

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

4/2012

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И.Ф.Мигачев

Зам. главного редактора Н.И.Назарова

Б.И.БЕНЕВОЛЬСКИЙ
Э.К.БУРЕНКОВ
В.И.ВАГАНОВ
С.С.ВАРТАНЯН
Ю.К.ГОЛУБЕВ
В.С.ЗВЕЗДОВ
П.А.ИГНАТОВ
С.Г.КРЯЖЕВ
В.В.КУЗНЕЦОВ
Н.К.КУРБАНОВ
Г.А.МАШКОВЦЕВ
Г.В.РУЧКИН
Ю.Г.САФОНОВ
Г.В.СЕДЕЛЬНИКОВА
В.И.СТАРОСТИН

УЧРЕДИТЕЛЬ

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
РОСНЕДРА МИНИСТЕРСТВА ПРИРОДНЫХ
РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Издается при участии
Международной академии минеральных ресурсов,
Фонда им. академика В.И.Смирнова

Москва ЦНИГРИ 2012

Редакция: Н.И.Назарова, Г.В.Вавилова
Компьютерный набор, верстка и оригинал-макет: Т.В.Лукина

Сдано в набор 25.07.12 г.
Подписано в печать 01.08.12 г.
Тираж 400 экз.

Формат 30×42 1/2
Бумага листовая
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ЦНИГРИ
Телефон: 315-28-47
Факс: 315-43-47
E-mail: rudandmet@yandex.ru
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2012

Прикладная металлогения**Applied metallogeny***Константинов М.М.*

О роли рифтогенных структур в формировании золоторудных провинций

5

Konstantinov M.M.

On the role of riftogenic structures in the gold ore provinces evolution

Романовский Н.П.

Вольфрамовые руды как важная составная часть минерально-сырьевой базы Дальнего Востока России

14

Romanovskii N.P.

Tungsten ores as a major integral part of the mineral resource base Far Eastern Russia

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений**Exploration: techniques and methods***Князев Г.Б.*

Типизация контактово-метасоматических магнетитовых месторождений Урала и юга Сибири по особенностям среднего химического состава руд

19

Knyazev G.B.

Typification of contact-metasomatic magnetite deposits of the Urals and south Siberia by peculiarities of the average chemical ore composition

Клещенков А.В., Зеленщиков Г.В.

Опыт изучения газогеохимических эффектов от рудных залежей на примере Керчикского рудопроявления в Восточном Донбассе, Ростовская область

Kleshchenkov A.V., Zelenshchikov G.V.

Investigation of soil-gas effects of ore lodes in the Kerchik ore deposit in Eastern Donbass, Rostov region case study

Корчуганова Н.И., Хотылев О.В., Загубный Д.Г., Сурков А.В.

Структурно-геоморфологическое строение Мако-наского района (Лесная Гвинея) и его влияние на россыпную алмазонасыщенность

28

Korchuganova N.I., Khotylev O.V., Zagubnyi D.G., Surkov A.V.

Structural-geomorphological structure of Makona's area (Forest Guinea) and its influence on placer Diamondiferousness

Компьютерные информационные технологии при поисках твердых полезных ископаемых**IT in mineral exploration***Вахрушев А.М.*

Компьютерная модель формирования массивных сульфидных медно-никелевых руд Норильского месторождения

36

Vahrushev A.M.

Computer model of massive sulphide Cu-Ni ores forming in Norilsk deposit

Черненко М.Ю.

Методология итерационного многомерного моделирования геологических объектов и процессов

41

Chernenko M.Yu.

Methodology of iterative multidimensional modeling for geological objects and processes

Прогноз и оценка месторождений твердых полезных ископаемых с использованием современных компьютерных технологий

Елишина С.Л., Зиновьев А.А., Иваненкова Е.В., Конкина А.А.

Технология геоинформационных систем сопровождения геологоразведочных работ на цветные металлы (на примере Рудного Алтая)

48

Игнатов П.А., Новиков К.В., Шмонов А.М., Еремеев Р.В., Лисковская Л.В., Ковальчук О.Е., Толстов А.В.

Оценка перспектив и локальное прогнозирование кимберлитов с помощью ГИС-технологий на закрытых территориях Накынского кимберлитового поля, Западная Якутия

54

Мониторинг и информационное обеспечение работ по геологическому изучению недр

Мазуркевич К.Н., Коронкевич К.А.

Пространственная информационная сеть — ключ к увязке разнородных данных в информационных системах

61

Рецензии

Вах А.С.

О книге В.А.Степанова, А.В.Мельникова «Никеленосность Верхнего Приамурья»

65

Поздравляем с юбилеем

Е.М.Аксенова, М.М.Константинова, В.П.Рыбина, А.А.Сидорова

68

Памяти

О.В.Русиновой

72

Mineral deposits: Prediction and evaluation using IT

Elshina S.L., Zinov'ev A.A., Ivanenkova E.V., Konkina A.A.

Geoexploration-Supporting GIS Design and Management for nonferrous metals made for Rudny Altai

Ignatov P.A., Novikov K.V., Shmonov A.M., Eremeev R.V., Liskovaya L.V., Kovalchuk O.E., Tolstov A.V.

Estimation of the prospects and local prediction of kimberlites using GIS-technology in closed areas of Nakyn kimberlite field, Western Yakutia

Monitoring and information support of geological studies

Mazurkevich K.N., Koronkevich K.A.

A spatial information network — a basis of coordination of the diverse spatial given and information systems

Book reviews

Vakh A.S.

V.A.Stepanov, A.V.Melnikov «Nickel content of Verhnee Priamurie — a review»

Our congratulations

E.M.Aksenov, M.M.Konstantinov, V.P.Rybin, A.A.Sidorov

In memoriam

O.V.Rusinova



О РОЛИ РИФТОГЕННЫХ СТРУКТУР В ФОРМИРОВАНИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОВИНЦИЙ

М.М.Константинов (ЦНИГРИ Роснедра Минпроды России)

Охарактеризованы рифтогенные структуры Ленской, Восточно-Австралийской и Центрально-Кольымской золоторудных провинций. Отмечены особенности слагающих эти структуры терригенно-сланцевых формаций и определена их роль в локализации металлогенических зон и крупных месторождений золота.

Ключевые слова: золото, провинции, рифтогенные структуры, месторождения, терригенные комплексы.

Константинов Михаил Михайлович, Blagmer@tsnigri.ru

ON THE ROLE OF RIFTOGENIC STRUCTURES IN THE GOLD OVE PROVINCES EVOLUTION

М.М.Konstantinov

The riftogenous structures of the Lensk, East-Australian and Central-Kolima provinces were characterized. Specials of terrigen-slate rocks which accompanis of these structures were fixed, also as their role in the localization of metallogenic zones and large gold deposits.

Key words: gold, provinces, riftogenic structures, deposits, terrigen complex.

Рифтогенные структуры играют существенную роль в формировании крупнейших золоторудных провинций. Как правило, они контролируют размещение рудных районов, узлов, крупных месторождений и тем самым служат важным элементом среднemasштабного прогноза. Рассмотрим это положение на ряде примеров.

Ленская провинция соответствует северной части Бодайбинского синклинория, знаменитого своими многочисленными россыпями, из которых добыто около 1200 т золота, а с 60-х годов прошлого века — открытием гигантского Сухоложского месторождения, освоение которого затянулось на многие десятилетия. Соответственно, основные труды, посвященные данному району, определяются геологией его россыпей [8] и исследованиями Сухоложского месторождения, в первую очередь, его первооткрывателя В.А.Буряка [2]. В тектоническом плане Ленская провинция корреспондируется с Байкало-Патомской складчатой зоной.

Бодайбинский синклинорий представляет собой сложно построенную линейно-складчатую структуру, располагающуюся к северу от системы так называемых Байкальских рифтов и сложенную сопряжением парных складок и продольных разломов. С востока синклинорий ограничивается краем щита, который в позднем протерозое был областью

сноса гигантского количества обломочного материала. Мощность рифей-вендских образований составляет ~20 км (рис. 1). На севере Бодайбинский синклинорий обрамляется южным краем Сибирской платформы, в то же время, по представлениям О.С.Набровенкова (рис. 2), существует трансконтинентальная близмеридиональная структура, заключающая основные россыпные и рудные месторождения. Структура осевого рифта хорошо вписывается в региональное геофизическое поле, характеризующееся линейными гравиметрическими поднятиями и зонами высоких градиентов (рис. 3).

По представлениям А.А.Константиновского [7], складчатая система Патомского нагорья расположена внутри южного входящего угла Сибирской платформы. На продолжении таких углов на древних платформах обычно находятся авлакогены. Подтверждая эту закономерность, к северо-востоку от Приленской мегазоны протягивается цепь глубоких грабен-впадин (Кемпендяйская и др.) среднепалеозойского (средний девон – ранний карбон) Виллойского авлакогена, почти полностью погребенного под одноименной мезозойской синеклизой. Этот авлакоген-рифт пересекает суженную часть платформы до встречного входящего угла, где расположен дугообразный изгиб складок мезозойского Западного Верхоянья.

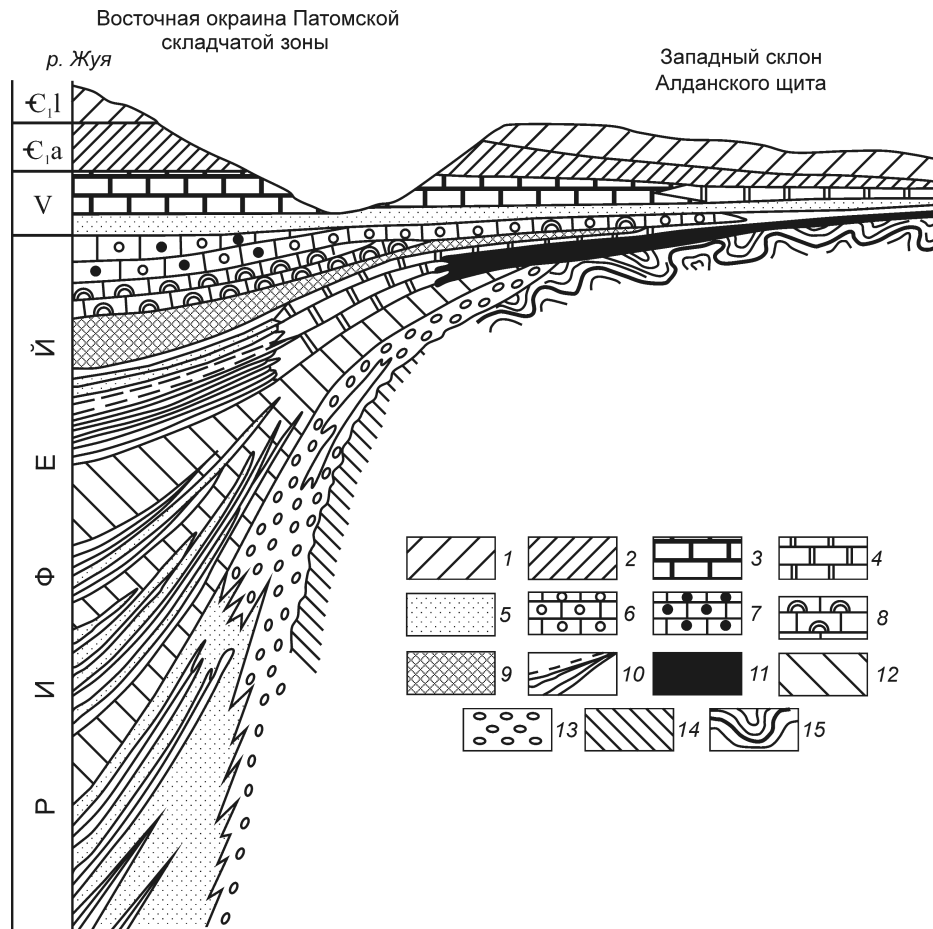


Рис. 1. Схематический стратиграфический профиль через восточную окраину Патомского нагорья, по [11]:

1 — известняки и доломиты с фауной трилобитов и брахиопод; 2 — пестроцветные доломиты и мергели, известняки; 3 — битуминозные известняки, доломиты и их брекчии; 4 — доломиты; 5 — глауконитовые песчаники, V, песчаники, R; 6 — оолитовые, реже водорослевые известняки; 7 — песчаные известняки; 8 — водорослевые, реже оолитовые известняки; 9 — пестрые глинистые сланцы и мергели; 10 — черные сланцы; 11 — чередование доломитов и песчаников на западе, песчаники с конгломератами в основании на востоке; 12 — темные, часто онколитовые известняки, известковистые сланцы; 13 — конгломераты, тиллоиды; 14 — кварциты и кристаллические сланцы; 15 — гнейсы, граниты

Тектоническое положение авлакогена позволяет предположить, что он наследует структуру более древнего, неоднократно возобновлявшего развитие рифта, заложившегося еще на рубеже архея и протерозоя одновременно с образованием южного входящего угла платформы. Вероятно также, что он продолжил развитие в конце раннего протерозоя — 1,9–1,7 млрд. лет назад, в эпоху мощной тектономагматической активизации, когда на южной окраине Сибирской платформы и в складчатом обрамлении формировались протяженные грабенообразные прогибы — палеорифты.

В рифей-венском монотонном терригенном комплексе выделяется ряд формаций: кварцево-пес-

чаниковая, вулканогенно-обломочная, сланцево-терригенная сероцветная, флишеидная, карбонатная, углеродистая терригенно-карбонатно-сланцевая, сланцево-карбонатная пестроцветная [7].

Стратоуровень месторождения Сухой Лог и ряда других определяется их приуроченностью к сланцево-карбонатной формации, что в какой-то мере сближает его с литологической позицией месторождений карлинского типа.

В створе осевого рифта мощность толщи увеличивается, а количество углистого материала существенно возрастает, так что ее следует отнести уже к другой — аспидной формации, формирующейся в области глубокого прогиба [6]. Такова, видимо, и тектоническая природа осевого рифта в целом.

Лахланская металлогеническая область Восточной Австралии. Лахланская система представляет собой серию синклиновых поднятий и прогибов близмеридионального простирания, разделенных региональными разломами, уходящими на север под чехол артезианского бассейна (рис. 4). Узкие синклиновые прогибы, ограниченные разломами, представляют собой систему рифтов, последовательно смещающихся по времени формирования от кембрия до девона.

Отметим два, на наш взгляд, важных элемента, позволяющих отличать эту область от соседней — широкое развитие турбидитовой формации и наличие офиолитового комплекса. Рассматриваемая тер-

ритория знаменита гигантом мирового класса — месторождением Бендиго, из которого в первой половине прошлого века было добыто ~540 т Au. В целом же это одна из крупнейших в мире областей добычи коренного и россыпного золота. Всего здесь добыто 2500 т металла, в том числе 965 т из россыпей. Среди крупных объектов золотодобычи основные — Балларат (408 т), Кастермайн (173 т), Ставелл (125 т), Кресвик (81 т) и др.

Крупными разломами близмеридионального простирания область делится на три зоны — Ставелл, Бендиго (наиболее богата золотом) и Мельбурн. Месторождения представлены золото-кварцевой (Бендиго, Балларат и др.) и золото-мышьяковисто-сульфидной (Ставелл, Форстервилл) формациями. Это, в частности, свидетельствует о достаточной универсальности установленного нами сонахождения золото-оксидной и золото-сульфидной ветвей рудных концентраций [5]. Исследования ряда золото-кварцевых месторождений подтвердили также предположение об их стратиформном характере.

Как следует из построений, основанных на данных сейсмического профилирования [14], максимально прогнутая часть структуры совпадает с «зоной Бендиго», с которой ассоциируют наибольшие концентрации золота (рис. 5).

Учитывая широкое развитие стратиформных рудных месторождений, можно провести некоторые аналогии с провинцией Витватерсранд. Так, на месторождении Дебора рудные тела следуют параллельно напластованию толщи нижнеордовик-

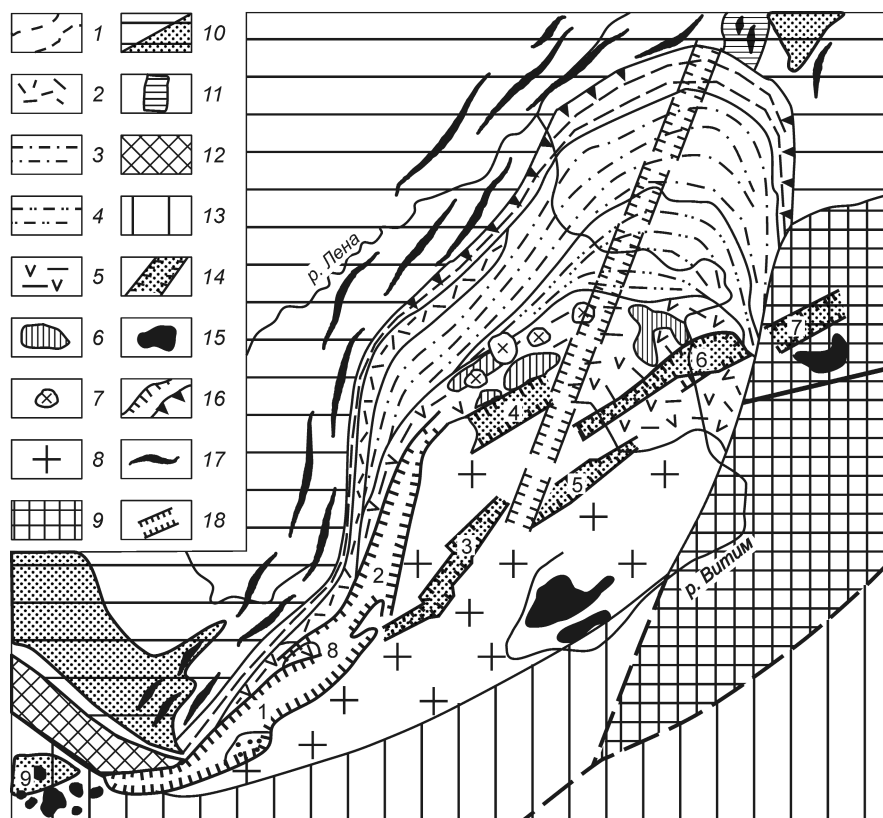


Рис. 2. Схема тектонического районирования Байкальской метаплатформенной области, по [4].

Байкальская метаплатформенная область: 1 — Байкало-Патомская авлакогеосинклинальная складчатая зона (моноклиорий), 2 — Северо-Байкальский вулканический пояс, 3 — Чуйско-Тоновская антиклинальная зона, 4 — Мамско-Бодайбинская синклинальная зона, 5 — Байкало-Витимская зона, 6 — впадины, выполненные вендско-кембрийскими отложениями, 7 — среднепалеозойские щелочные интрузии Сыннырского комплекса, 8 — Баргузино-Витимская зона; *Сибирская платформа:* 9 — Алдано-Становой щит, 10 — Лено-Енисейская плита, нижнепалеозойский и мезозойский структурные этажи, 11 — Уринский авлакоген; 12 — Саяно-Енисейская метаплатформенная область (Шарыжалгайское поднятие); 13 — Урало-Монгольский складчатый пояс; 14 — позднекайнозойские грабены Байкальского рифтового пояса; 15 — позднекайнозойские базальты; 16 — разломы сбросового и надвигового типов; 17 — складки в платформенном чехле; 18 — осевой рифт; *грабены Байкальского рифтового пояса:* 1 — Южно-Байкальский, 2 — Северо-Байкальский, 3 — Баргузинский, 4 — Верхнеангарский, 5 — Баунтинский, 6 — Муйский, 7 — Чарский, 8 — горстовое поднятие о-ва Ольхон-Академического хребта, 9 — Тункинская впадина

ских турбидитов. Изучение стабильных изотопов (H, O, S, C, N) позволяет предполагать метаморфогенное происхождение рудоносных флюидов при метаморфической дегидратации. Многоярусное расположение конформных песчано-глинистым толщам золото-кварцевых рудных тел установлено также на месторождении Хилл Энд. Вместе с тем, подчеркивается их длительное, многостадийное формирование. Выявлено несколько генераций кварца и, по крайней мере, три периода отложения золота, последовавших за двумя основными генерациями жильного кварца в ассоциации с мускови-

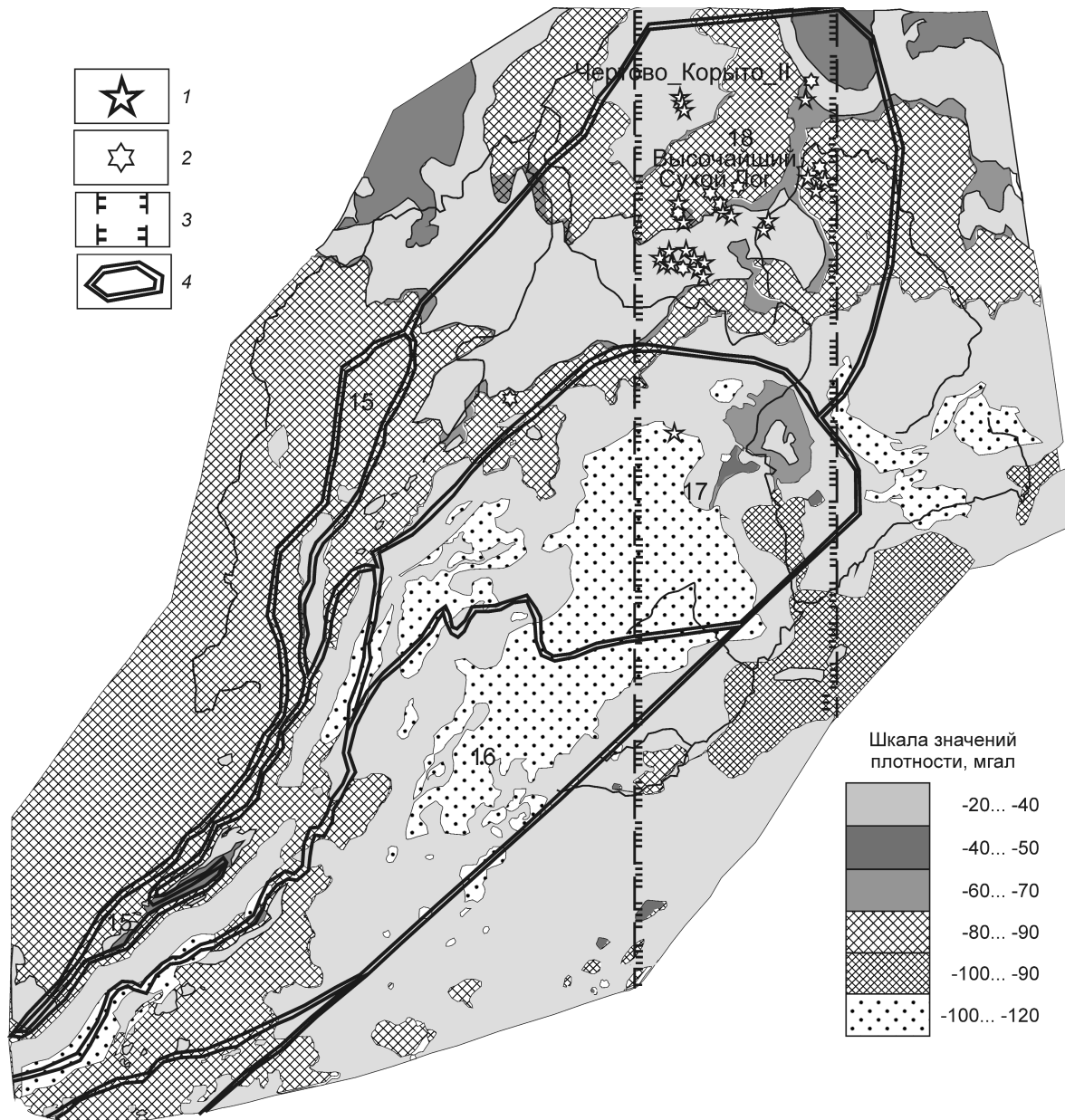


Рис. 3. Положение осевой рифтогенной структуры в гравиметрических полях, по материалам Д.С.Зеленецкого, 2006:

рудно-формационные типы месторождений: 1 — золото-кварцевый, 2 — золото-сульфидно-кварцевый; 3 — зона осевого рифта; 4 — структурно-формационные зоны (15 — Прибайкальская, 16 — Баргузино-Витимская, 17 — Байкало-Витимская, 18 — Байкало-Патомская)

том, хлоритом, кальцитом и сульфидами (пирит, халькопирит, марказит, сфалерит и галенит).

Золото-мышьяковисто-сульфидные месторождения (Ставелл, Форстервилл), как и их аналоги в более молодых провинциях (Майское на Чукотке), представлены прожилково-вкрапленными рудами с тонкодисперсным золотом.

И.С.Гольдберг, Г.Я.Абрамсон, В.Л.Лось [3] на рудном поле Бендиго, по-видимому, впервые

обосновали существование геохимических систем, в которых «зоны выноса» золота в ареале месторождения по масштабам и параметрам значительно превышают «зоны накопления». Причем и те и другие подчиняются структурным элементам и никак не связаны с девонскими гранитоидными интрузиями, роль которых в рудообразовании остается невыясненной. Вместе с тем, широкое развитие магматизма в рифтогенных структурах, глубина

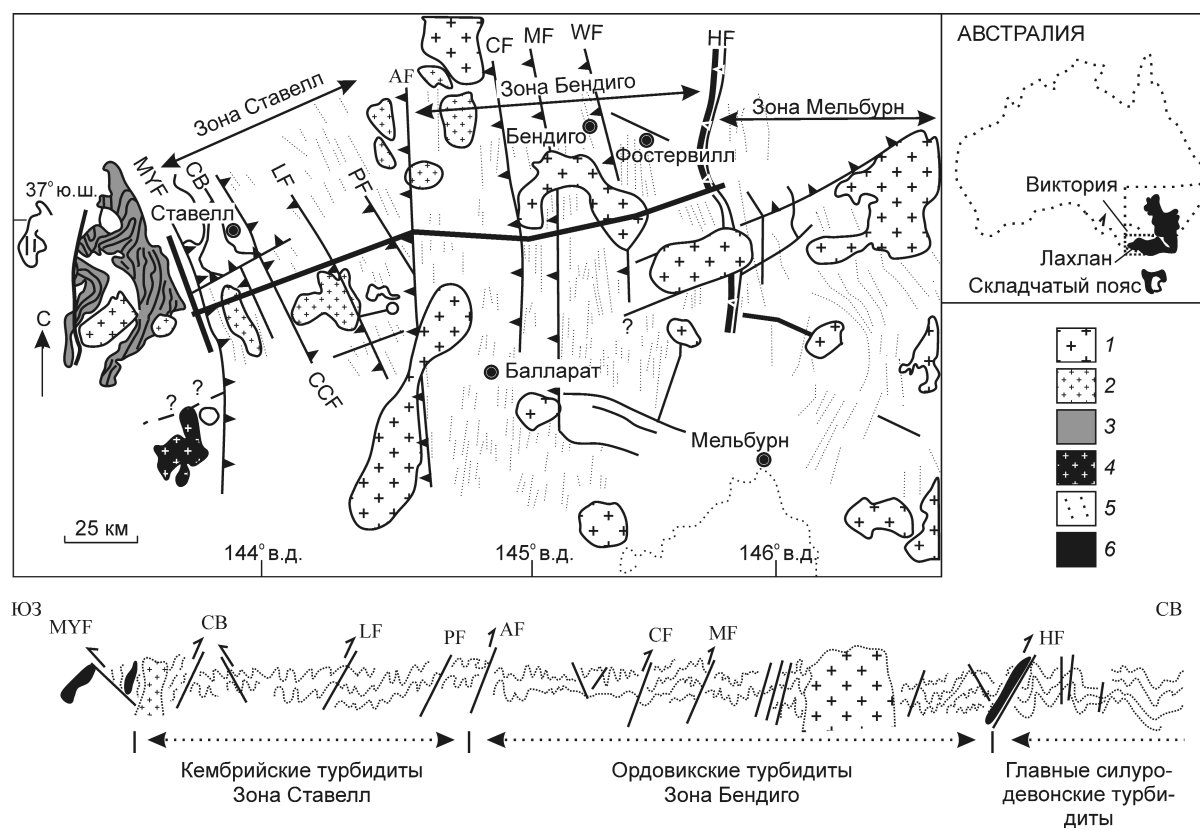


Рис. 4. Геологическая карта и структурный профиль через Лакланскую металлогеническую область, по [13]:

1 — Главный девонский плутон; 2 — ранний девонский плутон; 3 — группа Грампиан; 4 — кембрийский плутон; 5 — турбидиты; 6 — кембрийские вулканические породы; разломы: MYF — Мойстон, CCF — Гонкогелла, LF — Ландеборо, PF — Перкидейл, AF — Авока, CF — Кампелтаун, MF — Маклфорд, WF — Уайтлод, HF — Хиткоум, CB — брекчия Конги

прогибов и ассоциация золото-кварцевых и золото-мышьяковисто-сульфидных руд позволяют предполагать косвенную или парагенетическую связь части месторождений с магматизмом.

Центрально-Колымская металлогеническая область расположена в бассейне верхнего течения р. Колыма и ее крупных притоков, протягиваясь с запада на восток на 255 км и с севера на юг почти на 220 км. Область структурно приурочена к юго-восточной части протяженной Яно-Колымской складчатой системы, разделяющей подвижный пояс Черского и Охотский массив. Эта складчатая система традиционно рассматривается как самостоятельная ветвь Верхояно-Колымской мезозойской складчатой области, сформированная на месте пассивной континентальной окраины. Мощные верхнепалеозойские и мезозойские осадочные толщи отличаются однообразным песчано-глинистым составом. Еще в 30-е годы XX в. они выделены Н.П.Херасковым в единый верхоянский комплекс, резко отличающийся по составу от средне-

нижнепалеозойских существенно карбонатных толщ и отвечающий геосинклинальному циклу мезозой Северо-Востока СССР.

В строении Яно-Колымской (Индигово-Колымской) складчатой системы в пределах Центрально-Колымской области и на смежных с ней территориях выделяются три главные геоструктуры, линейно вытянутые на северо-запад. Центральное положение занимают Аян-Юрхский антиклинорий (Верхне-Индиговский, по К.Б.Мокшанцеву и др., 1979) или Верхне-Колымский синклинорий, расположенный между антиклинорием и Охотским массивом. Инъяли-Дебинский синклинорий разделяет Аян-Юрхский антиклинорий и подвижный пояс Черского. Этот синклинорий является крупнейшей региональной структурой, поскольку протягивается в северо-западном направлении далеко за пределы Центрально-Колымской области.

Согласно гравиметрической схеме, составленной Д.С.Зеленецким, на глубине 15 км выделяются

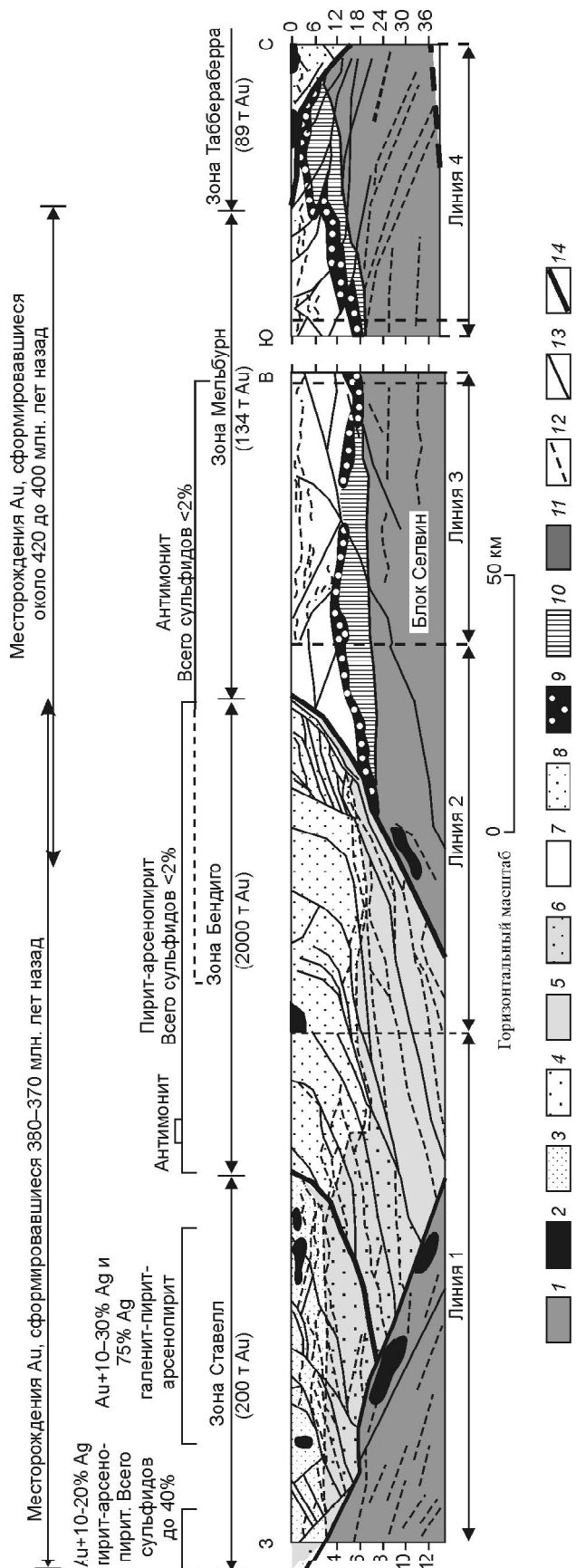


Рис. 5. Разрез через область Лаклан по сейсмическим профилям, по [14]:

1 — протерозойская кора; 2 — палеозойские граниты; турбидиты; 3 — кембрийские, 4 — кембрийские вулканические породы основного состава; 6 — то же, с прослоями осадочных пород; 7 — ордовик-девонские осадочные породы; 8 — ордовикско-силурийские осадочные породы; слой блока Селвин; 9 — верхний (кембрийские кальциево-щелочные вулканические породы), 10 — средний (протерозойская кора?), 11 — нижний (протерозойская кора?); 12 — границы пород; 13 — разломы; 14 — зоны граничных разломов

рифтогенные зоны, отвечающие основным структурным элементам области: северо-западные — Аян-Юрхскому горст-антиклинорию и Иньяли-Дебинскому синклинорию, северо-восточная — каналу вулканических излияний Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, близмеридиональная — общему структурному плану Северо-Востока (рис. 6).

