полей, изученных при наземных и подземных геофизических исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. — М.: Недра, 1982.
2. Соловьев Г.А. Петрофизическая характеристика эндогенных месторождений. — М.: Недра, 1984.
3. Соловьев Г.А. Петрофизическая классификация рудных месторождений // Изв. вузов. Геология и разведка, 1991, № 6.

Solovjov G. A.

QUANTITATIVE PETROPHYSICAL MODELS FOR EVALUATION AND PROSPECTING OF ORE DEPOSITS

This paper describes the quantitative models of ore deposits, constructed on the basis of petrophysical classification in order to evaluate and prospect.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 681.3.06

МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЯЕМОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

В. А. МАЛЬЦЕВ (ВНИИГЕОСИСТЕМ)

В статье рассматривается наиболее широкий в геологии класс программных средств. Этот класс включает программы интерполяции организационных и технических деталей реализации, поддержки и рыночной политики. Предлагается единая методология проектирования и создания программных средств интерполяции и оценивания. Эта методология легко адаптируется к задачам других классов.

Современный этап научно-технического прогресса в геологии характеризуется двумя во многом противоречивыми тенденциями. Первой является внедрение средств вычислительной техники и стандартизованных математических методов обработки в широкую практику, второй — конвергенция разведочной и рудничной геологии, что связано с повышением требований к экономической эффективности геологоразведочных работ и ответственности производителей работ за точность результатов. На конфликте этих тенденций основывается слабая эффективность применения тиражируемых программных средств, которых в отрасли имеется уже значительное количество. Реальная эффективность их применения наблюдается только тогда, когда они непосредственно реализуют сложившиеся на конкретном предприятии технологии, то есть имеют практически штучное изготовление. Однако последнее экономически оправдано только при наличии государственных дотаций и крайней дешевизне труда программистов. Эти факторы имеют временный характер и только подчеркивают необходимость поиска концепции тиражируемых программных

средств, создание и применение которых было бы экономически эффективно.

Автором создан программный комплекс GST (Geostatistical Software Tool) моделирования структур изменчивости, управляемой интерполяции и решения связанных задач, вероятно, пока являющийся единственной отечественной специализированной программой, уровень тиража которой (на момент написания статьи 69 копий в 28 организациях при максимально возможном тираже 2—3 тысячи копий) позволяет говорить об экономической эффективности. Данная статья является попыткой изложить концептуальные основы, позволившие комплексу GST выйти на этот уровень. Рассматривается предметная область комплекса, но концептуальная основа легко поддается обобщению и на другие предметные области в геологии. Отметим, что не все построения, описанные в данной статье, реализованы, в том числе в комплексе GST. Проект распространяемой сегодня версии GST составлен более года назад, идет проектирование новой (четвертой) версии. Автор не считает, что опубликование ноу-хау может принести ему какой-либо ущерб, так как одним из главных следствий концепции является возможность замены на отечественном рынке на несколько ближайших лет конкуренции кооперацией.

Статья не содержит списка литературы, так как он получился бы слишком велик. В то же время общеизвестность приводимых фактов и концепций, не являющихся построениями автора, а также логическая полнота подачи материала позволяют без такого списка обойтись.

Исследуемая предметная область. В статье будем рассматривать программные средства управляемого интерактивного решения одной из наиболее распространенных групп геологических задач — интерполяции данных опробования и оценивания по интерполяционным поверхностям (гиперповерхностям) интегральных характеристик заданных площадей (объемов). Такими задачами являются автоматизированное картирование, увязка рудных интервалов, подсчет запасов и т.д. Отметим, что полностью аналогичные задачи встречаются и в негеологических отраслях знания — экологии, марикультуре и др.

Очевидно, что предложенная формулировка включает в себя и близко связанные с основной задачи: преобразование входных и выходных данных, первичный анализ данных, моделирование структур изменчивости, анализ надежности результата и ряд других.

Анализ имеющегося рынка предложения. В настоящее время на рынке имеется большое количество программных средств рассматриваемого назначения. Начнем с импортных программ, имеющих больший тираж, чем отечественные, которые рассмотрим по аналогии с первыми. Полностью отвечают сформулированной предметной области DataMine, BluePACK, GEOPACK, GEOEAS, Geostatistical Toolbox, TechBASE, Rockworks и некоторые менее распространенные. Имеется также большое число средств, отвечающих предметной области только на первый взгляд. Классический пример — пакет SURFER, который используется отечественными пользователями чрезвычайно широко, несмотря на полное отсутствие управления интерполяцией и механизмов оценивания объектов, отличных от точечных. По сути, пакеты типа SURFER есть средства полностью автоматической интерполяции, не имеющие отношения к рассматриваемому классу задач. Особенно стоят также геофизические системы,

обычно имеющие всю атрибутику исследуемой предметной области, но только внешне. Так, у всех у них есть средства исследования структур изменчивости, но нет средств к их моделированию и реализации построенных моделей в процедурах интерполяции. Для геофизических программ это и не обязательно — потенциальные поля хорошо обрабатываются процедурами детерминированной интерполяции, действующими много быстрее управляемых процедур.

Отечественные разработки в большинстве своем не доведены до состояния коммерческого тиражируемого продукта и обычно существуют в 1—5 копиях, используемых только под авторским надзором. Большинство из них идет строго по следам SURFER-а, реже — по следам Geostatistical Toolbox (иногда, правда, с существенно развитой интерфейсной частью). Достаточно модным является также следование идее DataMine (интегрированные системы полного решения всех задач, возникающих на руднике), но устойчиво работающих отечественных систем этой ориентации пока нет. В качестве примера можно указать разработки Рощина-Тимохина (ВНИИХТ). Отечественные программы геофизического назначения отдельно рассматривать не будем, хотя среди них есть и неплохие — все, сказанное для импортных, относится к ним в полной мере.

Проанализировав имеющиеся программные средства с упором на эффективность эксплуатации, можно сразу сделать следующие выводы:

1. Имеющиеся программные средства достаточно жестко делятся на два класса:

средства, созданные для работы в пакетном режиме и далее адаптированные для интерактивной работы. Этот класс средств имеет развитую и мобильную математику, но интерфейс пользователя является «настройкой сверху», не дающей возможности мобильного управления и оперативного эксперимента, что блокирует эффективное использование без привлечения математика. Наиболее типичные примеры такого рода — программы Geostatistical Toolbox и DataMine; средства нового поколения, изначально создаваемые для работы в интерактивной среде. Этот класс программных средств имеет весь спектр возможностей по управлению данными, процессом решения и

представлением результатов, при этом управление ориентировано на практического пользователя с низким уровнем математической подготовки (StratiFact, GEOPACK). К сожалению, их авторы практически во всех исследованных случаях абсолютизировали простоту управления и пришли к совершенно бессмысленной модели своего пользователя как «специалиста, неспособного к обучению даже в рамках своей специальности».

При этом практически отсутствуют «гибриды», которые объединяли бы достоинства этих двух классов и не имели их недостатков, так как есть соблазн использовать имеющиеся математические модули, а для получения реального интерактива их необходимо полностью переписать, что и трудоемко, и дорого.

2. Эффективность эксплуатации программных средств профессионального назначения в значительной части определяется системой поддержки пользователя, слабо развитой для большинства отечественных средств, полностью отсутствующей для пиратски копируемых импортных и совершенно неудовлетворительной для легально покупаемых импортных. Минимальным необходимым набором элементов такой системы являются :

наличие документации, включающей в себя кроме технического справочника по управлению программой, учебник по предметным методикам, реализуемым в программе, и типовым приемам решения задач (обычно отсутствует у отечественных средств);

пассивная консультационная поддержка с достаточно высокой скоростью реакции (у отечественных средств гораздо надежнее);

активная консультационная поддержка, заключающаяся в выделении «интересных пользователей», периодическом опросе их о проблемах и совместном с ними решении нетипичных задач (отсутствует у импортных средств);

регулярная сменяемость версий в сочетании с гарантией льготного обновления (у отечественных средств поставлено лучше);

открытость для изучения статистики пользователей, статистики выявления и исправления ошибок, перспективных планов разработчика (встречается редко);

открытость интерфейсных средств и форматов входных и выходных данных.

3. Среди программных средств, эффективных в эксплуатации, длительно используются только средства, позволяющие пользователю вводить в интерполяционные процедуры свое видение объекта изучения, то есть средства, интерактивно моделирующие пространственную изменчивость геологических характеристик и строящие интерполяционные процедуры на основе этих моделей. Реально этому условию отвечают только программы, использующие математику линейной геостатистики и в полной мере реализующие интерактивную вариографию с моделированием иерархических структур изменчивости. Программные средства полностью автоматической интерполяции довольно быстро перестают устраивать пользователя. Если он решает задачи, прямо связанные с интерполяцией (картирование концентраций по опробованию), это происходит через год-полтора, а если интерполяция вспомогательна (например, построение мелкомасштабных карт прогноза, где основная содержательная нагрузка в алгоритмах распознавания образов), программа автоматической интерполяции (типа SURFER) может даже оказаться оптимальной.

Система разработчик-продавец-компьютер-пользователь. В большинстве случаев программные средства анализируются в двухкомпонентной системе человек-машина. Этого вполне достаточно для программных средств штучной разработки, имеющих не более десяти пользователей. Программные продукты, то есть тиражируемые программные средства, должны анализироваться с позиций более сложно организованной системы взаимоотношений.

Определяют эффективность системы следующие аспекты, являющиеся *sine qua non*:

1. Купит ли пользователь программное средство. Зависит преимущественно от свойств средства (математическое решение, интерфейс, совместимость по данным и идеологии со средствами решения смежных задач), от совместных гарантий изготовителя и продавца по системе поддержки, от рекламной стратегии, от статистики имеющих пользователей и от цены (или от планируемого тиража, что то же самое).

2. Оставит ли он его в пользовании после периода опытной эксплуатации. Это единственный из рассматриваемых аспектов, удовлетворительно моделирующийся в системе человек-машина. Зависит от адекватности рекламной политики реальным возможностям средства, от наличия взаимоуважения программа-пользователь и разработчик-пользователь и от определенности вопроса ответственности за результат.

3. Будет ли к моменту, когда пользователь исчерпает возможности программного средства, готова следующая версия именно с теми новыми возможностями, которые ему необходимы. Этот аспект определяется темпами развития, включая развитие математической основы, эффективностью обратной связи, правильностью выбора направлений развития, эффективностью взаимокоординации и кооперации разработчика с разработчиками программных средств для решения смежных задач.

4. Будут ли число пользователей (после насыщения рынка) и быстрота сменяемости версий достаточными, чтобы продолжение поддержки было прибыльным. Данный аспект зависит от правильности выбора модели пользователя, оценки емкости и платежеспособности рынка и от эффективности организационных форм поддержки и развития. Описанная стабилизация разработки/поддержки возможна только как краткосрочное состояние, дающее разработчикам время на реализацию качественно нового проекта на месте существующего.

Реально существует еще пятый аспект, сознательно выведенный из рассмотрения — сможет ли программное средство существовать без конфликта с системой государственной стандартизации геологоразведочных работ. Особую важность он приобретает именно для задач интерполяции/оценивания с выходом на подсчет запасов, но, к сожалению, он не поддается однозначному моделированию и сильно зависит от экономической политики государства. В разных странах он решается по-разному, а по какому пути пойдет Российская Федерация, пока не ясно. В любом случае стандартизация недетерминированных методик неоднозначна. Даже при полной поддержке ГКЗ РФ (которая сейчас наблюдается) это займет значительное время.

Данные аспекты достаточно полно охватывают ключевые точки взаимодействий в системе разработчик-продавец-компьютер-пользователь, необходимые для начала функционирования системы. Тем самым стратегия решения этих вопросов должна быть выработана до начала собственно разработки программного средства. Если хотя бы один из них остается неопределенным к началу проектирования, в общем случае разработка программного продукта не может быть рентабельной.

Представляется, что при описанных начальных условиях система до некоторых пределов способна к саморегуляции. Разрегуляция ее возможна как по внешним, так и по внутренним причинам. Внешними являются появление конкурирующих разработок или математических аппаратов, а внутренними могут быть потеря темпов развития (особенно часто по направлениям, не фигурирующим в обратной связи с пользователем — например, запоздание с подключением поддержки сетевых средств или интерфейсов к СУБД, выходящих на позиции стандарта de-facto), а также «естественное старение». Под последним понимается тот факт, что программная разработка в некоторый момент времени теряет возможность к эволюционному развитию и должна быть полностью переписана «с нуля». По опыту автора это происходит раз в 3—4 года и примерно соответствует сроку морального старения аппаратных средств. Разрегуляция наступает не мгновенно (исключая катастрофическую разрегуляцию, рассматриваемую ниже), имеет свои симптомы и при своевременном принятии мер может быть остановлена.

Моделирование пользователя программного средства. Понимание профессиональных качеств, профессиональной среды и особенностей психологии пользователя, на которого ориентируется проектируемое программное средство, во многом определяет успех проекта. Совокупность таких особенностей будем называть «моделью пользователя средства».

Правильно выбранная модель пользователя должна одновременно и однозначно определять структуру и функциональные границы программного средства, потенциальный тираж, ценовую политику, схему

активной поддержки пользователя, интерфейсное решение.

Сформулируем модель пользователя задач интерактивной управляемой интерполяции и оценивания в геологоразведочной организации или на руднике. В большинстве случаев эти задачи относятся к подсчету запасов, следовательно, организационно таким пользователем может являться, как минимум, геолог участка, то есть специалист, имеющий достаточные полномочия и меру ответственности. Такой специалист обладает вполне конкретными особенностями:

он не занимается сам первичной подготовкой данных, а также оформлением чистой графики, оставляя эту работу техникам;

свои задачи он видит как моделирование изменчивости, выбор оценочной процедуры, ее тестирование, построение и оценку пробных карт (разрезов, профилей), моделирование на итоговой карте стратегий доразведки (отработки) в различных вариантах. Тем самым, это задачи, связанные с моделированием и принятием решений, влияющих на экономическую эффективность геологоразведочного процесса;

он должен иметь на быстром интерактивном доступе как исходную информацию в цифровом и графическом виде, так и сводную (основные статистики, основные графики, заложенные ранее модели), необходимую для моделирования;

он понимает меру своей компетентности и ответственности и не потерпит прямой подмены своих знаний по специальности и по объекту изучения знаниями авторов программного средства, но правильно построенные советы не проигнорирует;

он способен к обучению и самообучению как технологии управления программой, так и реализуемым в ней методикам в той мере, в которой эти методики формализуются на языке, допускающем прямой перевод на язык его специальности.

Особенности, относящиеся к профессиональной среде пользователя:

данные дороги и их живучесть может быть обеспечена только применением в качестве среды постоянного хранения форматов баз данных, в поддержке которых в дальнейшем сомневаться не приходится (dBASE, PARADOX, ORACLE);

пользователь уже имеет на своем предприятии некоторую технологию хранения и обработки данных. В большинстве случаев это комплект из FOXPRO, SUPERCALC, STATGRAF, SURFER, AutoCAD. Тем самым имеются введенные в технологию функциональные границы, которые следует поддерживать. В нашем случае оптимально проведение функциональных границ средства по внешним границам связки SUPERCALC + STATGRAF + SURFER. При этом следует оставить возможность пользования любым средством из этой связки в его функциональных границах;

пользователю приходится заниматься самообразованием не только в освоении управления программой, но и в освоении ее содержательной части, обычно ни в чем не переключающейся с отечественными университетскими курсами.

Не следует исключать возможности появления пользователя, описываемого моделью частично. Практика развитых стран знает многочисленные случаи отсутствия на горнодобывающих предприятиях собственной геологической службы с решением задач разведки силами консалтинговых центров. Легко видеть, тем не менее, что вышеизложенная модель в большой степени, хотя и не полностью, описывает и пользователя в таком центре. Отметим, что подобные центры могут быть и непосредственно при фирме-разработчике средства (как, например, DataMine в Великобритании или ВНИИгеосистем в России), но пользователи на таких «фирменных» центрах уже хотя бы за счет неформального общения с разработчиками предложенной моделью не описываются.

Сформулировав модель пользователя для нашего класса программных средств, мы неявно конкретизировали модели вертикально смежных пользователей (подготовка данных и оформление чистой графики). Этой конкретизации в данном случае недостаточно для запуска соответствующих проектов, но вполне достаточно для понимания того класса программных средств, который они выберут, что чрезвычайно важно для проектирования структур данных и форматов обмена.