Аян-Юрхский антиклинорий выполнен пермскими и триасовыми турбидитами (туфодиамититами) с отчетливыми признаками мутьевых потоков и переотложения туфовых обломков. Он вмещает крупнейшее Наталкинское месторождение «крупнотоннажного» типа и ряд других, менее крупных объектов в типично черносланцевых формациях. Породы черносланцевых толщ смяты в крупные линейные складки с юго-западной вергентностью, осложненные продольными взбросами. Иньяли-Дебинский синклинорий сложен юрскими, отчасти верхнетриасовыми аспидными формациями, смятыми в узкие и крутые линейные складки. От Аян-Юрхского антиклинория синклинорий отделен тектоническим швом — региональным Чай-Юрюинским разломом. Последний представляет собой взброс с падением сместителя на северо-восток под углами >45°.

Северо-западнее описываемого района, сразу за р. Индигирка, этот крутой взброс переходит в региональный Чаркы-Индигирский пологий надвиг, фиксирующий общее перемещение масс с северо-востока на юго-запад. Есть основания полагать, что разрывные структуры северо-западного простирания «просвечивают» сквозь складчатые сооружения верхоянского комплекса и соединяются со структурами охарак-

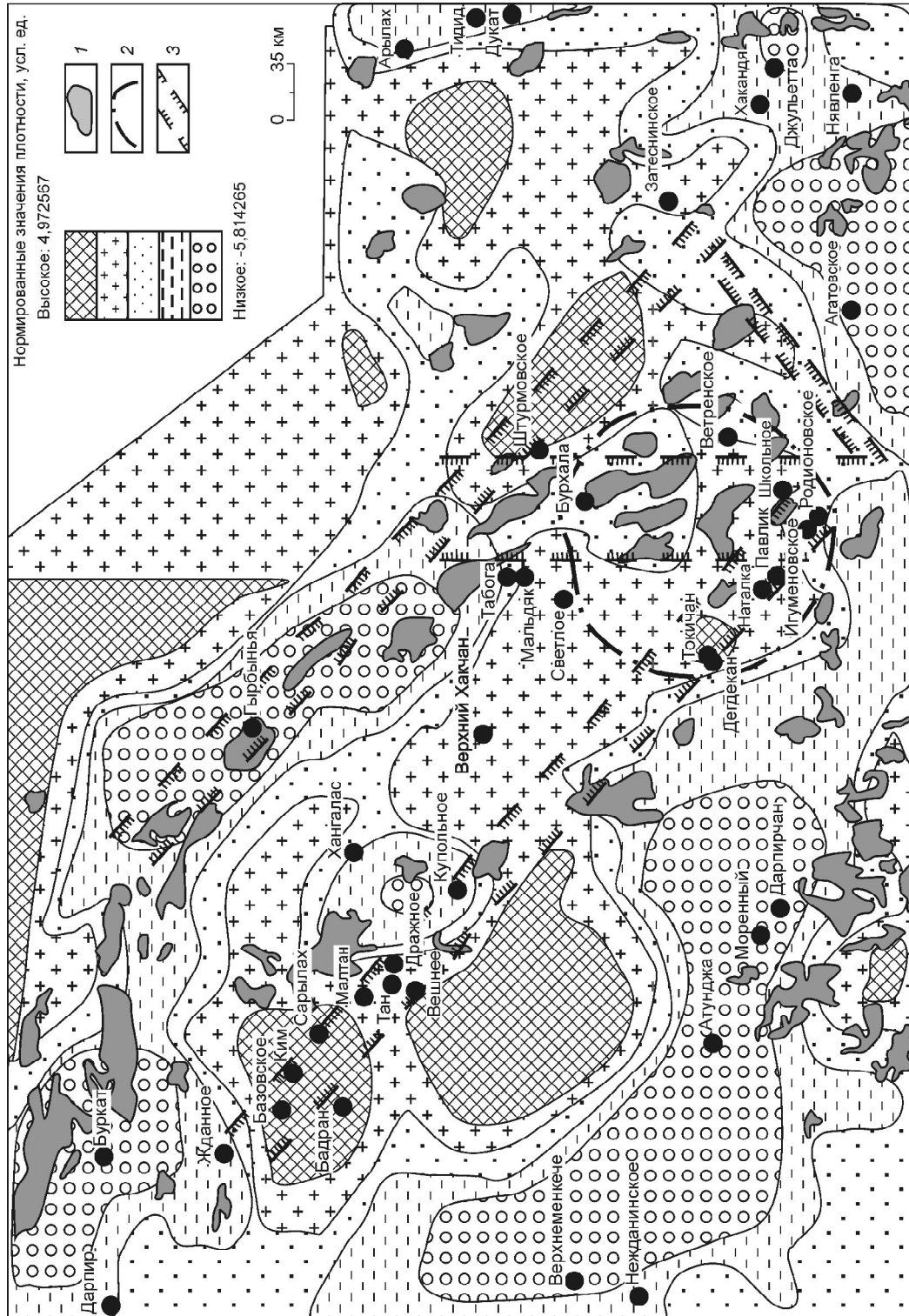


Рис. 6. Рифтогенные структуры Яно-Колымской провинции:

1 — гранитоидные интрузивы; 2 — контуры депрессии; 3 — рифтогенные прогибы

теризованной выше Северо-Верхоянской металлогенической зоны, где они контролируют размещение месторождения Ключус, составляя, таким образом, единую сквозную зону разломов. Важным дополнительным элементом следует считать развитие разломов северо-восточного направления, которые в сочетании с северо-западными формируют блоковую структуру области и отдельные золоторудные районы.

Центрально-Колымская металлогеническая область в целом отличается от соседних областей широким развитием гранитоидных интрузий средне-позднеюрского возраста, причем некоторые из них вытянуты в близмеридиональном направлении, что говорит о возможном проявлении и этого структурного направления длительного развития (см. рис. 6).

Для ряда гранитоидов конкретными наблюдениями Л.В.Фирсова и Л.А.Николаевой доказано послерудное образование, другие же вмещают золото-кварцевые жилы (месторождение Школьное). Известная гипотеза Ю.Г.Щербакова [12] о заимствовании золота из вмещающих пород и его переотложения на постмагматическом этапе в результате процессов глубинной циркуляции, как нам представляется, наиболее удачно объясняет наблюдаемые соотношения.

Как считают В.А.Нарсеев, В.М.Шашкин [9], изгибы кровли астеносферы ответственны за генерацию источников рудного вещества, распределение которого обеспечивается глубокопроницаемыми коллизионными структурами. Эту роль, по нашему мнению, выполняют выделенные выше зоны рифтогенеза. Ряд из них, судя по материалам упомянутых авторов, прослеживаются и в астеносферном слое. Как они полагают, в структурах сжатия коры отражена и глубинная Центрально-Колымская структура, выделяемая по геотермическим данным в кровле астеносферного слоя, что свидетельствует о консолидации литосферы северо-восточной окраины Северо-Азиатского кратона, аккрецированной в позднем мезозое, и отсутствии здесь существенной постагрегационной тектонической перестройки внутри литосферы.

В подошве земной коры, в «корнях» литосферы, выполненных серпентинизированными габбро-перидотитами, при геофизической верификации моделируемого разреза повсеместно выделяются линзы слабоазуплотненного астеносферного вещества (ширина 90–150 км, мощность 5–7 км), приуроченные к неровностям поверхности Мохоровичича. Показательно, что распределение этих подкорковых линз в плане, установленное по данным моделирования серии разрезов, имеет кольцевой характер. Они, в частности, концентри-

чески вписываются в кольцевую очаговую Центрально-Колымскую структуру, проявляемую в геотермическом и изостатическом полях, что дополнительно указывает на достоверность выделения этой глубинной субдукционной структуры.

Из выделенных при изучении глубинного строения литосферы региональных геодинамических структур, благоприятных для генерации рудофлюидных систем, наиболее глубинные — палеозоны субдукции, отвечающие аккреционному Уяндино-Ясачненскому и постагрегационному Охотско-Чукотскому вулканогенным поясам.

Поднятия кровли астеносферы могут рассматриваться как региональные структурные ловушки для рудно-магматических расплавов андезитобазальтовой формации, поднимающихся из зон субдукции, и для постсубдукционных интрателлурических аномальных флюидов. Выступы в кровле астеносферы могли быть генераторами «геотермических куполов» в земной коре, в пределах которых рассеянная первичная золотая минерализация перераспределялась в верхние горизонты с концентрацией оруденения в благоприятных локальных структурах.

По мнению И.И.Абрамовича, С.Д.Вознесенского, Н.Г.Манафова [1], перспективным представляется изучение условий первоначального концентрирования металла на астеносферном уровне еще до переноса его в структуры земной коры транслитосферными флюидными потоками. Процесс формирования Верхне-Колымской золотоносной провинции распадается, по их мнению, на два этапа. Первый (подготовительный) включает аккумуляцию золотоносных флюидов в дальних умеренно разогретых тылах Кони-Мургальской островной дуги (P_2-J_3). Результативность этого процесса определяется большой длительностью (~100 млн. лет) относительно медленного квазистационарного субдукционирования океанической литосферы, что обеспечивало «мягкую» и вместе с тем эффективную сепарацию малосульфидных водонасыщенных флюидов, в которых золото практически полностью обособилось от сопутствующих рудных компонентов. Этим объясняется относительно высокая проба колымского золота и экзотичность связанной с ним серебряной минерализации, а также зональное распределение пробы в пределах рудоносной площади — ее возрастание в северо-восточном направлении, т.е. к дальним тылам Кони-Мургальской дуги. Концентрированию флюидов способствовала структурная обстановка: пространственно-временное сопряжение тылов Кони-Мургальской дуги с раскрывающимся Иньяли-Дебинским трогом. Это обеспечивало дополнительную фокусировку флюидных потоков, поскольку

мощные литосферные блоки, ограничивающие трог, дамбуировали на астеносферном уровне пути перемещения флюидов.

Второй (завершающий) этап рудогенеза, по данным тех же авторов, связан с началом континентальной коллизии, когда в результате взаимодействия сближающихся микроконтинентов на фоне общего сжатия возникли локальные области относительного растяжения. Литосфера в тылах Кони-Мургальской дуги превратилась в гигантскую тектоническую брекчию. Дробление пород сопровождалось образованием системы многочисленных преимущественно диагональных глубоко проникающих расколов, явившихся областями снятия тектонического стресса и литостатической нагрузки. Они же предопределили возможность декомпрессионного магмогенеза и массового прорыва к земной поверхности мантийных золотоносных флюидов. В соответствии с рассматриваемой схемой уникальная золотоносность Верхне-Колымской провинции предстает как результат не часто реализуемого в природе сочетания трех геодинамических факторов: длительности благоприятного режима внутриастеносферной сепарации рудного компонента, латеральной реологической неоднородности мантии, обеспечившей аккумуляцию флюидной фазы в локальной области, и «современного» эффективного дренажа астеносферного канала при коллизионном дроблении литосферы.

С.Ф.Стружков, М.В.Наталенко, Н.В.Цымбалюк [10] отмечают некоторые черты сходства Центрально-Колымской металлогенической области с провинцией Витватерсранд, что позволяет высоко оценить перспективы выявления новых месторождений на глубинах 4 км.

Из сказанного выше наиболее существенным представляется контроль зонами рифтогенеза рудных районов и узлов, а также отдельных крупных и уникальных месторождений. В выявлении золоторудных объектов эффективно применение геофизических данных, особенно их интерпретация на глубину 15–60 км. Это важно и потому, что ориентировка зон рифтогенеза может в ряде случаев не совпадать с общим структурным планом региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович И.И., Вознесенский С.Д., Манафов Н.Г.* Геодинамика и золотоносность Колымы // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 1. С. 43–53.
2. *Буряк А.В., Хмелевская Н.М.* Сухой Лог — одно из крупнейших золоторудных месторождений мира. — Владивосток: Дальнаука, 1997.
3. *Гольдберг И.С., Абрамсон Г.Я., Лось В.Л.* Геохимические системы крупных золоторудных месторождений Бендиго-Балларатской провинции (Австралия): поисковые и генетические аспекты // Геология и охрана недр. Алматы, 2004. № 4. С. 22–31.
4. *Иванов А.И.* Докембрий Патомского нагорья. — М.: Недра, 1955.
5. *Константинов М.М., Аристов В.В., Вакин М.Е.* Условия формирования и основы прогноза крупных золоторудных месторождений. — М.: ЦНИГРИ, 1998.
6. *Константинов М.М.* Золоторудные провинции мира. — М.: Научный мир, 2006.
7. *Константиновский А.А.* Палеороссыпи и эволюция осадочной оболочки континентов. — М.: Научный мир, 2000.
8. *Ленский золотоносный район / Ю.П.Казакевич, С.Д.Шер, Т.П.Жаднова и др.* — М.: Недра, 1971.
9. *Нарсеев В.А., Шашкин В.М.* Особенности глубинного строения юго-восточного фланга Яно-Колымского золотоносного пояса // Отечественная геология. 2000. № 1. С. 15–24.
10. *Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Цымбалюк Н.В.* Уникальные золоторудные регионы Витватерсранд (ЮАР) и Центрально-Колымский (Россия) — сопоставительный анализ // Минеральные ресурсы России. 2009. № 4. С. 72–81.
11. *Хаин В.Е.* Региональная тектоника. Внеальпийская Азия и Австралия. — М.: Недра, 1979.
12. *Щербаков Ю.Г.* Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях. — М.: Наука, 1967.
13. *Stegman C.L.* Cobar Deposits: Still Defying Classification // SEG Newsletter. 2001. № 4. P. 15–20.
14. *Willman C.E., Korsch R.J., Moore D.H.* Crustal-scale Fluid Path ways and Source Rocks in the Victorian Gold Province Australia: Insights from Deep Seismic Reflection Profiles // Econ. Geol. 2006. Vol. 105. P. 895–915.

УДК 553.463 (571)

© Н.П.Романовский, 2012

ВОЛЬФРАМОВЫЕ РУДЫ КАК ВАЖНАЯ СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Н.П.Романовский (Институт тектоники и геофизики ДВО РАН)

Рассмотрены и сопоставлены характеристики скарновых шеелитовых и грейзеново-гидротермальных вольфрамитовых месторождений. Показана их практическая значимость для формирования минерально-сырьевой базы Дальневосточного экономического региона.

Ключевые слова: скарновый шеелитовый, грейзеново-гидротермальный вольфрамитовый, практическая значимость.

Романовский Николай Петрович, itig@itig.as.khb.ru

TUNGSTEN ORES AS A MAJOR INTEGRAL PART OF THE MINERAL RESOURCE BASE OF THE FAR EASTERN RUSSIA

N.P.Romanovskii

Characteristics of scarn-scheelite and greisen-type hydrothermal wolframite deposits are considered and compared. It has been shown their practical significance for the formation of the mineral resource base of the Far Eastern economic region.

Key words: scarn, scheelite, greisen-type hydrothermal wolframite, practical significance.

По сравнению с золотом, медью и оловом, не говоря уже о железе, издревле знакомых человечеству, вольфрам известен людям сравнительно недавно. Он был открыт в 1781 г. (Швеция, В.К.Шееле) в виде вольфрамового ангидрита WO_3 , из которого испанские химики братья Д'Элуяр получили вольфрам путем восстановления углеродом. Было установлено, что он является наиболее тугоплавким ($3410^{\circ}\pm 20^{\circ}C$) металлом.

Вначале вольфрам относительно медленно вошел в промышленное производство. Лишь в 1825–1830 гг. он начал применяться для изготовления режущего инструмента (Франция). Появление сплавов и керамики с использованием вольфрама в начале XX в. произвело революцию в области обработки материалов, создания и массового получения износостойких, жаропрочных, эрозионно устойчивых сплавов, материалов и изделий. В настоящее время этот металл настолько широко вошел в промышленное производство, что стал практически незаменимым. В природе вольфрам образует самостоятельную группу минералов, в состав которой входят вольфрамит и шеелит. Вольфрамит ($(Mn, Fe)WO_4$) занимает промежуточное положение между гюбнеритом (содержание Mn >17,6%) и ферберитом (Mn <5,9%). Среднее содержание WO_3 в вольфрамите 75%. Шеелит ($CaWO_4$) содержит WO_3 80,6% и CaO 19,4%. В его состав редко входит изоморфная примесь триоксида молибдена.

Вольфрамит встречается главным образом в гидротермальных жилах, грейзеновых и пегматитовых телах кварцевого состава, нередко образующих

штокверки, приуроченные к гранитоидным массивам обычно мезозойского возраста. Шеелит, как правило, проявляется в контактово-метасоматических залежах сложной формы, которые возникают на контакте карбонатсодержащих пород с гранитоидами фанерозоя. Месторождения с преобладанием существенно вольфрамитовых и шеелитовых руд различаются как по особенностям вещественного состава и морфологии рудных тел, так и по запасам полезных компонентов, определяющих их практическую значимость.

Из общего числа месторождений вольфрама (рисунок) примерно 2/3 объектов в разное время, по данным различных авторов, получили количественную оценку балансовых запасов и прогнозных ресурсов.

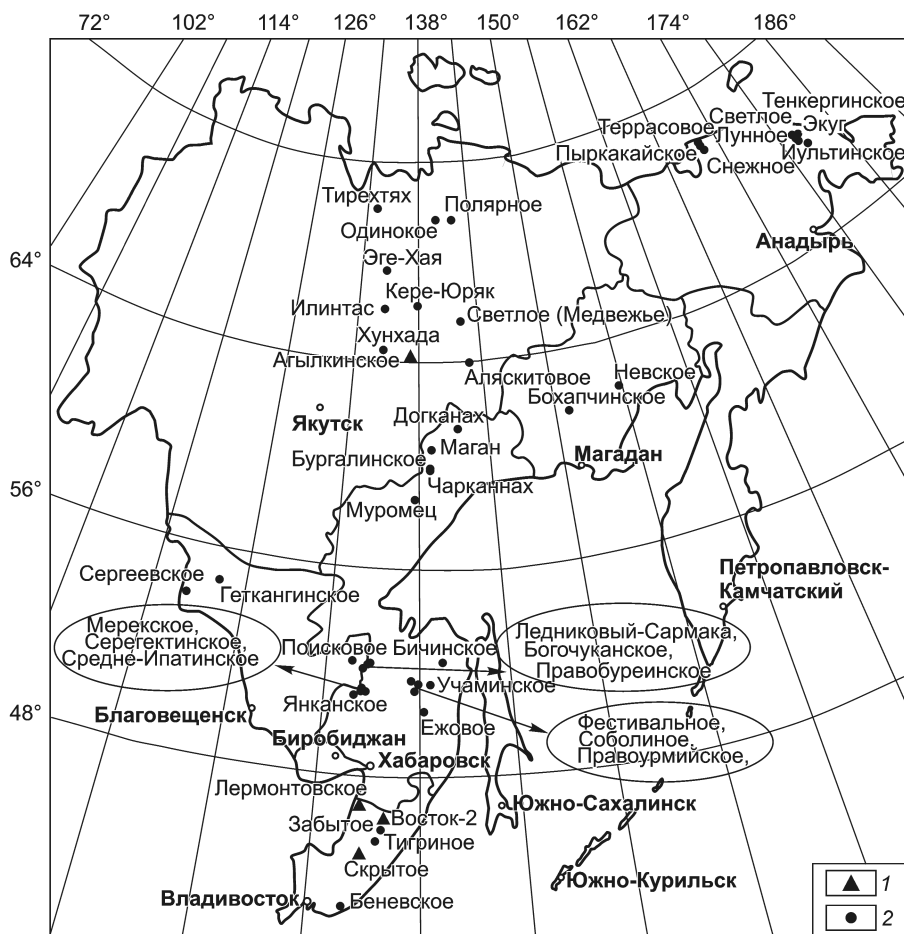
Цель настоящего исследования — систематизация и сопоставление основных характеристик месторождений шеелитового и вольфрамитового типов, а также оценка их значимости для развития минерально-сырьевой базы Дальневосточного экономического района (ДВЭР). В основу результатов исследования положены материалы собственных разработок автора по тематике НИР Института тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина, а также данные наиболее значительных публикаций других авторов.

Вольфрам — важнейшая составная часть минерально-сырьевой базы мирового металлургического производства. Крупнейшие месторождения вольфрамовых руд известны в Китае, России, Казахстане, Южной Корее, Португалии, Австралии, Бразилии, Канаде, США, Турции. По состоянию на

середины 90-х годов ежегодная мировая добыча вольфрама в концентрате WO_3 достигала 30 тыс. т при разведанных запасах ~6 млн. т и прогнозных ресурсах ~9 млн. т. На начало 2007 г. мировые запасы WO_3 оценивались в 6,4 млн. т, ресурсы 13,8 млн. т при ежегодном производстве ~55 тыс. т [1, 4].

Китай обладает самыми значительными ресурсами этого металла. Здесь открыто около 1500 месторождений вольфрама, в том числе несколько уникальных (например месторождение Шичжюань с запасами WO_3 750 000 т). Запасы вольфрама КНР составляют 65,9% от мировых, а производство — 67,2% [6]. Вольфрамовые месторождения локализованы в геологических структурах разного возраста, но самое большое их распространение характерно в случаях ассоциации с проявлением мезозойского гранитоидного магматизма. Руды обычно комплексные, содержащие до 50 минералов. Типичны геохимические ассоциации: W – (Sn, Bi, Mo), W – Be, W – (Cu, Pb, Zn, Ag), W – (Nb, Ta), W – (Au, Sb), W – (Cu, Fe). Рудные тела большей части китайских месторождений пригодны только для подземной отработки. В шеелитовых рудах сосредоточено около 64% подтвержденных запасов.

После распада СССР основные запасы и ресурсы вольфрамовых руд отошли к Казахстану, Таджикистану и Узбекистану. В конце 90-х годов разведанные запасы и производство вольфрамовых концентратов в России распределились между тремя экономическими районами [4]: Северо-Кавказским (46% запасов и 40% производства, в том числе Кабардино-Балкария соответственно 46 и 40%), Восточно-Сибирским (29% запасов и 20%



Месторождения вольфрама на территории Дальневосточного региона, по Г.И.Архипову [1] с изменениями и дополнениями:

1 — скарново-шеелитовые; 2 — грейзеново-гидротермальные

производства, в том числе Бурятия 24 и 11%), Дальневосточным (24% запасов и 40% производства, в том числе Приморье 16 и 31%).

Минприроды РФ оценивало состояние минерально-сырьевой базы вольфрамовой промышленности к 2000 г. как явно неудовлетворительное. На начало 2008 г. запасы вольфрама в России составляли ~1,5 млн. т, прогнозных ресурсы 0,95 млн. т [1]. Основные месторождения были представлены скарново-шеелитовым и штокверко-жильно-вольфрамитовым типами. На долю легкообогатимых руд приходилось около одной трети запасов. Качество российских руд в целом ниже мировых. Руды с содержанием $WO_3 > 1\%$ имеются всего на нескольких отечественных месторождениях.

Основные прогнозы запасов вольфрама в Дальневосточном экономическом регионе могут быть связаны как с крупными месторождениями скарновых шеелитовых руд Приморья и Якутии, так и с

вольфрамсодержащими оловянными или другими комплексными месторождениями Якутии, Чукотки, Хабаровского и Приморского краев (см. рисунок).

По состоянию на 01.01.2009 г. минерально-сырьевая база вольфрама составляла в целом по ДВЭР 527,9 тыс. т при годовой добыче WO_3 2732 т [9]. Запасы вольфрама в Приморском крае — 257,6 тыс. т при добыче 2665 т, Республике Саха (Якутия) — 157,2 тыс. т при добыче 4 т, Хабаровском крае — 39,3 тыс. т при добыче 63 т, Чукотском автономном округе — 71,7 тыс. т при отсутствии добычи, Магаданской области — 2,1 тыс. т при отсутствии добычи. Из коренных месторождений добывалось 95% вольфрама, из россыпей — 5%. Для остальных административных единиц региона (см. рисунок) наличие запасов вольфрамовых руд не установлено.

Учитывая характер распределения вольфрамовых месторождений по территории административных единиц ДВЭР (см. рисунок), рассмотрим некоторые основные особенности и практическую значимость рудных объектов, формирующих две группы месторождений — преимущественно шеелитовую и преимущественно вольфрамитовую.

Собственно вольфрамовые месторождения представлены несколькими крупными, промышленно значимыми рудными объектами шеелитовых руд скарнового типа.

Месторождение Восток-2 открыто в 1961 г. в Арминском рудном районе (Приморский край). Оно локализовано в верхнепермских песчаниках, алевролитах, глинистых сланцах и известняках, прорванных штоками меловых гранитоидов татибинского интрузивного комплекса и серий даек кислого и основного составов. На месторождении разведано пять скарново-сульфидных залежей и минерализованных зон дробления, приуроченных к зоне контакта с гранитоидными образованиями. Главное рудное тело — крутопадающая пластовая залежь размерами (500–650)×(40–70) м — прослежено на глубину >400 м. Наиболее богатые ($WO_3 > 2\%$) руды тяготеют к центральным частям залежи. Шеелит-кварцевые руды составляют 20–30%, а шеелит-сульфидные — 70–80% рудной массы. Главные рудные минералы — шеелит, пирротин и халькопирит, сопутствующие — арсенопирит, сфалерит, пирит, редкие — молибденит, висмутин, серебросодержащие блеклые руды, самородное золото. Температура кристаллизации руд 500–520°C. Скарны формировались в несколько этапов, наиболее детальная характеристика их минеральных производных рассматривается в работе [10]. Содержание полезных компонентов в рудах составляет, %: WO_3 0,72–2,73 (среднее 1,64), Cu 0,19–0,93 (среднее 0,64), Bi

0,023–0,097. В халькопирите, арсенопирите и пирротине установлено Au до 2 г/т. Начальные запасы WO_3 определялись >100 тыс. т, что позволяло отнести месторождение Восток-2 к крупным вольфрамоторудным объектам.

С 1977 г. на месторождении начали действовать карьер и обогатительная фабрика, в 1984 г. введена вторая очередь комбината, что обеспечивало добычу и переработку 350 тыс. т руды в год. По состоянию на 1999 г. добыто WO_3 77,8, Cu 43,5, Bi 2,3 тыс. т, Ag 53, Au 8,5 т. По состоянию на начало 2000-х годов недоиспользованные запасы вольфрама составляли 36,3 тыс. т при среднем содержании WO_3 1,8% [1, 5].

С 2006 г. ОАО «Приморский ГОК» ведет геологоразведочные работы на юго-западном фланге месторождения Восток-2. Некоторые резервы для добычи вольфрама связаны с месторождениями Скрытое и Забытое (см. рисунок).

Месторождение Лермонтовское выявлено в 1970 г. на северо-западе Приморского края в пределах Бикинского рудного района. Рудное поле приурочено к среднекембрийским карбонатно-терригенно-кремнисто-вулканогенным образованиям, которые прорываются мелкими телами диоритов, крупным штоком интенсивно грейзенизированных гранитоидов и гранодиоритов ранне-мелового возраста [3]. Месторождение с начальными запасами $WO_3 > 50$ тыс. т было отнесено к разряду средних. Отрабатывается с 1987 г. открытым способом (ООО «Русский вольфрам»). Рудные тела (>10) представлены метасоматическими залежами пласто-, линзо- или гнездообразной формы в провесе кровли гранитного штока. Их протяженность от 40–80 до 500–640 м при мощности от первых метров до 78 м. Границы залежей нечеткие. Состав на 30–40% кварц-шеелитовый, на 60–70% шеелит-сульфидный. Руды комплексные, кроме вольфрама (среднее содержание WO_3 2,3%) в них присутствуют Cu (0,21%), Ag (3,23 г/т), Au (0,23 г/т). Главные рудные минералы — пирротин, шеелит, менее распространены арсенопирит, сфалерит, вольфрамит, халькопирит, висмутин, самородное золото. Вторая, по времени проявления, фация кварц-мусковитовых и шеелит-мусковит-полевошпатово-кварцевых метасоматитов по скарнам характеризуется высоким (1,5–2,5%) содержанием WO_3 , нередко достигающим «ураганных» (10–15%) значений. По состоянию на начало 2000-х годов недоиспользованные запасы WO_3 оценивались в 20,4 тыс. т при среднем содержании WO_3 2,36%. Последние годы горнодобычные и обогатительные работы на месторожде-

ниях Лермонтовское и Восток-2 неоднократно прерывались [1].

Месторождение Скрытое — один из перспективных скарновых шеелит-сульфидных объектов Приморья, выявленный в Малиновском рудном районе. На рудном поле выделены три прожилковые кварц-полевошпатовые зоны в составе скарнированных пермских карбонатно-кремнистых пород. Минеральный состав руд близок к таковому месторождений Лермонтовское и Восток-2. Мощность зон скарнирования до 7 м; они прослежены бурением до глубины 300 м. По величине прогнозных ресурсов (~95,6 тыс. т) при среднем содержании WO_3 не более 0,5% месторождение может быть отнесено к числу средних [1, 3].

Месторождение Агылкинское, расположенное в пределах Томпонской металлогенической зоны (Восточная Якутия), известно с 1955 г. Вольфрам-медные скарновые залежи приурочены к зоне контакта триасовых карбонатно-терригенных образований со слабо вскрытым плутоном меловых гранитоидов. Основное рудное тело скарновых шеелит-сульфидных руд имеет протяженность 1400 м при средней мощности 4 м. В рудах преобладают пирротин, шеелит, халькопирит, в подчиненном количестве содержатся пирит, сфалерит, арсенопирит, самородное золото. Рудное тело сформировано минеральными ассоциациями четырех стадий: скарновой, шеелит-кварцевой, сульфидной и кальцитовой [3]. При среднем содержании WO_3 1,27% и Cu 2,7% балансовые запасы вольфрама оцениваются >90 тыс. т, Cu 1600 тыс. т [1]. Среди известных олово-вольфрамовых и комплексных месторождений Агылкинское является наиболее значимым объектом Республики Саха (Якутия). Госбалансом на нем учтено 75% запасов WO_3 . Для освоения этого рудного объекта потребуются крупные инвестиции.

Вольфрамсодержащие комплексные месторождения на территории ДВЭР распространены значительно шире шеелит-скарновых (см. рисунок). По условиям образования они подразделяются на пегматитовые, грейзеновые и гидротермальные, а по типам рудных формаций — на олово-вольфрамовые, молибден-вольфрамовые, редкометалло-вольфрамовые, полиметаллически-вольфрамовые. Обычно такие месторождения связаны с апикальными частями гранитных интрузивов. Они сложены кварц-метасоматическими телами, сериями рудных жил и мелких прожилков. Состав рудной массы крайне разнообразен. В ней нередко устанавливаются десятки минералов, среди которых могут быть касситерит, вольфрамит, сфалерит, пирит, арсенопирит, шеелит, халькопирит, молибде-

нит, висмутин, серебросодержащие блеклые руды, самородное золото. Вольфрамсодержащие многометалльные комплексные месторождения (см. рисунок) по степени изученности их запасов можно разделить на следующие три группы:

разведанные, находящиеся или находящиеся в стадии разработки, имеющие госбалансовую оценку запасов WO_3 [1, 5];

предварительно разведанные, получившие количественную прогнозную оценку запасов или ресурсов WO_3 [1, 5];

получившие оценку как перспективные объекты по данным поисковых или тематических работ [2, 5, 7, 11, 12].

К первой группе следует отнести ряд месторождений Чукотки и Хабаровского края. На Чукотке в пределах Куэньквунской и Телекайской металлогенических зон разведано и оценено более десятка средних и мелких олово-вольфрамовых месторождений (Светлое, Пыркакайское, Эжуг, Лунное, Иульгинское и др.). За 1940–1990 гг. здесь добыто 200 тыс. т олова и ~90 тыс. т вольфрама. Балансовые запасы по пяти из них оцениваются в 64 тыс. т вольфрама при содержании WO_3 0,65–2,72%. В рудах этих объектов содержание Sn 0,66–1,08%. Сейчас они находятся в госрезерве, поскольку в отдаленных районах добыча вольфрама с содержанием <3% и Sn <2% считается нерентабельной. В Хабаровском крае к первой группе вольфрамсодержащих объектов относятся крупные оловорудные месторождения Комсомольского и Баджальского рудных районов (Фестивальное, Соболиное, Перевальное, Правоурмийское), из которых в качестве попутного компонента с 1955 г. добыто 25 тыс. т вольфрама. По состоянию на 2006 г. балансовые запасы WO_3 в Комсомольском и Баджальском рудных районах составляли ~37 тыс. т при весьма низком (0,03–0,11%) содержании WO_3 в комплексных существенно оловянных рудах.

Во вторую группу месторождений можно отнести рудные объекты Якутии (месторождения Одинокое, Полярное, Илинтас, Аляскитовое с суммарной оценкой ~50 тыс. т при содержании WO_3 в рудах 0,03–0,72%), Хабаровского края (месторождения Маган, Ежовое, Мерекское, Янканское, Средне-Ипагинское, Ледниковый-Сармака, Богочуканское с суммарной прогнозной оценкой ~120 тыс. т при содержании WO_3 0,10–0,77%), Приморья (месторождения Тигриное, Забытое с суммарной оценкой ~80 тыс. т при содержании WO_3 0,04–0,20% [8]).

В составе третьей группы находятся около полутора десятков предположительно перспектив-

ных месторождений, пока не получивших количественной оценки прогнозных ресурсов вольфрамового сырья.

Результаты сопоставления основных характеристик вольфрамовых месторождений шеелитового и вольфрамитового типов позволяют прийти к следующим выводам.

Для скарновых шеелитовых месторождений характерны сходство морфологии рудных тел (обычно крупные плитообразные или более сложные линзо-трубообразные залежи), достаточно высокие содержания WO_3 (обычно 0,1–0,8, реже 1–3%), промышленно значимые запасы вольфрама (от десятков тысяч до сотен тысяч тонн), преимущественно «однометалльный» вольфрамовый состав извлекаемой рудной массы. По оценке С.Г.Соловьева [10], скарновые месторождения шеелита, хотя и содержат около 30% мировых запасов вольфрама, тем не менее обеспечивают до 65% его добычи. Суммарная оценка ресурсов вольфрамового сырья для скарново-шеелитовых месторождений ДВЭР с учетом извлеченной рудной массы в настоящее время может определяться значениями порядка 360–380 тыс. т. Все это позволяет рассматривать данную группу месторождений в качестве самостоятельных объектов, формирующих минерально-сырьевую базу региона.

Отличительными особенностями вольфрамсодержащих комплексных месторождений являются существенно вольфрамитовый состав полезного компонента, чаще невысокие (сотые–десятые доли процента) содержания WO_3 , нередко сложный (жилы, прожилковые зоны, гнезда) характер распределения оруденения, многометальность рудной массы с «подчиненно сопутствующим» отношением вольфрама к главным рудным элементам (прежде всего, олову). Запасы вольфрама в отдельных месторождениях могут существенно различаться (от 1–15 до 20–60 тыс. т). Суммарная оценка прогнозных запасов (ресурсов) WO_3 для группы вольфрамсодержащих многометальных месторождений ДВЭР в настоящее время может оцениваться в 340–350 тыс. т, а с учетом извлеченных объемов рудного сырья — в 400–450 тыс. т. В практическом

отношении наиболее перспективны рудные объекты с крупнообъемным оруденением.

Работа проводилась при финансовой поддержке проекта Президиума РАН 12-1-0-08-027.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архипов Г.И.* Минеральные ресурсы горнорудной промышленности Дальнего Востока. – М.: Горная книга, 2011.
2. *Бакулин Ю.И., Сухов В.И., Лошак Н.П.* Состояние минерально-сырьевой базы Востока России и проблемы ее освоения. Экономика природопользования Российского Дальнего Востока на рубеже веков. – Хабаровск: ХГТУ, 1999. С. 126–135.
3. *Гвоздев В.И.* Рудно-магматические системы скарновых шеелитовых месторождений Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 2010.
4. *Козловский Е.А.* Минерально-сырьевые проблемы России накануне XXI века. – М.: РАЕН, 1999.
5. *Металлогения Дальнего Востока России / В.И.Сухов, Ю.И.Бакулин, Н.П.Лошак.* – Хабаровск: ДВИМС, 2000.
6. *Минеральные ресурсы Китая / Под ред. И.Н.Марковой.* – М.: Геоинформмарк, 1999.
7. *Онихимовский В.В., Беломестных Ю.С.* Полезные ископаемые Хабаровского края. – Хабаровск: Хабаровское книжное издательство, 1996.
8. *Романовский Н.П., Шнайдер А.А.* Перспективы развития минерально-сырьевой базы вольфрамовой промышленности Дальнего Востока // Руды и металлы. 2008. № 5. С. 11–16.
9. *Склярова Г.Ф., Архипова Ю.А.* Природно-ресурсный потенциал Дальневосточного экономического региона // Проблемы комплексного освоения георесурсов. Хабаровск, 2011. Т. II. С. 261–268.
10. *Соловьев С.Г.* Металлогения фанерозойских скарновых месторождений вольфрама. – М.: Научный мир, 2008.
11. *Суплецов В.М.* Полоусная металлогеническая зона // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Саха (Якутия). – М.: Маик, 2001. С. 365–368.
12. *Холмогоров А.И.* Центрально-Полоусная металлогеническая зона // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Саха (Якутия). М., 2001. С. 389–392.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.31

© Г.Б.Князев, 2012

ТИПИЗАЦИЯ КОНТАКТОВО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ МАГНЕТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА И ЮГА СИБИРИ ПО ОСОБЕННОСТЯМ СРЕДНЕГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РУД

Г.Б.Князев (Томский государственный университет)

По соотношению Fe, S, P и шлакообразующих оксидов в рудных залежах более 200 месторождений выделены магнетитовые руды двух подтипов — с повышенной основностью среди вулканогенно-карбонатных отложений с андезито-базальтовыми вулканитами и более бедные кислото состава в терригенно-карбонатных отложениях, обогащенных пирокластикой и терригенным материалом. По соотношению S и P первый подтип — сульфидный, второй — фосфатный. Показано, что совместное накопление в рудных залежах оксидов железа с сульфидами и апатитом менее вероятно, чем их образование на разных этапах рудообразующего процесса.

Ключевые слова: магнетитовые руды, месторождения, фосфор, сера, шлакообразующие оксиды, главные компоненты.

Князев Георгий Борисович, gisolimp@ggf.tsu.ru

TIPIFICATION OF CONTACT-METASOMATIC MAGNETITE DEPOSITS OF THE URALS AND SOUTH SIBERIA BY PECULIARITIES OF THE AVERAGE CHEMICAL ORE COMPOSITION

G.B.Knyazev

Two types of magnetite ores and deposits were recognized by the ratio of Fe, S, P and slag-forming oxides from ore bodies of 200 deposits. They are as follows — ores with elevated alkalinity formed in ferro-magnesium environment within vulcanogenic-carbonate deposits with andesite-basaltic vulcanites and lower-grade acidic ores formed in environments of terrigenic-carbonate deposits enriched with pyroclasts and terrigenic material. The ratio of S and P indicates that the first subtype is sulfide and the second — phosphate. It has been demonstrated that the common accumulation of ferric oxides with sulfides and apatite seems less probable than their formation at different stages of the ore-formation process.

Key words: magnetite ores, deposits, phosphorus, sulfur, slag-forming oxides, principal constituents.

Удельный вес месторождений магнетитовых руд складчатых областей фанерозоя по оценке [5] составляет в запасах промышленных категорий России ~6%, а в добыче сырой руды >10%. Классификация магнетитовых месторождений палеозой, предложенная в работе [5], базируется на типовых месторождениях и отражает неоднородность генетических представлений о магнетитовых месторождениях фанерозойских складчатых областей. Ранее они безоговорочно считались магматогенными, скарновыми, контактово-метасоматическими [21, 23–25].

Наличие «активных» интрузивных контактов не характерно для этих месторождений, хотя нередко можно предполагать связь месторождений с расположенными вблизи интрузивными породами, чаще всего диорит-гранитного состава. Вместе с тем почти 90% магнетитовых месторождений Алтае-Саянской складчатой области и Урала из >300 известных месторождений и рудных участков зале-

гают среди контрастных по составу вулканогенно-карбонатно-осадочных и терригенно-карбонатных отложений. Структурно руды подчиняются залегающим вмещающим породам и обычно сохраняют их слоисто-полосчатые текстуры. Полосчатому текстурно-структурному рисунку подчиняются не только рудные минералы — оксиды и сульфиды железа, но и нерудные карбонаты и силикаты, включая скарновые минералы и вторичные водные силикаты — амфиболы, эпидот, хлорит и их агрегаты, а также реликтовые минералы и прослои вмещающих и измененных пород [2–4, 7, 11, 17, 20, 22].

Руды рассматриваемых месторождений, по нашему мнению, могут быть названы петрорудами. Их изучение сопровождается большим количеством полных силикатных анализов групповых проб с дополнительным определением содержания S и P, определением содержания H₂O и CO₂ в виде суммарных потерь при прокаливании. Как показано петрографами и литологами, химический состав

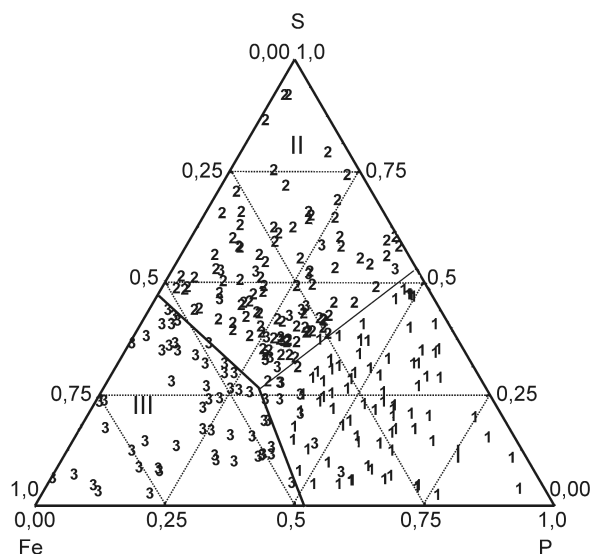


Рис. 1. Тройная диаграмма Fe–S–P средних составов железных руд метасоматических магнетитовых месторождений:

цифры 1, 2, 3 — точки средних составов руд отдельных месторождений соответствующих групп I, II, III; в центре диаграммы — область пересечения полей составов руд, оцененная ошибкой дискриминации, не превышающей пятипроцентный уровень

пород характеризует их наиболее объективно. Объективными и обязательными характеристиками любого месторождения считаются запасы металла и среднее содержание его в рудах. В совокупности сведения обо всех месторождениях можно представить в виде некоторой таблицы — матрицы, кото-

1. Основные статистики средних параметров руд (%) магнетитовых месторождений

Параметр	Число определений (месторождений)	Среднее	Min	Max	Стандарт
Fe	363	41,37373	8,80000	72,000	10,6836
SiO ₂	255	16,54325	1,48000	36,080	7,6188
TiO ₂	147	0,34295	0,00100	9,670	0,7912
Al ₂ O ₃	248	5,18031	0,15000	32,550	3,2910
Fe ₂ O ₃	94	42,67013	15,52000	81,230	12,8367
FeO	100	16,14239	0,99000	26,520	5,3434
MnO	159	0,52780	0,02582	5,700	0,8270
MgO	240	4,12158	0,30000	17,600	2,8600
CaO	241	7,99583	0,17000	24,490	4,6126
Na ₂ O	65	0,77862	0,10000	3,890	0,6790
K ₂ O	66	0,39167	0,04000	2,920	0,4700
P	342	0,14781	0,00010	10,042	0,5961
S	277	2,01730	0,00010	31,950	3,4151
ППП	153	3,70454	0,01000	17,340	3,8046

Примечание. В выборках учтены забалансовые руды и некоторые зоны метасоматических пород с бедной рудной минерализацией.

рая рассматривается как информационная модель палеозойских магнетитовых месторождений.

Наиболее полно месторождения и проявления магнетитовых руд изучены по содержанию Fe, P и S, меньше данных по запасам месторождений. Достаточно крупные месторождения обычно надежно охарактеризованы утвержденными запасами промышленных категорий. Небольшие численно преобладающие в палеозойских складчатых областях объекты обычно характеризуются лишь прогнозными общими запасами. Тем более, далеко не на всех месторождениях выполнены полные силикатные химические анализы руд, как правило, осуществляемые лишь на стадиях предварительной или детальной разведки, при подсчете запасов и технологической оценке руд.

Накопленные нами данные в итоге многолетних исследований магнетитовых месторождений Алтае-Саянской складчатой области [17, 18, 20, 22] и результаты более чем полувекового изучения железорудных месторождений России, особенно Урала и прилегающих территорий [5, 7–11, 22, 23], позволили создать базу данных по >300 месторождениям, а также отдельным участкам и залежам магнетитовых руд. Представление о ней можно получить по табл. 1, включающей основные статистики всех параметров месторождений, отдельных участков, рудных тел и объемы соответствующих выборок.

Анализ данных по месторождениям магнетита может быть сделан для трехмерной системы Fe–S–P, где средние содержания элементов оценены примерно для 300 наблюдений (месторождений). Трудность исследования этой системы связана с тем, что при распределении железа, близком к нормальному, распределение серы и особенно фосфора оказывается резко асимметричным — логарифмически нормальным и экспоненциальным. Совместное исследование параметров с резко различным распределением приводит к некорректным оценкам зависимостей между ними с искажением корреляционных матриц и матриц дисперсий и ковариаций, лежащих в основе многомерного анализа данных. Для

преодоления указанных трудностей предпринято преобразование исходных материалов, близкое к ранжированию с нормированием на объем выборок и соответствующей заменой данных их эмпирическими вероятностями. При таком преобразовании, как и при стандартизации, значения всех преобразованных параметров (признаков) оказываются в одном интервале от нуля до единицы, подобно равномерному стандартному распределению, при среднем, близком к 0,5, максимальном, равном 1, и минимальном — $1/n$, где n — объем выборки.

В результате группового анализа в программе «Statistika» выделены три группы месторождений, различающихся по соотношению Fe, S и P (рис. 1, табл. 2).

Анализ диаграммы главных компонент (рис. 2) позволяет рассматривать вторую главную координату как процесс накопления оксидов железа в рудах (фактор железооруденения). Он независим от процесса накопления фосфора и серы, характеризующих первую главную координату, и описывает изменчивость руд магнетитовых месторождений в другую стадию или этап формирования рудных залежей. Соотношения Fe, S и P лучше всего объясняются стадийным механизмом рудообразования. Изменчивость средних составов руд вдоль второй главной координаты оказалась равной 37%. Изменчивость вдоль оси S–P превосходит изменчивость вдоль оси Fe, что позволяет признать высокую интенсивность процессов сульфидизации и фосфатизации в пределах рудных залежей, независимых от процесса накопления в рудной залежи оксидного железа.

Таким образом, по сопутствующей минерализации можно выделить два подтипа контактово-метасоматических магнетитовых руд — фосфатный и сульфидный. Наличие особого фосфатного подтипа, наряду с сульфидным, подтверждается развитием апатитосодержащих жил в рудах и даже образованием небольших месторождений

2. Группы месторождений магнетитовых руд в системе Fe–S–P, различающиеся по соотношению средних содержаний (%) в рудах соответствующих компонентов

Группы	I		II		III	
Статистики	Среднее	Стандарт	Среднее	Стандарт	Среднее	Стандарт
Fe	34,29637	9,781584	40,27553	10,30569	47,0741	11,50789
P	0,338626	1,112295	0,055911	0,042431	0,033107	0,027976
S	0,728033	0,801012	4,47948	4,62608	0,487373	0,521922

амфибол-пироксен-апатит-магнетитовых руд на Урале, в Восточном Саяне и Зауралье (Анзасское, Качарское, Таятское). Основной вывод, вытекающий из результатов анализа системы Fe–P–S, заключается в том, что совместное или близкоодновременное (одноэтапное) образование в рудах магнетита с апатитом или сульфидами является, скорее, исключением, чем правилом.

Известно, что контактово-метасоматические месторождения по минеральному составу руд делятся на несколько подтипов: известково-скарновый, магнезиально-скарновый, водно- (или гидро-) силикатный, альбит-скаполитовый и др. [19, 22, 24, 25]. Предполагая достаточно тесную связь химического состава руд с их минеральным составом, рассмотрим полную систему средних составов руд в координатах всех породообразующих оксидов, обычно определяемых при оценке технологических параметров руд. На большинстве месторождений в рудах определяется содержание Fe, SiO₂, Al₂O₃,

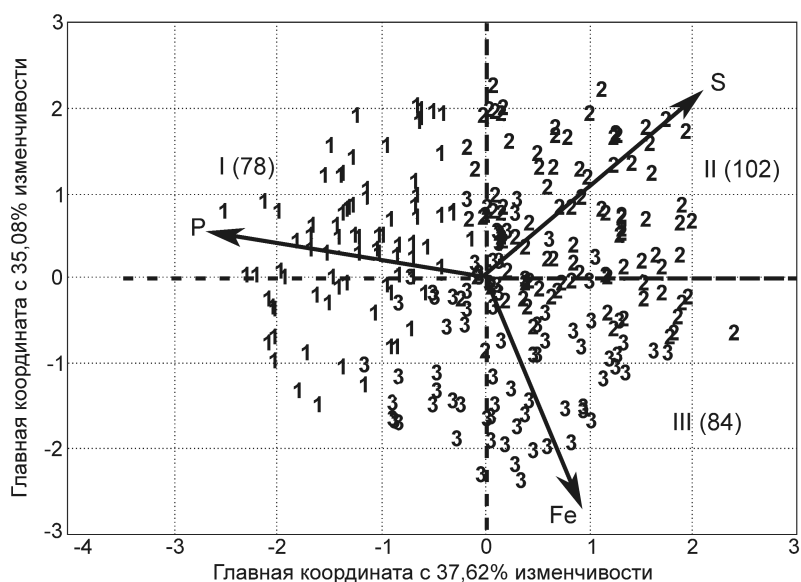


Рис. 2. Проекция системы Fe–S–P на плоскость двух первых главных координат, определяющих ~70% изменчивости системы:

цифрами показаны векторы составов руд 264 месторождений, разделенных на три группы (I, II, III) по соотношению Fe, P и S; в скобках — число месторождений

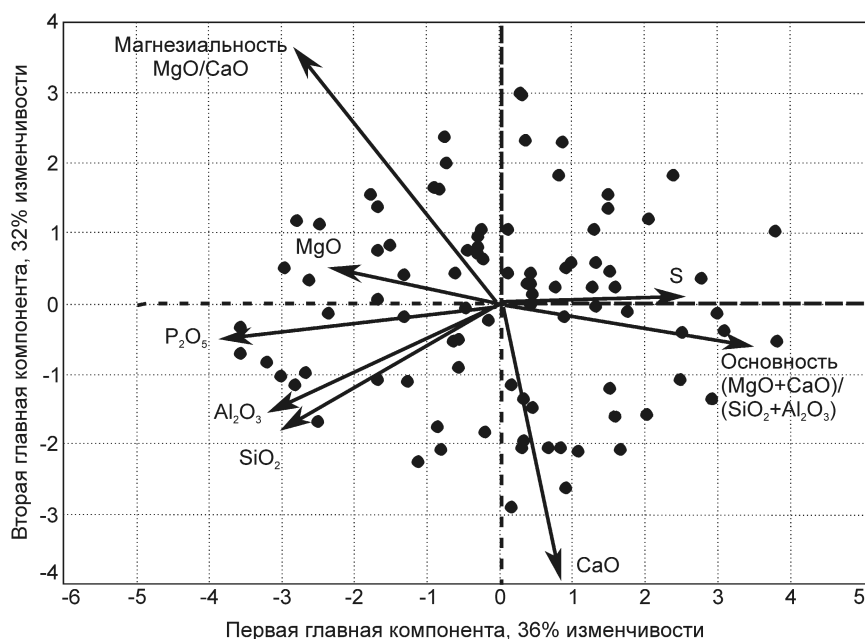


Рис. 3. Проекция шестикомпонентной системы $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-CaO-P}_2\text{O}_5\text{-S}$ с добавленными показателями основности и магнезиальности на плоскость двух первых главных компонент:

точки — векторы средних составов месторождений магнетита; левое поле — первая группа месторождений, правое — вторая (см. табл. 3)

MgO , CaO , P , S , реже других породообразующих и рудообразующих компонентов. Часто отсутствуют данные по щелочам, что существенно обедняет информацию о железных рудах и месторождениях в целом. Даже при наличии данных о содержании щелочей в рудных залежах их редко учитывают в обобщающей информации, чаще всего имеющей экономико-технологическую направленность.

Взятая для исследования матрица данных включила 112 месторождений, охарактеризованных

3. Средний состав руд двух основных групп магнетитовых месторождений, %

Группы	I (59%)		II (41%)	
	Среднее	Стандарт	Среднее	Стандарт
Fe	35,70	5,23	49,55	6,33
SiO_2	21,35	5,54	11,16	3,75
Al_2O_3	6,47	2,21	3,76	1,70
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2$	27,83	7,01	14,92	4,72
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	0,31	0,08	0,36	0,15
MgO	4,51	3,16	2,60	1,91
CaO	9,73	4,51	6,48	3,43
$\text{MgO}+\text{CaO}$	14,24	5,12	9,08	3,72
MgO/CaO	0,66	0,98	0,67	1,05
Основность	0,57	0,32	0,68	0,43
P_2O_5	1,20	6,29	0,20	0,20
S	1,18	1,02	1,77	1,25

средними содержаниями в рудах шлакообразующих оксидов, фосфора и серы. Для увеличения информативности модели в систему введены мультипликативные показатели основности $(\text{CaO}+\text{MgO})/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$ и магнезиальности (MgO/CaO) , ранее использовавшиеся при попытках классификации месторождений магнетитовых руд [12–16, 18]. Многомерный групповой анализ не выявил ожидаемых различий руд разных минералогических подтипов. С высокой степенью надежности (доверительная вероятность $>0,95$) и минимальной ошибкой дискриминации месторождения по составу руд разделились на две группы (табл. 3, рис. 3).

Для исследования полученной безжелезистой

шестикомпонентной системы $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-CaO-P}_2\text{O}_5\text{-S}$ с добавленными мультипликативными показателями матрица данных была преобразована в матрицу эмпирических вероятностей с нормированием на объем выборки, равным 112. Результаты применения метода главных компонент (см. рис. 3) позволяют сделать следующие выводы.

В обеих изученных системах выявляется практически одинаковое главное направление изменчивости средних составов месторождений. В первом случае оно названо сульфидно-фосфатным, отражающим некоторый достаточно мощный процесс обогащения рудной залежи в контурах опробования S или P. Серное направление главной координаты в многокомпонентной системе коррелируется с основностью и, судя по средним составам руд, с содержанием в них Fe. Направление главной координаты, отвечающее уменьшению основности руд, коррелирует с обогащением рудной зоны P. Таким образом, подтверждается разделение магнетитовых руд и месторождений по составу сопутствующих компонентов на два подтипа — сульфидный и фосфатный.

Вторая главная компонента (вертикальная координата), которая может быть названа магнезиальной, описывает изменчивость месторождений и руд, связанную с отнесением их к двум классам — известковому (нижняя часть диаграммы) и магнезиальному (верхняя).

Как известно, при опробовании рудных залежей, особенно при подготовке групповых проб, в состав рудных интервалов включаются в соответствии с утверждаемыми кондициями допустимые по мощности прослойки вмещающих безрудных пород. Естественно, что средние составы руд, учитывающие сотни анализов, отражают состав рудных зон в целом. Это обстоятельство затрудняет использование средних химических составов магнетитовых руд для их классификации в соответствии с принятыми генетическими подтипами и требует оценки чистоты проб путем их тщательной минералогической документации. В целом же средний состав рудных залежей несет генетическую информацию, отражая особенности состава рудовмещающих пород. С учетом имеющейся геологической информации все скарновые месторождения магнетита, их отдельные участки и рудные залежи можно разделить на две группы, образующиеся: по вулканогенно-терригенно-карбонатным породам с повышенной ролью среди них вулканитов андезит-базальтового состава (железо-магнезиевая среда); по терригенно-карбонатным отложениям, часто содержащим вулканиты кислого состава и соответствующие пирокластические породы (кремний-алюминиевая среда).

На указанные группы разделились не только месторождения, но также рудные залежи и руды промышленных типов отдельных крупных месторождений. К первой группе относятся рядовые руды месторождений Шерегешевское в Горной Шории, Холзунское в Горном Алтае, Качарское, Соколовское, Сарбайское, Теченское, Анзасское в Западном Саяне, Тейское, Абагасское, Ампалыкское в Кузнецком Алатау, Тереховское, Табратское и др. Восточного Саяна. Ко второй группе отнесены Таштагольское, Абаканское месторождения, богатые руды Соколовского, Сарбайского, Качарского месторождений. Руды первой группы месторождений относительно обогащены фосфатами, второй — сульфидами. Магнезиальность руд рассматривается нами как параметр второго, более низкого, уровня классификации. С использованием упрощенной модели в координатах основность—магнезиальность выделены известково-скарновый, магнезиально-скарновый, альбит-скаполитовый и другие минералогические подтипы [18]. В рассмотренной модели находят свое место и руды магнетитовых месторож-

дений Ангаро-Илимской группы [1], что не дает оснований относить их к особому генетическому типу месторождений железа, выходящих за рамки уже известных генетических типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ангаро-Илимские железорудные месторождения трапповой формации южной части Сибирской платформы / Г.И.Антипов, М.А.Ивашенко, В.В.Корабельникова.* — М.: Госгеолтехиздат, 1960.
2. *Бекмухаметов А.Е., Панкратова Н.Л.* Геология и закономерности размещения железорудных месторождений Казахстана // Геология и генезис железорудных месторождений. Свердловск, 1981. С. 13–24.
3. *Геология и генетические особенности магнетитовых месторождений Тургая / Н.М.Беляшов, А.Е.Бекмухаметов, В.М.Щербак и др.* — Алма-Ата: Наука, 1969.
4. *Дымкин А.М., Баклаев Я.П., Нечкин Г.С., Полтавец Ю.А.* Некоторые особенности формирования железорудных месторождений Урала // Геология и генезис железорудных месторождений. Свердловск, 1981. С. 3–7.
5. *Железородная база России / Под ред. В.П.Орлова, М.И.Веригина, Н.И.Голивкина.* — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998.
6. *Железородная база Тагило-Кушвинского промышленного района / М.А.Карасик, Д.С.Штейнберг, К.П.Мазурин и др.* — Свердловск, 1957.
7. *Железородные месторождения Алтае-Саянской горной области / Под ред. А.П.Бардина.* — М.: АН СССР, 1959.
8. *Железородные месторождения Сибири / А.С.Калугин, Т.С.Калугина, В.И.Иванов и др.* — Новосибирск: Наука, 1981.
9. *Железородные формации Зауралья. Северная часть Тургайского прогиба / А.М.Дымкин, Ю.В.Полтавец, Я.П.Баклаев и др.* — Свердловск, 1987.
10. *Железородные формации Зауралья. Средняя и Южная части Тургайского прогиба / А.И.Бекмухаметов, Я.П.Баклаев, Ю.А.Полтавец и др.* — Свердловск, 1986.
11. *Железородные формации Среднего и Южного Урала / Под ред. А.Л.Яншина.* — М.: Наука, 1989. Т. 1.
12. *Зубова С.И.* К оценке железорудной базы Сибири по составу шлакообразующей части концентратов // Новые данные по гранитоидному магматизму и геологии железорудных месторождений Сибири. Новосибирск, 1978. С. 16–21.
13. *Зубова С.И.* Химический состав руд и концентратов железорудных месторождений Сибири // Железородные месторождения Сибири. Новосибирск, 1981. С. 220–225.
14. *Калугин А.С.* Принципы новой классификации железорудных месторождений Сибири // Геолого-геохимические особенности магматогенных рудных месторождений Алтае-Саянской области. Новосибирск, 1969. С. 5–7.

15. *Калугин И.А.* Метаморфизм вулканогенно-осадочных железных руд. – Новосибирск: Наука, 1985.
16. *Калугин И.А.* Петрохимические особенности скарно-магнетитового оруденения в силикатных и карбонатных толщах // Проблемы дифференциации вещества в магматических и рудообразующих процессах. Новосибирск, 1977. С. 161–178.
17. *Князев Г.Б.* Вулканогенно-карбонатный тип разрезов вмещающих пород железорудных полей Сисим-Казырского синклиория (Восточный Саян) // Формационный анализ в геологических исследованиях. Мат-лы научно-практической конференции. Томск, 2002. С. 53–57.
18. *Князев Г.Б.* К вопросу о петрохимической классификации метасоматических магнетитовых месторождений // Изв. вузов. Геология и разведка. 1987. № 3. С. 62–66.
19. *Князев Г.Б.* Магнетитовые месторождения пироксен-амфиболового и пироксен-амфибол-хлоритового минеральных типов // Изв. вузов. Геология и разведка. 1992. № 6. С. 52–58.
20. *Князев Г.Б.* Магнетитовые месторождения в палеозойских терригенных и терригенно-вулканогенных отложениях Западного Саяна и Горного Алтая // Проблемы металлогении юга Западной Сибири. Мат-лы научной конференции, 10–11 июня 1999 г., г. Томск. Томск, 1999. С. 97–100.
21. *Магнетитовые руды* Кустанайской области и пути их использования / Под ред. А.П.Бардина. – М.: АН СССР, 1958.
22. *Мазуров М.П.* Генетические модели скарновых железорудных формаций. – Новосибирск: Наука, 1985.
23. *Обвинников Л.Н.* Контактково-метасоматические месторождения Среднего и Северного Урала. – Свердловск: Уральский филиал АН СССР, 1960.
24. *Проблемы генезиса, закономерности размещения и перспективы железорудения Алтае-Саянской складчатой области.* Ч. 1. Вопросы генезиса / Под ред. В.А.Кузнецова, А.М.Дымкина. – Новосибирск: Институт геологии и геофизики СО АН СССР, 1974.
25. *Соколов Г.А., Дымкин А.М.* К вопросу о классификации контактово-метасоматических железорудных месторождений // Геология и генезис магнетитовых месторождений Сибири. М., 1967. С. 5–15.

УДК 550.84:553.411

© А.В.Клещенков, Г.В.Зеленщиков, 2012

ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ОТ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НА ПРИМЕРЕ КЕРЧИКСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ В ВОСТОЧНОМ ДОНБАССЕ, РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ

А.В.Клещенков (Институт аридных зон ЮНЦ РАН), Г.В.Зеленщиков (ОАО «Южгеология»)

Рассмотрены результаты исследования газогеохимических ореолов от золоторудных залежей, расположенных в пределах Керчикского рудопроявления в Восточном Донбассе. В почвенном воздухе над рудными залежами установлены повышенные концентрации сингенетических и эпигенетических газов. Предлагается использовать газогеохимические методы при поисках и разведке погребенных рудных залежей на других площадях Юга России.

Ключевые слова: газогеохимия, почвенный воздух, золото, руда, Восточный Донбасс.

Клещенков Алексей Владимирович, geo@ssc-ras.ru, Зеленщиков Геннадий Викторович, southgeology@mail.ru

INVESTIGATION OF SOIL-GAS EFFECTS OF ORE LODES IN THE KERCHIK ORE DEPOSIT IN EASTERN DONBASS, ROSTOV REGION CASE STUDY

A.V.Kleshchenkov, G.V.Zelenshchikov

The results of investigation of soil-gas halos from gold ore lodes located in the Kerchik ore deposit in Eastern Donbass are considered. We found that the ore lodes manifest themselves in high concentrations of syngenetic and epigenetic gases in the soil air. It is proposed to use the soil-gas methods in prospecting and exploration for buried ore deposits in other areas of Southern Russia.

Key words: gas-geochemistry, soil gas, gold, ore, Eastern Donbass.

Сокращение фонда залежей полезных ископаемых, близко расположенных или выходящих на дневную поверхность, в современных условиях делает очевидными перспективы приращения минерально-сырьевой базы, прежде всего, за счет погребенных «слепых» рудных объектов, скрытых под толщей перекрывающих отложений. Прогнозирование таких объектов возможно на основе комплексного подхода к изучению эффектов от рудной залежи, проявляющихся в геофизических, геохимических,

бенных «слепых» рудных объектов, скрытых под толщей перекрывающих отложений. Прогнозирование таких объектов возможно на основе комплексного подхода к изучению эффектов от рудной залежи, проявляющихся в геофизических, геохимических,

ческих полях, а также фиксируемых по результатам обработки космических снимков. Рассмотрим опыт изучения газогеохимических ореолов от золоторудных залежей, находящихся в пределах Керчикского рудопроявления (Восточный Донбасс).

Керчикское рудопроявление расположено в Восточном Донбассе в 32 км к юго-востоку от г. Шахты. Рудовмещающими являются породы палеозойского складчатого фундамента, сложенные среднекаменноугольными отложениями каменной свиты (переслаивание аргиллитов, алевролитов, песчаников с редкими прослоями известняков и углей) и прорывающими их магматическими образованиями несветаевского (трахиандезиты, андезиты) и миусско-керчикского (лампрофиры) комплексов юрского возраста. Развитие магматитов связывается с зоной Керчикского глубинного разлома, послужившего магмоподводящим каналом в период юрской тектономагматической активизации [2].

Золоторудная минерализация локализуется в пределах контура метасоматически преобразованных пород безрезитового типа, развивающихся вблизи системы сближенных разрывных нарушений, образующих своеобразный тектонический каркас типа линейного штокверка северо-восточного простирания.

Внутреннее строение штокверка определяется системой разнонаправленных золото-сульфидно-кварцевых прожилков и жил и ореолом тонкой вкрапленности сульфидов с золотом в метасоматически преобразованных породах терригенного и интрузивного комплексов. Наиболее интенсивно прожилково-вкрапленная и прожилковая минерализация с высоким содержанием сульфидов проявляется в крутопадающих секущих тектонических зонах, сопровождающихся интенсивной гидротермально-метасоматической проработкой, а также в эндо- и экзоконтактных частях интрузивных тел среднего состава. Ведущие рудные минералы —

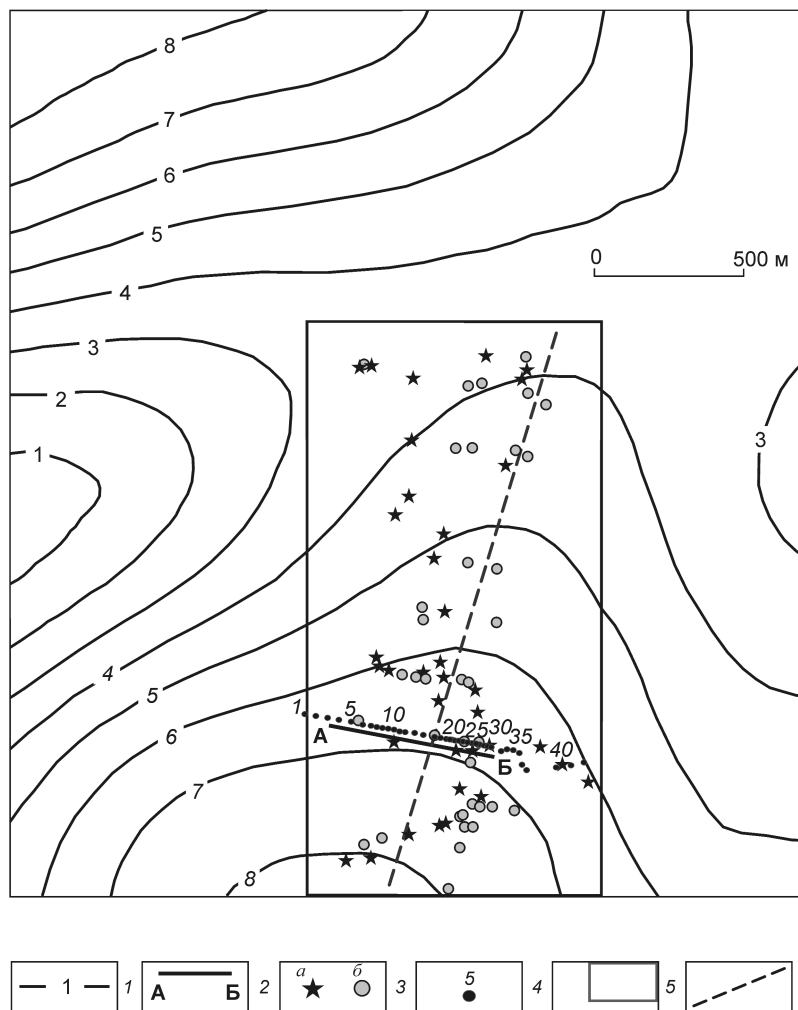


Рис. 1. Схематическая карта флюидонасыщения (метан) Керчикского участка по результатам МДФ:

1 — изолинии флюидонасыщения (интенсивность в усл. ед.); 2 — положение геологического профиля; 3 — поисковые скважины, вскрывшие (а) и не вскрывшие (б) золотое оруденение; 4 — точки опробования газового поля подпочвенного слоя; 5 — граница Керчикского рудопроявления; 6 — ось штокверка

пирит, галенит, сфалерит, реже молибденит, сербросодержащие сульфосоли висмута, самородный мышьяк. Среди жильных минералов преобладают кварц, карбонаты, серицит, иногда хлорит. Золото присутствует в самородном виде в кварце или выполняет микротрещины в сульфидах. Линейно-штокверная зона золото-кварц-сульфидной минерализации в пределах Керчикского рудопроявления прослежена на 1,9 км в субмеридиональном направлении при ширине 150–300 м и изучена на глубину до -200 м [3].