Математические соображения. До сих пор мы ограничивались тезисом о предпочтительности математики линейной геоста-

истики, что не является достаточным. Гео-статистика пока является единственным распространенным аппаратом управляемой интерполяции, но из этого никоим образом не следует, что альтернативы невозможны. Поясним, почему они не используются.

Не очень очевидным следствием предложенного моделирования пользователя является сильное ограничение на применяемые математические аппараты. Пользователь, удовлетворяющий предложенной модели, будет искать физический смысл во всех предлагаемых ему математических моделях и построениях. Именно это блокирует широкое применение, например, нелинейной геостатистики. Для линейной каждое построение имеет физический смысл, если и не прямо применимый к объекту исследования, то хотя бы легко обобщаемый на него (например, сферическая вариограмма моделирует конкреции, квазипериодическая — ритмические переслаивания типа флиша). Для нелинейных процедур все это остается на уровне благих пожеланий, даже для используемой при ко-кригинге кросс-вариограммы, не говоря уже о более труднопони-маемых, применение той или иной модели никакого физического содержания не имеет. Это существенно сдерживает развитие пакетов, ориентированных на вроде бы передовую математику нелинейной геостатистики — их время придет только тогда, когда авторы методик смогут вразумительно объяснить физический смысл того моделирования, которым они предлагают заняться пользователю, несущему ответственность за результат. Единственная возможность их эффективного применения пока состоит в использовании только в научно-технических центрах, берущих ответственность за результат на себя. Тиражируемый же продукт, к сожалению, пока вынужден использовать ограниченную, но хорошо обоснованную математику.

Отечественный пользователь много экспериментирует и нуждается в критериях сопоставления качества результатов при различных стратегиях обработки. Важную роль играют контрольные процедуры, слабо развитые или отсутствующие в большинстве пакетов. Классическая процедура перекрестного прогноза математически хороша, но имеет слабо интерпретируемые результаты,

что при ее медлительности создает неудобства. В то же время есть существенные резервы для ее модернизации. Например, практически без замедления можно включить несколько параллельно оцениваемых стратегий и даже методик. Сопоставление этих методик и вариантов стратегии есть прекрасная сфера приложения алгоритмов искусственного интеллекта с целью диагностики неадекватных элементов моделирования, а также получения рекомендаций к направлению их изменения и оценки ожидаемых улучшений.

Выделим вопрос о распространенных математических некорректностях. Так, все импортные программные средства разделяют задачи построения оценок на сетку точек (собственно интерполяция, имеющая целью построение карт в изолиниях) и задачи построения оценок на сетку блоков ненулевого размера (протяженное оценивание, имеющее целью задачи типа подсчета запасов). Для решения второй задачи применятся существенно более развитая математика, позволяющая практически без замедления расчета получать точность несоизмеримо выше. Отечественные же разработчики обычно используют для протяженного оценивания математику точечного и просто «приписывают блоку значение точки». При-сжорбно, что многие пользователи слишком поздно приходят к пониманию, что это неверно, и иногда делают вывод о сознательном жульничестве. Второй пример — регулярно наблюдаемые попытки «обойтись малой кровью» и получить протяженные оценки не по исходной информации, а по введенной через сканнер карте изолиний. Такие карты безусловно применимы, скажем, для решения поисковых задач, но не для задач протяженного количественного оценивания. Все природные структуры изменчивости на введенной через сканнер карте будут перекрыты ложными структурами, отражающими методику ее первичного построения и не поддающимися расшифровке и элиминации. Более того, если это карта концентраций рассеянного элемента, имеющего асимметричное распределение, практически неизбежно смещение оценок.

Концепции структуризации и интерфейсного решения. Первая задача структуризации программного средства состоит в

построении функциональных границ, то есть в ограничении круга задач, решаемых данным средством. Эта задача проста, если рассматривается с позиций модели пользователя. Функциональные границы просто должны совпадать с границами задач, меняющих модель пользователя. Так, задача ведения и администрирования базы данных опробования есть задача техников, а отнюдь не участкового геолога. Следовательно, программное средство участкового геолога должно быть физически ограничено моментом транспортировки данных из базы общего пользования в среду решения задач.

Естественно, границы должны быть достаточно «мягкими». Передача данных из средства в средство должна быть простой и органичной, средства должны иметь некоторую степень функционального перекрытия. При этом перекрывающиеся области смежных средств должны иметь совместимые системы терминологии и структуризации данных.

Удачный в этом смысле программный комплекс GST имеет следующие функциональные границы и области перекрытия:

переход от общей базы данных, которая может быть либо dBASE-подобной, либо основанной на ASCII-файлах, либо на «Архиве ТОС» (разработка ВНИИгеосистем), к среде моделирования изменчивости и решения интерполяционных задач. Переход осуществляется настраиваемым экспортом-импортом данных с возможностью производить выборки. Возможно описание стандартных выборок, отменяющее необходимость ручного управления экспортом-импортом. Область перекрытия на этом переходе представлена редактором данных, позволяющим кроме собственно редактирования производить сортировки, слияния, алгебраические преобразования, ввод и удаление проб и признаков, перевод массива в другие системы координат. Тем самым, встроенный редактор не обеспечивает всех операций, положенных СУБД, но поддерживает полный процесс подготовки данных с самыми насущными удобствами;

переход от среды решения задач к среде САПР, базе данных общего назначения, оптимизаторам стратегии отработки. Осуществляется комплектом настраиваемых программ-экспортеров данных в форматы

ASCII, dBASE (таблицы), AutoCAD (структурированная векторная графика). Область перекрытия здесь очевидна — выборки, настройки масштаба, уровней изолиний, черновая печать на принтере и др.;

область перекрытия с «горизонтально смежными» задачами. Кроме задач, непосредственно лежащих на технологической линии прохождения данных, существует класс задач, не связанных непосредственно с решаемой, но лежащий в сфере интересов и компетенции того же пользователя. Целесообразно включить в программное средство некоторое подмножество таких задач. Для комплекса GST это комплект быстрых графических визуализаторов базы данных, подсистемы статистического анализа, открытость форматов промежуточных данных, библиотеки доступа к ним.

Вторая задача структуризации относится к данным. Как только выделены функциональные границы, становится возможным обрисовать с некоторой степенью точности круг средств решения смежных задач, с которыми придется налаживать обменные интерфейсы. Это сразу накладывает требования и ограничения на используемые структуры данных с тем, чтобы эти обменные интерфейсы могли быть адекватно и удобно организованы. Для комплекса GST итоговая структуризация данных получилась следующей:

импортируемые данные могут содержать название объекта, расширение названия (комментарий), таблицу названий и единиц измерения координат и признаков, таблицу названий и координат проб, таблицу значений признаков в пробах, таблицу (в перспективе) описания линейных и плоскостных элементов, непрозрачных для структур изменчивости, индекс расположения вышеописанных данных в базе;

экспортируемые данные могут также содержать примитивы векторной графики, в том числе иерархически организованные.

Отметим, что кроме возможности обмена данными со смежными средствами необходимо предусмотреть прямой обмен данными хотя бы с одной прямо конкурирующей программой. Без этого пользователь, лишенный возможности сравнения, в дальнейшем заведомо будет потерян. Так, комплекс GST имеет предопределенный интерфейс обмена

с Geostatistical Toolbox, GEOEAS, SURFER, а также с программами подсчета запасов статистическими и геометрическими методами, разработанными в ВИМСе и ЦНИГИ.

Физически структура программного средства может быть решена различными путями. Основных требований всего четыре (если структуру управления рассматривать отдельно как часть интерфейсного решения):

если средство реализуется не единственной задачей, обмен данными между задачами должен быть организован на уровне адресов. Только так можно передавать через ограниченный список параметров всю текущую информацию, не вынуждая пользователя к повторам;

ни один модуль, выполняющийся более 10 с, не может быть пассивным и должен иметь собственные интерфейсные средства хотя бы для комментирования процесса и предоставления пользователю возможности его прерывания;

встроенные справочники должны иметь редактируемые тексты, так как сформулированная модель пользователя подразумевает возможность различного применения, требующего подстройки терминологии справочников;

размер программного средства на диске должен исходить из реальных параметров компьютеров у типичного пользователя и должен учитывать наличие на том же компьютере двух-трех смежных средств, СУБД, САПР, двух текстовых редакторов и двух-трех пакетов иного назначения. Так, на данный момент разумный предел размеров для рассматриваемых программных средств — около 2 Мбайт.

Интерфейсное решение программного средства несколько менее однозначно. Имеющаяся тенденция к построению основанных на WINDOWS графических интерфейсов хороша, но скорость такого интерфейса, достаточная, скажем, для графического редактора, как правило, оказывается недостаточной для интерактивного графического моделирования. Кроме того, грамотно спроектированная выкладка клавиатуры в большинстве случаев много удобнее управления мышью по экранному меню. Реализация же хорошо синхронизированного двойного управления экономически эффективна только

для крупнотиражных программ. Рассматривая интерфейс как структуру управления, отметим несколько основных требований:

программное средство интерактивного моделирования не должно иметь пассивных (иллюстративных) экранов. Любой экран должен быть интерактивным, причем желательно наличие «теневых функций». Так, ремасштабирование графика должно запоминаться в файле данных графика и сопровождаться сохраняемым изменением зоны возможной аппроксимации графика функциями. Реактивность интерфейса моделирующей графики является определяющим фактором;

любой экран должен быть функционально насыщен, то есть позволять любое разумное действие, определяемое типовой задачей. Так, экран карты блоков должен позволять управление блоками и их совокупностями (операции с масками и кондициями), получение справочной информации по каждому блоку и по заданной совокупности блоков, ремасштабирование, получение твердой копии на принтере с сопровождающей текстовой информацией и др.;

программное средство должно иметь достаточное количество горизонтальных связей в управлении. Практически любой экран программы должен быть доступен по нескольким маршрутам, а некоторые экраны — практически с любого места. Тем самым простая иерархия управляющих меню (и исполнимых модулей) становится недопустимой;

интеллектуальная нагрузка интерфейса (сопровождающая экспертная система) должна быть практически невидимой. Пользователь весьма ревниво относится к своим знаниям, поэтому экспертная система должна выходить на интерактив только в критических ситуациях (обработка ошибок, вероятная некорректность задания, обнаружение особых свойств данных). В то же время желательна возможность получения у нее совета в любой момент по инициативе пользователя. Как следствие, одной из важнейших ее задач становится построение по предыдущим действиям пользователя гипотезы о том, что он делает и что при этом имеет в виду.

Стандартные для крупнотиражных программ удобства в интерфейсе типа реконст-

руирования пользователем системы меню и цветов экрана в малотиражных специализированных программных средствах совершенно излишни и не оправданы экономически, хотя это и не исключает их индивидуальной подстройки по заказу.

Технология и организационные формы программирования. Технология создания программных средств включает в себя стратегию, тактику и организационные формы ведения проекта создания, поддержки и развития программного средства, а также собственно технологию программирования.

Представляется, что единственно эффективной организационной формой проекта рассматриваемого класса является трехслойное обобщение «метода главного программиста». При этом разработчики подразделяются на три «слоя» со вполне определенной ролью каждого:

1. Верхний слой может состоять из одного или двух человек — главного идеолога проекта и главного программиста проекта, причем часто это один и тот же человек. За пределы этого слоя не могут выпускаться структурирование и функциональное наполнение программного средства, структуризация данных, стандартизация внутренних интерфейсов.

2. Средний слой составляют близкие единомышленники главного программиста, без которых проект нежизнеспособен (0—3 человека). За пределы этого слоя не могут выпускаться модули, определяющие пользовательские качества разработки, а именно, интерфейсы пользователя, связь с базами данных, экспертная система сопровождения, обработчики особых ситуаций и ошибок, а также ключевые математические модули, определяющие методологическую уникальность проекта. Отметим, что попытки обойтись без этого слоя, воспользовавшись готовыми средствами, не катастрофичны, хотя и резко уменьшают шансы проекта на выживание. Долго живут только программы, имеющие собственное лицо, определяемое отнюдь не заставкой на экране, а мелкими особенностями интерфейса, цветовой гаммой, структурой меню, нестандартными операциями во встроенной СУБД и др.

3. Нижний слой может состоять из программистов по найму, имеющих переменный состав. На этом слое могут разрабаты-

ваться только математические модули и интерфейсы к иным программным средствам. При сопровождении и развитии проекта надежность работы модуля, относящегося к этому слою, должна, по возможности, вести не к поиску и исправлению очередной ошибки, а к замене автора модуля с полным переписыванием.

Нарушение вышеперечисленных правил (передача задач, специфичных для верхних слоев, на нижележащие слои или выбывание одного из разработчиков верхнего или среднего слоя) автоматически влечет за собой катастрофическую разрегуляцию системы разработчик-продавец-компьютер-пользователь, восстановление после которой невозможно, хотя отдельные модули, в особенности нижнего слоя, могут быть в дальнейшем использованы в других проектах.

Выбор языка программирования имеет варианты. Статистика автора показывает, что малопопулярный ныне FORTRAN (компиляторы Microsoft или NDP) все же строит более быстрые программы, чем остальные распространенные компиляторы, что для задач интерполяции и оценивания весьма актуально, но разница с другими профессиональными компиляторами не столь велика, чтобы быть критичной. Собственно технология программирования на нижнем уровне (модули) может быть самой разнообразной, а на верхнем подчиняется основным принципам кинорежиссуры:

Принцип Чаплина — не жалеть пленки. Дисциплина межмодульных интерфейсов обязана быть достаточно высока, чтобы модули могли заменяться аналогичными. В этом случае возможна сборка средства с использованием черновых, заведомо неэффективных модулей с их постепенной заменой. Более важно, что в процессе поддержки и развития средства каждый модуль все равно рано или поздно переписывается. Практика автора показывает, что средняя длительность жизни каждого модуля, кроме простейших вычислительных, равна 2—3 годам, и попытки продлить ее отрицательно сказываются на общих потребительских качествах программного продукта. Тем самым, многократное повторение работы (конечно, на новом уровне) является правилом, а не исключением.

Принцип Эйзенштейна — не бояться

резать. Ни один модуль не должен включаться в средство, пока не доказана его реальная необходимость и реальное удобство управления им. Наличие модулей, без которых можно обойтись, а также плохо управляемых модулей резко снижает обзорность средства. При разработке комплекса GST некоторые возможности (например, трехмерная вариография) реализовывались по два — три раза и «уходили в корзину», пока не появлялась концепция удобного управления ими. Итоговое решение было найдено в том, что из трех координат две (например, в плоскости жилы) достаточно условны, а третья отражает некоторое реально особое направление. Если объявить разрешенными осями анизотропии только это направление и направления в перпендикулярной ему плоскости (но не косые), процесс интерактивной вариографии в трехмерном пространстве становится реально управляемым, то есть решение было найдено именно в принципе Эйзенштейна.

Технология поддержки и развития программного средства рассматриваемого класса также имеет несколько существенных особенностей:

1. Пользователь рассматриваемой модели, согласно статистике автора, в общем случае стесняется выходить на разработчиков с вопросами, что существенно затрудняет и эффективную эксплуатацию, и эффективное развитие. В отечественных условиях нужна активная поддержка, причем просто опроса пользователей недостаточно. Необходимо периодически вникать в какую-либо из их задач и самостоятельно рассматривать возможность улучшения для этой задачи математических и пользовательских характеристик, а также расширения постановки задачи. Потенциальный тираж (первые сотни копий) позволяет такую поддержку осуществлять.

2. Сравнительно небольшое число пользователей позволяет практически полностью абстрагироваться от проблем защиты от копирования. Если каждая копия помечена, есть возможность проследить источник появления пиратских копий. Пользователь же, имеющий льготы на покупку следующей версии и лишаящийся их при нелегальном копировании, способен понять свою выгоду в выполнении правил игры. Статистика ав-

тора показывает, что по отношению к профессиональным программным средствам в нашей стране процент попыток взлома систем защиты гораздо ниже, чем в странах с развитым и действующим законодательством по отношению к крупнотиражным средствам. Естественно, для этого есть обязательные условия: регулярность появления новых версий, хорошая система льгот, легкость снятия проблем с защитой при авариях компьютера, легкость получения дополнительных копий «на доверии», с последующей оплатой.

3. Те же причины определяют еще один аспект взаимоотношений с пользователем. Как разработчик может проследить появление пиратской копии, так и пользователь — некорректность разработчика по отношению к другому пользователю. Взаимоотношения должны строиться на предельной честности и максимальном доверии, то есть коммерческая политика должна быть максимально открытой.

4. Очень важную роль играет проектирование развития средства. Даже если имеются существенные льготы, пользователь купит новую версию только при наличии в ней новинок, принципиальных именно для него. Как следствие, весьма важно всегда иметь идеи на две версии вперед и не стараться реализовать их раньше времени (естественно, по ходу их можно корректировать).

5. Как отмечалось выше, модули нижнего слоя при неустойчивости их работы следует переписывать, по возможности передавая другим программистам. При этом совсем не обязательно выводить программиста из проекта. Вполне допустимо его дальнейшее использование на других модулях.

6. Стратегия взаимодействия со смежными программными средствами должна проектироваться особо по двум направлениям. Взаимодействие со средствами, имеющими перспективы стать стандартом de-facto, должно быть обеспечено с опережением. Взаимодействие со средствами, только входящими в рынок, но интересными с точки зрения разработчиков, более сложно. Если такое взаимодействие видится эффективным, нельзя его коммерциализировать — пользователь примет совет по покупке этого средства только в случае доказуемости от-

сутствия дилерского соглашения. Выгоду следует искать только в улучшении пользовательских характеристик обоих средств при их совместном использовании. При более тесной интеграции с таким средством нужна осторожность. Интеграция программных средств проявляет эмерджентное свойство новой системы, заключающееся в том, что результирующая система подчиняется не армейскому правилу «ход эскадры определяется наиболее тихоходным судном», а этнографическому закону «при смешении нескольких этносов уровень культуры смеси временно отбрасывается на уровень ниже минимального из исходных». Уровень пользовательских характеристик объединения при этом резко падает, и если оба средства не имеют «запаса прочности», может наступить крах.

Выводы. Программное средство профессионального назначения есть динамическая система, эффективность которой в равной мере определяется функциональной нагрузкой, адекватностью интерактивной среды, развитостью системы поддержки пользователя, коммерческой стратегией, темпами развития, схемой разделения ответственности за принятые решения.

Система разработчик-продавец-компьютер-пользователь вполне поддается анализу в приложении к конкретным классам программных средств. Свойства этой системы вполне определяют стратегию и тактику создания и развития средства, а также стратегию и тактику взаимоотношений с пользователем. Центральным понятием системы является модель пользователя.

Пользователем программного средства изучаемого класса является специалист с высокой мерой ответственности. Необходимость предоставления ему возможности ре-

ализации его индивидуальности и субъективного видения объекта исследования определяет допустимый в программном средстве баланс между встроенными системами искусственного интеллекта и встроенными средствами интерактивного моделирования.

Интерактивная технология работы с геологоразведочными данными предполагает граф обработки с переходом данных и промежуточных результатов между пользователями разных моделей, что накладывает существенные ограничения на структуризацию программных средств. Так, модель пользователя, занимающегося интерполяцией и оцениванием, не предполагает его участия в подготовке и первичной обработке данных, а также в итоговом оформлении результатов. Как следствие, интерактивная среда решения таких задач отличается от интерактивной среды решения смежных задач, что предопределяет логику физического разделения программ.

Описанная структуризация программных средств позволяет при их изготовлении на локальном уровне с высокой эффективностью применять слегка модифицированную организационную схему «метода главного программиста», а на макроуровне эффективно заменять жесткие организационные рамки взаимосооперацией независимых коллективов разработчиков.

Программный комплекс GST создан как реализация большей части идей и построений, изложенных в статье. Коммерческий успех комплекса и его жизнеспособность вполне подтверждают правомерность построений, в то время как предыдущие программные разработки автора, несмотря на локальный успех в момент выхода, уже потеряли последних пользователей и прекратили поддерживаться.

Maltcev V. A.

MAKING METHODS OF PROGRAM MEANS OF CONTROLLED INTERPOLATION IN GEOLOGICAL TASKS

The broadest class of geological program means is considered. This class includes the interpolation programs of organization and technical details of the realization, support and marketing. A single methodology is proposed to project and to make the program means for interpolation and estimation. The methodology can be easily adapted to other problem classes.

УДК 552.332.4

ИНДИКАТОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ АЛМАЗОНОСНЫХ ЛАМПРОИТОВ И ИХ ПОИСКИ ШЛИХО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А. Д. ХАРЬКИВ (ЦНИГРИ)

Сопоставлены некоторые физические свойства и химический состав индикаторных минералов кимберлитов и лампроитов — алмаза, пироба, хромшпинелида. Показано, что между ними нет принципиальных различий. Сделан вывод, что основные методические приемы шлихо-минералогических поисков алмазонасных лампроитов и кимберлитов идентичны.

В конце семидесятых годов в Австралии были открыты трубки взрыва коренных мантийных алмазов. Алмазонасные породы, слагающие их, по петрохимическим особенностям и минеральному составу основной массы отличаются от кимберлитов. В двадцатых годах П. Нигли [14] они были названы лампроитами.

Алмазонасные лампроиты — сообщества ультракалиевых высокомагнезиальных образований орендитовой серии. Они содержат обогащенные титаном силикаты и оксиды, а также характеризуются отсутствием мелилита и плагиоклаза [4]. Лампроиты представляют собой вулканическую породу брекчиевой и массивной текстур.

В алмазонасных лампроитовых породах, как и в кимберлитовых, сочетаются материалы двух уровней кристаллизации — мантийного и корового. Мантийный материал представлен продуктами дезинтеграции пород дифференцированной мантии, которые находятся в виде ксенозерен алмаза, оливина, пироба, пироп-альмандина, хромшпинелида, хромдиопсида, пикроильменита и ксенолитов мантийных пород (оливинитов, гарцбургитов, лерцолитов). Высокое давление и высокая температура — необходимые условия равновесной кристаллизации большинства минералов этой группы глубинного материала.

На пути перемещения лампроитовой магмы к поверхности в диатремах, а также дайках кристаллизовался комплекс минералов мезостазиса: оливин (II группа), клинопироксен (обычно диопсид), К-рихтерит, хромшпинелид (II), пикроильменит (II), Тi-флогопит, лейцит и некоторые акцессорные минералы (апатит, прайдерит, вэйдит и другие); возможно, также формировалось стекло.

Лампроиты разделены на две группы: а) лейцитовые, содержащие менее 10 % оливина; б) оливиновые — количество оливина достигает 30 % при отсутствии лейцита [1].

В. А. Милашев [3] убедительно показал, что лампроиты не отличаются от кимберлитов ни формой тел, ни внутренним строением. Основным пороодообразующим минералом как кимберлитов, так и лампроитов

является магнезиальный оливин. В оливиновых лампроитах присутствуют мантийные ксенолиты, представленные шпинелевыми и гранатовыми лерцолитами, дунитами и гарцбургитами, т.е. теми же глубинными породами, что и в кимберлитах. Можно подобрать серию разновидностей этих магматитов и выстроить их в непрерывный ряд с постепенным изменением их особенностей от кимберлитов до лампроитов. Упомянутый автор предлагает отнести лампроиты к породам группы кимберлитов, выделив среди них слюдястые, К-рихтеритовые и К-рихтерит-лейцитовые кимберлиты. Нам представляется, что такое толкование природы лампроитов соответствует действительности, хотя отнесение алмазоносных лампроитов к одной из разновидностей семейства кимберлитов вряд ли оправдано. За этими алмазоносными магматитами, которые в Австралии служат крупными коренными месторождениями алмазов, прочно закрепился термин «лампроит», и называть эти породы как-то иначе нет необходимости.

В настоящей работе мы попытаемся доказать, что основные индикаторные минералы лампроитов и кимберлитов одни и те же, поэтому шлихо-минералогический метод поисков кимберлитов пригоден и для алмазоносных лампроитов.

Из индикаторных минералов, которые используются при поисках этим методом, в лампроитах присутствуют: алмаз, хромшпинелид и пироп; пикроильменит и хромдиопсид встречаются в виде редких знаков. В австралийских лампроитах общее содержание индикаторных минералов низкое. Обычно хромшпинелид присутствует в нескольких повышенных количествах, пироп и особенно пикроильменит представлены редкими знаками. Правда, известны единичные лампроитовые трубки, в частности, Элландейл-7, в которых, по данным Н.В.Соболева с соавторами [9] и австралийских геологов, пироп в концентрате преобладает над хромшпинелидом. Содержание алмазов в лампроитах колеблется в широких пределах: от практически нулевых значений до ураганных количеств (8 кар/т). Среди алмазов лампроитов установлены те же морфологические формы, что и у алмазов кимберлитов [1]. Характерная их особенность — преобладание додекаэдров и повы-

шенное количество шпинелевых двойников. Еще один типоморфный признак морфологии алмазов лампроитов — две четко выраженные морфологические группы: среди алмазов < 1 мм преобладают плоскогранные октаэдры, тогда как камни крупнее 2 мм, в основном, представлены додекаэдроидами. Другие особенности лампроитовых алмазов Австралии заключаются в следующем: а) большинство кристаллов покрыто глубокими кавернами и каналами травления; б) среди минеральных включений в алмазах преобладает эклогитовый парагенезис (пироп-альмандиновый гранат, клинопироксен, коэсит, рутил); в) преобладают кристаллы с облегченным изотопным составом углерода (максимум $\delta^{13}\text{C}$ падает на интервал от -9 до -12‰); г) твердость алмазов из лампроитов Австралии выше твердости этого минерала месторождений других регионов. Этими признаками алмазы из лампроитов отличаются от алмазов большинства месторождений центральных районов Якутии. В то же время они имеют много общего с алмазами северных районов Якутской провинции и особенно близки к алмазам кимберлитов Восточно-Европейской платформы (Архангельской области). Подобное сходство алмазов из лампроитов и кимберлитов вызывает удивление, если учитывать контрастный состав лампроитов Австралии и кимберлитов Архангельской области.

Как отмечалось выше, алмазоносные лампроиты принадлежат к ультракалиевым породам ($\text{K}_2\text{O} = 2\text{—}6$ мас. %), содержащим высокие концентрации TiO_2 (2—5 мас. %), P_2O_5 (1,5—4,0 мас. %) и некоторых неогерентных элементов (Ba, Sr, Rb, Zr, Ti, U и др.), в то время как кимберлиты Восточно-Европейской платформы представлены высокоультраосновными образованиями (если очистить их от ксеногенного кварцевого и другого материала вмещающих пород) с низкими содержаниями TiO_2 (0,10—0,80 мас. %), FeO (4—6 мас. %), K_2O (0,20—0,7 мас. %), P_2O_5 (0,10—0,50 мас. %) и других. Это служит убедительным доказательством ксеногенной природы алмазов кимберлитов и лампроитов. Их материнскими породами являются гранатовые перидотиты и эклогиты алмаз-хром-пироповой фации глубинности, а магматические расплавы, застывшие в трубчатых структу-

рах в виде лампроитов и кимберлитов, играли роль транспортеров, выносивших этот минерал и другие продукты дезинтеграции мантийных пород в земную кору. Алмазонасность кимберлитов и лампроитов определяется прежде всего глубиной заложения магматических очагов в верхней мантии, а состав породы зависит от состава субстрата, подвергшегося плавлению [11, 5]. Проявления алмазонасности, представляющей практический интерес, не встречаются в магматитах, лишенных высокобарной ассоциации индикаторных минералов мантийного этапа кристаллизации. Исходя из этой концепции, алмазонасными можно считать не только кимберлиты и лампроиты, но и породы другого состава, корни магматических очагов которых достигали слоя стабильного существования алмаза в верхней мантии [5]. При этом подъем расплава к земной поверхности должен осуществляться достаточно быстро, чтобы алмазы могли сохраниться в метастабильных для них условиях.

Хромшпинелиды лампроитов представлены двумя группами: первая — ксенокристаллы, аналогичные аксессуариям этого минерала из ксенолитов шпинелевых и гранатовых перидотитов, присутствующих в лампроитах и кимберлитах; вторая — мелкие выделения из основной массы породы (мезостазиса). Последние нередко встречаются в виде включений в лейците, оливине, флогопите и некоторых других минералах. Нас интересуют в первую очередь хромшпинелиды первой группы, которая образует хорошо индивидуализированные кристаллы и неправильной формы зерна размером до 1 мм и более. Именно эта группа хромшпинелидов используется при шлихо-минералогическом методе поисков в качестве индикаторного минерала. На рис. 1 приведены диаграммы хромшпинелидов из кимберлитов Якутии и лампроитов Австралии. Если на диаграмму хромшпинелидов из кимберлитов нанесены лишь точки составов хромшпинелидов первой группы, то на диаграмму состава хромшпинелидов лампроитов, кроме первой группы, нанесены точки состава этого минерала из основной массы и ксенолитов глубинных пород, встреченных в лампроитах. Как видно из рис. 1, точки состава хромшпинелидов лампроитов попадают в поле массового расположения точек состава

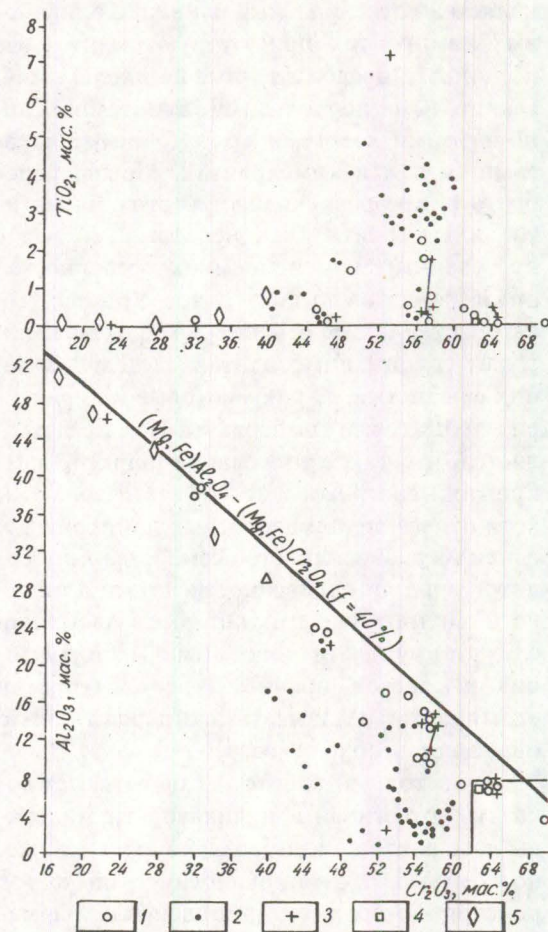


Рис. 1. Особенности состава хромшпинелидов алмазонасных лампроитов Австралии:

1 — ксенозерна из концентрата, 2 — зерна из основной массы, 3 — кристаллы из ксенолитов глубинных пород трубки Аргайл, 4 — включение в алмазе, 5 — микрочастицы из продуктов замещения пирропа ксенолитов перидотитов. Диаграмма составлена по данным [1, 3, 9, 11]

хромшпинелидов из кимберлитового концентрата.

Хромшпинелиды лампроитов характеризуются широким диапазоном состава, особенно по хрому и алюминию: содержание Cr_2O_3 варьирует от 32,03 до 64,4 мас. %, Al_2O_3 — от 6,81 до 37,48 мас. %. Несколько из проанализированных зерен хромшпинелидов лампроитов относятся к алмазной ассоциации. Относительно редко встречающиеся включения хромшпинелида в алмазах лампроитов принадлежат к особо высокохромистой разновидности (содержание Cr_2O_3 более 62 мас. %).

Приведенные данные подтверждают вывод, сделанный в работе [9], что хромшпинелиды первой группы лампроитов и кимберлитов характеризуются близким составом и, в частности, широкими вариациями в содержаниях Cr_2O_3 и Al_2O_3 . Тем не менее, некоторые исследователи считают, что хромшпинелиды лампроитов имеют особый состав, который проявляется в высоком содержании TiO_2 и Fe_2O_3 , и этим отличаются от хромшпинелидов кимберлитов. Р.Х.Митчелл [4] показал, что составы этого минерала из названных пород образуют самостоятельные поля. Однако, составляя диаграмму, он не раз делил хромшпинелиды на ксеногенные и ликвидусные, так как, по его мнению, все хромшпинелиды кристаллизовались из кимберлитового или лампроитового расплава, поэтому между ними не должно быть различий в составе. Однако, как показано на диаграмме (см. рис. 1), хромшпинелид из основной массы лампроитов существенно отличается от ксенозерен этого минерала повышенным содержанием TiO_2 и Fe_2O_3 . Учитывая, что обычно в кимберлитах анализируются зерна из концентрата, т.е. ксенокристаллы хромшпинелида (I группы), а в лампроитах этот минерал содержится в основной массе (II группа), нетрудно догадаться, что Митчелл сопоставил составы хромшпинелидов разных генетических групп. Таким образом, выявленные им различия относятся к этому минералу I и II групп, а не к хромшпинелиду кимберлитов либо лампроитов.