Исследование проходило в два этапа. На первом этапе на основе опыта применения метода дистанционной флюидоиндексации (МДФ) поиска руд

благородных металлов, описанном в предыдущих работах [1, 6], Д.Б.Давыденко был рассчитан индекс флюидонасыщения легкими углеводородами (ИФЛ). Индекс рассчитывался путем математических преобразований космических снимков Landsat-7 с получением значения ИФЛ по регулярной сети с шагом 60 м. На карте, отражающей пространственное распределение индекса ИФЛ на территории Восточного Донбасса, выделены аномалии. В дальнейшем они сопоставлялись с перспективными площадями и участками детализационных геологоразведочных работ на благородные и цветные металлы. В результате на территории Восточного Донбасса была установлена высокая согласованность их взаиморасположения, что показано на примере Керчикского рудопроявления (рис. 1). Как видно из приведенного рисунка, прослеживается взаимосвязь ориентировки изолиний интенсивности поля ИФЛ с простираемостью зоны внедрения интрузий.

На втором этапе в целях дальнейшей локализации рудных тел на рудопроявлении нами были проведены наземные газогеохимические исследования. Целесообразность использования газовых компонентов в качестве геохимических индикаторов при проведении поисково-разведочных работ и для решения отдельных вопросов геологического строения месторождений и локализации рудных тел подтверждена работами Н.Н.Куликовой [5], А.И.Фридмана [7], М.А.Карасика [4] и др. Положительный опыт применения этих методов был получен для различных геолого-структурных условий залежей. Вместе с тем, данное направление широкого применения в практике геологоразведочных работ в нашей стране не получило. Несколько иная ситуация сложилась за рубежом. Во многом с учетом работ советских исследователей с середины 70-х годов прошлого века в таких странах, как Великобритания, США, Китай, Австралия и других, активно развивались атмогеохимические методы. Они эффективно применялись при поиске и разведке полиметаллических и золоторудных месторождений [8, 9].

В пределах Керчикского рудопроявления точки опробования газового поля подпочвенного слоя заложены по профилю, расположенному вкостр простираения жил штокверкного тела с шагом, изменяющимся от 30 до 10 м. Пробы почвенного воздуха отбирались из шпуров глубиной 0,6 м с герметизацией устья. На каждой точке в почвенном воздухе одновременно измерялись концентрации CO_2 , O_2 , CH_4 газоанализатором АНКАТ, H_2 газоанализатором ВГ-2 и Rn газоанализатором РРА-01М Альфарад.

В соответствии с генетической классификацией газов А.И.Фридмана [7] измеренные газы были разделены на две группы: сингенетичные и эпигенетичные. К первой группе отнесены компоненты процесса рудообразования и сопутствующего ему термометаморфизма органического вещества угленосной толщи (H_2 , CH_4), а также Rn , поступающий с глубины по зонам разрывных нарушений, в которых могут быть локализованы рудные тела. Во вторую группу вошли газы, образующиеся в результате взаимодействия кислых растворов с рудным веществом и бактериального разложения сульфидов, протекающих в зоне гипергенеза и приводящих к накоплению углекислого газа (CO_2) с одновременным понижением концентрации кислорода (O_2). Произведя центрирование и нормирование измеренных концентраций указанных газовых компонентов для усиления полезного сигнала и гашения помех, нами рассчитаны аддитивный комплексный показатель для каждой группы газов. Они обозначены соответственно КП_1 (сингенетичные) и КП_2 (эпигенетичные). При расчете КП_2 в качестве меры изменчивости концентрации кислорода по профилю, согласно общепринятой практике [8], использован показатель $\Delta\text{O}_2 = 21\% - \text{O}_2_{\text{изм}}$, где 21% — концентрация кислорода в воздухе при нормальных условиях, а $\text{O}_2_{\text{изм}}$ — концентрация, определенная в пробе. Графики распределения КП_1 и КП_2 по профилю представлены на рис. 2.

На участке с 1 по 15 пикет показатель КП_1 изменяется в диапазоне от 19 до 55 баллов. При этом небольшие пики, приходящиеся на 3, 8 и 14 пикеты, по-видимому, связаны с влиянием разрывных нарушений, являющихся зонами повышенной проницаемости земной коры, к которым в западной части профиля приурочены малые рудные тела. Показатель КП_2 менее подвержен вариациям на данном отрезке профиля. Он изменяется в пределах 30–37 баллов, на пикете 11 составляет 55 баллов.

Далее при движении на восток по профилю на участке с 15 по 32 пикет при пересечении массива рудных зон интенсивность КП_1 увеличивается и достигает 75 баллов с максимумами на 17, 19, 24 и 30 пикетах. Аналогично ведет себя показатель КП_2 . Его интенсивность возрастает до 94 баллов. Прослеживаются три четко выраженные аномалии, приуроченные к основным крутопадающим зонам оруденения, подвергающимся на данном участке вторичному преобразованию с окислением сульфидов. В результате наблюдаются повышенные значения КП_2 .

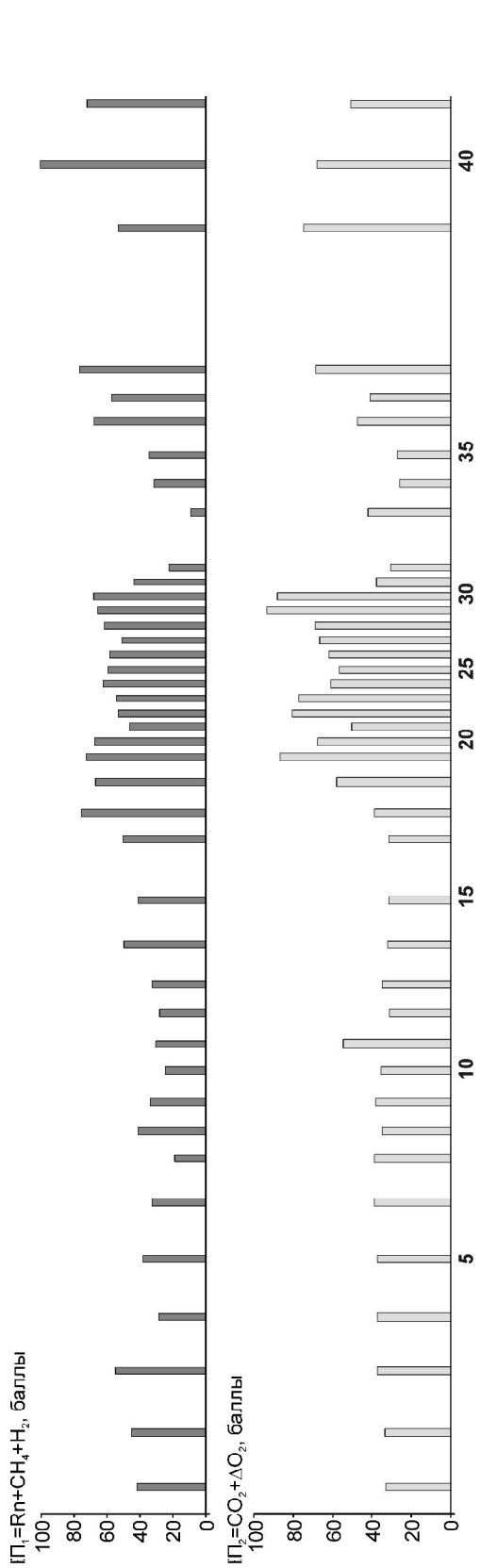
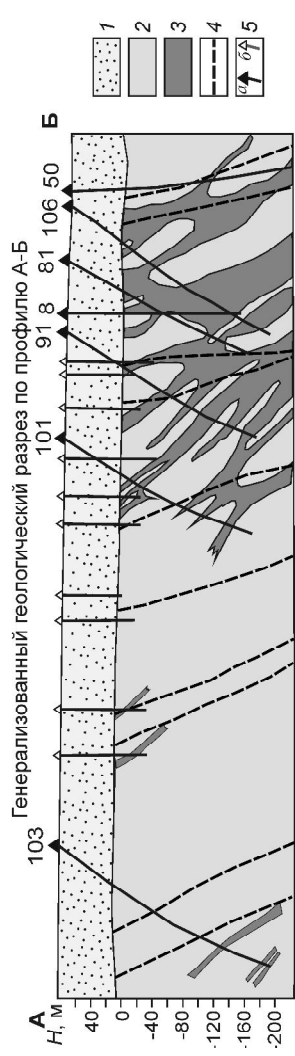


Рис. 2. Содержание компонентов газового поля в почвенном слое вдоль профиля А-Б:
 1 — палеоген-неогеновые рыхлые отложения; 2 — среднекаменноугольные измененные метасоматические терригенные породы и секущие их малоомощные дайки основного-среднего состава; 3 — намеченный по результатам бурения рудоносный штокерк с прожилково-вкрапленным золото-сульфидно-кварцевым оруденением; 4 — разломы; 5 — скважины (а — поисковые, б — катировочные)



В восточной части профиля с 32 по 42 пикеты на графиках КП₁ и КП₂ фиксируются участки повышения их интенсивности, приходящиеся на 36, 38 и 40 пикеты со значениями на уровне до 75 и 120 баллов соответственно. Это позволяет предположить наличие дополнительно трех рудных зон и приращение рудного объекта на востоке.

Исследование состава почвенного воздуха над рудоносным штокерком показало интенсивное проявление рудных зон в газовых полях. Приведенный на примере Керчикского рудопроявления опыт обнаружения погребенных рудных тел целесообразно применить и на других площадях. Преобладающий в Восточном Донбассе гидротермальный тип оруденения характеризуется тем, что формирование рудных залежей происходит со значительным выделением эндогенной энергии, затрачиваемой на дифференциацию вещества. При этом рудоформирующий процесс оставляет долгоживущие в геологическом масштабе времени следы в земной коре, в качестве которых выступают природные газы. Совместное использование наземной геохимической съемки и результатов обработки материалов дистанционного зондирования Земли, которые фиксируют изменения спектральной отражающей способности ландшафта, вызванные геохимическими процессами в надпродуктивной толще, позволят повысить надежность и эффективность выделения погребенных рудных залежей.

Авторы выражают благодарность М.А.Папазову и А.Г.Костенецкому за помощь в проведении экспедиционных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыденко Д.Б. Прогнозирование полезных ископаемых по дистанционным и геофизическим данным // Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. Ростов-на-Дону, 2005. С. 273–290.
2. Зеленищев Г.В., Курбанов Н.К., Кучеревский П.Г., Радаева Т.П. Перспективы золотоносности Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена // Руды и металлы. 2001. № 2. С. 26–35.
3. Зеленищев Г.В., Радаева Т.П., Макарюха С.В. Условия локализации, поисковые признаки и оценка перспектив золотоносности юго-восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена // Вопросы геологии и освоения недр юга России. Ростов-на-Дону, 2007. С. 85–93.
4. Карасик М.А., Кирилица С.И., Герасимова Л.И. Атмогеохимические методы поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1986.
5. Куликова Н.Н. О применении газокерновой съемки для обнаружения слепых рудных зон в районе Балейского месторождения // Изв. вузов. Геология и разведка. 1960. № 12. С. 78–82.
6. Парада С.Г., Зеленищев Г.В., Давыденко Д.Б. Опыт применения дистанционной флюидоиндексации для поиска руд благородных металлов и их спутников на юге России // Руды и металлы. 2011. № 3–4. С. 134–135.
7. Фридман А.И. Природные газы рудных месторождений. – М.: Недра, 1970.
8. *Geochemical Remote Sensing of the Subsurface* / M.Hale (ed.) // Handbook of Exploration Geochemistry. 2000. Vol. 7. Elsevier (Amsterdam).
9. Klusman R.W. Soil gas and related methods for natural resource exploration // John Wiley&Sons Ltd. (Chichester, England). 1993.

УДК 551.432+553.068.54+553.81 (665.2) © Н.И.Корчуганова, О.В.Хотылев, Д.Г.Загубный, А.В.Сурков, 2012

СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МАКОНСКОГО РАЙОНА (ЛЕСНАЯ ГВИНЕЯ) И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РОССЫПНУЮ АЛМАЗОНОСНОСТЬ

Н.И.Корчуганова (РГГРУ), О.В.Хотылев (ООО «ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ»), Д.Г.Загубный (ИМГРЭ Роснедра Минприроды России), А.В.Сурков

Рассмотрено структурно-геоморфологическое строение Маконского района, охарактеризованы выраженные в рельефе разноамплитудные поднятия, разномасштабные эрозионно-тектонические впадины, активизированные на новейшем этапе и новообразованные разрывные нарушения. Выделены типы структурно-геоморфологических ловушек полезного компонента.

Ключевые слова: Лесная Гвинея, новейшие поднятия, эрозионно-тектонические впадины, разломы, россыпи алмазов, методы поисков, структурно-геоморфологические ловушки.

Корчуганова Нелля Иосифовна, nkorchuganova@mail.ru, Хотылев Олег Владимирович, hot63@mail.ru, Загубный Дмитрий Геннадьевич, zagubnyi@mail.ru, Сурков Александр Владимирович

STRUCTURAL-GEOMORPHOLOGICAL STRUCTURE OF MAKONA'S AREA (FOREST GUINEA) AND ITS INFLUENCE ON PLACER DIAMONDIFEROUSNESS

N.I.Korchuganova, O.V.Khotylev, D.G.Zagubnyi, A.V.Surkov

A structural-geomorphological structure of Makona's area is considered, pronounced in the relief different amplitude rises, different scales erosion and tectonic saggings, activated on the newest phase and newly formed faults are characterized. The types of structural-geomorphological traps of the useful component are selected.

Key words: Forest Guinea, newest rises, erosion and tectonic sagging, faults, diamond placers, methods of prospecting, structural-geomorphological traps.

При прогнозировании и поисках россыпей применяются разные методы, направленные как на непосредственное обнаружение месторождений, так и на выявление и анализ поисковых предпосылок и признаков [12]. В мировой практике при поисках россыпей алмазов и их коренных источников используются различные исторически сложив-

шиеся методы, на которые существенно повлияла географическая среда. Они разделены на несколько групп [2].

Английский, или западноафриканский, метод формировался в Западной Африке, где поиски приходилось вести в условиях расчлененного рельефа и врезанной речной сети с галечным аллювием и со

значительным разносом алмазов от коренных источников. Основа метода — опробование на алмазы и их спутники аллювиальных преимущественно русловых отложений крупных рек снизу вверх по долине от устья до истоков. В первую очередь опробуются крупные реки, а затем их притоки. В пробы отбирается материал объемом 0,5–2 м³ с интервалом 5–10 до 15 км. В случае обнаружения крупных алмазов объем проб увеличивается до 10 м³ и более.

Бельгийский метод возник в экваториальных труднопроходимых лесах Бельгийского Конго и ориентирован на опробование притоков основных рек в точках пересечения их дорогами и тропами. В этих точках, а также на участках выше и ниже по течению водотока отбирались мелко- или крупно-объемные пробы, в результате чего плотность опробования составляла нередко 1 проба на 10–15 км².

В южноафриканском методе используется шлиховое опробование как речного аллювия, так и делювия склонов, элювия водоразделов, а также древних терригенных отложений. Отбираются шлиховые пробы объемом от 8 до 30 л со сгущением сети опробования в точках с повышенными концентрациями полезных компонентов.

В отечественной практике при поисковых работах производится шлиховое опробование территории по равномерной сети. Интервал отбора проб зависит от масштаба работ и изменяется от 2 до 0,5 км. Объем отбираемого в пробу материала составляет 20 л. Опробование осуществляется как по рыхлым аллювиальным, делювиальным, пролювиальным и элювиальным образованиям, так и по коренным потенциально алмазоносным терригенным отложениям, вскрытым в естественных обнажениях или горных выработках [2].

Как видим из краткой характеристики методов, пробы отбираются по редкой сети случайным образом или, напротив, по относительно густой для достижения при этом ее равномерности. В первом случае очевидна вероятность пропуска объекта, во втором такая вероятность мала, но продолжительны сроки и высоки затраты на проведение подобных работ.

В настоящее время наличие материалов дистанционного зондирования Земли, в том числе в открытом доступе в Интернете, и данных цифрового рельефа (SRTM) позволяют существенно изменить методику работ с проведением предварительной обработки этих данных непосредственно перед полевыми работами и выделением «ловушек», в которых предполагается отбор проб в первую очередь. Это значительно сокращает временные и материальные затраты на опробование территории.

Методика работ. Территория среднего и верхнего течения р. Макона (Республика Гвинея, Лесная Гвинея), на которой нами выполнялись исследования, отличается плохими обнаженностью и проходимостью, слабой изученностью. В связи с этим при поиске россыпей применялся опережающий анализ материалов дистанционного зондирования и цифрового рельефа для определения мест возможного россыпеобразования. При поиске россыпей неоген-четвертичного возраста важно изучение новейших структурных форм, выраженных в рельефе (конэррозионных), и избирательного характера их расчленения по зонам разрывов и повышенной трещиноватости пород. Для локализации мест возможного образования россыпей большое значение имеет восстановление палеогеоморфологических обстановок и стадий становления в рельефе новейших поднятий, позволяющее подойти с исторических позиций к определению направления транзита аллювия, а также сохранившихся или утраченных связей рек с источниками питания россыпей [7, 8]. Поэтому, помимо изучения неотектонического и современного структурного плана, выраженного в рельефе, осуществлялась реконструкция палеорельефа (поверхностей выравнивания, палеодолин и проч.). Результаты структурно-геоморфологических исследований служили основой для выделения поисковых предпосылок возможного россыпеобразования и выбора мест шлихового опробования. Для объективной оценки выделенных экспертами поисковых предпосылок и определения очередности полевых исследований выполнялся компьютерный расчет с помощью программы Lineament [4].

При полевых работах в местах, выбранных дистанционно на первом этапе, опробовались русловые, пойменные и террасовые отложения на наличие минералов-индикаторов алмазоносности. Сначала отбирались шлиховые пробы объемом 20 л, а в случае присутствия минералов-спутников алмаза — объемом 2 м³ и более для возможного получения кристаллов полезного компонента.

Геологическое строение района. Метаморфические породы района по аналогии с территорией Сьерра-Леоне объединяются в серию Камбюю, состоящую из кристаллических сланцев свиты Курабо и железисто-кремнистых пород свиты Кунтая [3]. Они локально распространены в центральной и юго-восточной частях района, представлены пироксенсодержащими кристаллическими сланцами, амфиболитами и метагаббро. Выходы пород, возраст которых определен как раннеархейский, обладают сложной морфологией вследствие складчатых деформаций. Метаморфические породы

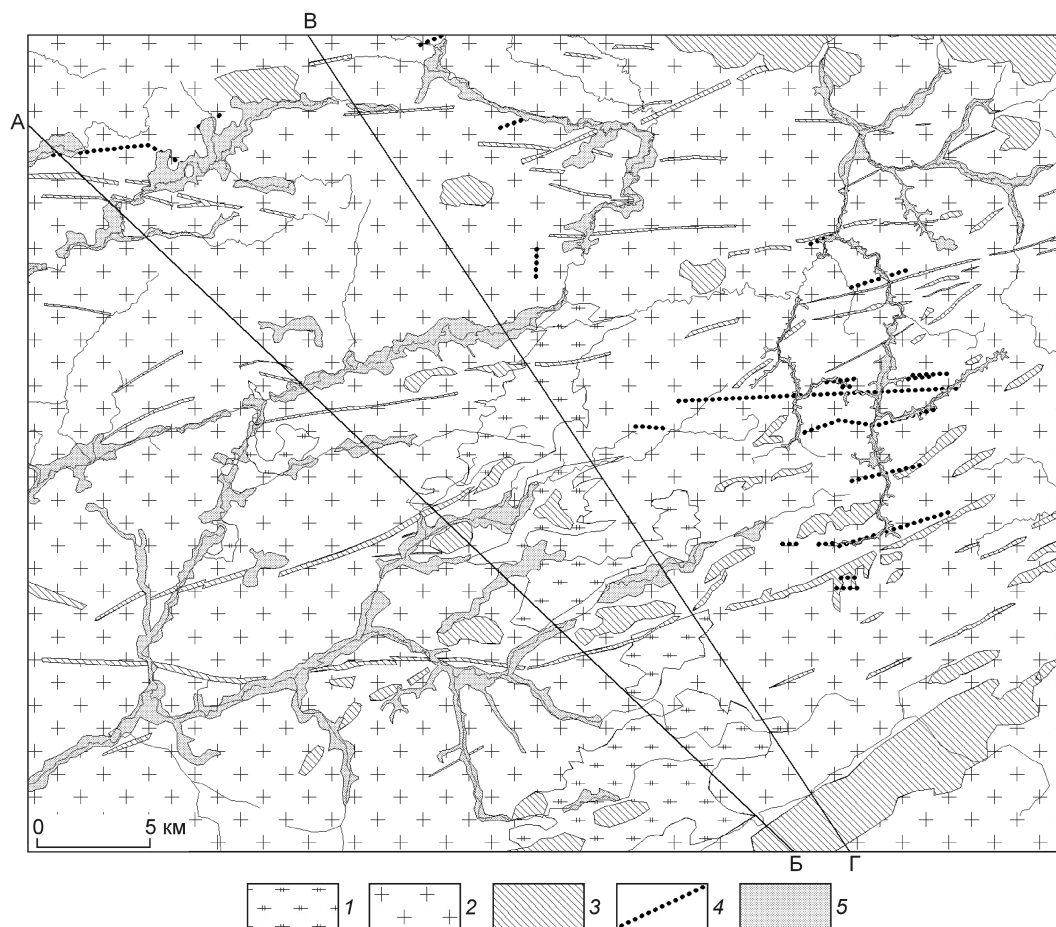


Рис. 1. Геологическая карта Маконского района, составлена с использованием материалов Ю.Н.Дерюгина, И.Т.Козлова, Б.М.Михайлова, В.М.Подчасова и др.:

1 — нижний архей, серия Камбюи, кристаллические сланцы и амфиболиты, метагаббро; 2 — архей нерасчлененный, гранодиориты, граносиениты; 3 — триас–юра, долериты; 4 — нижняя юра, кимберлиты; 5 — четвертичные отложения

вскрываются среди пород гранитоидного состава средне-позднеархейского возраста [1, 9], которые занимают практически всю изучаемую площадь (рис. 1). Петрографический и химический составы гранитоидов варьируют в широких пределах; встречаются щелочные и щелочноземельные граниты, гранодиориты, граносиениты, редко диориты.

Докембрийские породы прорваны серией мезозойских интрузивных тел, среди которых выделяются долериты и кимберлиты. Долериты — наиболее распространенные интрузивные породы платформенного этапа развития Лионо-Либерийского щита. На изучаемой площади представлены многочисленными дайками различного масштаба, реже штокообразными и силлообразными телами. Их абсолютный возраст 195–200 млн. лет. Исходя из этого формирование тел даек по времени можно отнести к границе триаса и юры. Протяженность

даек достигает нескольких километров (единичные прослеживаются до 10 км), мощность от первых до первых десятков метров, доминирующее простирание субширотно-северо-восточное. Силлообразные тела присутствуют в основном в юго-восточной части площади.

Кимберлиты, как и на остальной территории Гвинеи, прорывают долериты, имеют раннеюрский возраст [1, 6, 9 и др.] и принадлежат к Маконскому кимберлитовому полю [11]. Они представлены дайкообразными телами (хотя в других районах известны и мелкие трубки взрыва) субширотного и восток–северо-восточного простираний. Протяженность тел варьирует от первых сотен метров до 1,2 км. Мощность колеблется по простиранию и составляет от первых сантиметров до 4–5 м. Преобладают дайкообразные тела мощностью 0,5 м. Падение преимущественно крутое, реже наклонное

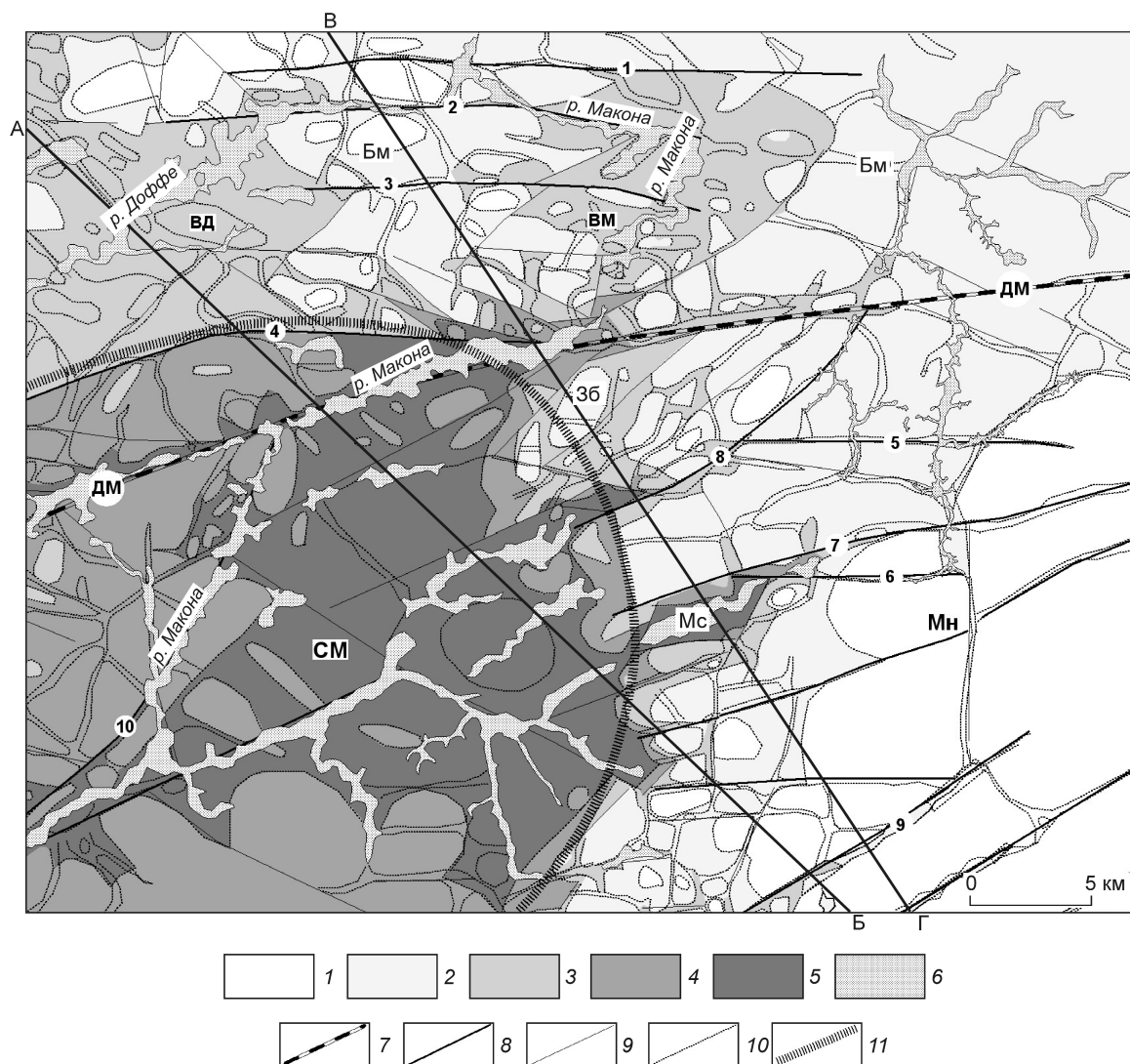


Рис. 2. Структурно-геоморфологическая карта Маконского района:

новейшие поднятия с амплитудами, м: 1 — <900, 2 — 800–900; относительные впадины, абсолютные отметки, м: 3 — 700–800, 4 — 600–700, 5 — >600; 6 — четвертичные отложения; 7 — региональный разлом (ДМ); разломы и зоны повышенной трещиноватости горных пород: 8 — главные, 9 — прочие; 10 — локальные структуры, выраженные в рельефе долинообразными впадинами и валообразными поднятиями; 11 — контуры мегаконцентрической структуры; названия структур: Мн — Мандалинское, Бм — Бамбая, Зб — Зембезу (поднятия), СМ — Средне-Маконская, ВМ — Верхне-Маконская, ВД — Верхне-Дофинская Мс — Массенинская (относительные впадины)

(до 30–65°). По химическому составу и структурно-минералогическим признакам кимберлиты Лесной Гвинеи относятся к лампрофировому (сланцевому) типу [1, 6, 9].

Кайнозойские отложения в районе работ представлены корами выветривания, образованиями склонового ряда и различными фациями аллювия пестрого состава.

Структурно-геоморфологическое строение района. Территория характеризуется денудационным расчлененным рельефом и абсолютными

отметками до 1000 м и более, что характерно для высоких так называемых активизированных на новейшем этапе платформ, к которым относится Африканская платформа.

Региональным Доффе-Маконским (ДМ) разломом восток–северо-восточного простирания протяженностью >80 км район разделен на две части (рис. 2). Разлом пересекает всю исследованную площадь и прослеживается далеко за ее пределами — к юго-западу по долине р. Доффе, а к востоку — до долины р. Мило. К нему приурочены

12-километровый отрезок долины р. Макона, резко изменившей свое простирание, а также р. Доффе, их притоки и долинообразные впадины. На востоке он контролирует кимберлитовую дайку. Региональный разлом оперяется разрывными нарушениями, образующими типичный для сдвигов структурный рисунок «конский хвост».

Северная часть района представлена поднятием Бамбая, абсолютные отметки которого составляют от 700 до 900 м и только в южной части, между Доффе-Маконским и оперяющим его разломом (4), не превышают 600–700 м. Поднятие Бамбая нарушено разломами, субширотные (1–3) из которых — наиболее протяженные (<20 км). Они маркируются преломлением долин рек при пересечении с ними, протяженными субширотными отрезками долин рек Макона и Доффе, узкими долинообразными понижениями на участках наибольших поднятий и продолжаются в смежные крупные относительные впадины. Так, к разлому 2 приурочены 7-километровый отрезок долины р. Макона и приблизительно 5-километровый р. Доффе. Примечательно, что кимберлитовые дайки, развитые севернее района, имеют доминирующее субширотное простирание, как и протяженная дайка кимберлитов, находящаяся к западу от него. Морфокинематический тип разломов предположительно сбросовый с крутым наклоном поверхностей сместителей к югу. Среди прочих разрывных нарушений на востоке выделены северо-западные, на западе также и северо-восточные, секущие по отношению к долеритовым дайкам, на юге — серия сбросов, выраженных в рельефе высокими и крутыми уступами.

Своеобразие рельефа и современного структурного плана северной части района обусловлено осложняющими поднятие Бамбая крупными Верхне-Маконской и Верхне-Доффинской эрозионно-тектоническими относительными впадинами. Верхне-Маконская впадина квазиизометричной морфологии имеет преимущественно эрозионные, а на отдельных участках эрозионно-тектонические ограничения. К ее центральной части приурочена долина р. Макона, реагирующая изменением ширины на пересекающие ее разломы и локальные структуры. На юго-юго-западном замыкании впадина осложнена мелкими разрывами и эрозионными останцами, с которыми связаны крутой ступенчатый невыработанный продольный профиль русла реки и водопады. Верхне-Доффинская относительная впадина открывается на юго-запад, нарушена широтными и диагональными разломами, дренируется долиной р. Доффе, простирание которой структурно предопределено. Во впадине развита

система узких долинообразных понижений в основном северо-западного простирания и локальных поднятий, дискордантных по отношению к дайкам долеритов, что позволяет предполагать их эрозионно-тектоническую природу.

Южная часть района отличается контрастным рельефом и значительным размахом абсолютных отметок (550–1000 м). Здесь резко обособляются Мандалинское поднятие и Средне-Маконская относительная впадина (рис. 3). Граница между ними на значительном протяжении выражена градиентными зонами — крутыми, местами обрывистыми денудационными, а на отдельных отрезках денудационно-тектоническими уступами. В Мандалинском поднятии наибольшие амплитуды отмечаются в юго-восточной части и снижаются к северо-западу, где обособляется сводообразное поднятие Зембезу. Мандалинское поднятие интенсивно нарушено протяженными разломами преимущественно северо-восточного простирания, к некоторым из которых (8, 9) приурочены выходы долеритов. Меньше развиты широтные и других простираний разломы и зоны повышенной трещиноватости пород. Кимберлитоконтролирующие широтные разломы (5, 6) активизированы на новейшем этапе. В южной части поднятия отмечается ортогональная сеть непротяженных слабых зон разрывов и повышенной трещиноватости, разработанных экзогенными процессами. Особенностью новейшего строения поднятия являются локальные приразломные впадины, наиболее крупная из которых Массенинская (см. рис. 2, 3) протяженностью >10 км при ширине до 2,5 км. Она контролируется сдвигом 7, прослеживаемым на расстояние ~20 км, и оперяющими его разрывами. Днище впадины ровное, выполнено четвертичными отложениями, борта крутые и обрывистые. Впадина ступенчатого строения, ее наиболее опущенная часть протяженностью 6 км надстраивается к северо-востоку через тектонический уступ узкой (~1 км) долинообразной впадиной, днище которой находится на более высоком гипсометрическом уровне. Схожее ступенчатое, каскадное строение имеют впадины, контролируемые разломами 8 и 9.