Гранат-пироп — важный, но редкий аксессуарный минерал лампроитов. Тем не менее, как отмечалось выше, в некоторых лампроитовых телах он присутствует в повышенных количествах, особенно в концентрате оливиновых лампроитов. Поэтому индикаторная роль этого минерала при поисках велика. Известны включения граната пиропового состава (ультраосновной парагенезис) в алмазах лампроитов, хотя в них резко преобладают включения граната эклогитового парагенезиса [10]. По составу гранаты ультраосновного парагенезиса из лампроитов не отличаются от гранатов кимберлитов. Как видно из рис. 2, они характеризуются широкими пределами колебания Cr_2O_3 (до 12 мас. %). Единичные включения граната высокохромистого и низкокальциевого состава встречены в алмазах.

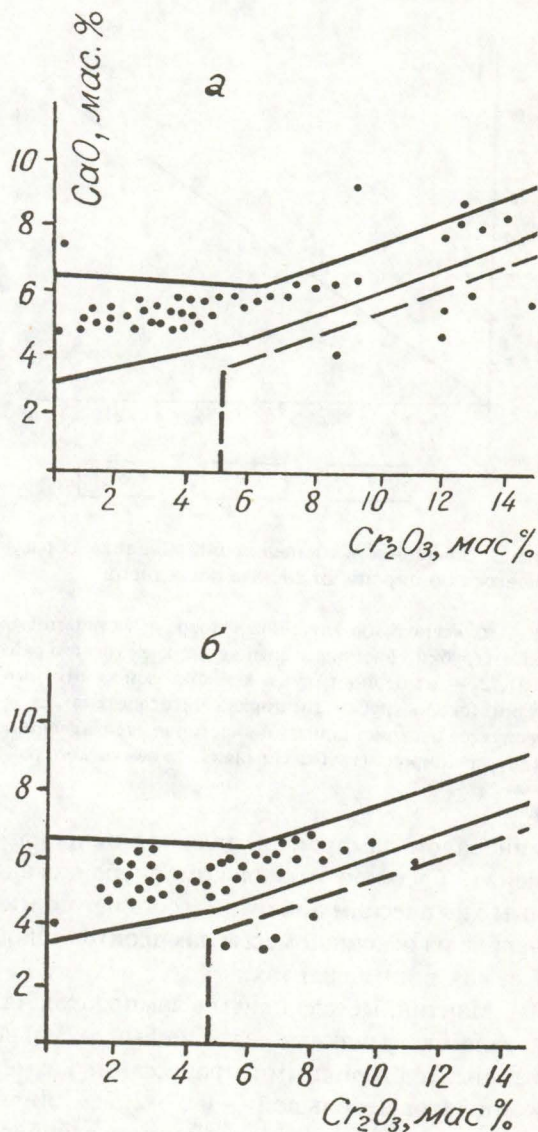


Рис. 2. Особенности состава граната:

а — из концентрата кимберлитов трубки Скеринг, б — из концентрата лампроитов Элландейл-7 (по [12])

В то же время среди гранатов лампроитового концентрата распространены в основном низко- и умереннохромистые разновидности этого минерала. По данным Н.В.Соболева с соавторами [10], несмотря на преобладающую распространенность гранатов эклогитового типа во включениях в алмазах трубки Аргайл, в концентрате обогащения зафиксированы лишь отдельные находки пироп-альмандиновых гранатов, а среди пиропов пока не обнаружены особо богатые хромом и бедные кальцием разновидности.

Исключительно редким индикаторным

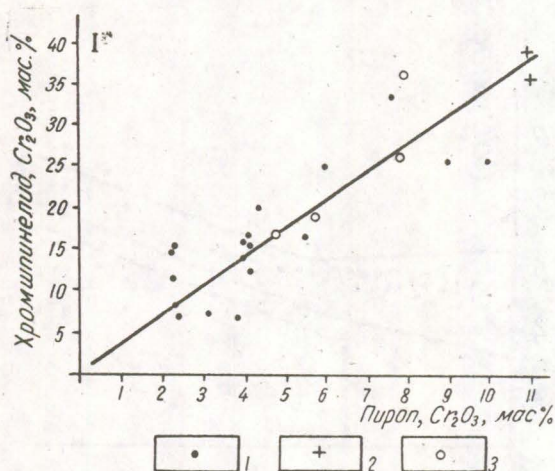


Рис. 3. Зависимость состава хромшпинелида, образующегося по пиропу, от состава последнего:

1 — из ксенолитов глубинных пород и келифитовых кайм (трубки Новинка и Зимняя Верхнемунского района), 2 — из перидотитов и келифитовой каймы интрузии (около трубки Лингорка, Чехословакия), 3 — продуктов раскristализации частично расплавленных желваков пиропса (трубка Зимняя Верхнемунского района)

минералом лампроитов является пикроильменит. Судя по нескольким опубликованным химическим анализам, состав этого минерала из основной массы лампроитов такой же, как в кимберлитах.

Мантийные ксенолиты в лампроитах Австралии встречаются редко и обычно сильно изменены вторичными процессами. Размер ксенолитов небольшой — 0,5—2,5 см. Лишь в единичных случаях у ксенолитов гарцбургитов он достигает 50 см в поперечнике. В них, кроме оливина, присутствует немного энстатита и хромшпинелида. Редко встречаются шпинелевые лерцолиты. Следует подчеркнуть, что минеральный состав мантийных ксенолитов лампроитов изучен крайне слабо. Нам известна всего лишь одна статья, где изложены результаты исследования минерального состава 47 нодулей существенно оливиновых лерцолитов, в том числе семи алмазоносных [12]. Изученные породы сильно изменены, первичные минералы сохранились в виде реликтов. Нодули имеют высокомагнезиальный состав, низкое содержание TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , CaO и принадлежат к диплетированным образованиям верхней мантии. Реликты первичных минералов позволяют заключить, что эти породы перво-

начально были представлены гранатовыми лерцолитами и гарцбургитами.

Оливин — главный породообразующий минерал ксенолитов. Он относится к высокомагнезиальной разности ($f = 9,1—9,3\%$), типичной для подобных пород кимберлитов. Клинопироксен представлен низкоглиноземистым диопсидом ($Al_2O_3 = 0,73—2,18$ мас. %, $Na_2O = 0,51—1,60$ мас. %). Ортопироксен принадлежит к низкоглиноземистой и низкожелезистой разности ($Al_2O_3 = 0,45—0,70$ мас. %, $f = 5,9—8,7\%$). Первичный хромшпинелид присутствует в пяти образцах неалмазоносных перидотитов. Содержание Cr_2O_3 в хромшпинелиде варьирует (мас. %): от 57,86 до 64,48; Al_2O_3 — от 7,12 до 13,50; TiO_2 — от 0,11 до 0,45. Следует подчеркнуть, что все изученные разности мантийных ксенолитов первоначально содержали гранат, который на глубине, по-видимому в мантии, полностью заместился ассоциацией низкобарных минералов: Al-энстатитом, Al-диопсидом, Al-шпинелидом. Из вторичных минералов совместно с симплектитовыми сростками перечисленных выше минералов присутствуют кальцит, серпентин, K-полевой шпат, иллит.

Ввиду полной келифитизации граната в изученных ксенолитах лерцолитов и гарцбургитов, судить о его составе можно лишь косвенно по составу минералов, слагающих келифитовое вещество. Нами [11] установлена прямая зависимость между содержаниями Cr_2O_3 в гранате и хромшпинелиде, образующего вместе с другими минералами (клинопироксеном и ортопироксеном) келифитовые каймы (рис. 3). Согласно приведенному графику, содержание Cr_2O_3 в гранатах мантийных ксенолитов из трубки Аргайл, замещенных низкобарной ассоциацией минералов, ориентировочно равно (мас. %): для алмазоносного лерцолита (обр. 6) — 8,4; для двух неалмазоносных лерцолитов — 6,0 (обр. 23) и 7,5 (обр. 60), т.е. все они принадлежат к высокохромистой разности. По данным австралийских геологов [12], содержание Cr_2O_3 в гранатах из лампроитового концентрата трубки Аргайл колеблется от 1,8 до 4,9 мас. % (среднее 3,8). Из этого следует, что источником граната-пиропса из концентрата трубки Аргайл являются гранатовые перидотиты, содержащие более низ-

кохромистый гранат, чем породы, описанные выше.

В связи с полной келифитизацией граната мантийных ксенолитов из лампроитов трубки Аргайл рассмотрим причины низкого содержания пироба в названной трубке. Нами [11] было доказано, что келифитизация гранатов ксенолитов глубинных пород осуществлялась в условиях мантии до отрыва ксенолитов от их материнских пород и начала формирования кимберлитового расплава. Это характерно и для глубинных ксенолитов с келифитизированным гранатом лампроитов трубки Аргайл. В то же время установлено, что в большинстве кимберлитовых трубок, которые, как и лампроиты, содержат ксенолиты глубинных пород, наблюдается положительная корреляция между содержанием главных индикаторных минералов кимберлитового цемента и их количеством в ксенолитах глубинных пород. Эта зависимость отчетливо проявляется в трубках Мир, Удачная, Сытыканская, Интернациональная, Обнаженная, в трубках Верхнемунского района, а также, по данным других исследований [6], для кимберлитов Восточно-Европейской платформы. Особенно четко это выражено для граната, пикроильменита и хромшпинелида, т.е. тех минералов, которые труднее всего поддаются истиранию (уничтожению) при транспортировке к поверхности и устойчивы к замещению вторичными минералами. Для клино- и ортопироксенов в ряде случаев эта зависимость нечеткая, очевидно, потому, что они легко замещаются агрегатами вторичных минералов, большинство из которых уничтожается при выносе материала вверх и в самой диатреме после консолидации породы.

Дезинтеграция мантийных пород, содержащих зерна даже не полностью келифитизированного граната, не могла привести к сколько-нибудь значительному выносу и скоплению этого минерала в диатремах лампроитов, что нашло полное подтверждение при изучении трубки Аргайл и других лампроитовых тел Австралии.

Обращает на себя внимание отсутствие среди изученных мантийных ксенолитов эклогитовых пород, в том числе алмазоносных, тогда как судя по составу включений твердых фаз в алмазах и изотопному составу $\delta^{13}\text{C}$ алмазов, среди совокупности этого минерала резко преобладает эклогитовый па-

рагенезис. Удивительно также то, что в работах, посвященных лампроитам, ничего не говорится о других минералах эклогитов: пироп-альмандине и клинопироксене. По данным [10], в концентрате трубки Аргайл пироп-альмандиновые гранаты чрезвычайно редки. Это позволяет предположить, что глубинный источник эклогитовых алмазов подвергся интенсивному плавлению и дезинтеграции; от него сохранился один алмаз. Косвенным свидетельством участия эклогитового материала в формировании лампроитового расплава может быть повышенное содержание в этих породах SiO_2 , достигающее в алмазоносных оливиновых разностях 45 мас. %. Только плавление эклогитов и особенно их коэситовой разности могло обеспечить высокие концентрации кремнекислоты. Относительно частая встречаемость включений коэсита в алмазах лампроитов указывает на то, что эта разновидность эклогитов в области формирования лампроитовых расплавов имела широкое распространение.

Сравним морфологические и другие особенности алмазов ксенолитов глубинных пород трубки Аргайл с алмазами концентрата. В работе [12] приведена краткая характеристика алмазов восьми ксенолитов гранатовых лерцолитов и гарцбургитов. Масса этих ксенолитов колеблется от 0,1 до 0,6 кг и лишь одного из них достигла 6,8 кг. Общая масса всех ксенолитов равна 8,9 кг. Количество извлеченных алмазов из всех ксенолитов — 622 (вариации от 1 до 290). Общая масса всех алмазов составила 38,3 мг, средняя масса одного зерна алмаза 0,06 мг, т.е. они представлены микрозернами. Среднее содержание алмазов в ксенолитах равно 22 кар/т (пределы колебания от 5 до 333). По морфологии они делятся следующим образом (в %): октаэдры 8, додекаэдры 0,6, додекаэдроиды 0,6, шпинелевые двойники 30, агрегаты 4, обломки 58. Обилие обломков, очевидно, связано с механическим дроблением алмазов при их извлечении из ксенолитов. Обращает на себя внимание повышенное количество среди алмазов перидотитов октаэдрических кристаллов (8 %) и низкое додекаэдрических (1,2 %), тогда как среди алмазов лампроитов трубки Аргайл доминируют додекаэдроиды (особенно в более крупных классах). Мелкие размеры кри-

сталлов и их октаэдрическая форма — типоморфный признак не только алмазов из мантийных ксенолитов ультрабазитов лампроитов, но и ксенолитов этих пород кимберлитов [8]. На этом основании можно заключить, что источником мелких алмазов лампроитов (менее 1 мм), имеющих форму плоскогранных октаэдров, являются мантийные породы ультраосновного состава, а — более крупных — ромбододекаэдроидов — эклогиты. Это подтверждается составом твердых включений в алмазах и величиной $\delta^{13}\text{C}$ алмазов трубки Аргайл.

Рассмотрим кратко историю открытия алмазов в лампроитовых породах Австралии (в том числе крупнейшего коренного месторождения — лампроитовой трубки Аргайл) и методику их поисков, чтобы показать, что даже низкоспутниковые тела, эффективно искать по наличию индикаторных минералов.

Широкие поисковые работы на алмазы в пределах кратона Кимберли в северо-западной Австралии начались в конце шестидесятых годов. Выбор кратона в качестве перспективного для поисков коренных месторождений алмазов, связанных с кимберлитами, был сделан в основном по аналогии с Южной Африкой. Эта крупная геологическая структура имеет много общего с подобными структурами Южной Африки, где расположены главные коренные месторождения алмазов, связанные с кимберлитовыми трубками. Как и африканские, она не подвергалась тектоническим движениям на протяжении 1,6 млрд лет. Подобные тектонические структуры являются классической моделью алмазоносных регионов, к которым приурочены коренные месторождения алмазов. Они используются для прогнозирования новых месторождений алмазов на разных континентах нашей планеты.

Для ведения поисков алмазов были приглашены специалисты всемирно известной южноафриканской компании Де Бирс, имеющие большой опыт поисков и открывшие не одно месторождение алмазов на Африканском континенте. В 1967—1971 гг. здесь были проведены поиски алмазов традиционным шлихо-минералогическим методом с целью обнаружения индикаторных минералов кимберлитов: алмаза, пироба и ильменита. Были найдены девять мелких алмазов

в аллювиальных отложениях бассейна реки Леннард, но, из-за отсутствия новых находок в повторных пробах, район признали бесперспективным и прекратили поиски. Для австралийских геологов подобное заключение оказалось недостаточно убедительным, в связи с чем в 1972 г. поиски алмазов на плато Кимберли были продолжены, но уже без участия специалистов из компании Де Бирс. Поиски включали геологическое картирование с шлиховым опробованием и неглубоким картировочным бурением. Первоначально программой предусматривалось опробование центральной части кратона Кимберли с отбором 8-килограммовых проб через каждые 15 км. В январе 1973 г. в шлиховой пробе в Северном Кимберли были обнаружены первые минералы-спутники алмаза: хромдиопсид, пироп и пикроильменит. В 1976 г. в одной из валовых проб массой 40 т из русловых отложений реки Кинг-Георг было обнаружено около 300 мелких алмазов и среди них один ювелирный массой 0,4 карата. С помощью шлихового метода с использованием перечисленных выше минералов в начале 1976 г. здесь были найдены первые кимберлитовые трубки — сперва Претопус, а затем — Сперринг, оказавшиеся неалмазоносными.

Поисковые работы одновременно велись и в южной части кратона Кимберли. В методическом плане они были скорректированы с учетом открытия первых кимберлитовых трубок на севере: учтены дальность транспортировки индикаторных минералов от коренного источника, распределение минералов по крупности, а также объем проб и расстояние между точками их отбора. В ноябре 1976 г. в результате прослеживания минералов-спутников алмаза и самих алмазов в шлиховых пробах были обнаружены первые алмазоносные трубки Биг-Спринг и Элландейл, которые, как показали исследования, оказались сложными не кимберлитами, а лампроитами. С тех пор монопольное право кимберлита представлять коренные источники наиболее важного драгоценного камня было утрачено. У кимберлита появился достойный конкурент — лампроитовая порода, имеющая много общего с кимберлитом, но в то же время отличающаяся от него рядом особенностей состава.

Применение опытной аэромагнитной

съемки показало, что трубки Биг-Спринг и Элландейл дают четко выраженные магнитные аномалии. Это стимулировало проведение аэромагнитной съемки на площади около 5,6 тыс. км². В результате было выявлено около 26 локальных магнитных аномалий, заверка которых показала, что 24 из них представлены оливиновыми или лейцитовыми лампроитами.

Значительно успешнее оказались поиски алмазных месторождений в районе Восточного Кимберли компанией «Аштон» организованной в 1976 г. на базе компании «Танганьик холдингз ЛТД». Ее сотрудники проводили опробовательские работы в бассейнах немногочисленных водотоков этой пустынной территории. 23 августа 1979 г. из лаборатории в г.Перте сообщили, что в 40-килограммовой пробе, отобранной из русловых аллювиальных отложений реки Смоук Крик, найдены два кристалла алмаза. На следующий день в одной из проб нашли еще четыре алмаза, а 30 августа — пять кристаллов. Затем из пробы аллювия объемом 1 м³ был извлечен 401 кристалл алмаза общей массой 60,28 карата, в том числе один массой 4,8 карата. Эти находки дали основание предполагать наличие в бассейне реки Смоук Крик богатого коренного источника алмазов. По мере продвижения вверх по течению реки алмазы стали попадаться все чаще и чаще. 2 октября 1979 г. в истоках реки геологи открыли трубку, которую некоторое время спустя назвали Аргайл. В настоящее время из данного месторождения добывают 36 млн каратов алмазов в год, благодаря чему Австралия вышла на первое место в мире по добыче алмазов.

Приведенные выше данные позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Алмазоносные лампроиты и кимберлиты имеют один и тот же набор индикаторных минералов: алмаз, гранат-пироп, хромшпинелид, пикроильменит. Эти минералы названных алмазоносных магматитов принципиально не различаются между собой ни по химическому составу, ни по физическим свойствам. Некоторые различия между ними носят, скорее всего, «провинциальный» характер.

2. Есть основание утверждать, что месторождениями алмазов могут быть только трубчатые тела лампроитов, поскольку бы-

строе перемещение мантийного расплава вверх, способное обеспечивать сохранность алмаза в метастабильных условиях (высокая температура, пониженное давление, повышенный окислительный потенциал), при встрече его в условиях земной коры с захороненными метеорными водами реализуется в виде взрывных аппаратов типа трубок взрыва.

3. Основные методические приемы поисков алмазоносных лампроитов шлихо-минералогическим способом не отличаются от приемов поисков кимберлитов. На технологию поисковых работ некоторый отпечаток накладывают низкое содержание и мелкий размер индикаторных минералов и преобладание среди них хромшпинелида. Специфический химический состав глубинных хромшпинелидов алмазоносных магматитов, который проявляется на статистическом уровне, позволяет проводить типизацию шлиховых ореолов этого минерала и увязывать их с конкретными типами коренных источников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джейкс А., Луис Д.Ж., Смит К. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии. — М.: Мир, 1989.
2. Каминский Ф.В. Новый генетический тип промышленно-алмазоносных пород — лампроиты Западной Австралии // Геология, методы поисков и разведки месторождений неметаллических полезных ископаемых. — М., ВИЭМС. 1987.
3. Милашев В.В. Петрологическое соотношение алмазоносных лампроитов и кимберлитов // Геология и геофизика. 1988. № 10. С. 36—44.
4. Митчел Р.Х. Лампроиты — семейство щелочных горных пород // Зап. Всесоюз. минер. о-ва. Ч. 117. Вып. 5. 1988. С. 575—586.
5. Петрохимия кимберлитов / А.Д.Харьков, В.В.Зуенко, Н.Н.Зинчук и др. / — М.: Недра, 1991.
6. Саблуков С.М., Будкина Л.И. Глубинные включения и особенности химического состава сосуществующих минералов / Природные ассоциации, особенности состава минералов — спутников алмаза // Тр. ЦНИГРИ. Вып. 224. 1988. С. 16—22.
7. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. — Новосибирск: Наука, 1974.
8. Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Ефимова Э.С. Ксенолиты алмазоносных перидоитов в кимберлитах и проблема происхождения алмазов // Геология и геофизика. 1984. № 12. С. 63—80.
9. Соболев Н.В., Харьков А.Д., Похиленко Н.П. Кимберлиты, лампроиты и проблема состава верхней мантии // Геология и геофизика. 1986. № 7. С. 18—27.
10. Сравнительная характеристика морфологии,

включений и изотопного состава углерода алмазов аллювиальных отложений Кинг Джордж Ривер и лампроитового месторождения Аргайл/Н.В.Соболев, Э.М.Галимов, К.Б.Смит и др. // Геология и геофизика. 1989. № 12. С. 3—18.

11. Харьков А.Д., Вишневецкий А.А. Особенности келифитизации граната из ксенолитов глубинных пород в кимберлитах /Зап. Всесоюз. минер. об-ва Ч. 118. Вып. 4. 1989. С. 27—37.
12. Jaques A.L., O'Heill H.St.C., Smith C.B., Moon J. and Cappell B.W. Diamondiferous peridotite xenoliths

from the Argyle (AK1) lamproite pipe, Western Australia //Contributions to mineralogy and petrology. 1990. 104. P. 255—276.

13. Lucas H., Ramsay R., Hall A.E., Smith C.B. and Sobolev N.V. Garnets from Western Australian kimberlites and associated Rocks /Fouyht international Kim berlite conference. Perth. 1986. P. 270—727.
14. Niggli P. Greateins — und Mineralprovinzen. — Berlin: Borntraeger. 1923. — Bd. J., Verlad Gebruder.

Kharkiv A. D.

MINERALS-INDICATORS OF DIAMOND-BEARING LAMPROITE AND THEIR STREAM SEDIMENT PROSPECTING

Some physical properties and chemical composition of some minerals- indicators from kimberlites and lamproites are compared. It is shown that any essential differences are absent between them. The main methodics of stream sediment prospecting are concluded to be identifiical for kimberlites and lamproites.



ЦНИГРИ

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

МЕТОДИКА РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗА КИМБЕРЛИТОВЫХ И ЛАМПРОИТОВЫХ АЛМАЗОНОСНЫХ ПОЛЕЙ

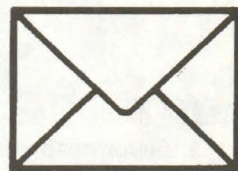
Методика основана на использовании специфических гравимагнитных аномалий глубинной природы и определенной геолого-структурной позиции на площадях развития алмазоносного магматизма ранга поля

Методика включает создание комплексных прогнозно-поисковых моделей кимберлитовых (лампроитовых) полей, позволяющих с достаточной степенью надежности выделить перспективные участки. Прогноз осуществляется на стадии региональных исследований путем анализа карт гравитационного и магнитного полей, геологических и тектонических карт масштаба 1:200 000 — 1:1 000 000 с учетом данных по находкам минералов-спутников и алмазов в рыхлых отложениях и промежуточных коллекторах. Выделенные перспективные площади детализируются в ходе общих поисков при ГСР-50.

Методика не имеет аналогов.

Виды реализации - ноу-хау, инжиниринг.

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



УДК 553.44

К ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ РУД

Д. И. ГОРЖЕВСКИЙ (ЦНИГРИ)

Свинец и цинк относятся к металлам, которые использовались человечеством еще в глубокой древности. Находки изделий из свинца обнаружены в 1958 г. в Турции вблизи Анкары. По данным археологов [1] они найдены в отложениях VI тысячелетия до н.э. вместе с изделиями из меди и представлены мелкими шильцами, трубочками для украшений, бусинками. Это самые древние свинцовые изделия, известные в мире. В Месопотамии и Древнем Египте, свинец, по всей вероятности, появился тысячу лет спустя. В этих древних странах, как показывают находки, свинец служил для изготовления статуэток, предметов домашнего обихода, табличек для письма, монет и медальонов. В Китае свинцовые монеты появились за 2000 лет до н.э.

По данным Атчинсона [3] свинец был известен, несомненно, почти за 3500 лет до нашей эры; барабаны для очистки отливок, сделанные из свинца, появились в Месопотамии в 3500—3100 годах до н.э. Свинец использовался и в преддинастическом Египте для изготовления фигурок и небольших статуэток. Еще более популярным он стал во время третьей и четвертой династий, в период строительства пирамид. Кроме того, в Древнем Египте золотую руду обрабатывали расплавленным свинцом, растворяющим благородные металлы, и таким образом извлекали золото; полученный раствор затем подвергали окислительному обжигу и металлический свинец переходил в окись свинца [2].

На территории Древней Греции в VI—IV веке до н.э. уже были открыты свинцово-серебряные месторождения, находившиеся на Кипре, Родосе и в Малой Азии. Одно из таких месторождений, известное под назва-

нием Лаврион или Лаврийские рудники, расположено в южной оконечности Аттики. Оно подвергалось интенсивной эксплуатации в течение нескольких столетий с извлечением из галенита серебра, а попутно также и свинца. Подробные описания добычных работ на этом месторождении, составленные греческими историками, свидетельствуют о весьма крупных объемах добычных работ. Достаточно сказать, что в IV веке до нашей эры на месторождении Лаврион работало около 20000 рабов; глубина многочисленных шахт достигала 120 м, а общая длина штолен и штреков превышала 120—150 км. Любопытно отметить, что методика геолого-разведочных работ была здесь достаточно высокой. Так, шахты нередко представляли собой разведочные выработки, имеющие задачу вскрыть рудоносный контакт между известняками и сланцами, залегающий на глубине в несколько десятков, а иногда даже и более 100 м.

Добытая руда подвергалась ручной рудоразборке (выбирались только куски руды с содержанием больше 10—12 % полезных сульфидов), дроблению в ступах и мельницах до размера просяного зерна, а затем обогащению промывкой. После сбора тяжелой фракции осуществлялся обжиг руды и ее плавка в плавильных печах, что обуславливало отделение серы, цинка, меди и др. При этом получался сырой свинец, который в дальнейшем подвергался куполяции для выделения серебра. В конечном итоге получалось два продукта: металлическое серебро и окись свинца; из последней путем обжига в печах получали металлический свинец. Масштабы добычи серебра были весьма значительны; увеличение мощи Афинского государства во многом обязано разработке Лаврийских рудников: в частности, на полученные средства был построен

морской флот, с помощью которого в 484 г. до н.э. были разбиты персы.

В Древнем Риме свинец, в отличие от олова, называли «плюмбум нигрум» — черное олово, из него изготавливали водопроводные трубы, пластины для кровли зданий, свинцовые белила, пломбы* и составные части лекарств. Первый водопровод, составленный из свинцовых труб, был построен в Риме в 313 г. до н.э. Несколько позже, в первом веке до н.э., такой же водопровод был построен в Помпее. Трубы были сделаны из свинцовых листов и имели диаметр 0,16—0,22 см. С эпохи средневековья свинец стал широко использоваться для получения пуль и дробы.

Цинковые руды также разрабатывались с глубокой древности. Так, в ассирийских и урартских клинописях имеются указания на выплавку меди более светлого цвета, чем обычно, путем добавления «белой земли». Вероятно, здесь речь идет о латуни, а «белая земля» — скорее всего окисленная цинковая руда. Самые древние латунные изделия, изготовленные примерно в 1500 г. до н.э., найдены при раскопках в Палестине. У Гомера, Аристотеля, Плиния Старшего описывается метод приготовления латуни восстановлением особого камня — кадмия (вероятно, сфалерит) углем в присутствии меди. В Индии металлический цинк получали еще в V веке до н.э. Страбон в 60—20 гг. до н.э. описал получение металлического цинка из каламина с помощью угля. Позже искусство

получения металлического цинка в Европе было утеряно, однако латунь (сплав цинка и меди) поступала в средние века из Индии и Китая. В XIII веке Марко Поло описывал, как получают цинк в Персии.

В Европе цинк в виде чистого металла вновь был получен в начале XVI века, первое упоминание о нем встречается у Парацельса. В 20—30-х годах XVIII века сначала в Германии, а затем в Англии были разработаны методы получения чистого цинка.

В России цинк до XVIII века называли «туцией», а современное название ввел М.В. Ломоносов.

Таким образом, выявление месторождений, добыча и использование свинца и цинка осуществляется уже более восьми тысячелетий. При этом в ряде регионов Средиземноморья добычные работы имели весьма значительный масштаб. Понимание сущности методов поисков и разведки было вполне осмысленным, что доказывается проведением горных выработок по пустым породам с целью подсечения рудоносных залежей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черных Е.Н. Металл-человек-время. — М.: Наука, 1972.
2. Шмидт Р.И. Очерки по истории горного дела и металлообработывающего производства в античной Греции // Изв. Гос. академии истории материальной культуры. Вып. 108, ОГИЗ М.—Л., 1935.
3. Atchinson J.A. History of metals. London. V 1. 1960.

* Слово [«пломба»], по всей вероятности, произошло от латинского названия (plumbum).

УДК 553.04:519.2

ОБЩАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМА ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ УСЛОВИЙ И ОСНОВНЫЕ ОБЛАСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

В. В. СТЕФАНОВИЧ (ЦНИГРИ)

Вниманию читателей предлагается возможность использования единой математической формы зависимостей характеристик месторождений и основных показателей их освоения от ограничивающих условий, которую автор квалифицирует как ноу-хау.

До сих пор отдельными исследователями изучались лишь парные зависимости одной-двух характеристик от лимитов качества (бортового или среднего содержания) или цены на полезное ископаемое. Рекомендовалось использовать логарифмические, гиперболические и гамма функции, а также корреляционные уравнения в виде полиномов различной степени.

Автор попытался решить эти проблемы в более широком плане: найти общую математическую форму зависимостей основных характеристик месторождений от любых ограничивающих условий и наметить пути применения ее для целей геолого-экономической оценки минерально-сырьевых объектов.

В таблице 1 приведены изученные сочетания аргументов и функций, представляю-

щих собой, главным образом, упомянутые основные характеристики.

Условные обозначения:

Аргументы:

S_b — бортовое содержание полезного ископаемого в пробе;

S_v — минимальное содержание полезного ископаемого в оконтуривающей выработке;

C_{min} — минимальное промышленное содержание в подсчетном блоке;

M_{min} — минимальная мощность тела полезного ископаемого;

M — максимально допустимая мощность некондиционных прослоев.

Функции:

Q — запасы сырья (руды, песков, горной массы) изучаемого объекта;

P — запасы полезного ископаемого изучаемого объекта;

ΣQ — суммарные запасы сырья в совокупности изучаемых однотипных объектов;

ΣP — суммарные запасы полезного ископаемого в совокупности однотипных объектов;

$\bar{C}$ — среднее содержание полезного ископаемого в сырье объекта;

$\bar{C}_\Sigma$ — среднее содержание полезного ископаемого в суммарных запасах сырья совокупности однотипных объектов;

L — длина залежи;

D — ширина залежи;

$\bar{M}$ — средняя мощность залежи;

K_p — коэффициент продуктивности (рудноности);

V_c — коэффициент вариации содержания полезного ископаемого в запасах сырья объекта;

V_l — коэффициент вариации средней длины кондиционных интервалов;

1. Лимитирующие условия (аргументы) и изученные зависимости характеристик (корреляционные функции)

Символ аргументов	Символы изученных фундаментальных характеристик
S_b	$Q, \bar{C}, P, \Sigma Q, \Sigma P, \bar{C}_\Sigma, L, D, D/L, \bar{M}, K_p, V_c, V_l, V_{kp}$
S_v	$Q, \bar{C}, P, \Sigma Q, \Sigma P, \bar{C}_\Sigma$
C_{min}	$Q, \bar{C}, P$
M_{min}	P
M	$P, Q, \bar{C}$
K_p	$P, Q, \bar{C}$

$V_{кр}$ — коэффициент вариации продуктивности объекта.