Средне-Маконская обширная впадина обрамляется с запада и юга малоамплитудными поднятиями. Система относительных опусканий впадины имеет в целом дугообразное ограничение, определяющее в пределах района ее полуконцентрическую морфологию. Абсолютные отметки днища впадины составляют от 550 до 600 м. К ее западному борту приурочена долина р. Макона, на значительном протяжении предопределенная тектоническими структурами (10). Впадина осложнена главным образом

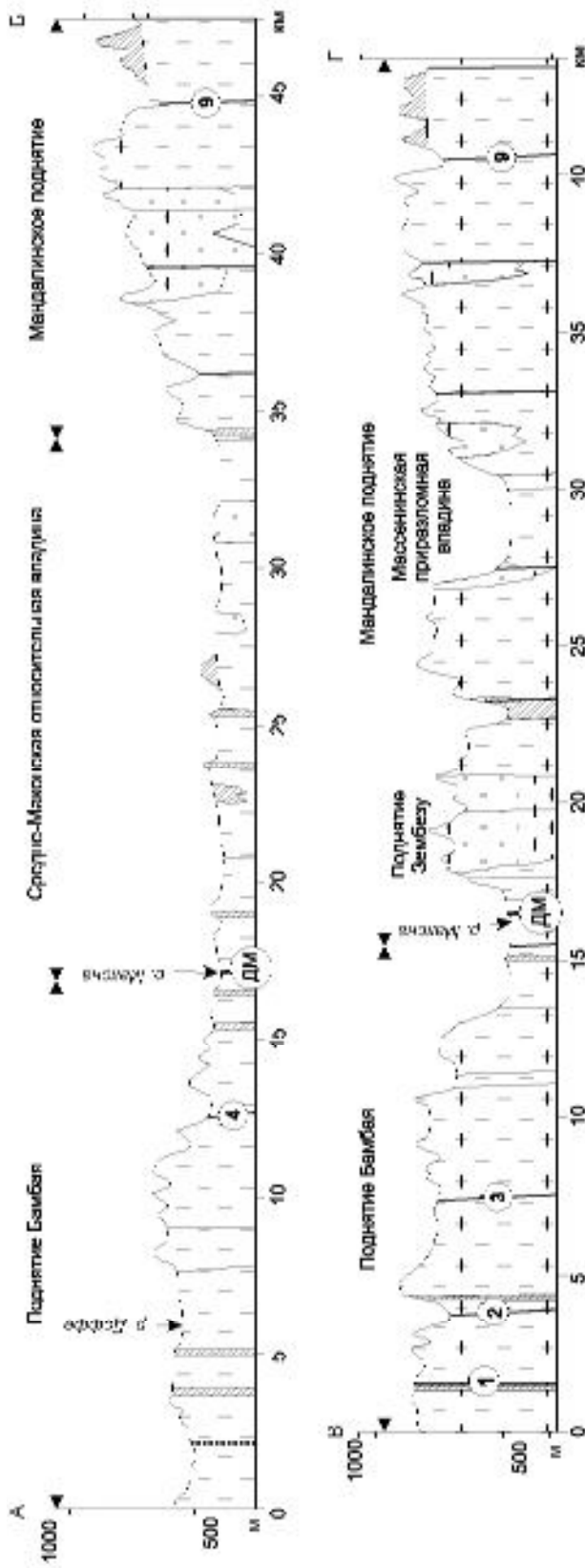


Рис. 3. Геолого-геоморфологические разрезы:

положение разрезов и разломов см. рис. 2; усл. обозн. см. рис. 1

северо-восточными, менее северо-западными разрывами и зонами трещиноватости; на юге в рельефе наблюдаются широтно ориентированные узкие долинообразные понижения.

Структурно-геоморфологические ловушки полезного компонента. Алмазные месторождения Республики Гвинея входят в единую провинцию с месторождениями Сьерра-Леоне. Россыпные алмазы впервые обнаружены в 1932 г. в верхнем течении р. Макона. В настоящее время все алмазы в Гвинее добываются мелкими компаниями. Промышленные их запасы сосредоточены в отложениях современной речной сети. Все они связаны с кимберлитовыми телами. Характерная особенность кимберлитов Гвинеи — низкая алмазоносность трубчатых тел (<0,7 кар./м³) и необычно высокая в жилах (до 25,0 кар./м³), которые в связи с малой мощностью (<1,0 м) не эксплуатируются. Вместе с тем на многих участках они служат источником для формирования богатых россыпей.

В зависимости от типа и удаленности коренного источника выделяют россыпи алмазов ближнего, умеренного и дальнего сноса и переотложения. По данным работы [5], алмазоносные россыпи в Гвинее, сформированные единичными дайками и мелкими трубками, протягиваются от коренного источника в зависимости от мощности и расположения кимберлитового тела на расстояние от первых сотен метров до 1–1,5 км. Обычно алмазоносные россыпи ближнего сноса в пределах крупных платформенных поднятий приурочены к зонам сочленения небольших сводов и валов с впадинами и прогибами и к флексурам. Россыпи умеренного сноса, не совсем утратившие пространственную и генетическую связь с первичными коренными источниками, и россыпи дальнего переноса и переотложения тяготеют к зонам сочленения крупных долгоживущих положительных и отрицательных внутриплатформенных и краевых структур [10]. В связи с высокой миграционной способностью алмазов высока роль локальных ловушек.

Результаты проведенных нами структурно-геоморфологических исследований вместе с данными дешифрирования четвертичных отложений по космическим снимкам позволили выявить типы ловушек полезного компонента. При этом, кроме структурно-геоморфологических критериев, учитывались и палеогеоморфологические (места унаследованного развития долин, перестройки гидросети, связанные с проявлением тектонической активности на новейшем этапе и усложнением структурного плана района к современной эпохе, что влияло на пути транзита и аккумуляции обломочного материала).

Среди структурных критериев выделены:

протяженные субширотные и северо-северо-восточные разломы, контролируемые в регионе кимберлитовые дайки, которые могут быть коренными источниками питания россыпей. По данным работы [5], следы наличия кимберлитовых даек и мелких трубок в крупных реках с расходами водных потоков $>10 \text{ м}^3/\text{с}$ могут фиксироваться лишь в непосредственной близости от коренного источника;

зоны контрастного сочленения разноамплитудных поднятий с относительными впадинами, особенно разрывной природы, и приразломные впадины типа pull-apart;

локальные ловушки в долинах прежде всего крупных рек, связанные с неровностями плотика, как следствия пересечения реками разрывных нарушений с вертикальными смещениями, а также зон повышенной трещиноватости горных пород;

участки унаследованного развития современных долин от древних, где вероятен перебив потенциальных промежуточных коллекторов.

В итоге полевых работ на отдельных участках района получены следующие данные.

В районе имеются коренные источники алмазов, которые размываются руслом р. Макона и ее притоками (главным образом в верховье), о чем свидетельствуют постоянно присутствующие в концентратах проб, отобранных непосредственно из русловых отложений и продуктивного горизонта террас, неокатанные изометричные обломки свежих, невыветрелых пиропов и пикроильменитов, интенсивные старательские отработки, а также протяженная россыпь, находящаяся на приразломном (см. рис. 2) участке долины.

В долине р. Макона алмазоносны как современные русловые отложения, так и террасового комплекса. Продуктивные осадки представлены двумя горизонтами. Верхний горизонт, отмечающийся не повсеместно, расположен в кровле второй надпойменной террасы, нижний (основной) — залегает на плотике на глубинах от 2–2,5 до 7–8 м; его мощность 0,25–0,5 м. На участках, опущенных

по разломам, продуктивный горизонт значительно обводнен, поэтому старателями обрабатываются только относительно поднятые блоки.

Долина р. Макона на отдельных участках имеет четковидную морфологию. Встречаются так называемые котлы — резкое локальное расширение русла реки обычно сразу после порога, как правило, обусловленного разрывом или поперечной к руслу дайкой долеритов. Такие котлы, отличающиеся ураганными содержаниями полезного компонента, известны в руслах алмазоносных рек в Анголе, Бразилии, Венесуэле, на р. Оранжевая в Южной Африке и др.

Притоки главных рек алмазоносны на тех участках, где они размывают террасы и наследуют палеодолины. При изучении минералогического состава тяжелой фракции проб, отобранных в притоках, в концентратах проб обнаружен только пикроильменит различной степени окатанности. Из генетических спутников алмаза этот минерал наиболее устойчив к процессам выветривания и переноса. Отсутствие пироба в концентратах проб может быть связано с неоднократным переотложением алмазоносного материала.

Минералогический анализ проб из гравийно-галечных отложений в структурно-геоморфологических ловушках на одном из участков долины р. Макона показал наличие минералов-спутников алмаза, а в одной из проб — кристаллов алмаза.

Таким образом, Маконский район в структурно-геоморфологическом отношении представляет разноамплитудное поднятие с общим уклоном к юго-западу, нарушенное разломами, некоторые из которых частично наследуют древние, в том числе кимберлитоконтролирующие. Субширотным транзитным разломом район разделен на две части, южная часть отличается более контрастным рельефом. Особенность новейшего строения района — существование на фоне поднятий крупных относительных эрозионно-тектонических впадин, а также локальных впадин разной морфологии, из которых клиновидные, очевидно, относятся к присдвиговым типа pull-apart.

Структурные предпосылки поисков россыпей и типы структурно-геоморфологических ловушек, выявленные дистанционно на этапе предварительных работ, нашли подтверждение при полевых исследованиях, сопровождавшихся минералогическим анализом концентратов проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимиров Б.М., Твердохлебов В.А., Колесникова Т.П.* Геология и петрография изверженных пород юго-западной части Гвинейско-Либерийского щита. — М.: Недра, 1971.

2. *Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки месторождений алмазов. Кн. 2. Россыпные месторождения* / В.Е.Минорин, В.М.Подчасов, И.Я.Богатых и др. – Якутск: СО РАН, 2004.
3. *Дерюгин Ю.Н.* Геология архея Гвинеи. – М.: Альфа-Принт, 2003.
4. *Загубный Д.Г.* Новая программа обработки векторных и растровых дистанционных материалов для ГИС // Исследование Земли из космоса. 2004. № 5. С. 21–27.
5. *Зубарев Б.Н.* Дайковый тип алмазных месторождений. – М.: Недра, 1989.
6. *Козлов И.Т.* К геологии и петрографии кимберлитов Гвинеи // Советская геология. 1966. № 6. С. 113–125.
7. *Корчуганова Н.И., Костенко Н.П., Межеловский И.Н.* Неотектонические методы при поисках полезных ископаемых. – М.: МПР, Геокарт, 2001.
8. *Костенко Н.П., Корчуганова Н.И.* Структурно-геоморфологические исследования при поисках полезных ископаемых («Структурный прогноз»). Статья 2. Применение метода при поисках россыпей // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1996. Т. 71. Вып. 6. С. 43–50.
9. *Михайлов Б.М.* Геология и полезные ископаемые западных районов Либерийского щита. – М.: Недра, 1987.
10. *Прокончук Б.И.* Алмазные россыпи и методика их прогнозирования и поисков. – М.: Недра, 1979.
11. *Россыпи алмазов мира* / В.М.Подчасов, М.Н.Евсеев, И.Я.Богатых и др. – М.: Геоинформ-марк, 2005. С. 223–255.
12. *Словарь по геологии россыпей* / Под ред. Н.А.Шило. – М.: Недра, 1985.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОИСКАХ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ



УДК 681.3.06:553

© А.М.Вахрушев, 2012

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МАССИВНЫХ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД НОРИЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.М.Вахрушев (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Анализируется компьютерная модель гравитационного расслоения многокомпонентного силикатного расплава в динамике его продвижения по длине магматического канала, что сопровождается обособлением и укрупнением диспергированных частиц рудосодержащего вещества с осаждением на дно канала. Анализ моделирования слипания частиц указывает на возможность образования крупных сульфидных агрегатов. Показана вероятность перемещения осевших сульфидных масс совместно с силикатной составляющей от тыловых к фронтальным частям интрузива.

Ключевые слова: Медно-никелевые месторождения, компьютерное моделирование, рудонакопление.

Вахрушев Андрей Михайлович, okt@tsnigri.ru

COMPUTER MODEL OF MASSIVE SULPHIDE CU-Ni ORES FORMING IN NORILSK DEPOSIT

A.M.Vahrushev

The author analyzes computer models of gravity stratification of the multi-compound silicate liquid during its moving along the magmatic channel. This process is accompanied by formation and growth of dispersed ore particles that are falling down to the bottom of the channel. Simultaneously the lateral zone distribution of different particles is taking place with possibility of forming large aggregated mineral nodules. The possibility of transporting massive sulfide masses simultaneously with the silicate liquid from the rear to the front of the intrusion was found.

Key words: Cu-Ni deposits, computer modeling, ore formation.

Базовые представления о формировании сульфидных залежей норильского типа при гравитационном разделении сульфидно-силикатных расплавов были разработаны М.Н.Годлевским [5] на основе наличия в расплавах сульфидных обособлений, не смешивающихся с силикатными составляющими. В дальнейшем эти подходы получили развитие в экспериментах М.Н.Годлевского и А.П.Лихачева [6]. В упомянутых экспериментах рассматривалось расслоение расплавов *in situ* в относительно стабильных магматических камерах. В других вариантах гравитационного разделения силикатных и рудных составляющих принимается дифференциация рудно-силикатных расплавов при их движении — однонаправленном или возвратно-поступательном [7–9].

В данной работе в качестве базовой принята модель рудонакопления, которая предполагает переход металлоносных выделений сульфидной жидкости, содержащихся в родоначальных магмах в рассеянной форме, во вкрапленные и массивные (сплошные) руды при последующей их раскристаллизации. Сульфидные капли, обладающие избыточной плотностью в сравнении с силикатным расплавом, осаждаются в гравитационном поле в донной

части магматического потока. Часть из них, не достигнув последней, кристаллизуется с возникновением залежей вкрапленных руд. Другая часть в результате гравитационного осаждения и взаимного слияния образует в придонной части магматического тела (на контакте с подстилающими породами) высокоплотностной сульфидный расплав.

Таким образом, принятая модель рудонакопления предполагает, что рудное вещество медно-никелевых месторождений норильского типа изначально обособлено в источниках (родоначальных магматических расплавах) в сульфидной форме, а процессы рудонакопления отвечают концентрированию сульфидных фаз. Последние при этом выступают в роли носителей металлов и в процессах раскристаллизации сульфидной жидкости слагают рудные тела, главные минералы которых — пирротин, пентландит, халькопирит — находятся в различных количественных соотношениях, что отражается на показателе металлоносности руд. Специфика рассматриваемой сульфидно-силикатной системы определяется различными плотностями обособленных выделений металлоносной сульфидной жидкости. Значения плотности в той или иной степени соответствуют,

как это допускается для упрощения модельных расчетов, плотностям главных минералов, которые разобобщаются в гравитационном поле с возникновением в крайних случаях мономинеральных руд.

В принятой модели рудонакопления сульфидных масс особый интерес представляет процесс формирования сульфидных капель, стремящихся в гравитационном поле к донным частям магматического потока за счет их слияния в полиминеральные сферы.

Результаты моделирования, описанные автором [2], не учитывали возможности слипания минеральных частиц, разрастания сульфидных капель и их слияния в разных пропорциях при пересечении траекторий (увеличение соотношений радиусов капель в 2,5–3 раза вызывает десятикратный рост угла траектории осаждения).

Исходя из анализа составов и содержаний компонентов в массивных и вкрапленных рудах Норильских интрузивов, рассчитано приближенное количественное соотношение между халькопиритом, пентландитом и пирротинном по составу руд, имеющее пропорцию 1:1:4. Ситуация со слипанием частиц смоделирована на основе варианта субгоризонтального канала [2] для максимального количества питающих фронтов, равного 100, и количества базовых частиц, поступающих в систему, равного 3 (одна частица халькопирита, одна — пентландита, четыре слившихся пирротинных частицы). В точке пересечения траекторий движения частиц фиксировалось их слипание, и возникала поликомпонентная частица.

Была проведена серия экспериментов с постепенным увеличением количества питающих волн в системе (20–40–60–80–100). Установлено, что при достижении определенной плотности питающей системы наблюдается процесс лавинообразного слипания частиц с образованием особенно крупного сульфидного агрегата. Самая крупная частица состоит из 3906 различных базовых частиц, имеет массу ~150 г и радиус порядка 2 см. Для сравнения, наиболее крупная базовая частица (пирротин) имеет массу 0,08 г, радиус 0,15 см.

Распределение масс и радиусов осевших слипшихся частиц по простиранию канала приведено на

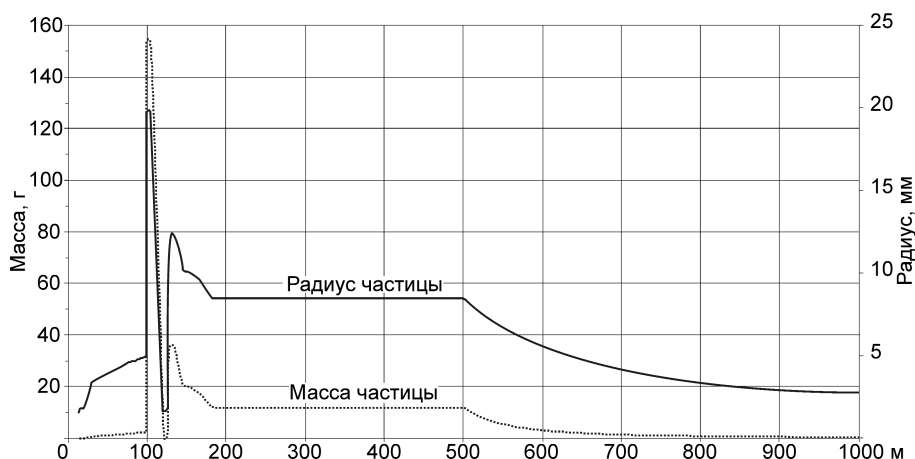


Рис. 1. Значения массы и радиуса осевших слипшихся частиц по простиранию

рис. 1, параметры некоторых образовавшихся частиц, представляющих особый интерес, — в табл. 1.

По результатам моделирования выявлено резкое нарастание крупности частиц с последующим переходом к стабилизации их масс и размеров. После образования крупной частицы добавление в систему питающих фронтов не вызывает вновь лавинообразного накопления, а лишь продлевает интервал стабилизации крупности частиц. Скорее всего, это следствие упорядоченности питающей системы [3, 4].

Установленное по результатам компьютерного моделирования обособление крупных сульфидных агрегатов можно рассматривать как предпосылку образования в придонных частях интрузива более плотной сульфидной жидкости, которая имеет гораздо меньшую вязкость, чем силикатный расплав, и выступает в роли смазки. Исходя из этого положения, проанализировано совместное течение двух разных по характеристикам несмешивающихся жидкостей в канале для различных соотношений мощностей слоев этих жидкостей.

При постановке задачи принято, что две несмешивающиеся жидкости под влиянием градиента давления текут в направлении оси z в горизонтальной щели длиной L и шириной W . Подходы к решению задачи с границей раздела жидкость–жидкость рассматривались Р.Бердом с соавторами для случая равенства между мощностями слоев различных по плотности и вязкости фаз [1]. Под щелью понимается область пространства, длина которого существенно (на порядки) превосходит ширину, и имеющего параллельные ограничения сверху и снизу. В нашем случае принято, что щель в заданном соотношении заполнена жидкостью I (более плотная фаза) и в оставшейся части — жидкостью II (менее плотная фаза) (рис. 2).

1. Составы и места осаждения некоторых слипшихся элементарных частиц

$X_{\text{осажд}}$ м	Параметры частиц				Число слипшихся элементарных частиц в результирующей частице			
	Радиус, м	Плотность, кг/м ³	Масса, кг	Объем, м ³	Всего	Пентландит	Халькопирит	Пирротин (x4)
102,25	$19,842 \cdot 10^{-3}$	4716,7	0,154	$3,27 \cdot 10^{-5}$	3906	1302	1302	1302
119,9	$1,587 \cdot 10^{-3}$	4800	$8,04 \cdot 10^{-5}$	$1,68 \cdot 10^{-8}$	1	0	0	1
122,47	$1,817 \cdot 10^{-3}$	4716,76	$1,19 \cdot 10^{-4}$	$2,51 \cdot 10^{-8}$	3	1	1	1
127,47	$1,817 \cdot 10^{-3}$	4716,7	$1,19 \cdot 10^{-4}$	$2,51 \cdot 10^{-8}$	3	1	1	1
130,36	$12,182 \cdot 10^{-3}$	4716,48	$3,57 \cdot 10^{-2}$	$7,57 \cdot 10^{-6}$	905	302	302	301
143,36	$10,298 \cdot 10^{-3}$	4716,7	$2,16 \cdot 10^{-2}$	$4,57 \cdot 10^{-6}$	546	182	182	182
153,82	$10,027 \cdot 10^{-3}$	4716,7	$1,99 \cdot 10^{-2}$	$4,22 \cdot 10^{-6}$	504	168	168	168
164,84	$9,633 \cdot 10^{-3}$	4716,7	$1,77 \cdot 10^{-2}$	$3,74 \cdot 10^{-6}$	447	149	149	149
173,43	$9,037 \cdot 10^{-3}$	4716,7	$1,46 \cdot 10^{-2}$	$3,09 \cdot 10^{-6}$	369	123	123	123
180,2	$8,573 \cdot 10^{-3}$	4716,7	$1,25 \cdot 10^{-2}$	$2,64 \cdot 10^{-6}$	315	105	105	105
185,47	$8,434 \cdot 10^{-3}$	4716,7	$1,19 \cdot 10^{-2}$	$2,51 \cdot 10^{-6}$	300	100	100	100
190,47	$8,434 \cdot 10^{-3}$	4716,7	$1,19 \cdot 10^{-2}$	$2,51 \cdot 10^{-6}$	300	100	100	100
Интервал стабилизации крупности частиц (185–505 м)								
500,47	$8,434 \cdot 10^{-3}$	4716,7	0,011854	$2,51 \cdot 10^{-6}$	300	100	100	100
505,65	$8,173 \cdot 10^{-3}$	4716,7	0,010787	$2,29 \cdot 10^{-6}$	273	91	91	91
511,15	$7,926 \cdot 10^{-3}$	4716,7	0,009839	$2,09 \cdot 10^{-6}$	249	83	83	83
517,1	$7,663 \cdot 10^{-3}$	4716,7	0,008891	$1,88 \cdot 10^{-6}$	225	75	75	75

Баланс количества движения, записанный для тонкого слоя, позволяет составить следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{d\tau_{xz}}{dx} = \frac{\Delta P}{L}. \quad (1)$$

Это уравнение справедливо для каждой фазы (I или II). Интегрирование его для двух областей течения дает:

$$\tau_{xz}^I = \left(\frac{\Delta P}{L}\right)x + C_1^I, \quad (2)$$

$$\tau_{xz}^{II} = \left(\frac{\Delta P}{L}\right)x + C_1^{II}. \quad (3)$$

Используя граничное условие, в котором утверждается, что перенос количества движения происходит без скачка на поверхности раздела фаз, т.е. при

$$x=0, \tau_{xz}^I = \tau_{xz}^{II}, \quad (4)$$

получим, что $C_1^I = C_1^{II}$ и константу интегрирования можно обозначить просто C_1 . Подставляя в уравнения (2) и (3) выражения для ньютоновского закона вязкости, получаем:

$$\mu^I \frac{dv_z^I}{dx} = \left(\frac{\Delta P}{L}\right)x + C_1, \quad (5)$$

$$\mu^{II} \frac{dv_z^{II}}{dx} = \left(\frac{\Delta P}{L}\right)x + C_1. \quad (6)$$

Интегрируя эти выражения, получаем:

$$v_z^I = -\left(\frac{\Delta P}{2\mu^I L}\right)x^2 - \frac{C_1}{\mu^I}x + C_2^I, \quad (7)$$

$$v_z^{II} = -\left(\frac{\Delta P}{2\mu^{II} L}\right)x^2 - \frac{C_1}{\mu^{II}}x + C_2^{II}. \quad (8)$$

Появившиеся константы интегрирования определяются на основе следующих трех дополнительных граничных условий:

$$\text{при } x = -b \quad v_z^I = 0, \quad (9)$$

$$\text{при } x = b \quad v_z^{II} = 0, \quad (10)$$

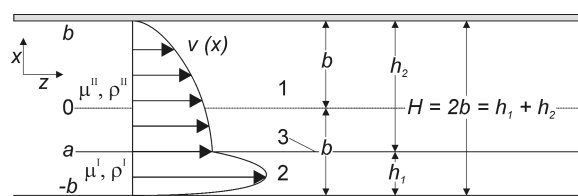


Рис. 2. Течение двух несмешивающихся жидкостей в тонкой щели под действием градиента давления, составлен с использованием материалов Р.Берда и др. [1]:

1 — менее плотная, более вязкая жидкость (силикатный расплав); 2 — более плотная, менее вязкая жидкость (сульфидный расплав); 3 — поверхность раздела фаз

при $x = a$ $v_z^I = v_z^{II}$. (11)

Из граничных условий получаем:

$$C_2^I = \frac{\Delta P}{2\mu^I L} b^2 - \frac{C_1}{\mu^I} b, \quad (12)$$

$$C_2^{II} = \frac{\Delta P}{2\mu^{II} L} b^2 + \frac{C_1}{\mu^{II}} b, \quad (13)$$

$$C_1 = \frac{\Delta P}{2L} \left[\frac{(a^2 - b^2)\mu^I + (b^2 - a^2)\mu^{II}}{(b-a)\mu^I + (a+b)\mu^{II}} \right]. \quad (14)$$

Для простоты расчетов принимаем:

$$k = \left[\frac{(a^2 - b^2)\mu^I + (b^2 - a^2)\mu^{II}}{(b-a)\mu^I + (a+b)\mu^{II}} \right]. \quad (15)$$

Подставляя выражения для констант интегрирования в уравнения профилей скоростей (7 и 8), получаем:

$$v_z^I = \frac{\Delta P}{2\mu^I L} (-x^2 - kx + b^2 - kb), \quad (16)$$

$$v_z^{II} = \frac{\Delta P}{2\mu^{II} L} (-x^2 - kx + b^2 + kb). \quad (17)$$

Значение средней скорости в каждом слое можно рассчитать по формулам 18 и 19.

Для сульфидной и силикатной фаз были приняты значения плотности, соответственно равные 4780 и 3000 кг/м³, а вязкости 10 и 1000 пуаз. Высота сечения $H=100$ м и, соответственно, полувысота канала $b=50$ м при протяженности его $L=42$ км. Соотношение мощностей сульфидного и силикатного слоев варьировалось в диапазоне от 0 (только силикатная составляющая, значение абсциссы линии раздела фаз $a=-b$, $h_1=0$, $h_2=100$) до 1 (равные по мощности слои сульфидной и силикатной жидкости, значение абсциссы линии раздела фаз $a=0$, $h_1=50$, $h_2=50$). Результаты расчетов приведены на рис. 3.

Наличие менее вязкой сульфидной смазки влияет на скорость продвижения силикатного расплава (см. рис. 3). Так, при толщине сульфидного слоя 10 см, средняя скорость движения силикатного расплава возрастает на 27%, а при значении 1 м — уже более чем в 2,5 раза. При отношении мощностей сульфидного и силикатного слоев 1 к 10 средняя скорость движения сульфидной составляющей становится больше скорости силикатного слоя и продолжает расти с увеличением этого соотноше-

ния. В то же время средняя скорость силикатной составляющей уменьшается [3, 4].

По результатам моделирования установлено, что сульфидная менее вязкая жидкость не только оказывает действие «смазки» на силикатную составляющую, но при существенной мощности слоя по скорости начинает ее опережать. Это подтверждает вероятность продвижения крупных масс осевшего сульфидного вещества в реальных природных системах, а в некоторых случаях даже говорит о возможности опережения сульфидными скоплениями фронта движущегося силикатного расплава [3, 4].

При объединении данных по распределению осевших слипшихся частиц с результатами расчетов совместного течения сульфидной и силикатной жидкости в канале получены оценочные значения точек равенства скоростей и пройденных расстояний сульфидного и силикатного расплавов, максимально возможной мощности накопленного сульфидного вещества. Было принято, что с момента осаждения особо крупной частицы (из серии экспериментов со слипанием частиц) в системе возникает сульфидный слой, выступающий в роли смазки для силикатного слоя и также перемещающийся по дну канала. При продвижении фронтов силикатного и сульфидного расплавов в придонной области мощность сульфидного слоя увеличивается по мере абсорбции им ранее осажденных частиц. Принято, что толщина слоя при каждом новом поглощении увеличивается на диаметр «подобранной» частицы, который с начала зоны стабилизации распределения не меняется. Таким образом, по мере продвижения фронта силикатного расплава увеличивается не только скорость, но и мощность придонного сульфидного слоя.

Рассчитана скорость движения фронтов разного состава. Когда фронт силикатного расплава пройдет 940 м, фронт сульфидного окажется на отметке 184 м при начальной точке движения 100 м. На промежутке от 100 до 184 м его средняя скорость будет составлять 0,1 скорости силикатного расплава. При этом происходит продвижение и позднее оседание частиц меньших диаметров. На отметке 184 м первая наиболее крупная осевшая частица «догоняет» первую более мелкую осевшую и мощность сульфидного слоя увеличивается на диаметр этой поглощенной частицы. В дальнейшем по мере продвижения сульфидного фронта он также поглощает другие

$$\langle v_z^I \rangle = \frac{1}{b} \int_{-b}^a v_z^I dx = \frac{\Delta P}{2\mu^I L(a+b)} \left[-\frac{1}{3}(a^3 - (-b)^3) - \frac{k}{2}(a^2 - (-b)^2) + b^2(a+b) - kb(a+b) \right], \quad (18)$$

$$\langle v_z^{II} \rangle = \frac{1}{b} \int_a^b v_z^{II} dx = \frac{\Delta P}{2\mu^{II} L(b-a)} \left[-\frac{1}{3}(b^3 - a^3) - \frac{k}{2}(b^2 - a^2) + b^2(b-a) + kb(b-a) \right]. \quad (19)$$

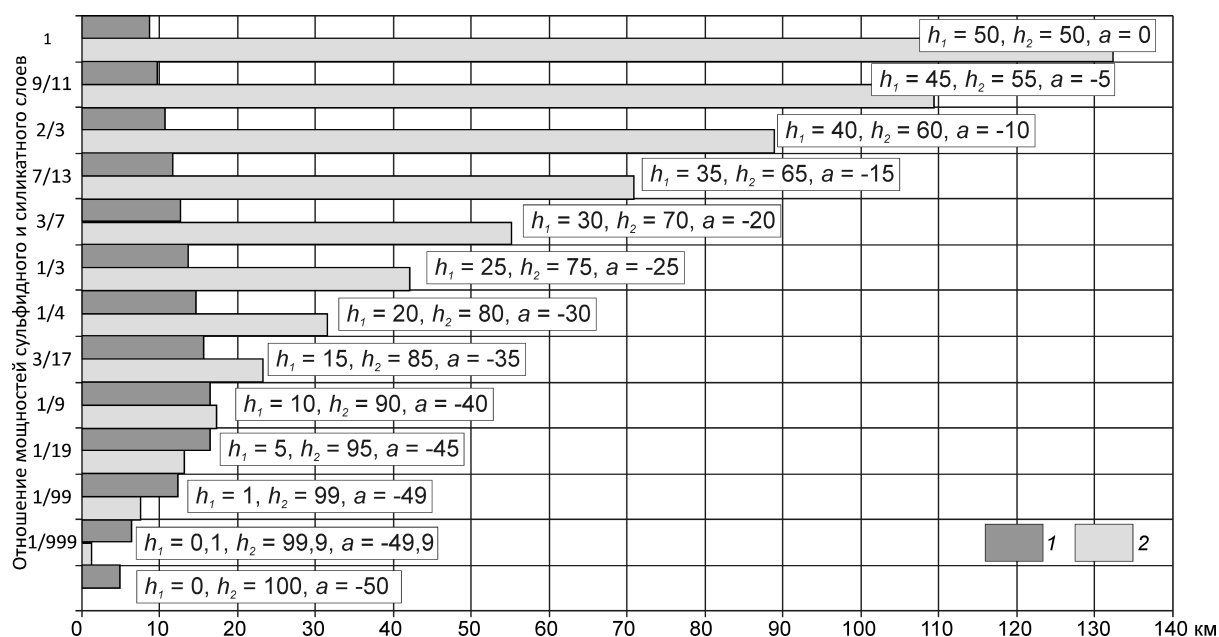


Рис. 3. Диаграмма дальности продвижения фронтов силикатного (1) и сульфидного (2) слоев для различных отношений их мощностей в канале высотой 100 м

осажденные частицы, увеличивая свою мощность и скорость продвижения (табл. 2).

Следует отметить такие реперные точки: точку возникновения равенства средних скоростей силикатной и сульфидной фракций около отметки 5300 м и точку на отметке около 9000 м, в которой теоретически могут поравняться фронты нулевой волны сульфидного и силикатного расплавов.

Изучение продвижения двухкомпонентного расплава выявило дифференциацию скоростей течения сульфидной и силикатной составляющих и возникновение эффекта «смазки», действующего со стороны сульфидной жидкости на силикатную.

Это вместе с анализом результатов экспериментов со слипанием частиц позволило установить точки равенства скоростей и пройденных расстояний сульфидного и силикатного расплавов, оценить максимальную возможную мощность накопленного вещества.

Таким образом, установлено, что при высокой удельной концентрации сульфидных частиц в расплаве образуются крупные быстро осаждающиеся обособления. Все это сопровождается существенным сокращением интервалов рудонакопления и возрастанием их продуктивности, что, в свою очередь, является предпосылкой образования в при-

2. Оценочные значения мощности, скорости и пройденного расстояния для сульфидного слоя в зависимости от продвижения фронта силикатного расплава

Расстояние, пройденное фронтом силикатного расплава, м	Расстояние, пройденное фронтом сульфидного расплава, м	Мощность слоя сульфидного расплава, м	Отношение средних скоростей движения сульфидного и силикатного расплавов
940	184	0,04	0,1
1000	193	0,084	0,19
1460	356	0,55	0,52
2000	652	1,45	0,65
3000	1200	3,15	0,73
4000	1747	4,85	0,8
5000	2750	8,1	0,94
5295	3059	9,1	1
6000	3797	11,5	1,17
7000	4845	14,9	1,47
8000	6359	18,6	1,93
9040	9039	27	3,52

донных частях канала значительных объемов сульфидной расплавленной жидкости. Последняя получает возможность перемещения совместно с силикатной составляющей от тыловых к фронтальным частям интрузива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берд Р., Стьюарт В., Лайтфут Е. Явления переноса. Перевод с английского. – М.: ХИМИЯ, 1974.
2. Вахрушев А.М. Обособление рудных компонентов в динамике перемещения рудно-силикатных расплавов по горизонтали (абстрактная модель) // Руды и металлы. 2008. № 5. С. 74–82.
3. Вахрушев А.М. Компьютерные модели обособления рудных масс при субгоризонтальном движении сульфидно-силикатных расплавов // Руды и металлы. 2010. № 6. С. 58–64.
4. Вахрушев А.М. Совершенствование поисковых критериев сульфидных медно-никелевых руд на основе моделирования гравитационной дифференциации силикатных расплавов сред // Руды и металлы. 2011. № 3–4. С. 31–32.
5. Годлевский М.Н. Магматические месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений. – М.: Недра, 1968.
6. Годлевский М.Н., Лихачев А.П. Экспериментальные и физико-химические данные о формировании медно-никелевых месторождений // Проблемы петрологии в связи с сульфидным медно-никелевым рудообразованием. М., 1981. С. 138–147.
7. Лихачев А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006.
8. Налдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. – СПб.: СПбГУ, 2003.
9. Си-Ni-МППГ месторождения норильского типа. Сер. Модели месторождений благородных и цветных металлов / А.И.Кривцов, В.И.Кочнев-Первухов, О.М.Конкина и др. – М.: ЦНИГРИ, 2001.