Всего было изучено: 21 месторождение коренного золота, 6 россыпей золота, одна россыпь олова, 6 месторождений меди, по 4 месторождения полиметаллических руд и угля, 3 месторождения железа, 2 — молибдена и по одному месторождению алмазов, редких металлов, вольфрама, слюды, никеля, флюорита, барита, марганца и др.

Установленные зависимости между лимитами и разного рода характеристиками месторождений нашли отражение более, чем в 300 разработанных автором корреляционных уравнений и графиках.

Анализ и обобщение выявленных зависимостей однозначно свидетельствуют о том, что все они без исключения описываются единым уравнением экспоненциальной функции.

С основными характеристиками тесно связаны многочисленные производные (от них) характеристики, которые представлены в основном, параметрами, пропорциональными (прямо или обратно) первым.

К производным отнесены ряд геологических, многие эксплуатационные (эксплуатационные запасы сырья и полезных ископаемых, коэффициент внутренней вскрыши, объем горно-подготовительных работ, расходы материалов и др.), некоторые статистические и большое число экономических показателей (в том числе полная себестоимость руды, себестоимость добычи, себестоимость переработки 1 т руды и др.).

Общее число изученных характеристик превышает 35, и весь набор их пока еще не определен.

Важное практическое значение будет иметь возможность применения предлагаемого подхода для оценки и прогнозирования состояния сырьевой базы того или иного полезного ископаемого в зависимости от цены последнего или других каких-либо ограничивающих экономических условий. В этом плане необходимо подчеркнуть, что выявленная единая форма математической зависимости применима не только к сырьевой базе, представленной однотипными месторождениями. С таким же успехом она может быть использована и для «смешанной» сырьевой базы, включающей, допустим, коренное месторождение и россыпи. Оказалось, что эта математическая форма

применима ко всем типам месторождений всех твердых полезных ископаемых и, являясь универсальной, имеет, таким образом, характер закона.

Теоретическое объяснение выявленных закономерностей можно обнаружить в работе Жирмундского и Кузьмина (1990 г.), если рассматривать месторождения как развивающиеся природные системы.

Большое практическое значение этого «ноу-хау» определяется возможностью широкого применения его в ряде различных направлений, входящих в сферу деятельности Геолкома РФ.

В процессе планирования геологоразведочных работ оно позволит обосновать параметры разведочной сети в соответствии с ожидаемыми размерами рудных тел.

В геолого-экономической оценке сырьевых баз можно будет достаточно надежно прогнозировать состояние их в зависимости от изменяющихся цен (и вообще конъюнктуры) на полезные ископаемые.

Мощный стимул получит геолого-экономическая оценка минерально-сырьевых объектов за счет резкого увеличения ее многовариантности и оптимизации результатов. Значительно упростится сама процедура оценки в связи с широким применением ЭВМ, программы для которых будут разработаны на строгой научной основе.

Станет возможным разработать и математически описать единые системы изучения месторождений, включающие в качестве взаимосвязанных элементов разведку и геолого-экономическую оценку.

Кроме того, в практике всестороннего геологического изучения минерально-сырьевых объектов выявленная математическая форма зависимостей должна найти широкое применение при оценке и прогнозировании продуктивности геологических образований на те или иные полезные компоненты (или вредные примеси), доли природных и технологических сортов руд и т.д.

Реализация выявленных закономерностей необычайно проста. Графический способ общедоступен и не требует никакой специальной подготовки. Аналитический же путь базируется на программе, составленной для компьютеров типа IBM; решение отдельных задач по времени занимает несколько минут.

УДК 553.411.001.572(234.853)

ОПЫТ ПЕРЕОЦЕНКИ КУМАКСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

М. Ю. ЧЕРНЕНКО (НГТУ)

Показано, что основой для переоценки известного оруденения могут служить адаптированные к конкретному объекту теоретические модели, разработанные на базе ППК. Анализ геологического материала по предлагаемой методике основным объектом оценки, отвечающим понятию «промышленное месторождение», позволил считать крупную геологическую структуру - Кумакское рудное поле.

Современная ситуация в России складывается не лучшим образом для геологической службы. Сегодня практически прекратились планомерные разномасштабные поисковые работы. Отсутствие должного финансирования на воспроизводство минеральных ресурсов привело к значительному сокращению геолого-разведочных изысканий. Поэтому ждать в ближайшие годы открытия новых перспективных площадей и рудных объектов нет оснований. В связи с этим возникает необходимость пересмотра геологических позиций и промышленной значимости уже известных рудных объектов и районов особенно в экономически развитых регионах.

В данной работе приводится пример переоценки масштабов оруденения центральной части Кумакского рудного района, территориально расположенного в Оренбургской части Урала, ближайшие крупные населенные пункты — города Орск и Ясный. Инфраструктура района для оперативной постановки оценочных работ достаточно развита. Имеется хорошая сеть круглогодичных грейдерных дорог, обеспеченность объекта энергетическими, водными и трудовыми ресурсами удовлетворительная.

Кумакское рудное золото было открыто в 1914 году. Одновременно с обнаружением первых промышленно значимых проявлений в зоне гипергенеза и рудных тел в коренном залегании среди углисто-графитистых сланцев началась старательская отработка золота в ложках, зонах окисления рудных тел (до уровня грунтовых вод) и, в меньшей степени, обогащенных участков

кор выветривания. В течение нескольких десятилетий происходила довольно хаотичная добыча старательскими отводами, число которых достигло почти трех десятков. В послевоенные годы на месторождении существовал подземный рудник, который был закрыт в начале шестидесятых годов как «неперспективный».

Обобщая данные по геологическому строению и оруденению за прошедшие десятилетия, можно видеть, что отсутствие планомерных геологических изысканий при системном металлогеническом анализе территории, ориентация единично проводимых работ на поиски конкретных богатых рудных тел при меняющихся требованиях промышленности привели к размытию понятия основного объекта поисков и оценки. В результате опосредованное большей части перспективной территории было неравномерным с концентрированием объемов на локальных участках. Фактически на сегодня не систематизированы прогнозно-поисковые и оценочные данные в ряду многопорядковой схемы прерывистого эндогенного оруденения: рудный район — рудное поле — рудный участок — рудное тело — рудный столб [1, 2].

В настоящее время под Кумакским рудным районом понимается большая территория со значительным количеством недостаточно опосредованных золото-кварцевых, золото-сульфидно-кварцевых и, в меньшей степени, золотосодержащих колчеданных проявлений и точек минерализации, расположенных в Еленовско-Кумакской и Джанабайской структурно-формационных зонах [3]. Под конкретными месторождениями по-

нимаются центральные части участков Кумакский, Коммерческий и Васин, оценка рудных тел которых недостаточна на глубину и по простирацию. Недоизученными также остались технологические свойства руд. Необходимо отметить, что Кумакское рудное поле не рассматривалось, как геологическая структура вмещающая рудные тела и потенциальный объект поисков и оценки.

Фактически уже на начальной стадии решения поставленной задачи необходимо было ответить на требования предъявляемые к понятию рудного поля [4], а также к минерально-сырьевым ресурсам с таким геолого-экономическим понятием как «промышленное месторождение» [2, 3] и выбрать вариант фактографической основы для создания модели объекта.

Теоретическим и методическим базисом послужили результаты исследований отраженные в прогнозно-поисковых комплексах (ППК) для соответствующего геолого-промышленного типа — золото-сульфидно-кварцевых месторождений орогенных складчатых систем [7, 8 и др.]. По этим материалам с дополнениями автора был составлен детальный перечень факторов теоретической модели Кумакского рудного района. Данный перечень, с учетом разбивки требований по стадиям геолого-разведочных работ, практически представлял собой список вопросов, ответы на которые и позволили бы достичь намеченной цели.

Вторым крупным блоком работ была тщательная проработка фондовых материалов разномасштабных геологических исследований за последние десятилетия и ревизия в полевых условиях. Все это позволило сформулировать основные признаки соответствия геологических характеристик Кумакского рудного поля факторам предлагаемой теоретической модели. Третьим блоком исследований было определение соответствия уже произведенных с учетом стадийности поисковых, поисково-оценочных и разведочных изысканий обязательно комплексу методов в рациональной последовательности постановки геолого-разведочных работ [8].

Описанный подход потребовал целенаправленного анализа большого фактического и теоретического материала, а использование методики и формы построения ППК

позволило в относительно компактном виде с учетом графических приложений получить целостную картину геологических позиций и масштабов оруденения Кумакского рудного поля. К сожалению, объем статьи ограничен и не позволяет привести все полученные факты и выявленные закономерности, поэтому ниже приводятся только основные концептуально значимые признаки и критерии.

Восточно-Уральское поднятие является крупной металлогенической зоной с благороднометалльной специализацией и представляет мозаику гнейсо-мigmatитовых (гнейсо-гранитных) куполов, разделенных узкими зонами вулканогенно-осадочных и осадочных метаморфизированных пород. Рудное поле расположено в вулканогенном прогибе — Аниховском грабене, который делит Восточно-Уральское поднятие на две крупных части: Адамовский и Джанабайский (Текельды-Таусский) антиклинории. Грабен заложен в зоне глубинного Аниховского (Челябинского) разлома. Границы рудного поля определяются сочетанием следующих факторов:

зонами прибортовых Западно- и Восточно-Аниховских разломов;

участками развития туфогенно-осадочных вулканогенных отложений, D_2-C_1 , и терригенно-карбонатно углеродистых, C_1V_{2-3} , отложений, включая углисто-графитистые сланцы;

участками развития пространственно сближенных продуктивных на золото метасоматитов преобладающей березит-лиственитовой формации, включающих рудные тела (рудные столбы);

на юго-западе — северным окончанием Акжарского интрузивного массива.

Последний занимает ключевое положение в строении рудного поля и образует в плане вытянутое клиновидное тело длиной около 18 км, при ширине в южной части 4 км. На глубину массив не изучен, контакты тектонические. Он представлен гранодиоритами, кварцевыми диоритами, тоналитами и в подчиненном отношении — адеманеллитами. По представлениям И.А.Смирновой и др. [4], Акжарский массив относится к габбро-диорит-плагиогранитной формации, входящей в вулcano-интрузивный натровый (синвулканический) комплекс средне-позднедевонского (франского) возраста. В эво-

люционном плане становление интрузивных массивов продолжают образования позднедевонского-раннекаменноугольного интрузивно-вулканического субщелочного преимущественно натрового комплекса. Наиболее крупное среди них — меридионально вытянутый Акжарский шток. Он расположен по простиранию северного окончания Акжарского массива и залегает в центральной части Тыкашинской антиклинали, имеет вытянутую форму согласную структуре вмещающих вулканитов. Принадлежащее к данному комплексу слепое тело, вскрытое шахтой Ново-Капитальной, имеет дайкообразную форму с крутым восточным падением. Для всех пород характерно региональное расщепление.

Дайковые и жильные серии Кумакского рудного поля, близкие по времени к формированию оруденения, представлены в основном ранневизейскими образованиями и относятся к уже упомянутому комплексу D_3 — C_1V . Выделяются их следующие разновидности: гранит-аплиты, гранит-порфиры, двуполовошпатовые граниты, лейкократовые альбитовые диоритовые порфиры, гранодиориты, альбитизированные диориты, альбитизированные монцонитовые диориты, а также интенсивно метасоматически проработанные лампрофироподобные образования (возраст неясен).

Гидротермально-метасоматические изменения рудного этапа накладываются на пропилитизированные зеленосланцево и зеленокаменно измененные породы вулканогенно-осадочной и осадочной толщ. В целом по рудному полю сохраняется общая последовательность развития гидротермалитов. На ранней стадии фельдшпатизации идет образование кварц-микроклиновых и следующих за ними кварц-альбитовых метасоматитов. Последующая — рудная стадия метасоматоза, относимая к листовит-березитовой формации, характеризуется наибольшей продуктивностью, масштабами распространения и фациальной изменчивостью. Отмечаются следующие ее разновидности: кварц-мусковитовая, кварц-турмалин-мусковитовая, кварц-альбит-мусковитовая, кварц-карбонат-хлорит-мусковитовая, кварц-карбонат-альбитовая и эпидот-биотит-карбонатная («табашковидная»). К пострудным образованиям относятся карбона-

тизация, хлоритизация и развитие кварцевых и кварц-карбонатных прожилков преимущественно молочно-белого цвета.

В настоящее время в рамках рудного поля наблюдаются следующие обстановки оруденения по отношению к интрузивным массивам (комплексам):

в пределах Акжарского массива;

в экзоконтактах даек;

лампрофироподобных телах — лестничный тип;

в непосредственной близости от слепых интрузивных тел (шахта Ново-Капитальная);

в слоистых туфогенно-осадочных и осадочных толщах вне видимой непосредственной связи с интрузивными телами.

Необходимо отметить, что о связи оруденения с интрузивными комплексами может свидетельствовать факт преимущественной субвертикальной пространственной ориентировки тел оруденелых метасоматитов, также как и основных дайковых комплексов, фиксирующих трещинную структуру рудного поля. Предположение о локализации оруденения в надириальных частях слабоэродированных массивов или над пологопогружающимися их гребневидными выступами требует более детального доказательства геофизическими исследованиями и глубинным структурно-поисковым бурением.

В качестве рудоконтролирующих факторов для рудного поля характерно сочетание ряда различных по масштабам, морфологии и возрасту дизъюнктивных структур: зон Западно- и Восточно-Аниховских разломов, а также параллельных генетически связанных с ними разломов внутри Аниховского грабена;

зон поперечных гетерогенных нарушений, скрытых под чехлом палеозойских, принадлежащих к Орскому широтному тектоническому поясу;

разрывов, генетически связанных с ламинарным течением пород в участках развития приразломной складчатости.

Зональность, как и геологическую структуру, Кумакского рудного поля определяют ведущие геологические комплексы, имеющие субмеридиональное простирание и слагающие Тыкашинскую антиклиналеподобную структуру: центральная часть —

интрузивные образования Акжарского массива и Акжарского штока; в промежуточной зоне — вулканогенно-терригенные отложения тыкашинской свиты; во внешней зоне — терригенно-карбонатные углеродистые отложения. Основные продуктивные субвертикальные золотоносные метасоматиты прослеживаются в субмеридиональном плане во внутренней и внешней зонах более чем на 24 км. Характерно отсутствие значительных площадей неизмененных пород. Протяженность зон гидротермалитов, непосредственно включающих известные рудные тела, на различных участках варьирует от первых сотен метров до 2 км и более, при мощности от 1 м до 50 м и более. На глубину ни на одном из участков оруденение не оконтурено. На максимальной глубине — 595 м оруденение было зафиксировано на участке Васин. В приосевой части рудного поля по простиранию северного окончания Акжарского штока во внутренней зоне развиты лампрофиропоподобные образования. Зональное строение осложнено тектоническими нарушениями северо-восточного и субширотного простирания. В целом площадь рудного поля, учитывая развитие основных продуктивных на золото субмеридиональных зон метасоматоза и выявленных в них на сегодняшний день проявлений, составляет более 50 км².

Морфологические особенности рудных тел в пределах рудного поля изучены явно недостаточно. Обобщая разрозненные данные по отдельным участкам, с учетом широкого спектра геологических обстановок, можно выделить следующие типы.

1. Минерализованные зоны:

сланцеватые, реже массивные образования по углистым сланцам, алевролитам, частично по продуктам дробления и расщепления интрузивных и вулканогенно-осадочных пород, состоящие из кварца, серицита (мусковита), хлорита, турмалина («рудные сланцы»).

фельдшпатизированные, анкеритизированные, серицитизированные минерализованные метасоматиты в туфогенно-осадочных породах порфириовидного облика («кrapчатые» метасоматиты), в которых контуры промышленно-значимого оруденения определяются только по данным опробования.

На Кумакском руднике с высоким уровнем

содержаний в пределах рудных зон выделяются тела (рудные столбы) со следующими формами:

довольно выдержанные линзообразные, длиной 70—90 м;

мощные (до 12 м), но короткие (20—30 м) чечевицеобразные, быстро разветвляющиеся и выклинивающиеся;

менее мощные (1,5—2,0 м) и короткие (15—20 м), не прослеживающиеся на значительную глубину трубообразные тела;

сопряженные с крутопадающими мощные тела с коротким широтным простиранием и длинными пологими структурами с южным падением.