УДК 550.8.053:519

© М.Ю.Черненко, 2012

МЕТОДОЛОГИЯ ИТЕРАЦИОННОГО МНОГОМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ

М.Ю.Черненко (ОАО «Южгеология», г. Ростов-на-Дону)

Предлагаемая инновационная методология итерационного многомерного моделирования геологических объектов и процессов позволяет на метрической основе в режиме диалога методом последовательного приближения решать проблемы оптимизации классификационных процедур при поисках и оценке полезных ископаемых, минерогенических построениях и может использоваться как часть системы управления геологическими знаниями. Приводятся примеры применения предлагаемых алгоритмов моделирования на золоторудных проявлениях Кумакского рудного поля и при изучении геохимической специализации геологических комплексов Оренбургского Урала.

Ключевые слова: методология, итерационное моделирование, геологический объект, геологический процесс, классификация, последовательное приближение, типоморфизм.

Черненко Михаил Юрьевич, chernenko-misha@mail.ru

METHODOLOGY OF ITERATIVE MULTIDIMENSIONAL MODELING FOR GEOLOGICAL OBJECTS AND PROCESSES

M.Yu.Chernenko

Proposed innovative methodology of iterative multidimensional modeling of geological objects and processes allows to solve problems of classification procedures optimization at exploration and estimation of mineral resources and at mineragenic prospects in dialogue mode by the technique of iteration or stepwise approximation. The methodology can also be used as part of geologic knowledge management system. Examples of proposed modeling algorithms usage at gold ore manifestation in Kumak ore field and at studying geochemical specialization of geological complexes in Orenburg region of the Urals are described.

Key words: methodology, iterative modeling, geological object, geological process, classification, iteration, stepwise approximation, typomorphism.

Под методологией общепринято понимать область методологической рефлексии способов получения, обоснования, изложения и проверки научного знания [5]. К основным методам исследований относятся: наблюдение, обобщение, индук-

ция, гипотеза (предположение), моделирование, количественное описание свойств и взаимосвязей объектов, прогноз и др. В свою очередь, под рефлексией понимается профессиональная деятельность геолога как субъекта-исследователя, направ-

ленная на анализ мышления, а также знания об объекте исследований, методах получения и обработки геологической информации.

Комплексное изучение геологических процессов на метрической основе дает большое количество цифровой параметрической и непараметрической информации. Число получаемых признаков может достигать многих десятков и даже сотен. Возникает естественная потребность оперативной математической обработки большого комплекса показателей и надлежащей их разбраковки в зависимости от поставленной геологической задачи. Параметры, участвующие в описании геологических объектов, должны быть не только достаточно корректно геологически интерпретированы, но и статистически достоверны. Данные требования к численной информации помогают обеспечивать надежную фактурную основу разработок, связанных с прогнозированием, поисками и оценкой полезных ископаемых. Информация для решения поставленных проблем обычно неявно содержится в матрицах данных, представленных в виде «объект – признак». Последние, в свою очередь, пригодны для использования алгоритмов распознавания образов, т.е. решения проблем классификации [2, 3, 6, 8, 9].

Исследовательский поиск оптимальной классификационной процедуры в рамках геологических работ проводится в условиях как определенности, так и неопределенности. Под геологической определенностью (неопределенностью) нами понимается текущее состояние знаний исследователя об объекте, в первую очередь — описание геологических тел и их характеристик, решение задач корреляции и классификации выделяемых геологических образований и т.п.

Варианты использования математического аппарата в условиях геологической определенности позволяют применять математический метод контролируемого обучения. К нему относятся методы, в которых априорное знание о принадлежности к определенным классам членов совокупности объектов используется при разработке классификационного правила для предсказания класса новых объектов наблюдения и проверки классификационных гипотез путем оценивания правила на совокупности данных. Одним из примеров в геологических исследованиях методов контролируемого обучения является применение дискриминантного анализа [2, 6, 8].

Варианты использования математического аппарата в условиях геологической неопределенности обязывают нас применять математический аппарат неконтролируемого обучения. К нему относятся методы, которые предварительно не

делают предположений о классах объектов и используются в основном для вскрытия внутренней структуры или основных черт поведения совокупности данных, а также для проверки правильности (однородности) совокупности данных и выявления выбросов, странных и неверных результатов.

Большинство методов неконтролируемого обучения основывается на идее нахождения кластеров точек в совокупности данных. Точки группируются на основе их близости и подобия в группы, и одним из исходных положений служит предположение о подобии свойств точек, являющихся отражением их близости в многомерном пространстве признаков.

В практике геологических исследований часто встречаются случаи вынужденного сочетания обоих подходов. Рефлексия геолога-исследователя с учетом информации предыдущих исследований, новых получаемых геологических данных и профессиональных предположений на личностном уровне приводит его к необходимости в процессе принятия геологического решения одновременного выбора уже известного или создания нового эталонного объекта и нормирования интерпретируемых данных к этому эталону.

Отечественной геологией создан уникальный научный базис по геологическим моделям. Одним из примеров могут служить прогнозно-поисковые комплексы месторождений благородных, цветных металлов и алмазов, созданные в ЦНИГРИ. В данной работе речь идет о потребности оперативной математической обработки получаемого комплекса параметрических показателей, оценке их информативности, статистической достоверности и геологической интерпретации.

Среди методов многомерного моделирования наиболее универсальный — метод главных компонент R -факторного анализа (МГК), сочетающий черты вышеописанных подходов в распознавании образов и позволяющий в более полном объеме производить геологическую интерпретацию наблюдаемой изменчивости. С точки зрения формальных математических требований [2–4, 6, 8, 9] этот метод относится к наиболее корректно геологически интерпретируемым. Во-первых, это сочетание компонентного, состоящего в исследовании дисперсий, и собственно факторного, состоящего в исследовании корреляций между переменными, анализов. Во-вторых, в ряде решений сочетаются детерминированный и стохастический подходы, что делает более корректными геологические выводы по результатам вычислений. Последнее положение выражается в следующем виде:

$$\hat{A} = U_k \Lambda^{1/2},$$

где A — матрица факторных нагрузок; U — выборочная матрица собственных векторов; Λ — диагональная матрица собственных чисел как выборки, так и совокупности; k — число факторов (компонент); (\wedge) — символ соответствующей выборочной оценки [2, 8].

Само моделирование геологических процессов или объектов представляет собой итерационный процесс. Под итерацией традиционно понимается «... повторение одной и той же операции, воспроизведение одной и той же структуры и т.п. Итерация может происходить с определенной модификацией предшественника. Характер изменения описывается итератором: $x_{i+1}=f(x_i)$. Итератор может быть линейным: $x_{i+1}=ax_i$ или нелинейным, например квадратичным $x_{i+1}=ax_i(1-x_i)$ [1]». В нашем случае при рассмотрении проблемы методологии итерационного моделирования под итератором понимается профессиональная рефлексия геолога-исследователя, принимающего в процессе моделирования геологические решения, в результате которых методом последовательного приближения в ходе ряда итераций ожидаются новые формы упорядоченности при поиске оптимальной классификационной процедуры. Фактически это форма диалога в системе «геолог – геологический объект».

Последовательность операций в предлагаемом итерационном цикле приведена в табл. 1.

После отбраковки признаков на следующем этапе моделирования повторяются процедуры вычислений факторного анализа (последующая итерация).

Опыт показывает, что в ходе геологической интерпретации результатов математической обработки, в том числе и методом главных компонент R -факторного анализа, имеем дело с тремя видами проявления изменчивости природных объектов — непрерывной, дискретной и дискретно-непрерывной. Цикличный подход к учету видов изменчивости признаков при описании природных объектов иллюстрируется табл. 2.

Таким образом, в условиях неопределенности, по комплексу участвующих в обработке геохимических, рудно-минералофизических, кристаллографических, декриптографических и других признаков, многие из которых имеют лишь косвенный характер при интерпретации геологических процессов, можно **методом последовательного приближения**, при тщательной разбраковке переменных по статистическим и геологическим критериям, получить достаточно объективную картину, отражающую особенности изучаемого геологического объекта или процесса.

В случае моделирования в условиях определенности, т.е. при наличии уже известных (эталонных)

классов геологических образований, построение модели целесообразно производить в два этапа:

выделение комплекса признаков на основании содержательной геологической интерпретации и статистической оценки степени типоморфизма;

непосредственное математическое описание наблюдаемой изменчивости в зависимости от характера решения поставленной задачи.

Необходимо также оговорить условия для корректного использования методологии моделирования по геохимическим данным. Во-первых, полнота интерпретируемых геохимических факторов и их количество зависят от объема и полноты полученной обучающей геологической информации по комплексным текстурно-структурным, рудно-минералофизическим и другим данным. Во-вторых, при выяснении генетических позиций и изучении геохимического спектра целесообразно проведение нескольких итераций моделирования в последовательности обработки данных: типоморфные геологические признаки → совместная обработка типоморфных показателей и геохимических переменных, включая отбраковку малоинформативных признаков → типоморфные геохимические признаки. В-третьих, наиболее представительными геохимическими данными, особенно в целях дальнейшего решения задач локального прогноза и объемного геохимического моделирования при изучении оруденения, а также при минерагенетических построениях, являются результаты, полученные при стандартных плотностях отбора и схемах обработки проб, т.е. результаты рядового кернового (бороздowego) и литохимического опробования [6].

Итерационное многомерное моделирование применялось нами при изучении Кумакского золоторудного поля на Южном Урале [11]. Геохимические особенности благороднометалльного оруденения проявлений Восточно-Тыкашинский-II и Восточно-Тыкашинский-III установлены по данным спектрального, пробирного и спектрозолотометрического анализов рядовых керновых и литохимических проб опорных разрезов 26 (скважины 441, 457, 410, 409, 452) и 217 (скважины 465, 468). Математической обработке подвергнут массив данных с размерностью 279 проб и 31 признак.

На первом этапе применялись три итеративных цикла в последовательности, приведенной в табл. 1. В результате были выявлены типоморфные геохимические ассоциации, описывающие основные литологические разности, зоны метасоматоза и оруденения. Исходное многомерное пространство геохимических признаков после отбраковки малоинформативных показателей сократилось до 17 элементов-индикаторов. Анализ изменчивости содержаний Au по

1. Последовательность математических операций и ожидаемые результаты в итерационных циклах

Операции, их номер в цикле	Результат операции
1. Вычисления по традиционной схеме МГК R -факторного анализа	Получение корреляционной матрицы, собственных векторов (главных компонент), собственных чисел, факторных нагрузок и значений компонент в точках наблюдения [2, 3, 8]
2. Анализ факторных нагрузок линейных комбинаций признаков первых главных компонент	Анализ производится с учетом классических непараметрических геологических данных (текстурно-структурных, вещественных, типоморфных и т.п.)
3. Определение информативности признаков	При выявлении закономерностей, характеризующих геологические объекты или процессы, производится анализ информативности признаков в главных компонентах, учитывая, что переменные с наибольшими факторными нагрузками содержат наибольшую информацию о данных. Целесообразно как минимум пренебречь признаками с факторными нагрузками $<0,2$. В основе рекомендации лежит понятие об общности, представляющей ту долю дисперсии с учетом некоррелированности факторов, которая связана с другими переменными и входит в ковариации с ними [2, 8]. В нашем случае общность σ_{ci}^2 — это сумма квадратов элементов строки матрицы факторных нагрузок \hat{A} анализируемой переменной X_i : $\sigma_{ci}^2 = \alpha_{i1}^2 + \alpha_{i2}^2 + \dots + \alpha_{ik}^2$, где квадраты факторных нагрузок признака — это величины, показывающие степень участия данной переменной от ее общей изменчивости, а следовательно, и информативность в тех геологических процессах, которые описываются главными компонентами в исходном многомерном пространстве признаков
4. Определение числа главных компонент (факторов)	Выбор числа интерпретируемых главных компонент (факторов) определяется с помощью критерия, основанного на сравнительном анализе величин долей воспроизводимых ими дисперсий. Напомним, что выделение ведущих факторов предполагает упорядочение по убыванию их долей дисперсий, где обсуждаемый пороговый критерий для минимальной доли воспроизводимой дисперсии находится в оптимальном диапазоне от 5 до 10%. Критерием отсеивания может служить графическая кривая, отображающая зависимость факторов в порядке их убывания от их доли в суммарной дисперсии. Выделение целесообразно заканчивать на том факторе, после которого исследуемая зависимость будет близкой к почти прямой линии (по аналогии с критерием, предложенным Каттеллом для графического отображения собственных чисел корреляционной матрицы [8])
5. Отбраковка неинформативных признаков	Решение задачи выбора оптимальной совокупности статистически достоверных признаков для окончательного решения классификационной геологической задачи

казал неоднородность его распределения в продуктивных метасоматитах и устойчивые значимые связи в двух ассоциациях признаков. Используя понятие общности как величины, показывающей степень участия переменной от ее общей изменчивости, а следовательно, и информативность, в геологических процессах, которые описываются главными компонентами в исходном многомерном пространстве признаков, далее при описании геохимических ассоциаций будем приводить масштабы проявления золота в процентах от ее общей изменчивости (дисперсии). Вычисляемые значения главных компонент (факторов) в точках наблюдения

(опробования) в каждой проводимой итерации интерпретировались с применением данных минералогического картирования по керну скважин.

На втором этапе в целях получения варианта модели золотого оруденения по геохимическим индикаторным признакам выполнен цикл вычислений с учетом уже выявленных геохимических закономерностей по четырем факторам без непосредственного привлечения данных опробования на золото. В итоге результаты моделирования были проинтерпретированы следующим образом.

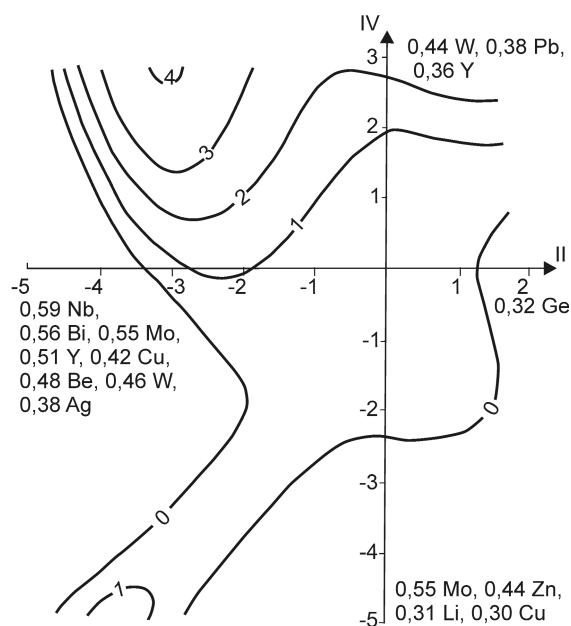
Первая главная компонента (20,75% суммарной дисперсии) показывает в области отрицательных

2. Последовательность выбора математического аппарата в зависимости от видов изменчивости признаков

Операции, их номер в цикле	Виды изменчивости		
	непрерывная	дискретная	дискретно-непрерывная
1. Определение вида изменчивости в ходе итерационного применения МГК <i>R</i> -факторного анализа	Собственные векторы моделируют непрерывную изменчивость и не являются дискриминирующими функциями, т.е. невозможно однозначно выделять однородные геологические образования	Собственные векторы являются дискриминирующими, т.е. можно различать и описывать образы двух или более геологических образований	Собственные векторы моделируют закономерность в соотношениях из различающихся геологических образований
2. Применение процедуры стандартизации	При обработке разнообразных комплексов исходных данных часто получают измерения признаков в различных единицах. Устранить это противоречие помогает стандартизация — процедура преобразования данных, которая обычно проводится таким образом, чтобы среднее равнялось нулю, а дисперсия единице. Новые переменные имеют стандартную нормальную форму, получаемую при вычитании среднего значения распределения из каждого наблюдения и деления каждой полученной разности на стандартное отклонение распределения [2, 3, 8]. В ряде случаев процедура стандартизации применяется одновременно с вычислениями МГК <i>R</i> -факторного анализа		
3. Выбор и применение математического аппарата	Обращение к процедурам неконтролируемого обучения, независимым от исследователя. Для решения проблем классификации и выделения границ между геологическими образованиями наиболее удачен иерархический кластерный анализ (<i>Q</i> -вариант) [2, 6, 8]	Применение однофакторного дисперсионного анализа, основанного на разделении общей дисперсии на две группы объектов, соответствующих различаемым геологическим образованиям с внутривыборочной и межвыборочной дисперсиями [2, 6]. Вычисленный для каждого признака <i>F</i> -критерий (Фишера) сравнивается с аналогичным табличным значением при соответствующих степенях свободы и заданном уровне значимости. К тем признакам, у которых вычисленный критерий превосходит табличный, допустима гипотеза о взаимосвязи геологических процессов и исследуемых свойств [4, 6, 7], следовательно, их можно считать типоморфными	Возможно одновременное использование процедур неконтролируемого и контролируемого обучения

значений поведение практически одной ассоциации признаков — 0,73 Ni, 0,70 Co, 0,68 Ce, 0,65, Zn, 0,57 Cr, 0,54 Ge, 0,49 La, 0,48 Li, 0,33 Bi, 0,28 W (Au 4,0%). Она отражает поля развития в меридиональном направлении рудовмещающих кварц-полевошпат-анкерит-хлоритовых («крапчатых») метасоматитов, развитых по вулканотерригенным породам основного состава. Вторая главная компонента (12,95% общей изменчивости) в области отрицательных значений описывает поведение ведущей золоторудной ассоциации — 0,59 Nb, 0,56 Bi, 0,55 Mo, 0,51 Y, 0,42 Cu, 0,48 Be, 0,46 W, 0,38 Ag (Au 36,6%), которая отражает распространение систем кварц-карбонат-турмалиновых разномасштабных прожилков. Третья главная компонента учитывает 11,4% суммарной дисперсии. Она характеризует поведение двух альтернативных групп

элементов, которые показывают изменчивость с севера на юг в рудовмещающих метасоматитах разномасштабно проявленных комплексов тонких кварц-анкеритовых и кварц-кальцитовых прожилков с редкой полиметаллической минерализацией. Так, для объекта Восточно-Тыкашинский-III по сравнению с объектом Восточно-Тыкашинский-II в области положительных значений компоненты в большей степени характерны 0,54 Bi, 0,51 Ag, 0,43 Ge, 0,39 Cu, 0,25 Pb, 0,24 W (Au 6,3%). Для рудовмещающих метасоматитов участка Восточно-Тыкашинский-II в области отрицательных значений компоненты характерны 0,46 La, 0,44 Nb, 0,38 Y, 0,38 Li. Четвертая главная компонента (7,65% общей изменчивости) показывает поведение двух ассоциаций признаков: в области положительных значений — золото-вольфрамовой (0,44 W,



Тренд-поверхность пятого порядка содержаний Au (г/т) в пространстве типоморфных геохимических ассоциаций II и IV главных компонент

0,38 Pb, 0,36 Y, Au 14,6%) и в области отрицательных значений — халькофильной (0,55 Mo, 0,44 Zn, 0,31 Li, 0,30 Cu). Эти геохимические ассоциации отвечают одновременно проявленным комплексам кварцевых жил с шеелитовой и кварц-карбонатных с полиметаллической минерализацией.

Таким образом, ассоциации типоморфных геохимических признаков позволили описать 66,6% суммарной изменчивости (дисперсии) золота в исходной выборке (4,0%+36,6%+11,4%+14,6%). Анализ степени проявления золоторудной составляющей в описанных факторах показал следующие весовые соотношения между главными компонентами — 1,0:9,2:2,9:3,7 (значение в первом факторе принято за условную единицу).

На третьем (заключительном) этапе обработки данных при помощи сочетания МГК R-факторного анализа и тренд-анализа произведено моделирование рудных тел (столбов). В многомерном пространстве геохимических ассоциаций признаков, описывающих ведущие золоторудные парагенезисы, на диаграмме II и IV главных компонент выполнен тренд-анализ содержаний Au. Дисперсионный анализ тренда и проверка эффективности увеличения степени полинома в уравнении регрессии позволили выбрать наилучшую форму функции — полином 5-го порядка. На рисунке видно, что градиенты содержаний 3–4 г/т Au, соответствующих средним содержаниям в рудных телах, наблюдаются в поле сочетания ведущей ассоциации II главной

компоненты (рудовмещающие кварц-полевошпатаккерит-хлоритовые («крапчатые») метасоматиты по вулканотерригенным породам основного состава) и золото-вольфрамовой ассоциации IV главной компоненты (кварцевые жилы с шеелитовой минерализацией). При наложении на «крапчатые» метасоматиты кварц-карбонатных жил с полиметаллической минерализацией содержания Au практически не превышают 1 г/т.

В итоге по геохимическим данным на двух проявлениях Кумакского рудного поля отдешифрованы рудные тела (рудные столбы). Они полихронны, их промышленная значимость зависит от факторов интерференции в геологическом пространстве гидротермальных процессов, отражающихся в проявлении разнообразных жильных комплексов, с учетом колебания градиентов золотоносности продуктивных рудовмещающих метасоматитов. Максимальные содержания Au стабильно фиксируются при совмещении типоморфных геохимических ассоциаций. Таким образом, формирование поисковой модели гетерогенного и полихронного оруденения, т.е. рудного месторождения, фактически может производиться с получением максимальной информативности по традиционным геохимическим показателям. Полученные данные с учетом количественной оценки степени проявления полезной нагрузки ведущих рудногенетических факторов непосредственно связаны и с его геолого-промышленной значимостью.

Предлагаемый методологический подход позволил ранее продемонстрировать возможности итерационного моделирования при решении комплексных задач по геохимической корреляции и специализации геологических образований, а также определению их металлогенических позиций. Так, на основе полученных результатов изучения геохимической специализации эффузивных и субвулканических комплексов Оренбургского Урала сделан вывод о подтверждении теоретического обоснования тесной взаимосвязи и взаимообусловленности формирования геохимического фона элементов в горных породах и процессов образования полезных ископаемых [10].

Таким образом, предлагаемая методология итерационного многомерного моделирования геологических объектов и процессов является инновационной и позволяет на метрической основе в режиме диалога методом последовательного приближения решать проблемы оптимизации классификационных процедур при поисках и оценке полезных ископаемых, минерагенических построениях и может использоваться как часть системы управления геологическими знаниями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Галимов Э.М.* Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции. – М.: Едиториал УРСС, 2001.
2. *Девис Дж.* Статистический анализ данных в геологии. Кн. 1, 2. – М.: Недра, 1990.
3. *Йёреског К.Г., Клован Д.И., Рейнмент Р.А.* Геологический факторный анализ. – Л.: Недра, 1980.
4. *Константинов Р.М.* Математические методы при изучении типоморфных особенностей минералов // Новые данные о типоморфизме минералов. М., 1980. С. 10–24.
5. *Лебедев С.А.* Философия науки: Терминологический словарь. – М.: Академический проект, 2011.
6. *Справочник по математическим методам в геологии / Д.А.Родионов, Р.И.Коган, В.А.Голубева и др.* – М.: Недра, 1987.
7. *Типоморфизм минералов.* Справочник. – М.: Недра, 1989.
8. *Факторный, дискриминантный и кластерный анализ.* – М.: Финансы и статистика, 1989.
9. *Хант Э.* Искусственный интеллект. – М.: Мир, 1978.
10. *Черненко М.Ю.* Геохимическая специализация эффузивных и субвулканических комплексов Оренбургского Урала и их металлогеническое значение // Руды и металлы. 2010. № 5. С. 17–22.
11. *Черненко М.Ю.* Опыт переоценки Кумакского золоторудного поля на Южном Урале // Руды и металлы. 1994. № 1. С. 103–108.

ПРОГНОЗ И ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



УДК 550.812.1:681.3

© С.Л.Елшина, А.А.Зиновьев, Е.В.Иваненкова, А.А.Конкина, 2012

ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ СОПРОВОЖДЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ (НА ПРИМЕРЕ РУДНОГО АЛТАЯ)

С.Л.Елшина, А.А.Зиновьев, Е.В.Иваненкова, А.А.Конкина (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Для сопровождения и поддержки геологоразведочных работ на полиметаллическое оруденение Рудного Алтая разработана комплексная ГИС. Вся картографическая и фактографическая информация доступна для поиска и отображения по различным критериям в созданном пользовательском интерфейсе. Система обеспечивает возможность хранения и комплексного анализа данных для выделения перспективных площадей с целью их дальнейшего изучения.

Ключевые слова: ГИС, банк данных, анализ, комплект карт, прогнозные карты, сопровождение геологоразведочных работ.

Елшина Светлана Львовна, Зиновьев Алексей Андреевич, Иваненкова Елена Владимировна, Конкина Анастасия Александровна, okt@tsnigri.ru

GEOEXPLORATION-SUPPORTING GIS DESIGN AND MANAGEMENT FOR NONFERROUS METALS MADE FOR RUDNY ALTAI

S.L.Elshina, A.A.Zinov'ev, E.V.Ivanenkova, A.A.Konkina

The base metal exploration in Rudny Altai is supported by a specially designed inter-disciplinary GIS. All relevant cartographic and digital information is accessible for searching and visual presentation on various criteria via the user interface created. The system provides storage and analysis of the exploration data aimed at contouring of promising areas and substantiation of the follow-up studies.

Key words: GIS, databank, analysis, thematic and prognostic maps, geological exploration support.

Одним из основных факторов эффективности работы с геологическими данными является разработка технологии геоинформационных систем (ГИС). Проектирование ГИС для обработки геологической информации представляет собой достаточно сложный процесс, включающий этапы формирования концепции, разработки, внедрения и сопровождения. Для этого необходима общая методика, содержащая состав и последовательность работ и задач, а также определяющая набор программных средств, на инструментарии которых строятся компоненты системы. При современном уровне развития геоинформационных технологий появляются новые возможности для работы с геологической информацией, как картографической (пространственно распределенной), так и фактографической (атрибутивной). Такое принципиальное разделение по видам представления данных характерно для информационно-аналитических систем, предъявляющих значительные требования именно к интеграции разнородной информации [6–8].

Использование технологий геоинформационных систем значительно упрощает работу с данными и повышает ее эффективность. При этом боль-

шое внимание следует уделять совместимости программных продуктов ГИС со способами хранения фактографической информации, обеспечению максимально полного их взаимодействия. В качестве обязательных компонентов система должна включать средства для ввода, редактирования и просмотра картографических и фактографических данных, модули обеспечения их совместного функционирования, инструментарий для выполнения различных видов анализа.

В настоящее время проводятся опережающие геолого-геофизические работы для обоснования переоценки перспектив полиметаллического оруденения Рудного Алтая в целях разработки основы для создания ведущего в Российской Федерации центра по добыче свинца и цинка. Работы проводятся в северо-западной части Рудноалтайского полиметаллического пояса на территории Золотушинского, Змеиногорского и Рубцовского рудных районов. Назначение работ — локализация перспективных площадей с колчеданно-полиметаллическим оруденением в скрытом и перекрытом залежании и выработка рекомендаций по направлению дальнейших ГРП. Для сопровождения и поддержки

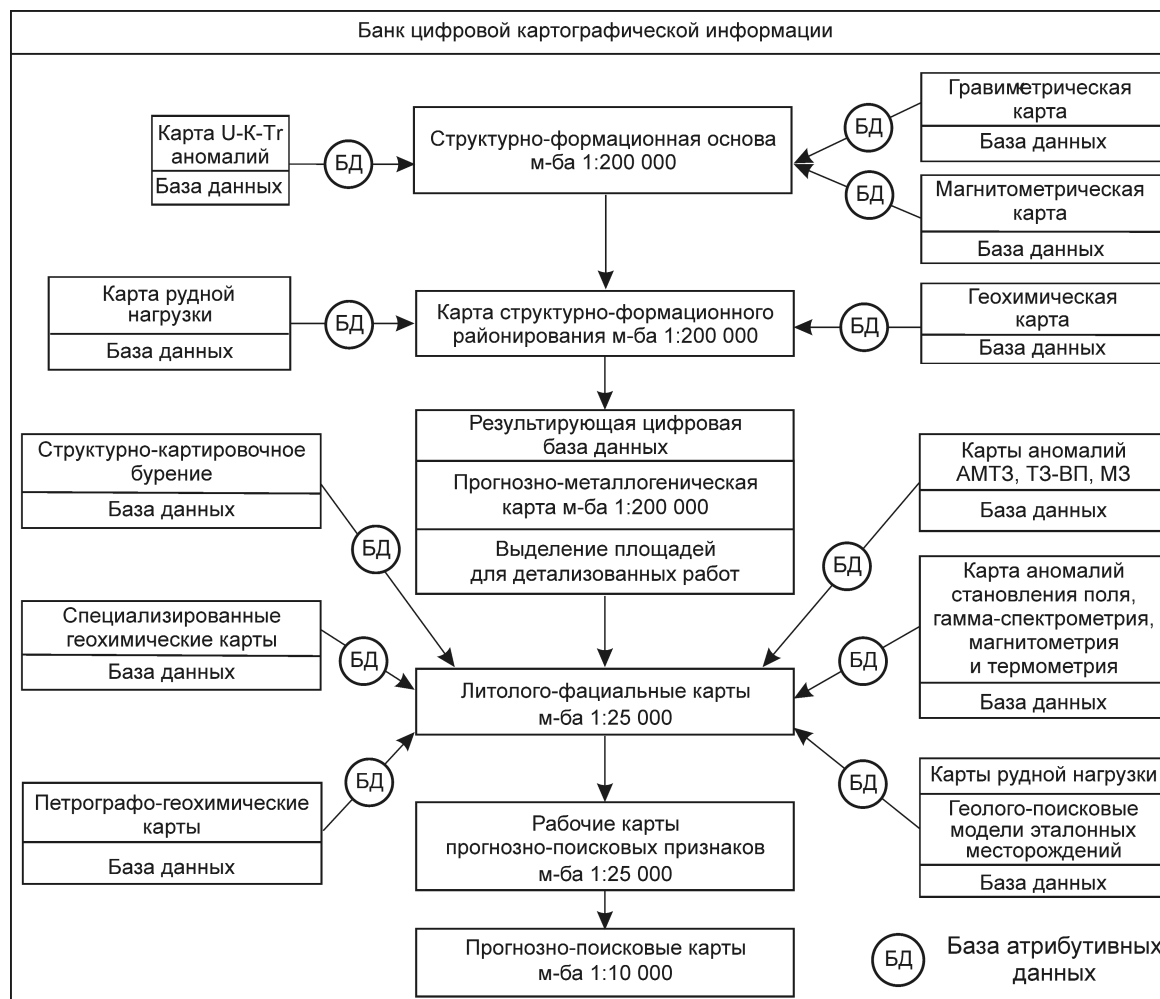


Рис. 1. Модель данных геоинформационной системы сопровождения ГРР

работ разработана комплексная ГИС, объединяющая информацию, собранную и обработанную различными методами.

ГИС имеет блочно-модульную архитектуру, использует единые программно-технологические средства ведения фактографических и картографических баз и банков данных, унифицированные классификаторы данных, что позволяет применять отдельные модули как самостоятельно, так и совместно друг с другом. Проектирование ГИС проводилось с созданием программных модулей, связывающих фактографические данные, описывающие соответствующие объекты, с цифровыми картами.

В состав ГИС входят банки данных (БД), представленные в различных форматах, как в виде атрибутивных таблиц и текстовых документов, так и отдельных блоков, разработанных средствами Microsoft Access, а также картографические проекты, созданные в ArcMap 9.3 (ESRI), включающие

картографическую информацию — специализированные цифровые карты разного масштаба. Все проекты имеют дополнительные меню, которые позволяют с помощью диалоговых окон осуществлять поиск и показ информации — картографической и фактографической.

Основой ГИС-проекта является комплект цифровых карт м-ба 1:200 000 — структурно-формационная основа, совмещенная с картой рудной нагрузки, сопровождаемая литолого-фациальной картой и картами гравитационного, магнитного и аномального геохимического полей [4, 5]. Все карты комплекта связаны с БД, что обеспечивает воспроизводство их построения и анализа. Банки данных вызываются по нажатию соответствующих пунктов меню. Из меню через выбор тематической карты в открывающихся диалоговых окнах возможно переключение на соответствующий вид в текущем проекте и открытие подготовленных макетов печати.