2. Жильные зоны — свиты разноориентированных кварцевых прожилков, линзочек, просечек, образующие в отдельных случаях зоны прожилкового окварцевания (линейно-штокверковый тип). В пределах развития туфогенно-осадочных отложений часто располагаются в линейных зонах минерализованных метасоматитов, образуя участки с богатым оруденением.

3. Кварцевые жилы:

мощные (до 6 м) крутопадающие тела выдержанные по простиранию, с участками сложного строения и повышенными содержаниями золота, как правило, приуроченными к зальбандам жил;

сопряженные крутопадающие (мощностью 0,1—1,5 м) жилы и прожилки, в ряде случаев образующие зоны прожилкового окварцевания — линейно-штокверковый тип.

4. Лестничный тип — метасоматиты и кварцевые прожилки по системам диагональных и поперечных трещин внутри даек лампрофиропоподобных и диоритоподобных пород.

Необходимо отметить, что специализированных исследований по изучению внутрирудной тектоники, контролирующей положение рудных столбов и способствующей концентрированному отложению продуктивных минеральных ассоциаций на заключительных стадиях минералообразования, а также в ряде случаев приводящей к локальной регенерации руд, не производилось. В результате позднейших тектонических подвижек фрагменты рудных тел смещались по субширотным и диагональным нарушениям, что обусловило кулисообразно-прерывистое их размещение.

По размерности и типу локализации в рудах золота объектов Кумакского рудного поля можно подразделить на следующие виды:

крупное кустовое с размерностью 0,5 см и более;

относительно крупное, легко амальгамируемое, так называемое «шлиховое» с размерностью 0,07 мм;

мелкое, часто в сростках, извлекаемое при цианировании (менее 0,07 мм);

тонкодисперсное, пылевидное (в том числе «горчичное» золото, наблюдаемое под микроскопом) — доли микрона;

связанное с минералами-концентратами, невидимое.

По представительности в основном преобладает золото 3-го, 4-го и 5-го видов. Вопросы об их удельном весе в общей сумме концентрации по типам руд пока не решены.

Одним из ключевых вопросов для оценки перспектив рудного поля на сегодня является выделение и изучение обогатимости типов руд. Для руд «сланцевой полосы» (месторождения Кумак и Коммерческое) после закрытия рудника в 1964 году технологические испытания не проводились. На месторождении Васин технологические свойства золотосодержащих руд из минерализованных кварц-карбонат-полевошпатовых метасоматитов и «табашковидных» руд изучались единичными малообъемными пробами и полученные результаты трудно считать кондиционными. Фактически вопрос об основных формах нахождения золота решен не был. Сегодня проблема изучения обогатимости руд при широком минералогическом спектре и большом разнообразии обстановок оруденения требует концептуального решения, так как непосредственно связана с вопросами методики поисков и разведки, в том числе — рядового опробования и выделения рудных тел.

Если считать промышленно значимыми рудные тела с содержаниями от 3—5 до 30—50 г/т и более (как это было принято ранее для флотационно-гравитационной схемы обогащения), то в пределах Кумакского рудного поля объектами для поисков, разведки и разработки могут быть фактически только рудные тела и столбы сложной морфологии, что потребует существенных финансовых затрат. С другой стороны —

прослежены объемные продуктивные зоны метасоматоза, в которых градиенты содержаний золота колеблются от 0,01 до 1—2 г/т. К тому же известны пересечения метасоматитов мощностью до первых десятков метров со средними содержаниями золота по пробирному анализу от 0,5 до 1,5 г/т. По аналогии [6], данные оруденелые метасоматиты являются в экономическом плане рудой. Подбор соответствующих вариантов технологии выщелачивания зависит от их фациальной принадлежности и минералогического состава.

Характерно, что вышеуказанные рудные столбы пространственно и генетически связаны с формированием вмещающих метасоматитов и являются продуктами интерференции полихронных гидротермально-метасоматических процессов. Поэтому, взяв за основу поисков и оценки рудные тела с низкими бортовыми содержаниями, но большими массами, годными к открытой разработке, можно значительно изменить представления о масштабах оруденения, морфологии рудных тел, технологии обогащения руд и методах поисково-разведочных работ. Практически уже сегодня возможно выделение потенциально перспективных участков для будущей открытой разработки, где проблемы поисков и оконтуривания рудных тел (рудных столбов) с высокими содержаниями золота будут решаться на эксплуатационной стадии.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Теоретической и методической основой для переоценки известного оруденения могут служить разработанные прогнозно-поисковые комплексы соответствующих геолого-промышленных типов месторождений адаптированные к оцениваемому объекту. Полученные результаты целесообразно представлять в виде четырех блоков — факторов теоретической модели, выявленных признаков, соответствия реально проведенных исследований обязательному комплексу методов при рациональной постановке геолого-разведочных работ и графических приложений. В условиях недостаточного описания или разведки указанный материал фактически будет выполнять роль конкретного ППК для дальнейших работ.

2. Переоценка оруденения и представление результатов в компактной геологически емкой форме по предложенной схеме значительно облегчат доступ заинтересованных лиц на конкурсной основе к анализу промышленной значимости и оценке перспектив рудных объектов для дальнейшего их опоискования или разработки.

3. Вышеописанный анализ геологического материала позволяет считать основным объектом оценки не отдельные участки, вмещающие рудные тела, а более крупную геологическую структуру — Кумакское рудное поле. Последнее представляет собой единую рудно-магматическую (рудно-метасоматическую) систему, развивающуюся в благоприятной литолого-структурной обстановке и являющуюся естественной совокупностью пространственно сближенных и генетически родственных зон продуктивных метасоматитов с широким морфологическим спектром рудных тел (от больших по объему с бедными рудами — до богатых рудных столбов), а в геолого-экономическом плане отвечает понятию «промышленное месторождение» [2, 3]. В целом, Кумакское золоторудное поле является потенциально круп-

ным объектом. С учетом развитой инфраструктуры района при постановке целенаправленных работ по доизучению оно может быть оперативно вовлечено в разработку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванкин П.Ф. Морфоструктурный анализ золоторудных полей - метод ускоренной оценки их перспектив // Ускоренная геолого-экономическая оценка месторождений благородных металлов. — М.: Тр. ЦНИГРИ. 1987. Вып. 221. С. 3—8.
2. Иванкин П.Ф. Морфология глубокозакрывающихся магматогенных рудных полей. — М.: Недра. 1970.
3. Корреляция магматических комплексов Оренбургского Урала. — Свердловск: УрО АН СССР (препринт). 1989.
4. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра. 1969.
5. Кривцов А.И. Прикладная металлогения. — М.: Недра. 1989.
6. Мейерович А.С., Нарсеев А.В. Современная практика извлечения благородных металлов из забалансовых руд и отвальных продуктов за рубежом. — М.: ВИЭМС. 1989.
7. Методика крупномасштабного и локального прогноза месторождений цветных, благородных металлов и алмазов. — М.: ЦНИГРИ, 1989.
8. Прогнозирование и поиски месторождений золота. — М.: ЦНИГРИ. 1989.

Chernenko M. Yu.

EXPERIENCE OF REASSESSING KUMAKSKOYE GOLD FIELD IN SOUTHERN URALS

Theoretical models of gold deposits developed and adapted to a particular area may serve as a basis for reassessment of known gold field. According to geological material analysis carried out in compliance with the technique offered a big geological structure — Kumakskoye ore field — should be regarded as the main target of assessment.



РЕШЕНИЕ СОВЕЩАНИЯ "КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ" Москва, ЦНИГРИ, 16–18 ноября 1993г.

Моделирование рудных месторождений как новое и перспективное направление в учении о полезных ископаемых интенсивно развивается в ряде ведущих стран (Россия, Канада, Китай, США), а также международными организациями (МСГН-ЮНЕСКО, МАГРМ и др.).

Модели рудных месторождений как их обобщенные образы уже успешно используются в теории рудогенеза при прогнозных построениях, поисках, разведке и геолого-экономической оценке объектов. Реальность созданных моделей доказана геологической практикой путем обнаружения, оценки и разведки месторождений в обстановках, предсказываемых моделями. Работы по моделированию рудных месторождений приобретают особую актуальность для поисков скрытых месторождений.

При количественном моделировании рудных месторождений для описания и характеристики геологических факторов и процессов используется «число и мера», что отвечает качественно новому этапу развития рудной геологии. Созданные и создаваемые модели рудных месторождений условно подразделяются на две группы: теоретические, или геолого-генетические, обеспечивающие решение рудогенетических и прогнозных задач, и эмпирические, обладающие конкретными параметрами и обеспечивающие оптимизацию поисковых, оценочных и разведочных работ.

Принципиальное значение имеет то обстоятельство, что в моделях рудных месторождений концентрируется, анализируется и обобщается обширная информация. Созданные модели выступают как носители высококонцентрированной геологической информации, что служит базой для дальнейшего прогресса в области рудной геологии.

При интенсивном и многоплановом развитии исследований по моделированию воз-

ник ряд вопросов методического и научно-организационного характера, решение которых может способствовать повышению эффективности соответствующих исследований:

отсутствует общепринятая систематика моделей по содержанию и целеназначению;

однотипные по наименованию модели месторождений различаются по содержанию, наборам и сочетаниям элементов и характеристик;

методологические подходы и методика формирования моделей иногда не совпадают с их целеназначением;

информация, содержащаяся в моделях, и сами модели месторождений пока не получили необходимого широкого методического и прикладного выхода в практику геологоразведочных работ.

Изложенным определяются цели и задачи совещания, организованного и проведенного ЦНИГРИ, Комитетом по геологии и использованию недр РФ, Российской Академией Наук, Госкомитетом РФ по высшему образованию и Геологическим обществом РФ. На совещании были рассмотрены следующие вопросы:

1. Принципы и методы количественного моделирования рудообразующих систем и месторождений.

2. Количественные геолого-генетические модели месторождений.

3. Количественные модели месторождений для прогноза и поисков.

4. Количественные модели месторождений для разведки и оценки.

В работе совещания приняли участие представители 27 организаций различных ведомств РФ и стран ближнего зарубежья.

Совещание, заслушав 46 устных докладов и рассмотрев 24 демонстрационных доклада, отметило:

отечественные разработки в области мо-

делирования рудных месторождений во многом превосходят разработки ряда ведущих зарубежных организаций по широте подхода и прикладной результативности;

завершенные и выполняемые в настоящее время исследования по моделированию в целом отвечают задаче создания современных научно-методических основ прогноза, поисков, оценки и разведки главных типов месторождений ведущих полезных ископаемых;

за последние годы в РФ для ведущих полезных ископаемых и типов месторождений разработан широкий спектр моделей: генетические и геолого-генетические качественные и количественные, описательные классификационно-признаковые прогнозно-поисковые, параметрические поисковые, геолого-промышленные количественные, морфометрические оценочные и разведочные, градиентно-векторные многоцелевые, многофакторные оценочные и разведочные, физико-геологические, геофизические, геохимические и другие;

основной объем работ по моделированию рудных месторождений выполняется в рамках соответствующих программ Роскомнедра и «Университеты России» и в целом обеспечивает выполнение заданий этих программ по направлениям исследований и их содержанию;

подавляющее число разработок по моделированию выполняется с использованием компьютерных технологий;

наиболее выразительной формой представления результатов исследований по моделированию служат атласы моделей, подготовленные, в частности, ЦНИГРИ, ДВМСом и другими организациями;

существенное значение для развития моделирования имеют разработки в области синергетики и фрактального анализа.

Вместе с тем, дальнейшее проведение исследований по проблеме сдерживается следующими обстоятельствами:

расхождением в научно-методической и терминологической базе различных исследований;

отсутствием скоординированных отраслевых и межотраслевых программ на ближнюю и дальнюю перспективу;

ограниченностью целенаправленных работ по моделированию с привязкой к определенным стадиям геологоразведочных работ и задачам развития федеральной минерально-сырьевой базы;

недостаточным выходом в практику геологоразведочных работ в форме прикладных методических разработок, включая требования к результатам геологоразведочных работ по их стадиям и видам.

Исходя из того, что исследования по созданию количественных моделей рудообразующих систем и месторождений могут привести к существенному прогрессу в области теории рудогенеза и в практике геологоразведочных работ, совещание считает целесообразным дальнейшее исполнение работ по межведомственной координационной программе при организации соответствующего межведомственного Координационного Совета. Совещание поручает Оргкомитету совместно с заинтересованными организациями направить в Роскомнедра конкурсное предложение по проблеме «Прогрессивные технологии прогноза, поисков, оценки и разведки рудных месторождений на основе их количественных моделей».

Совещание поручает Оргкомитету организовать публикацию основных докладов в журналах «Отечественная геология», «Руды и металлы», «Минеральные ресурсы России».



К ШЕСТИДЕСЯТИЛЕТИЮ А. И. КРИВЦОВА

Анатолий Иванович Кривцов — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный деятель наук РСФСР, Лауреат Государственной премии СССР, заместитель директора ЦНИГРИ по научной работе, известный ученый в области геологии рудных месторождений, рудноформационного анализа и металлогении.

Значительная часть творческой жизни Анатолия Ивановича с 1965 г. связана с ЦНИГРИ, в котором он работал младшим, старшим научным сотрудником, заведующим сектором. В 1981 г. он становится заместителем директора ЦНИГРИ по научной работе. В 1984 г. Анатолий Иванович назначается начальником Управления научно-исследовательских организаций Мингео СССР, а в 1985 г. утверждается членом коллегии Министерства. Он руководит отраслевой геологической наукой по декабрь 1992 г. до своего возвращения по собственной просьбе в ЦНИГРИ на должность заместителя директора института по научной работе.

Анатолий Иванович хорошо известен в геологических кругах страны, как ученый, обладающий прекрасными организаторскими способностями, труды и рекомендации которого широко используются при решении научных проблем, при поисках, разведке и оценке рудных месторождений. Во время работы в центральном аппарате Мингео СССР А.И.Кривцов много сделал для создания необходимых финансово-материальных и организационных условий для дальнейшего развития научно-технического прогресса в отрасли. При этом он выдвинул и поддержал ряд приоритетных научных направлений, которые успешно развиваются.

Анатолий Иванович — человек огромной работоспособности и энергии, подтверждением чего служит даже неполное перечисление проектов, во главе которых он стоял. В рамках работы Научного Совета АН СССР по рудообразованию Анатолий Иванович редактировал и подготавливал к изданию региональные металлогенические карты масштаба 1:1000000 — 1:2500000. Под его редакторством и при личном авторстве издана фундаментальная сводка «Геологическое строение и минералогия СССР». В качестве члена бюро Национального комитета геологов СССР А.И.Кривцов руководил организацией Международного семинара по сверхглубокому бурению, организовал участие советских ученых в 28 сессии Международного геологического конгресса.

В своей деятельности Анатолий Иванович всегда придавал большое значение работе с молодежью. С 1977 г. он ведет во МГРИ лекционные курсы «Геология полезных ископаемых» и «Металлогения»; под его научным руководством подготовлено 14 кандидатских диссертаций, причем Анатолий Иванович не выпускает из виду научную деятельность своих учеников, оказывает им поддержку, а некоторые из них становятся ближайшими помощниками в его творческих поисках.

Результаты его интенсивных научных исследований изложены в 300 публикациях, включая 15 монографий. Наиболее концентрировано основные научные идеи А.И.Кривцова изложены в книге «Прикладная металлогения» (1989 г.). Его перу принадлежит ряд крупных работ методической направленности: «Методы поисков скрытых меднорудных месторождений» (1983 г.), «Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов» (1985 г.), «Методика крупномасштабного и локального прогноза месторождений цветных, благородных металлов и алмазов» (1989 г.) и др. Эти методические разработки реализованы в практике геологоразведочных работ.

С 1961 г. Анатолий Иванович работал в ряде районов Урала, изучая медноколчеданные

месторождения, геологические обстановки их нахождения, принял участие в разработке принципов формационного анализа для металлогенических целей. Эти исследования привели к открытию на Урале нового рудного района, что было отмечено в 1980 году Государственной премией СССР, а на основе обобщения их результатов Анатолий Иванович в 1975 году защитил докторскую диссертацию.

С 1972 года заметное место в научных интересах А.И.Кривцова занимает изучение геологии медно-порфировых месторождений, которое завершилось рядом новых разработок в этой проблеме.