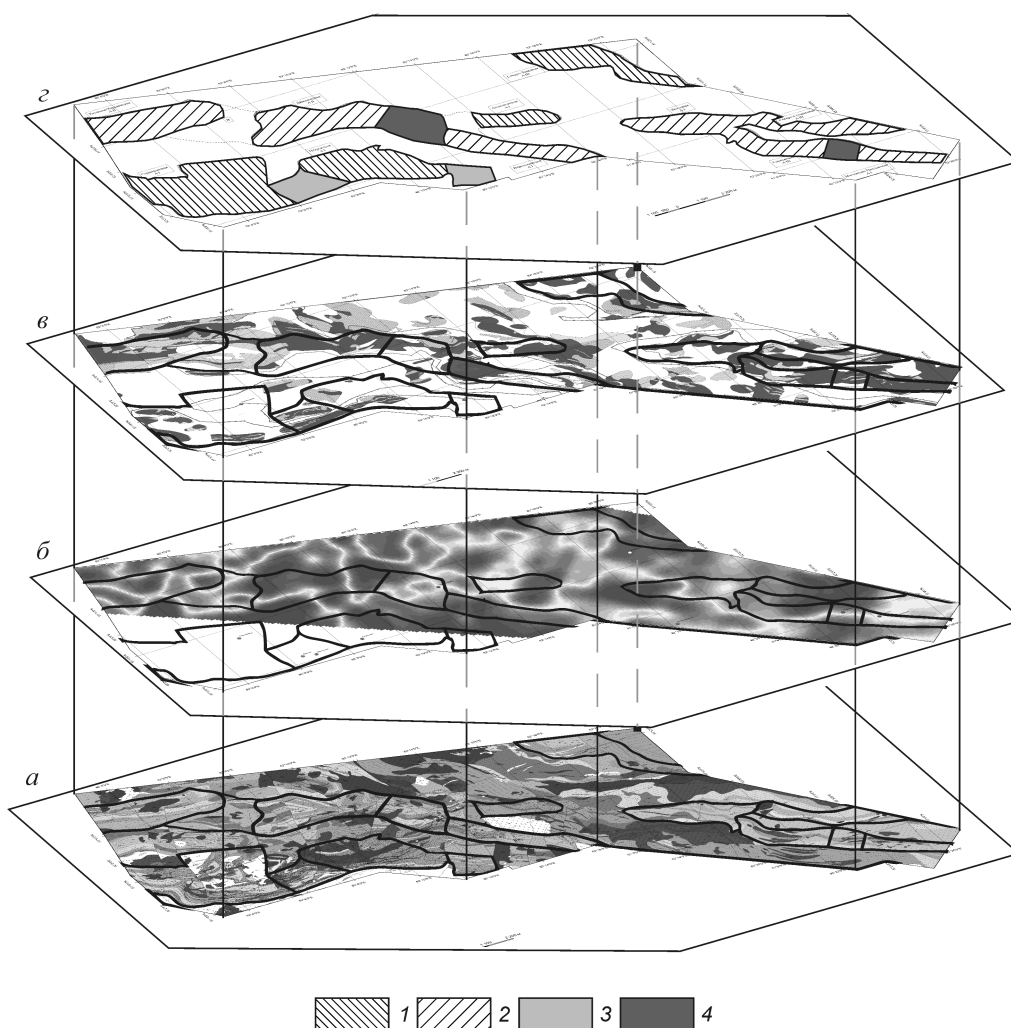


Рис. 2. Технология сопоставления геoinформационных слоев с последующей компьютерной обработкой при прогнозных работах с целью выделения перспективных площадей, на примере врезки Северо-Восточной и Центральной частей Змеиногорского района:

а — литолого-фациальная карта; *б* — карта распределения кажущегося удельного электрического сопротивления на времени становления поля 500 мкс; *в* — геохимическая карта; *г* — прогнозная карта; перспективные площади: 1 — верхней базальт-риолит-кремнисто-терригенной формации с прогнозируемым оруденением медно-свинцово-цинково-колчеданного типа, 2 — нижней базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации с прогнозируемым оруденением свинцово-цинкового колчедансодержащего типа; площади известных месторождений: 3 — полиметаллического типа, 4 — колчеданно-полиметаллического типа

Комплект карт м-ба 1:200 000 анализировался на основе модели данных (рис. 1) геoinформационной системы, соответствующей схеме комплексирования прогнозно-поисковых методов, предложенной А.И.Кривцовым [1].

На базе структурно-формационной основы, совмещенной с другими картографическими материалами, проводилось структурно-формационное районирование. При выделении потенциально перспективных площадей с использованием объектных моделей применялись логико-статистические методы анализа закономерностей простран-

ственного размещения рудных объектов в связи с различными геологическими факторами. На карте структурно-формационного районирования выделялись зоны (или) группы зон, существенно отличающиеся друг от друга по набору структурно-вещественных комплексов, их составу, метаморфизму и деформациям.

Карты могут совмещаться друг с другом в различных сочетаниях и в любой последовательности. Как показано А.И.Кривцовым [1], целям прогнозно-металлогенических построений отвечает ограниченное число такого рода сочетаний. Они выби-

раются по принципу наблюдаемых геологических и металлогенических характеристик, включающих оценку их возможного отражения в различных «слоях», представленных на принципиальной схеме сочетаний и последовательности совмещения информационные слоев при прогнозно-металлогенических построениях в российской части Рудного Алтая (рис. 2). И в результате математического анализа выявляются закономерные пространственные соотношения элементов объектной модели, выделяются области их благоприятного сочетания и на этой основе — новые площади, перспективные для обнаружения месторождений того или иного рудно-формационного типа.

На основе проделанного анализа построена прогнозно-металлогеническая карта м-ба 1:200 000, отражающая распределение локальных участков различной перспективности на выявление оруденения, типичного для нижнего и верхнего формационного уровней, выделяемых на территории Рудного Алтая [2]. Для перспективных площадей составлен комплект карт-врезок м-ба 1:25 000. В них входят карты литолого-фациальной основы, изолиний гравитационного и магнитного полей, геохимические и другие тематические карты.

Для удобства работы были разработаны унифицированные легенды, которые используются для всех тематических карт, в частности для литолого-фациальной основы. Для автоматизации построения карт на основе указанных легенд принят метод загрузки специально разработанных и пополняющихся стилей в ArcGIS. Для этого создана база данных в формате Access, в которой хранятся уникальные коды различных геологических объектов (типы пород, их литолого-фациальная, структурно-формационная и стратиграфическая принадлежность). По кодам происходит связывание атрибутивных таблиц с базой данных. В дальнейшем, при подключении к проекту созданного стиля, настраивается легенда для определенных слоев, например для возраста (цвет) или состава (крап). Таким образом, все карты, включая карты-врезки и модели, строятся по принципу единой легенды. Легенды применяются и для всех остальных объектов, составляющих картографический банк данных, таких как разрезы, колонки, модели и др.

В систему включены модели эталонных месторождений для прогнозных целей, а также модели недостаточно изученных месторождений и рудопроявлений в целях возможного выявления на их флангах и глубоких горизонтах новых рудных залежей. Такие модели созданы для всех промышленных объектов региона. В них включены, кроме литолого-фациальной карты и геометризованной

модели, проекция рудных тел на горизонтальную и вертикальную поверхности, сводная стратиграфическая колонка, колонки текстуры и структуры руд, а также другая имеющаяся для данных объектов информация — различные разрезы [2, 3].

Модели выполнены в виде отдельных картографических проектов, в которых также имеется меню для удобства работы с данными — выбор раздела, показ соответствующей параметрической таблицы, страничный показ макетов печати. Выбор нужного листа производится из диалогового окна.

Разработаны параметрические таблицы с количественной оценкой признаков, критериев и систем соподчиненных элементов, характеризующих геологическое пространство месторождения применительно к различным его частям.

Созданные модели месторождений позволяют лучше понять геологическую структуру района и обеспечивают возможность дальнейшего прогнозирования с учетом аналогий. Модели месторождений вызываются из списка диалогового окна базового проекта по названию или при выборе соответствующего объекта на всех тематических картах, включая врезки. При открытии модели появляется список разделов, входящих в ее состав, из которых можно выбрать нужный для просмотра.

Следует отметить, что поскольку все описываемые в данной работе модели являются картографическими, полноценно описать обстановки локализации месторождений в пространстве они не могут. И проведение прямых расчетов объемных характеристик геологических тел, изменчивости морфометрических параметров среды, пространственное распределение содержания полезных компонентов руд и их отражение в геохимических и геофизических полях весьма затруднительно. По этой причине представляется необходимым переход на геологическое 3D-моделирование.

Создание 3D-модели месторождения позволяет уточнить принадлежность геологических тел к рудовмещающим, надрудным и подрудным отложениям, параметры отложений и их соотношение с рудной зоной и отдельными рудными телами. Пространственный литолого-фациальный анализ показывает форму, объем и параметры вулканопаратов и их соотношение с рудными телами.

Так как при создании 3D-модели необходима также атрибутивная информация, что используется в созданных картографических моделях, унифицированная ГИС имеет большой потенциал для будущих исследований. Для облегчения перехода в 3D-моделирование для всех ключевых объектов базы данных имеется информация об их пространственном размещении в трехмерной системе координат,

к картам подключен слой высотных отметок, а данные геологических разрезов и скважин содержат как относительную, так и абсолютную информацию по глубине. Созданная ГИС уже используется в геологическом 3D-моделировании серии колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района.

На карты м-ба 1:200 000 вынесены известные в пределах рудных районов месторождения (в том числе эталонные), рудопроявления и точки минерализации. На картах-врезках м-ба 1:25 000 часть месторождений представлена проекциями рудных тел на горизонтальную поверхность. С помощью пункта меню «Информация по объекту» возможен поиск и показ доступной для данного объекта информации. Объектами в данном случае являются месторождения, рудопроявления и пункты минерализации, отраженные на соответствующей карте. А информацией могут быть описание в банке данных, показ модели месторождения, являющейся самостоятельным проектом, или параметрической таблицы (документ MS Word).

Для отображения описания объекта в банке данных создан специальный модуль, при помощи которого осуществляется поиск информации в базе данных. Принцип его работы состоит в том, что для выделенного объекта компонуется переменная, которая затем передается в Access и при открытии базы данных обрабатывается и используется в качестве параметра фильтра. В результате найденная запись в БД выводится в экранных формах как из основного проекта, так и из карт-врезок. Объект может быть выделен на карте или выбран в диалоговом окне из списка, меняющегося в зависимости от запроса. В список попадают только те объекты, на которые имеется запрашиваемая информация — запись в банке данных или модель месторождения.

Банк данных включает описания 170 месторождений, рудопоявлений и точек минерализации Рудного Алтая и может работать как в составе ГИС, так и отдельно. В основу создания БД положена система критериев и признаков объектов разного ранга, которые соответствуют элементам их прогнозно-поисковых (геолого-поисковых) моделей, разработанных с применением методов прикладной металлогении и прогноза полезных ископаемых (структурно-формационного, металлогенического, фациально-формационного, рудно-формационного и др.). Банк данных, таким образом, содержит описание названных таксонов в конкретном признаковом выражении. Ввод и просмотр данных осуществляются через экранные формы. Для облегчения и ускорения получения пользователем необходимой информации разработана система поиска по заданным параметрам.

По ним автоматически создается запрос. Результаты последнего выводятся в экранные формы или отчет, который может быть выведен на печать.

Созданный инструментарий позволяет осуществлять быструю навигацию и поиск по системе, что облегчает задачу формирования запросов. Пользователь может проводить отбор значений по большому количеству параметров для последующего анализа данных.

Построенные карты проходили заверку структурно-картировочным бурением.

Для хранения новой и ретроспективной информации полученных данных, работы с ними также был создан банк данных. Первичные данные, на основе которых функционирует база, представлены в виде изображений колонок скважин, электронных таблиц с описанием керна по результатам полевых работ, лабораторных химических и петролого-минералогических анализов, данных геофизических работ. Полевая геологическая информация иллюстрируется фотографиями керна пробуренных скважин, отдельных образцов геологических пород, микрофотографиями шлифов и аншлифов. Для всех объектов исследований имеются координаты мест отбора проб или границ площадных работ, схема их размещения на общей карте.

Презентативность результатов изучения геологических объектов обеспечивается сочетанием различных методов исследования. Для динамичной координации геологоразведочных работ требуются предварительные выводы о геологии объекта исследований, получаемые по имеющимся результатам задействованных в работе исследовательских групп. Форма информации, выдаваемой разными методиками, обычно весьма различается и требует перевода в единый формат.

Модуль ввода данных созданной базы данных, применяющий разработанные алгоритмы, используется для унификации информации, получаемой от различных источников. Все результаты исследований по ходу занесения в базу переводятся в стандартные форматы. Процедура стандартизации данных еще на этапе их ввода в базу значительно ускоряет камеральные работы и, что особенно важно, позволяет оперативно оценить (в том числе статистическими методами анализа) достоверность поступившей информации, сходимость с окружающей геологической обстановкой и приоритетность ее дальнейшей обработки.

Основными принципами функционирования базы являются индексация имеющейся информации по ключевым позициям, анализ получившихся связей по настраиваемой пользователем схеме и вывод полученной информации в виде, удобном

для восприятия и пригодном для дальнейшего анализа. На всех этапах работы с базой к любым объектам и результатам исследований доступно внесение индексированных комментариев и экспертных оценок.

С использованием полученных материалов были построены разрезы, которые являются отдельным блоком картографического банка данных. Для работы с ними в базовом проекте существует соответствующий пункт меню. Он позволяет выбрать интересующий пользователя разрез и показать его в отдельном проекте. Также можно показать линию разреза на карте или карте-врезке. При выборе этого пункта открывается проект врезки, причем при открытии изображение масштабируется к выбранному разрезу.

Аналогично система работает со скважинами. При выборе из основного проекта список скважин составляется с учетом площади и участка, возможен также выбор из карт-врезок и разрезов. Кроме показа выбранной скважины, реализован показ соответствующей информации из банка данных ретроспективной информации.

Вся собранная информация и построенные разрезы использовались для корректировки карт-врезок и уточнения локализации перспективных площадей. С учетом результатов анализа карт-врезок по схеме, аналогичной изложенной ранее для комплекта карт м-ба 1:200 000, были построены рабочие карты прогнозно-поисковых признаков м-ба 1:25 000. Далее для наиболее перспективных площадей проводилась врезка в литолого-фациальную основу детальных участков. На основе комплексного анализа геоинформации выделены перспективные участки для ведения детализационных работ в целях определения их перспективности на выявление новых рудных объектов рудноалтайского типа и построены прогнозные карты м-ба 1:10 000.

Все карты могут вызываться из базового проекта по нажатию соответствующих пунктов меню. Нужная площадь выбирается как выделением врезки на карте, так и из списка. Далее выбранная площадь либо показывается в базовом проекте, либо в диалоговом окне формируется список имеющихся для данной врезки карт. После этого открывается отдельный проект, содержащий выбранную карту.

В свою очередь, на картах-врезках также созданы дополнительные меню, позволяющие аналогично работать с поиском информации. Кроме того, реализованы показ макета печати с восстановлением исходных параметров в случае их изменения в

процессе работы, показ условных обозначений и возврат к основному проекту.

Таким образом, разномасштабная и разнородная геоинформация, полученная и обработанная различными методами, собрана в единую ГИС. Вся информация через созданный пользовательский интерфейс доступна для поиска и отображения по различным критериям. Система также обеспечивает возможность сравнения, наложения и других видов анализа материала, полученного различными методами в ходе выполнения работ.

При дальнейших исследованиях вновь получаемая фактографическая и картографическая информация подключается к созданной ГИС и, в свою очередь, используется для последующей работы.

Разработанная система позволяет собрать разрозненную геоинформацию в единую структуру, удобную для хранения и последующего анализа, обеспечивает воспроизводимость результатов работ на отдельных ее этапах и в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кривцов А.И.* Методические основы прогнозно-металлогенических построений // Руды и металлы. 2010. № 1. С. 69–73.
2. *Кузнецов В.В., Галямов А.Л., Кудрявцева Н.Г.* Литолого-фациальный анализ рудоносных вулканогенно-осадочных отложений в целях прогноза и поиска месторождений рудноалтайского типа // Руды и металлы. 2011. № 3–4. С. 105–106.
3. *Кузнецов В.В., Александрова А.Е.* Геолого-поисковые модели для целей прогнозирования месторождений рудноалтайского типа // Руды и металлы. 2011. № 3–4. С. 104–105.
4. *Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов.* Вып. «Свинец и цинк» / Г.В.Ручкин, В.Д.Конкин, А.И.Донец и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
5. *Ручкин Г.В., Зайцев А.И., Кузнецов В.В., Галямов А.Л.* Методика прогнозно-металлогенических исследований для обоснования переоценки перспектив полиметаллического оруденения Рудного Алтая // Руды и металлы. 2011. № 3–4. С. 150–151.
6. *Чесалов Л.Е., Блискавицкий А.А., Аракчеев Д.Б.* Информационно-аналитическое обеспечение рационального природопользования. – М.: ВНИИГеосистем, 2005.
7. *Michael N. DeMers.* Fundamentals of geographic information systems. – New York: John Wiley, 2000.
8. *Seyed Taghi Delavar, Seyed Mehran Heidari.* Ore mineral exploration with GIS modeling based on USGS models in zone studies // International Geological Congress. Oslo, 2008.

УДК 552.323.6+552.54+543.5 (571.56)

© Коллектив авторов, 2012

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ И ЛОКАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КИМБЕРЛИТОВ С ПО-МОЩЬЮ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ НАКЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ, ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ

П.А.Игнатов, К.В.Новиков, А.М.Шмонов (РГГРУ), Р.В.Еремеев, Л.В.Лисковская, О.Е.Ковальчук (НИГП АК «АЛРОСА»), А.В.Толстов (Ботубинская ГРЭ АК «АЛРОСА»)

Применена методика геологического картирования с использованием ГИС-технологий, петрографического и прецизионного минералого-геохимического изучения эндогенных карбонатных прожилков, широко распространенных в нижнепалеозойской карбонатной толще высокопродуктивного Накынского кимберлитового поля Якутии. Район работ является типичной закрытой для прямых поисков алмазных месторождений площадью. Методика направлена на выявление признаков, связанных с эруптивными образованиями, включающими кимберлиты.

Ключевые слова: кимберлиты, карбонатные прожилки, люминесцентный анализ, рентгенография, термография, ИК-спектроскопия.

Игнатов Петр Алексеевич, petrignatov@gmail.com, Новиков Константин Валерьевич, novikovkv@gmail.com, Шмонов Алексей Михайлович, shmonov@mail.ru, Лисковская Людмила Валентиновна, liskovaya@cniagri.alrosa-mir.ru, Еремеев Роман Владимирович, eremeev@cniagri.alrosa-mir.ru, Ковальчук Олег Евгеньевич, kovalchuk@cniagri.alrosa-mir.ru, Толстов Александр Васильевич, a.tolstov@bgre.alrosa-mir.ru

ESTIMATION OF THE PROSPECTS AND LOCAL PREDICTION OF KIMBERLITES USING GIS-TECHNOLOGY IN CLOSED AREAS OF NAKYN KIMBERLITE FIELD, WESTERN YAKUTIA

P.A.Ignatov, K.V.Novikov, A.M.Shmonov, R.V.Eremeev, L.V.Liskovaya, O.E.Kovalchuk, A.V.Tolstov

Applied methods of geological mapping using GIS-technology, petrographic and precision mineralogy-geochemical study of endogenous carbonate veinlets, widespread in the low-paleozoic carbonate rock strata of highly productive Nakyn kimberlite field of Yakutia. The area of work is typical closed area for direct searching for diamonds deposits. Method aims to identify the signs, which associated with eruptive formation, which include kimberlite.

Key words: kimberlites, carbonate veins, fluorescence analysis, radiographic analysis, thermography, infrared spectroscopy.

В последние годы обострилась проблема поисков алмазоносных кимберлитов на закрытых территориях. На данный момент главные средства поисковых работ на таких территориях — колонковое бурение и геофизические работы, а основные методы — шлихоминералогический анализ минералов кимберлитов и минералов спутников алмаза, а также выявление локальных магнитных аномалий трубчатого типа. В качестве дополнительных методов используется изучение вторичных минералов, развитых во вмещающих породах [1, 2, 7, 9, 10]. В Западной Якутии широко распространены вторичные карбонаты. Установлению признаков их эндогенного происхождения и связи с кимберлитами посвящено данное исследование.

Накынский кимберлитовый поле расположено в центральной части Якутской алмазоносной провинции в Средне-Мархинском алмазоносном районе на левобережье р. Марха в междуречье Накын и Ханья. Оно относится к типичной территории со сложными поисковыми условиями, поскольку все вмещающие кимберлиты образования и магматические проявления переработаны древней мезозой-

ской корой выветривания, карстовыми процессами и перекрыты мощным (от 40 до 100 м и более) чехлом юрских морских отложений. Поисковые работы в Накыньском поле затруднены еще и тем, что применение геофизических методов на его территории ограничено из-за петрофизических особенностей разреза [13].

Исследование проводилось в центральной части поля, относительно равномерно изученной бурением силами Ботубинской ГРЭ «АЛРОСА». По геолого-геофизическим данным закартированы крутопадающие нарушения Вилуйско-Мархинской и Средне-Мархинской зон глубинных разломов, выполненные дайками трапповой формации [19]. Кимберлитоконтролирующие разрывные нарушения скрыты и плохо выражены в геофизических полях.

Помимо докимберлитовых даек, силлов долеритов и габбро, собственно кимберлитов, в Накыньском поле распространены эруптивные тела базитов [8, 16], которые многие исследователи относят к посткимберлитовым [12]. Большинство исследователей считают проявления траппов, кимберлитов

и эруптивных брекчий базитов среднепалеозойскими [15, 18, 21]. Все магматические проявления сопровождаются постмагматическими гидротермальными карбонатами, особый интерес среди них вызывают связанные с эруптивной деятельностью.

Основные объекты изучения — вторичные кальцитовые, пирит-кальцитовые, барит-, целестин-кальцитовые и доломит-кальцитовые прожилки, развитые во вмещающих кимберлиты кембрийских и ордовикских терригенно-карбонатных породах. Особое внимание уделено прожилкам, содержащим агрегативный непрозрачный карбонатный и силикатный материал грязно-зеленого цвета. В качестве объекта сравнения использовались высококарбонатизированные кимберлиты Накынского кимберлитового поля из диатрем Нюрбинская и Ботубинская, а также кимберлиты трубок Удачная и Айхал.

Исследования проводились полевыми и лабораторными методами. Первые включали специальную документацию керна и диагностику эндогенных карбонатных прожилков с отличительными признаками от конвергентных осадочно-диагенетических и древнекарстовых образований. В ГИС-среде оценивалась пространственная связь прожилков с проявлениями магматизма и осуществлялось их картирование. Лабораторные исследования состояли из петрографических описаний, люминесцентного анализа, рентгенографии, термографии, ИК-спектроскопии, масс-спектрального анализа изотопов углерода и кислорода.

Люминесцентный анализ кальцитовой прожилковой минерализации проводился для выделения разновидностей, связанных с проявлениями магматизма, включая кимберлиты [3, 6]. Спектры регистрировались на спектрально-вычислительном комплексе на базе монохроматора ДМР-4, спектральный диапазон 200–800 нм.

Рентгенографическим и термографическим методами выполнен полуколичественный анализ минерального состава изучаемых гетерогенных карбонатных образований, в том числе рентгеноаморфных слоистых силикатов. К последним отнесены тонкодисперсные фазы с размером частиц <0,01 мкм, не дающие рентгенодифракционную картину. В ходе исследований разработаны приемы, позволяющие выявлять рентгеноаморфные фазы и оценивать их содержание на полуколичественном уровне по избыточной потере связанной в них структурной воды. Для исследований использовались дифрактометр DMAX-2400 фирмы Rigaku (Япония) и термоаналитическое устройство DTG-60АН фирмы Shimadzu (Япония). Среднеквадратическая погрешность термографического метода при

измерении удельной теплоты диссоциации карбонатов составила 21%, температуры термоэффектов — 2%.

Метод ИК-спектроскопии использован для идентификации рентгеноаморфных тонкодисперсных слоистых силикатов. Спектры поглощения регистрировались на ИК-Фурье спектрометре ФСМ-1201, Vertex 70. Все перечисленные анализы выполнены в аналитической лаборатории НИГП АК «АЛРОСА», изотопные — в отделе изотопной геохимии ФГУП ЦНИГРИ по общепринятой методике [20].

Вторичные карбонатные прожилки могут иметь различное происхождение (позднедиагенетическое, экзодиагенетическое карстовое, катагенетическое и гидротермальное, включая постмагматическое). Последнее важно для разбраковки их ореолов от собственно магматических образований, включая кимберлиты. Постмагматическое происхождение карбонатов устанавливается по комплексному анализу их морфологии, пространственному расположению относительно проявлений магматизма и тектонических нарушений, их контролирующих, а также минералого-геохимическим параметрам.

Исследуемые карбонатные прожилки представлены тремя основными морфологическими разновидностями:

1) прозрачные тонкие прожилки от долей миллиметра до первых сантиметров, часто ветвящиеся с небольшими раздувами, выполняющие тектонические трещины отрыва и скола и цемент тектонических брекчий;

2) неправильно-изометричные жеоды, пустоты и полости с сечениями от первых сантиметров до первых дециметров, выполненные друзовым кальцитом и приуроченные по большей части к слоям пелитоморфных известняков и доломитов;

3) субвертикальные прожилки мощностью до первых сантиметров, реже цемент эруптивных брекчий, сложенные непрозрачным микроагрегативным кальцитом и доломитом с примесью силикатного материала и песчаных зерен; кальцит этих выделений серо-зеленый, непрозрачный.

Прожилки бесцветного прозрачного кальцита, как правило, сопровождают проявления карбонатов второго и третьего типов. Нередко можно проследить подводящие нитевидные трещинные каналы к друзам. В агрегативных прожилках прозрачный кальцит выполняет зальбанды.

Обычно карбонатные прожилки ассоциируют с пиритом, который представлен прожилковыми и метазернистыми вкрапленными агрегатами сферических и кубических зерен. Парагенезис кальцита и

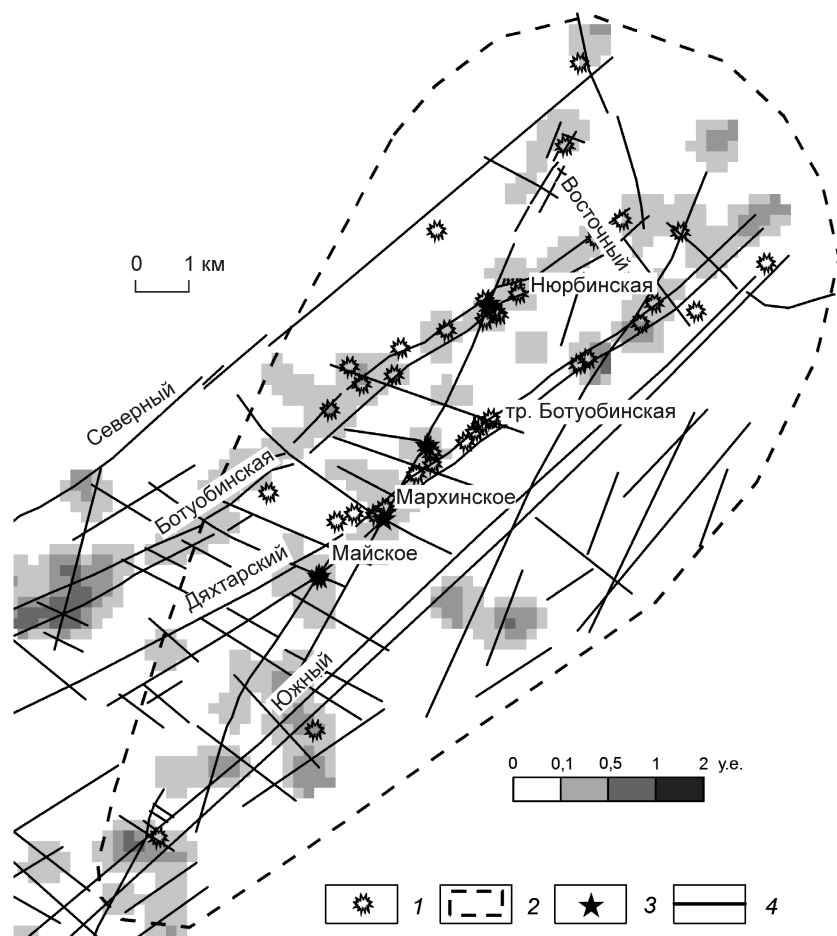


Рис. 1. Локализация флюидизитовых прожилков в зонах разломов, контролирующая эруптивные брекчиевые базиты и кимберлиты:

1 — проявления брекчиевых базитов; 2 — ореол распространения брекчиевых базитов; 3 — известные кимберлитовые тела; 4 — разломы; шкалой показана плотность флюидизитовых прожилков, нормированная на плотность сети бурения

пирита устанавливается по распределению пирита между разными генерациями кальцита. В прожилках целестина и барита кальцит представлен ранними генерациями, обрамляя их края. Друзовая разновидность кальцитов распространена с большей или меньшей интенсивностью практически повсеместно. В непосредственной близости от контактов трубок размер полостей, выполненных кальцитом, увеличивается.

Большая часть прожилков первого типа ассоциирует с тектоническими брекчиями, микросбросами и зонами трещиноватости. По данным детального картирования они сопровождают зоны ярко выраженных сбросов, выполненных дайками траппов, иногда тела кимберлитов.

Прожилки третьего типа встречаются гораздо реже. Они отмечены в экзоконтактах кимберлитовых трубок, даек и тел эруптивных брекчиевых бази-

тов. Изучение таких прожилков в прозрачных шлифах показало, что они характеризуются:

микрозернистым агрегативным сложением доломита и кальцита;

несортированной примесью (3–7%) остроугольных зерен кварца в меньшей мере калиевого полевого шпата, светлой слюды и кварцитов алевритовой и песчаной размерности; наличием зерен кварца с планарной микротрещиноватостью;

директивным распределением песчаных зерен кварца, полевых шпатов и светлой слюды вдоль границ прожилка;

присутствием в основной массе неправильных выделений спутанно-волоконистого строения с низкими цветами интерференции, напоминающих глинистые, хлоритовые или серпентиновые агрегаты;

коррозией большинства песчаных зерен кварца и силикатных образований карбонатной массой прожилков.

Отмеченные признаки также характерны и для кимберлитовых жил, которые маркируются присутствием зерен кристаллов флогопита, оливина и ксенокристов граната. Совокупность фактов указывает на флюидное происхождение данных образований, поэтому они получили название флюидизитовых прожилков. Картирование в центральной части Накынского кимберлитового поля показывает их локализацию в зонах разломов, активизированных в этапы внедрения кимберлитов и эруптивных брекчиевых базитов (рис. 1). По данным картирования в крупном масштабе определяется их пространственная связь со структурами, вмещающими кимберлитовые трубки и дайки. Так, на участках трубки Ботубинская и дайки Мархинская флюидизитовые прожилки слагают соответственно изометричные и линейно вытянутые ореолы (рис. 2).

Минералогическими признаками постмагматического происхождения карбонатных прожилков

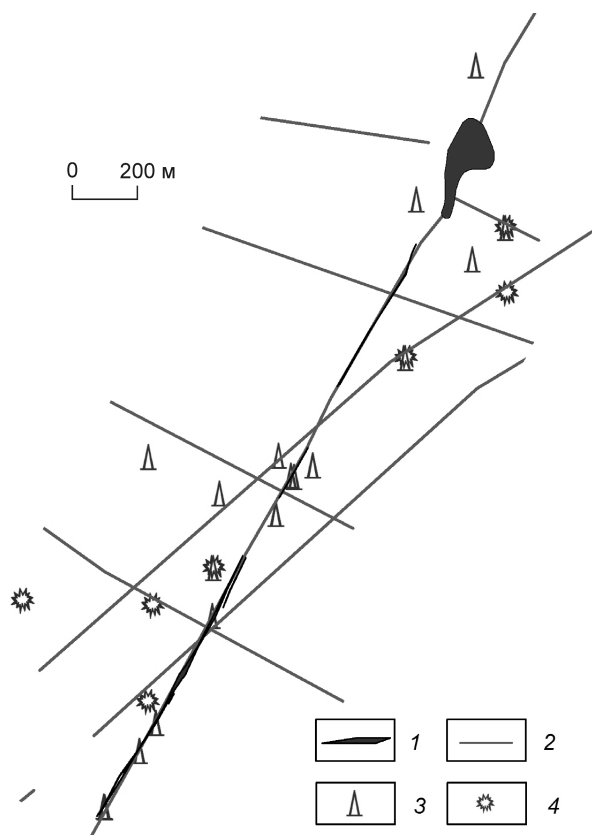


Рис. 2. Ореолы флюидизитовых прожилков вокруг Мархинского и Ботубинского тел кимберлитов:

1 — известные кимберлитовые тела; 2 — разломы; 3 — проявления флюидизитов; 4 — проявления брекчий базитов

являются: красный и голубой цвета фотолуминесценции для кальцитов первого и второго типов; присутствие слоистых силикатов в карбонатах третьего типа; характер термической диссоциации карбонатов; особенности изотопного состава углерода и кислорода кальцитов.

Красная фотолуминесценция вторичных кальцитов установлена визуально и по типичному [6] одномодальному спектру. В Накынском поле она обусловлена концентрацией, вероятно, изоморфной примеси марганца >1000 г/т [10]. Отражает ореолы гидротермальных образований, связанные с внедрением трапповых даек и силлов, включая скарны и скарноиды, а также отмечена в экзоконтакте эруптивных тел базитов и кимберлитов (рис. 3).

Кальцит считается минералом наиболее predisposed к захвату ионов двухвалентного марганца [17]. Известно, что красная фотолуминесценция кальцитов объясняется повышенными содержаниями в них Mn и свидетельствует об относительно более высоких температурных условиях

минералогенеза [3, 4, 5]. Кроме того, может быть результатом повышенного давления и высокой активности марганца в растворе, связанной с разгрузкой марганцевоносных рассолов.

Спектр голубой фотолуминесценции бимодальный, что может отражать концентрацию европия [17]. Детальное картирование таких кальцитов показало их локализацию в экзоконтакте кимберлитов, выполняющих дайковидные тела Майского и Мархинского месторождений. На участке месторождения Майское выявлено зональное строение локальных фотолуминесцентных ореолов от внешних к внутренним зонам: желтый – фиолетовый – голубой – красный (рис. 4).