Последнее время Анатолий Иванович много работает в области теоретических основ прогноза и поисков рудных месторождений. Им разработана классификация геологических формаций по их роли в рудогенезе, созданы обобщенные модели рудообразующих процессов и систем, разработана методика количественных описаний и определены количественные характеристики основных рудообразующих систем.

По инициативе А.И.Кривцова и при личном участии созданы прогнозно-поисковые комплексы — оптимизированные технологии геологоразведочных работ. Серия этих разработок в 1987 году удостоена премии Министерства геологии СССР. Под научным руководством А.И.Кривцова разработана компьютерная технология оптимизации оценочных и разведочных сетей.

Он находит время работать членом редколлегии двух журналов «Отечественная геология» и «Руды и металлы», в первом он с 1988 г. — главный редактор, а во втором — заместитель главного редактора. Анатолий Иванович один из главных инициаторов создания нового журнала «Руды и металлы». В наше сложное время это потребовало от него большой настойчивости и выдержки. А.И.Кривцов относится к немногим ученым с государственным мышлением, равнодушным к состоянию геологической отрасли, о чем свидетельствуют его многочисленные выступления в прессе. Все его статьи содержат конструктивные предложения по сохранению и расширению минерально-сырьевой базы России.

Анатолий Иванович проявляет себя, как человек требовательный к себе и окружающим, иногда излишне эмоциональный в общении со своими коллегами, что, как правило, связано с его желанием получить качественно выполненное задание. У А.И.Кривцова не иссякает запас новых научных идей, стремление преобразовать научную работу института так, чтобы она была необходима в новых экономических отношениях, желание сохранить наиболее трудоспособную и творческую часть коллектива института.

Поздравляя Анатолия Ивановича с шестидесятилетием, желаем ему самого доброго в дальнейшей жизни, крепкого здоровья, благополучия в семье, а главное неиссякаемой радости творчества.

К ШЕСТИДЕСЯТИЛЕТИЮ Д. Г. АЖГИРЕЯ

Дмитрий Глебович Ажгирей — заведующий лабораторией локального прогноза золоторудных месторождений.

Дмитрий Глебович известен научной общественности, как специалист в области изучения месторождений цветных металлов и золота, методики их поисков, оценки и разведки. Основные научные разработки получены им при геологических исследованиях на Рудном Алтае, в Казахстане, в Западном Узбекистане и Малом Кавказе. Дмитрий Глебович — человек самозабвенно увлеченный и преданный своей профессии. Это дало ему возможность осуществить большое количество разработок, итоги которых изложены более, чем в пятидесяти научных трудах. Из них особый интерес представляют публикации, посвященные морфоструктурной типизации рудных полей и месторождений цветных ме-

таллов и золота, опирающиеся на объемное картирование последних; разработка методов локального прогноза на золоторудных полях Западного Узбекистана; методология автоматизированного применения прогнозно-поисковых комплексов при поисках важнейших типов месторождений золота и цветных металлов.

В творческой лаборатории Дмитрия Глебовича всегда виден поиск практического применения его исследований. Он принимал участие в крупных комплексных прогнозных работах на Рудном Алтае, которые привели к переоценке ряда колчеданно-полиметаллических рудных полей и укреплению минерально-сырьевой базы промышленных предприятий этого региона, а также участвовал в анализе и оценке прогнозных ресурсов на золото и серебро Средней Азии и составлении рекомендаций по направлению геолого-разведочных работ в Западном Узбекистане.

Дмитрий Глебович имеет знак «Отличник разведки недр» награду очень точно характеризующую стиль его работы. Добрый и интеллигентный человек, в быту и на работе, он в то же время настойчив до упрямства в отстаивании своих идей.

Поздравляя Дмитрия Глебовича Ажгирея с шестидесятилетием, желаем ему здоровья, творческого долголетия, неувядающей свежести его союза с безотказной помощницей и другом Раисой Михайловной Ажгирей.

К ШЕСТИДЕСЯТИЛЕТИЮ Б. Я. ВИХТЕРА

Борис Яковлевич Вихтер — известный специалист в области металлогении золота.

Б.Я.Вихтер исследовал свыше четверти века геологию и золотоносность Среднеазиатской провинции, для которой была разработана новая последовательность магматических процессов, что в сочетании с нетрадиционным подходом к тектоническому районированию позволило выделить ряд потенциально золотоносных площадей, на одной из которых был выявлен и разведан крупный золоторудный объект. Борисом Яковлевичем обоснованы перспективы золото-сульфидных месторождений, обнаруженных на Большом Кавказе.

Среди многочисленных публикаций Б.Я.Вихтера, внесших заметный вклад в геологию и металлогению золота, особый интерес представляет монография «Золото в современных геологических процессах» (1992 г.). Высокий профессионализм, сдержанность и надежность Бориса Яковлевича — основа его будущих творческих успехов.

Поздравляя Бориса Яковлевича Вихтера с шестидесятилетием, желаем ему крепкого здоровья, оптимизма при решении личных и научных проблем и плодотворной работы.

**ЦНИГРИ**

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

**ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ МОДЕЛИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ, ЦВЕТНЫХ
МЕТАЛЛОВ И АЛМАЗОВ
PREDICTIVE-EXPLORATION MODELS FOR
PRECIOUS, BASE AND DIAMOND DEPOSITS**

Атлас включает 30 моделей месторождений благородных, цветных металлов и алмазов. Модели построены на принципах системного анализа: иерархии геологических систем, соотношения их элементов; опознаваемости совокупностью геолого-структурных, геофизических, геохимических и минералогических методов.

Рудное поле — главный объект крупномасштабных поисков. Разработаны комплексные модели рудных полей, их строения, выявлены признаки участков промышленного оруденения. Конечная цель поисков — рудное месторождение, представленное крупным рудным телом либо системами сближенных тел, выражено совокупностью поисковых признаков, позволяющих выявлять перспективный рудоносный участок уже на стадии крупномасштабных (1:50000—1:25000) поисков для последующей детализации и оценки.

Атлас включает модели месторождений, характеризующих основные геолого-промышленные типы: золото-серебряный и серебро-полиметаллический вулканогенных поясов; золото-кварцевый плутоногенный; золото-сульфидный в терригенных и кристаллических толщах; россыпи золота и платины аллювиального и делювиального типов, полиметаллические месторождения медно-порфировые, медно-никелевые, медистых песчаников, свинцово-цинковые в карбонатных и вулканических породах. Модели месторождений алмазов представлены их кимберлитовым и метаморфогенным типами.

Атлас предназначен для широкого круга специалистов в области геологии рудных месторождений, и в первую очередь для геологов, ведущих крупномасштабные поиски.

Атлас может также использоваться как учебное пособие для студентов геологических специальностей.

Атлас составлен на русском и английском языках.

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

Технический редактор Н. П. Кудрявцева
Редакция: Н. И. Назарова, Т. Б. Поликтова, И. В. Крейтер

Сдано в набор
20.05.93
Подписано в печать
08.06.94
Тираж 300 экз.

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

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

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

При оформлении статей необходимо руководствоваться следующими правилами:

1. Объем статьи не должен превышать 15 страниц машинописного текста, включая таблицы и список литературы. Текст печатается через два интервала, на одной стороне листа, поля (25мм) с левой стороны, все страницы рукописи нумеруются. В редакцию представляются два экземпляра статьи и аннотация (не более 0,3 с.), которая располагается после заголовка. Крайне желательно предоставление текста (двух экземпляров распечатки по правилам машинописного текста) и дискеты в стандарте какого-либо текстового редактора MS-DOS, предпочтительнее всего Norton Editor Lexicon Word или ASCII формате. Дискеты сразу будут возвращены автору.

2. Штриховые рисунки на ватмане или кальке и фотографии на глянцевой бумаге прилагаются в двух экземплярах в отдельном конверте. На обратной стороне каждого рисунка карандашом указывается его порядковый номер, фамилия автора и название статьи. Формат оригиналов рисунков не должен превышать формата полосы журнала (225 x 149мм). В связи с особенностями набора статей на компьютере предпочтительна следующая ширина рисунков: 149мм, 110мм, 72мм. Первый экземпляр рисунков должен быть выполнен квалифицированным чертежником. Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстраций должны обеспечивать возможность их прочтения после уменьшения.

3. Все формулы, названия фауны и все тексты, приводимые на иностранном языке, в печатаются на машинке или вписываются тушью (черными чернилами). Необходимо делать ясное различие между заглавными (подчеркнуть двумя черточками снизу) и строчными (подчеркнуть так же сверху) буквами, имеющими сходные начертания. Следует делать различие между О (большим), о (малым) и 0 (нулем), для чего буквы отмечать двумя черточками, а ноль оставлять без подчеркивания, в особых случаях пометая на полях "0-ноль". Греческие буквы обводятся красным карандашом, латинские - синим (кроме символов химических элементов). Подстрочные и надстрочные индексы и степени следует отмечать карандашом дугами сверху и снизу: 10^5 , H_2O .

4. Иностранные фамилии в тексте приводятся в русской транскрипции, так же как и названия зарубежных месторождений, географических пунктов и т.д.

5. Точность приведенных цитат должна быть заверена подписью автора на полях рукописи, обязательно указывается номер источника по списку литературы.

6. Все таблицы, список литературы и подрисуночные подписи должны быть напечатаны на отдельных листах.

7. На полях рукописи должны быть указаны номера рисунков и таблиц в месте их упоминания.

8. В список литературы (не более 15 названий) включаются только те работы, на которые есть ссылки в тексте. Фамилии авторов располагаются по алфавиту, сначала русскому, затем латинскому. Если авторов более трех, то по алфавиту дается первое слово заглавия, а фамилии авторов указываются сразу после названия работы. Далее указываются: для журналов - название журнала (в принятом сокращении), год, том, выпуск, номер, количество страниц (С. 5-11). В тексте ссылки на литературу помечаются соответствующей порядковой цифрой в квадратных скобках.

9. Под списком литературы приводится слева полное название учреждения, где была выполнена работа, город, подпись, фамилия, имя и отчество (полностью) автора, занимаемая должность, ученая степень, адрес и телефон (служебный и домашний).

10. Авторы должны определить раздел журнала, в который следует поместить статью, а также дать индекс статьи по Универсальной десятичной классификации (УДК).

11. Рукопись представляется с установленными сопровождающими документами руководством организации либо лично автором (авторами).

Редакция сохраняет за собой право внесения редакторской правки.



ЦНИГРИ

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

КОМПЬЮТЕРНАЯ КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

В ЦНИГРИ создана компьютерная картографическая система (ККС) контроля состояния и использования минерально-сырьевых ресурсов (версия 1.0). Программные средства системы разработаны совместно с фирмой КОМТЭП.

Компьютерная картографическая система предназначена для многовариантного конъюнктурного анализа минерально-сырьевой базы территорий с ранжированием их по приоритетности. Такой анализ позволяет оперативно контролировать выполнение минерально-сырьевых программ, обосновывать и оптимизировать реализацию системы лицензирования.

Основу предлагаемой версии компьютерной картографической системы составляет набор реквизитов, отражающих инфраструктуру субъектов федеративных договоров Российской Федерации, пометальные и комплексные показатели федеральных минерально-сырьевых программ, показатели ГРП и системы лицензирования. Система реквизитов реализована в виде фактографической базы данных по минеральным ресурсам благородных и цветных металлов по субъектам федерации, сцепленной с картографической базой данных, содержащей границы административно-территориального деления Российской Федерации.

С помощью дружественных меню пользователь системы может сформулировать текстовые, логико-арифметические и графические запросы к базам данных и в считанные секунды получить

результат либо в виде справок в табличной форме, либо в виде распределения требуемого реквизита на карте субъектов Российской Федерации.

Система предоставляет пользователю следующие средства взаимодействия:

- текстовый редактор для ведения фактографической базы данных.
- графический редактор для ведения картографической базы данных.
- выбор разбиения на градации реквизита и настройка палитры для градаций, изображаемых на карте.
- работа с картографической базой в режиме "лупы".
- наложение контурных и точечных объектов (реки, дороги, города, месторождения и т.п.) на карту.
- построение гистограмм, линейных графиков и столбчатых диаграмм задаваемых показателей.
- текстовый и графический режимы просмотра баз данных.
- организацию выборок территорий по логико-арифметическим запросам.
- формирование производных показателей.

Система прошла апробацию в ряде геологических организаций России.

К реализации предлагаются:

- услуги по обработке данных заказчика средствами ККС.
- оболочка ККС с комплектом документации для создания обработки новых баз данных.
- фактографическая база данных по благородным и цветным металлам по субъектам Российской Федерации.
- комплект оболочки ККС и фактографической базы данных по благородным и цветным металлам по субъектам Российской Федерации.

RL 6.29

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, 1994



ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

ОЦЕНОЧНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДИ, СВИНЦА И ЦИНКА ОСНОВНЫХ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ

Позволяют определять

количественные закономерности распределения месторождений по классам крупности и содержаниям, интенсивность накопления полезных компонентов на разных временных отрезках геологической истории Земли и в различных геологических обстановках

Это имеет решающее значение при оценке масштабов прогнозируемых разноранговых площадей и объектов

Основу моделей составляет банк данных по запасам (с учетом отработанных) и содержаниям, включающим в каждый геолого-промышленный тип более 20 объектов. Для формирования моделей медно-порфировых объектов использованы данные по 200 месторождениям, медноколчеданных — 117, колчеданно-полиметаллических и свинцово-цинковых — 179. При этом привлекались графики, связывающие распределение запасов руды (металлов), средние содержания металлов с частотами их встречаемости в определенных классах, приведенные к 100 %. В комплект также входят графики распределения частот встречаемости классов крупности месторождений, ранжированных по закону Зипфа, и модели распределения месторождений и их запасов во временных геологических интервалах

Реализация разработки позволяет определять возможные диапазоны ресурсов в пределах металлогенических зон, рудных районов и рудных полей; а также экспертным путем достаточно достоверно оценивать возможные запасы вновь открываемого объекта

Результаты представляются в графической форме и в виде таблиц; комплект сопровождается перечнем месторождений, включенных в отчет, а также запиской по методике составления оценочно-статистических моделей

Разработка апробирована на отечественных и зарубежных объектах и сопоставлена с аналогичными моделями, составленными Коксом и Зингером для основных геолого-промышленных типов месторождений меди, свинца и цинка зарубежных стран (Канада, США, Япония и др.)

Виды реализации: продажа брошюры, консультации

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

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ОТДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ, ГЕОХИМИИ И ГОРНЫХ НАУК

Российской Академией наук объявлен конкурс на соискание премии им. А.Е. Ферсмана 1994 г., присуждаемой отечественным ученым за лучшие научные работы по минералогии, кристаллографии и кристаллохимии.

Премии присуждаются за отдельные научные работы, открытия, изобретения или по совокупности работ единой тематики, как правило, отдельных авторов. При представлении коллективных работ могут выдвигаться только ведущие авторы и не более трех.

Право выдвижения кандидатов на премию предоставляется: академикам и членам-корреспондентам Российской Академии наук; научным учреждениям; высшим учебным заведениям; научным и инженерно-техническим обществам; научным советам РАН и других ведомств по важнейшим проблемам науки; научно-техническим советам государственных комитетов, министерств, ведомств; техническим советам промышленных предприятий; конструкторским бюро.

Организации или отдельные лица, выдвинувшие кандидата на соискание премии имени А.Е. Ферсмана 1994 г., должны до 8 августа 1994 г. представить в Экспертную комиссию (по адресу: 117901, Москва, Ленинский проспект, 32а ОГГГН РАН) с надписью <на соискание премии имени А.Е. Ферсмана> следующие материалы.

1. Мотивированное представление, включающее научную характеристику работы (серии), ее значение для развития науки и народного хозяйства.

2. Опубликованную научную работу (серию работ).

3. Сведения об авторе (перечень не более 10-ти основных научных работ, место работы и занимаемая должность, ученое звание, телефоны, домашний адрес).

4. Справку, удостоверяющую, что представляемая на данный конкурс работа (серия) ранее не удостоивалась государственных премий, а также именных государственных премий (при представлении серии работ в их число не могут включаться работы, за которые кандидату была присуждена Государственная или именная государственная премия). Все документы представляются в двух, а опубликованные работы в трех экземплярах.

Экспертная комиссия
по присуждению премии
имени А.Е. Ферсмана
ОГГГН РАН

Справки по тел. 938-18-84
230-82-59