Признаком гидротермального происхождения рассматриваемых карбонатов третьего типа служит наличие магниевых слоистых силикатов. Они характерны и для кимберлитов, в которых на пневматолитово-гидротермальной стадии образуются в основном серпентин, реже хлорит, иногда смектит. Как оказалось, часть из них тонкодисперсна и представлена рентгеноаморфными фазами. Предположение о возможном существовании тонкодисперсного (коллоидного) серпентина ранее обсуждалось в работе [7, 23]. В единичных случаях он был зарегистрирован электронно-микроскопическими и микродифракционными методами [22]. По нашим данным, рентгеноаморфный серпентин и хлорит

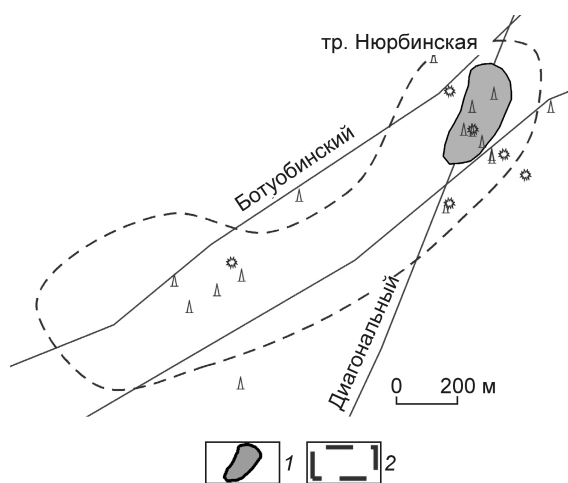


Рис. 3. Связь локальных ореолов прожилковых кальцитов с красной фотолуминесценцией с траппами, выполняющими Ботубинский разлом, кимберлитами трубки Нюрбинская, брекчиями базитов и прожилками флюидизитов в центральной части Накынского поля:

1 — условный контур трубки Нюрбинская; 2 — границы локального ореола распространения прожилковых кальцитов с красной фотолуминесценцией; остальные усл. обозн. см. рис. 2

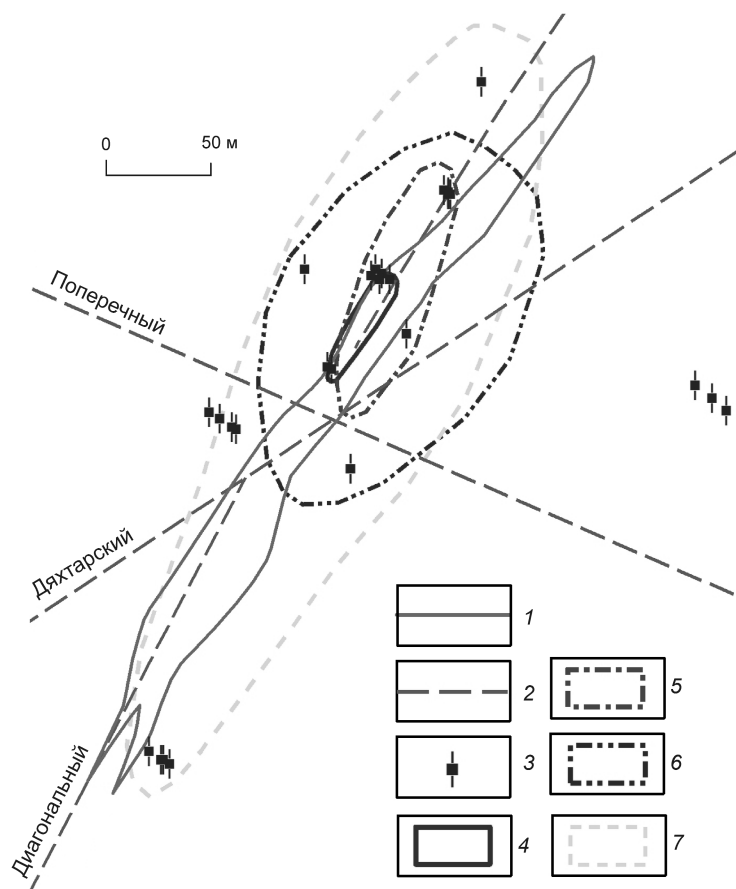


Рис. 4. Ореолы фотолюминесценции кальцитов во вмещающих породах Майского тела:

1 — контур Майского тела в верхних горизонтах; 2 — осевые зоны разломов; 3 — пиритизация; ореолы фотолюминесценции кальцитов: 4 — красной и розовой, 5 — голубой, 6 — фиолетовой, 7 — желтой

постоянно и в значимых количествах присутствуют в основной массе кимберлитов. При этом они находятся в смеси с наиболее крупнокристаллическими индивидами.

Сказанное иллюстрируется размещением кимберлитов в характерных областях на диаграмме (рис. 5, а), показывающей относительные потери структурной воды, связанной в рентгеноаморфных фазах, и содержания карбонатных минералов. Осадочные породы на данной диаграмме обособляются от кимберлитов. Это дает возможность классифицировать и карбонаты третьего типа с неизвестным генезисом (см. рис. 5, б). Прожилки, локализованные в областях кимберлитов и переходной, маркируют структурные узлы, являющиеся перспективными для обнаружения кимберлитов.

В экзоконтактах кимберлитов выявлен в основном тонкодисперсный Fe-Mg-Al хлорит. Его наличие подтверждено методом ИК-спектроскопии.

Например, в образце ШМ-10-380 из экзоконтакта Майского тела линии спектра с длиной волны 1011, 1081, 3260, 3417, 3557, 3620 см^{-1} принадлежат Fe-Mg-Al хлориту. В образце по данным рентгенографии содержатся (%) также кальцит (68), кварц (23), полевые шпаты (8), сульфиды (2).

Предпочтительному формированию минералов с малыми размерами кристаллитов, по-видимому, в большей степени способствует воздействие на карбонатные породы газовой компоненты и меньшей — гидротермальных растворов.

Карбонаты разного генезиса, кроме того, отличаются по характеру термической диссоциации, т.е. по температуре — $T^{\circ}\text{C}$ и удельной теплоте реакции — Q Дж/гр. Для карбонатов основной массы кимберлитов более характерна диссоциация с меньшим выходом тепла, чем для таковых из неизменных осадочных и перекристаллизованных пород. Важно иметь в виду, что в области карбонатов из основной массы кимберлитов находятся кальциты из порфировых кимберлитов глубоких горизонтов (>800 м) трубки Удачная-Восточная, где, по данным работы [14], присутствует магматический кальцит. Поэтому есть основания предполагать, что особенности термической диссоциации карбонатов основной массы кимберлитов обусловлены, в том числе,

и магматическими процессами. Переходная между кимберлитами и осадочными породами область менее однородна. В ней, помимо карбонатов основной массы кимберлитов, присутствуют таковые из метаморфизованных кимберлитовых пород, эруптивных брекчий базитов, карбонатных брекчий, скарнов, частично из зон экзоконтакта вмещающих пород с кимберлитами.

Кроме этого, необходимо учитывать, что гетерогенные карбонаты могут быть представлены смесью химических разновидностей, разделяемых по температуре диссоциации с помощью термографического метода. Так, смесь двух разновидностей кальцита, одна из которых разрушается при более высокой температуре, обнаружена в прожилке из вмещающих пород в экзоконтакте с кимберлитами тела Майское (проба ШМ-10-380). Подобная смесь наблюдается также в трубке Удачная-Восточная. Химическая неоднородность карбонатов, скорее

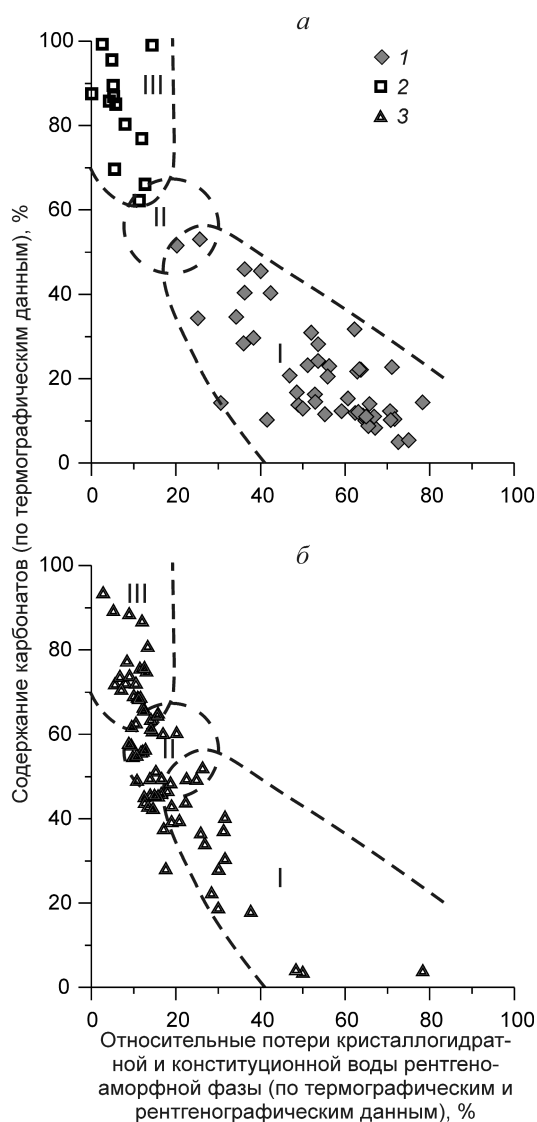


Рис. 5. Отличие кимберлитов и осадочных пород по данным рентгенографии и термометрии (а), анализ карбонатов третьего типа с неизвестным генезисом (б):

1 — кимберлиты из трубок Айхал, Удачная, Нюрбинская, Ботуобинская; 2 — осадочные породы; 3 — карбонатные флюидизитовые прожилки; условные области: I — кимберлитов, II — переходная, III — осадочных пород

всего, обусловлена гидротермально-метасоматическими процессами. По полученным данным прожилки из зон разломов можно более уверенно отнести к постмагматическим гидротермальным.

Анализ распределения изотопного состава кислорода и углерода карбонатов вмещающих пород и различных прожилковых кальцитов показывает их существенное отличие [1, 11]. Полученные в лаборатории С.Г.Кряжева (ЦНИГРИ) данные подтверждают и углубляют эти представления. Проблема изменения изотопного состава углерода и кислоро-

да кальцитов весьма объемная и требует специального рассмотрения.

В результате комплексного изучения вторичных карбонатов из вмещающих пород Накынского кимберлитового поля определен ряд признаков, позволяющих устанавливать их связь с проявлениями флюидного магматизма, в том числе кимберлитов. Они включают: петрографические и морфологические признаки флюидизации, примесь алеврито-песчаных зерен и силикатного материала; локализацию в зонах разломов, претерпевших активизацию во время внедрения кимберлитов и эруптивных брекчий базитов; ореолы прожилковых кальцитов с красной и голубой фотолуминесценцией; присутствие хлорита и серпентина, представленных в основном рентгеноаморфными фазами; наличие карбонатов полигенного состава, особенности последних — термическое разложение с удельной теплотой диссоциации, превышающей 500–600 Дж/гр; изотопные характеристики кислорода и углерода. Это расширяет признаковую базу оценки перспектив и локального прогнозирования кимберлитов, в том числе алмазоносных, при проведении детальных поисковых работ на коренные месторождения алмазов в закрытых районах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров В.А., Заири М.Н., Гуцин В.Н., Осика Л.Д. Изотопно-геохимические ореолы в околотрубном пространстве // Тез. докл. III Всесоюз. совещания. «Дегазация Земли и геотектоника». М., 1991. С. 104–105.
2. Борис Е.И., Ротман Ф.Я., Микоев И.И. Геолого-геофизические особенности кимберлитовмещающей среды и их поисковое значение // Прогнозирование и поиски коренных алмазных месторождений. Симферополь. Судак, 1999. С. 50–54.
3. Бушев А.Г., Габлин В.А., Квитко Т.Д., Соломанов В.Н. Люминесценция карбонатов и ее поисковое значение // Мат-лы по геологии урана, редких и редкоземельных металлов. М., 1995. Вып. 137. С. 167–173.
4. Велихова Н.А. Связь состава и некоторых физических свойств кальцита с условиями его образования: Автореф. дис. канд. геол.-минер. наук. — М., 1973.
5. Воробьев Е.И., Костровицкий С.И., Владимиров Б.М., Соловьева Л.В. Стронций, барий и редкоземельные элементы в кальцитах из кимберлитов Якутии // Геохимия. 1978. № 9. С. 1343–1350.
6. Горобец Б.С., Гафт М.Л., Подольский А.М. Люминесценция минералов и руд. — М.: МГ СССР, 1989.
7. Зинчук Н.Н. Постмагматические минералы кимберлитов. — М.: ООО Недр Бизнес-центр, 2000.
8. Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Новиков К.В., Толстов А.В. Ареал брекчий базитов Накынского кимбер-

- литового поля // Изв. вузов. Геология и разведка. 2010. № 2. С. 31–36.
9. *Игнатов П.А., Штейн Я.И.* Типы локальных структур, контролирующих кимберлиты Центральной Якутии // Руды и металлы. 1997. № 6. С. 61–66.
10. *Игнатов П.А., Штейн Я.И., Яныгин Ю.Т., Черный С.Д.* Новые приемы оценки локальных площадей на коренные алмазные месторождения // Руды и металлы. 2001. № 5. С. 43–51.
11. *Изотопный состав углерода и кислорода в прожилковых кальцитах из нижнепалеозойских толщ Якутии, вмещающих кимберлитовые трубки* / П.А.Игнатов, О.В.Ильин, Я.И.Штейн и др. // Изв. вузов. Геология и разведка. 1998. № 4. С. 46–54.
12. *Киселев А.И., Ярмолюк В.В., Егоров К.Н.* «Калиевые» базальты и «пикробазальты» девонских кимберлитовых полей Западной Якутии и их связь с кимберлитовым магматизмом (Россия) // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. № 1. С. 38–57.
13. *Контарович Р.С., Цыганов В.А.* Проблемы и перспективы развития геофизических технологий при поисках коренных месторождений алмазов // Геофизика. 2000. № 4. С. 52–57.
14. *Кулешов В.Н., Илутин И.П.* Изотопный состав углерода и кислорода в карбонатах ксенолитов кимберлитовых трубок Сибири // Советская геология. 1982. № 7. С. 93–98.
15. *Магматизм Накынского кимберлитового поля и геодинамика Сибирского кратона* / Ю.Б.Стегницкий, С.М.Саблуков, Л.Н.Саблукова и др. // Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении: Тр. XXI Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Смирнова. М., 2010. Т. 2. С. 227–251.
16. *Особенности магматических формаций из Накынского кимберлитового поля Якутской провинции* / М.Д.Томшин, А.С.Фомин, В.П.Корнилова и др. // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 12. С. 1678–1689.
17. *Портнов А.М., Горобец Б.С.* Люминогены — индикаторы режимов минералообразования в стратифицированной земной коре // ДАН СССР. 1981. Т. 261. № 2. С. 486–490.
18. *Ротман А.Я.* Магматизм алмазоносных районов востока Сибирской платформы // Глубинный магматизм, его источники и плюмы: Тр. VI Международного семинара. Иркутск–Мирный, 2006. С. 124–155.
19. *Структуры, контролирующие положение кимберлитов Средне-Мархинского района* // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов и других полезных ископаемых / В.М.Зуев, С.М.Безбородов, С.Д.Черный и др. Мирный, 1998. С. 260–262.
20. *Фор Г.* Основы изотопной геологии. – М.: Мир, 1989.
21. *Черный С.Д., Фомин Ю.А., Яныгин Ю.Т., Колесников Г.В.* Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовых трубок Накынского поля Якутской провинции // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. Мирный, 1998. С. 157–159.
22. *Gressey B.A., Zussman J.* Electron microscopic studies of serpentine // Can. Miner. 1976. Vol. 14. N. 3. P. 307–313.
23. *Wicks F.J., Zussman J.* Microbeam x-ray diffraction patterns of the serpentine minerals // Can. Miner. 1975. Vol. 13. Pt. 3. P. 244–258.

МОНИТОРИНГ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ИЗУЧЕНИЮ НЕДР



УДК 553.04:681.3

© К.Н.Мазуркевич, К.А.Коронкевич, 2012

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СЕТЬ — КЛЮЧ К УВЯЗКЕ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

К.Н.Мазуркевич (ФГУП ВСЕГЕИ), К.А.Коронкевич (ЗАО НПП ВИРГ – Рудгеофизика)

Для решения проблемы взаимной увязки данных между различными источниками с учетом отсутствия стандартизированных структур хранения при формировании крупных информационных систем федерального уровня использованы принципы «Ситуационной осведомленности» (Situational Awareness) и «Сетецентричности» (Net-Centric). Предлагается применять так называемую пространственную информационную сеть, представляющую собой набор элементарных (неделимых для конкретной задачи) частей, содержащих всю необходимую атрибутику для связи с сопровождающими базами данных исходных объектов. Формирование таких «элементарных частиц» осуществляется при помощи операций пространственного пересечения. Вместе с тем, построение пространственных информационных сетей играет важную прикладную роль для анализа территории и обеспечивает возможность построения карт и схем, отображающих районирование территории по комплексу факторов. Данный подход апробирован при построении Информационно-аналитической геолого-картографической системы «ГИС-Атлас России».

Ключевые слова: «Ситуационная осведомленность» (Situational Awareness), «Сетецентричность» (Net-Centric), информационные системы, ГИС-Атлас, карты геологического содержания, ГК-1000, ГК-200.

Мазуркевич Кирилл Николаевич, maz69@mail.ru, Коронкевич Константин Александрович, k_koronkevich@mail.ru

«A SPATIAL INFORMATION NETWORK» — A BASIS OF COORDINATION OF THE DIVERSE SPATIAL GIVEN AND INFORMATION SYSTEMS

К.Н.Мазуркевич, К.А.Коронкевич

The article describes how to use the principles of Situational Awareness and Net-Centric in order to solve problems of integrating data between different sources in the absence of standardized storage structures in the formation of large information systems at the federal level. It is proposed to use the so-called «Spatial Information Network», which is a set of elementary (indivisible for a particular task) parts that contain all the necessary attributes for a connection with the accompanying database source objects. The formation of such «elementary particles» can be carried out by means of the spatial intersection operations. At the same time, the construction of «spatial information networks», plays an important role when analysing the territory and provides the possibility of constructing maps and charts that display the zoning on a number of factors. This approach was tested in the construction of «information-analytical system of geological mapping» GIS Atlas of Russia.

Key words: Situational Awareness and Net-Centric, information systems, GIS Atlas, geological maps, GK-1000, GK-200.

В настоящее время в отрасли накоплен большой объем электронной информации о геологическом строении и минерально-сырьевой базе территории России — ГК-1000/3, ГК-200/2, различные сводные и обзорные карты геологического содержания м-ба 1:2 500 000, тематические сопровождающие базы данных, информационные системы, созданные в рамках различных тематических программ и работ. Основной проблемой, которая встает перед пользователем, начинающим работать с этими материалами, является отсутствие взаимной увязки данных из различных источников и различные структуры их хранения. Эта проблема возникает и при попытках

создания крупных информационных систем с охватом всего спектра данных по территории России. Решить проблему может помочь применение принципов «Ситуационной осведомленности» (Situational Awareness) и «Сетецентричности» (Net-Centric).

Принцип «Ситуационной осведомленности» означает и характеризует особое качество систем управления — «чувственное восприятие элементов обстановки в (едином) пространственно-временном континууме, осознанное восприятие их значения, а также проецирование их в ближайшее будущее», реализуемое с использованием новых подходов к организации управления.

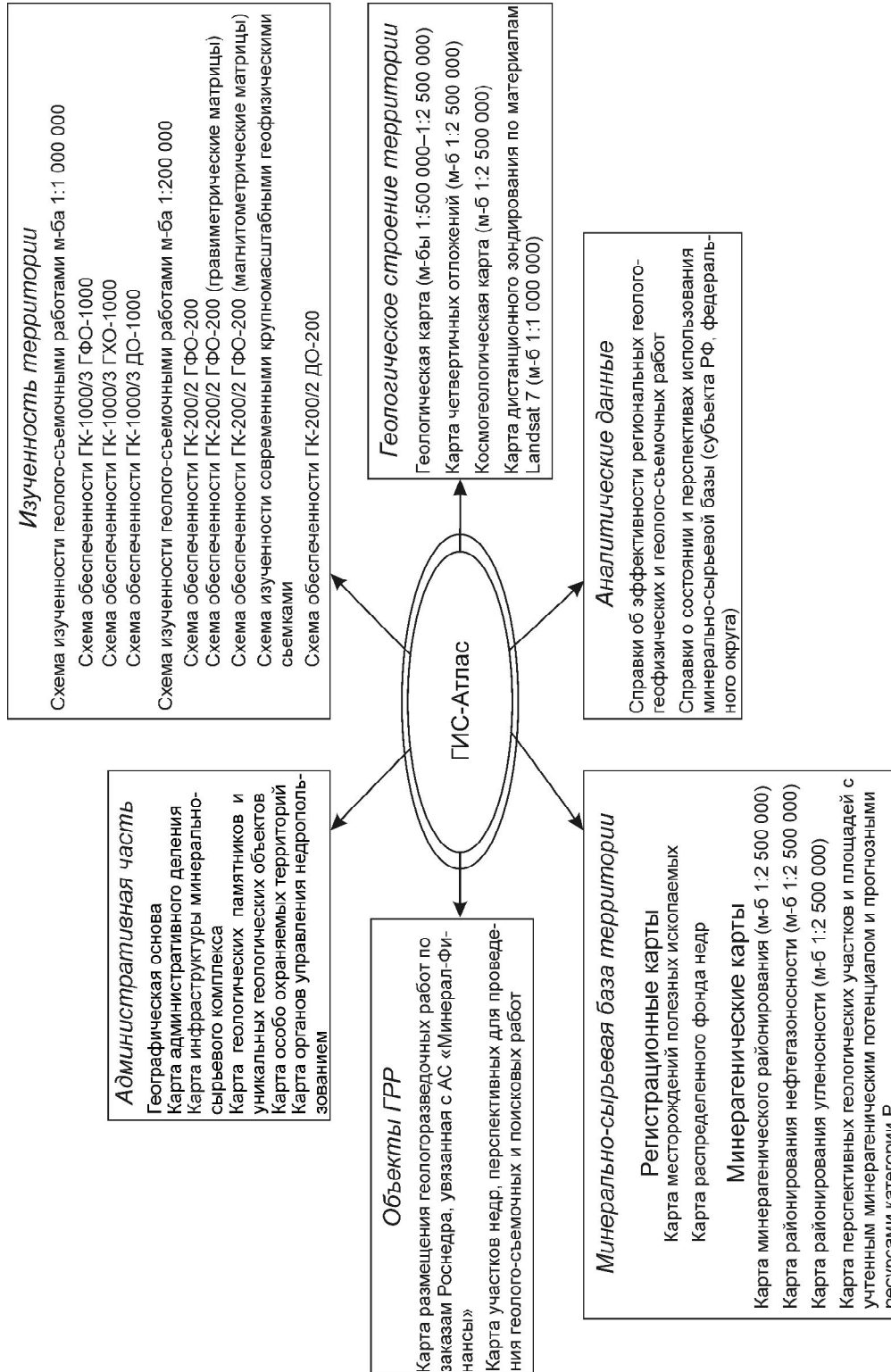


Рис. 1. Логическая схема организации предметной области ГИС-Атласа и состав картографических материалов

Принцип «Сетецентричности» позволяет реализовать режим ситуационной осведомленности благодаря формированию и поддержанию единой для всех ярусов управления целостной, контекстной информационной среды и включению в процесс ее непрерывной актуализации возможно большего числа источников первичной информации (портал «Неогеография» <http://www.neogeography.ru>).

На основе этих принципов авторами статьи предлагается использование так называемой *пространственной информационной сети*, представляющей набор элементарных (неделимых для конкретной задачи) частей, содержащих всю необходимую атрибутику для связи с сопровождающими базами данных исходных объектов. Формирование таких «элементарных частиц» осуществляется при помощи определенным образом организованных операций пространственного пересечения. Одновременно с этим построение «пространственных информационных сетей» играет важную прикладную роль для анализа территории и обеспечивает возможность построения карт и схем, отображающих районирование территории по комплексу факторов.

Данный подход апробирован при построении Информационно-аналитической геолого-картографической системы «ГИС-Атлас России». Работы по созданию ГИС-Атласа начались в 2001 г. и продолжаются до сих пор в режиме мониторинга.

Работы по созданию системы «ГИС-Атлас России» велись под руководством ВСЕГЕИ и выполнялись 28 геологическими предприятиями по всей территории России. Разнообразная административная, геологическая и геолого-экономическая информация, представляемая ГИС-Атласом, служит постоянной основой для планирования геологоразведочных работ за счет средств федерального бюджета по территории России, ее федеральных округов и субъектов РФ. Базовая геологическая информация, представленная в ГИС-Атласе, обеспечивает потребности не только государственного аппарата, но и специалистов — геологов.

Логическая схема организации предметной области ГИС-Атласа и состав картографических материалов приведены на рис. 1. Логическая схема была однотипна как для субъекта РФ, так и для федеральных округов и Российской Федерации в целом. Формирование материалов ГИС-Атласа проводилось на основе иерархической схемы административного деления РФ (рис. 2).

Основной ячейкой хранения данных являлся субъект Федерации. На основе локальных данных по конкретному субъекту Федерации формирова-

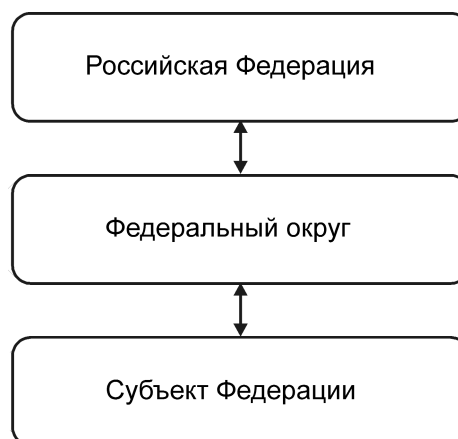


Рис. 2. Иерархическая схема организации материалов ГИС-Атласа на основе административного деления Российской Федерации

лись материалы по федеральным округам, а затем и по территории России в целом. Таким образом, удалось обеспечить телескопирование материалов различных масштабов и избежать дублирования хранения данных.

Высокая востребованность материалов ГИС-Атласа не только органами управления недропользованием, но и геологическими предприятиями показала необходимость возможности поиска информации внутри ГИС-Атласа по более привычному для специалистов принципу — на основании номенклатурных листов м-бов 1:1 000 000 и 1:200 000. Поэтому, по-мимо изначально заложенной иерархической схемы, была введена другая иерархическая схема — номенклатурных листов (рис. 3).

Пространственное пересечение этих двух иерархических схем (рис. 4) обеспечило построение системы, позволяющей вести поиск информации внутри ГИС-Атласа по двум взаимно независимым направлениям, и возможность формирования по необходимости выходных данных как по адми-

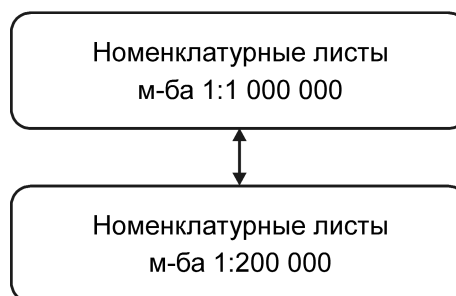


Рис. 3. Иерархическая схема организации материалов ГИС-Атласа на основе номенклатурных листов

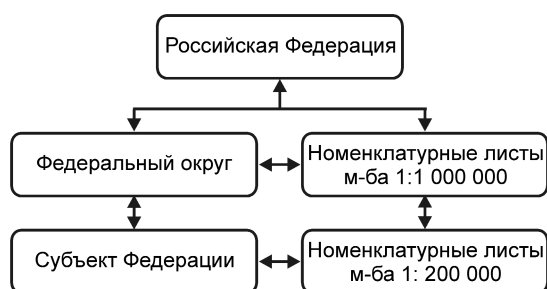


Рис. 4. Результирующая иерархическая схема организации материалов ГИС-Атласа

нистративной принадлежности, так и в рамках номенклатурных листов. Введение данной иерархической схемы автоматически обеспечивает увязку с базами данных по серийным легендам ГК-1000 и ГК-200, сопровождающими базами данных ГК-1000/3 и ГК-200/2 по номенклатурным листам. Так же по административной принадлежности увязываются базы данных по Государственному кадастру и балансу месторождений и проявлений полезных ископаемых и лицензионным площадям.

Такое пространственное пересечение на основе четырех ключевых параметров не является закрытым. Наоборот, — это открытая система, позволяющая ввести любой необходимый пользователю ключевой параметр, важно только, чтобы он имел свою пространственную привязку. Это дает возможность ввести в систему не только графические примитивы, но и всю информацию, содержащуюся в сопровождающих базах данных, что расширяет знания системы, а соответственно, и пользователя

об исследуемой территории. Отметим, что данная схема может служить универсальным инструментом для взаимной увязки различных информационных систем с разными схемами и структурами сопровождающих баз данных. Для обеспечения работы необходим лишь единый источник входных данных.

Использование пространственной информационной сети для увязки разнородных данных при формировании «ГИС-Атласа» России дало возможность решить следующие задачи.

Предоставление специалистам и заинтересованным лицам информации о геологическом строении территории России на основе актуализированных и апробированных материалов:

обзорные карты геологического содержания м-ба 1:2 500 000;

комплекты государственных геологических карт м-бов 1:1 000 000–1:200 000;

данные о положении и состоянии объектов МПИ на основе Государственного баланса и Государственного кадастра;

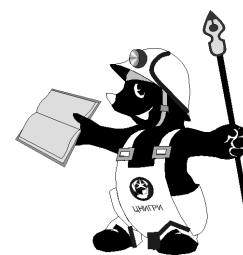
данные о размещении лицензионных площадей.

Обеспечение доступа к единому для всех источнику базовых геологических данных.

Проведение анализа состояния геологических знаний для принятия решений в системе управления геологическим изучением недр территории России.

Решение этих задач позволяет предоставить пользователю комплексную и взаимно увязанную информацию по геологическому строению территории России и субъектов РФ, обеспечивает реализацию принципа «Ситуационной осведомленности».

РЕЦЕНЗИИ



УДК 553.481 (571.61)

© А.С.Вах, 2012

О КНИГЕ В.А.СТЕПАНОВА, А.В.МЕЛЬНИКОВА «НИКЕЛЕНОСНОСТЬ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ»*

А.С.Вах (ДВГИ ДВО РАН)

V.A.STEPANOV, A.V.MELNIKOV «NICKEL CONTENT OF VERHNEE PRIAMURIE — A REVIEW»

A.S.Vakh

Недавно вышла в свет книга В.А.Степанова, А.В.Мельникова «Никеленосность Верхнего Приамурья», в которой изложены результаты многолетних исследований авторов территории Амурской области на никель, медь и платиноиды. Особый интерес представляют новые данные по петрологии и геохронологии рудоносных магматических образований рассматриваемого региона, а также результаты детальных минералогических исследований Cu-Ni руд проявлений Дамбукинского района, выполненных с использованием современных методов микроанализа рудного вещества. Помимо этого, авторы на основе обобщения геологических материалов различных производственных и научных организаций приводят сводку о всех медно-никелевых проявлениях в пределах Верхнего Приамурья.

Актуальность поднятой авторами проблемы перспектив Верхнего Приамурья на никель определяется тем, что до конца XX в. данная территория считалась малоперспективной на выявление как собственно никелевого, так и комплексного никель-благороднометального оруденения. В основополагающей монографии, характеризующей минеральные ресурсы Амурской области, роль никеля в структуре минерально-сырьевой базы региона вообще не обсуждалась [2]. Однако в последние годы эти представления изменились в связи с выявлением новых медно-никелевых месторождений, рудопроявлений и перспективных рудоносных участков в пределах ультраосновных рудно-магматических образований Верхнего Приамурья. Поэтому выделение авторами новой Становой никеленосной провинции в пределах Амурской области можно считать обоснованным и весьма важным для металлогенического районирования активизированных

древних структур юго-восточной части Северо-Азиатского кратона.

Исследования авторов вносят существенный вклад в изучение петрологии, рудоносности и генезиса базит-ультрабазитовых комплексов Дальнего Востока России. Его основы заложены выдающимися учеными Дальневосточного геологического института ДВО РАН — профессорами С.А.Щекой и С.С.Зиминим. Еще в своей первой монографии С.А.Щека рассмотрел наиболее важные теоретические и практические аспекты изучения рудоносных никеленосных дунито-троктолитовых интрузий Станового хребта [3]. С.С.Зиминим совместно с учениками впервые в СССР выделены и детально описаны новые формации никеленосных базитов, перспективные на медно-никелевые руды [1].

Практическая значимость рецензируемой работы заключается также в детальном рассмотрении уровня локализации и характера проявления благороднометальной минерализации в медно-никелевых рудах Становой провинции. Это позволяет выделить новый слабо изученный формационный тип золотого оруденения Дальнего Востока России. На примере Дамбукинского рудного района авторы убедительно доказали его ведущую роль в формировании россыпных месторождений золота. Обращается внимание на то, что подход к медно-никелевым проявлениям Становой провинции с позиций выявления комплексного медно-никелево-благороднометального орудения существенно повышает роль рудоносных базит-ультрабазитовых комплексов Верхнего Приамурья при их промышленном освоении.

Книга «Никеленосность Верхнего Приамурья» содержит 217 страниц, включая 68 рисунков, 40 таблиц, список литературы, представленный от-

* Степанов В.А., Мельников А.В. Никеленосность Верхнего Приамурья. — Владивосток: Дальнаука, 2010.

дельно к каждой главе. Она состоит из предисловия, пяти глав, заключения и приложения в виде кадастра месторождений, рудопроявлений, точек минерализации и ореолов рассеяния никеля в пределах Амурской области.

Первая глава посвящена краткому обзору медно-никелевых месторождений Востока Азии. Показаны многоэтапность формирования медно-никелевого оруденения, приуроченность его к окраинам кратонов, обрамляющим их складчатым областям и срединным массивам, разнообразие формационной принадлежности рудоносных интрузий основного–ультраосновного состава.

Наиболее крупные месторождения Норильск и Талнах, как и месторождение Джиньчуань, расположены на окраинах кратонов. Они относятся к умеренно магнезиальной габбро-пикрит-долеритовой и повышенно магнезиальной габбро-пироксенит-перидотитовой формациям. Мелкие и средней крупности объекты приурочены к обрамляющим кратоны складчатым областям (Хунчилин, Йоко-Довыренское, Колотонк и др.), иногда к срединным массивам (Шануч). Их формационная принадлежность меняется от высокомагнезиальной пироксенит-перидотитовой (Кингаш) и повышенно магнезиальной габбро-пироксенит-перидотитовой (Йоко-Довыренское, Хунчилин) до умеренно магнезиальной габбро-пикрит-долеритовой (Колотонк). Месторождения Северной Кореи и Камчатки принадлежат к формации роговообманковых базитов.

Приведенная в данной главе краткая геологическая характеристика эталонных медно-никелевых объектов в пределах Востока Азии раскрывает читателю специфические черты геологии и металлогении данного типа минерализации, геодинамические и возрастные особенности их формирования.

В истории исследования никеленосности Верхнего Приамурья (вторая глава) выделены три этапа: ранний (1916–1951 гг.), средний (1952–1969 гг.), современный (начиная с 1975 г.). На раннем этапе в регионе выполнялись разрозненные геологоразведочные работы главным образом на золото. При этом попутно были выявлены и обследованы несколько проявлений никелевой минерализации. Второй этап связан с проведением на всей территории региона государственной геологической съемки м-ба 1:200 000, сопровождаемой комплексом общепроисловых работ. В это время закартированы основные массивы базит-ультрабазитового состава, потенциально перспективные на медно-никелевое оруденение. На некоторых из них проведены детальные поисковые работы на никель. В третий этап к работе над определением перспектив никеленосности региона активно подключаются науч-

ные (АмурКНИИ, ДВГИ, НИГТЦ), производственные (НПО «Аэрогеология», ФГУГП «Амургеология») организации, а начиная с 2000 г. и частные фирмы (ГМК «Фалконбридж Ист Лимитед», ЗАО «Кун-Манье», ЗАО НПК «Геотехнология»). На этом этапе выявлено месторождение Кун-Манье, в пределах которого оценены запасы промышленных сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд, детально изучены проявления никеля, приуроченные к массивам Луча и Ильдеус, обнаружен новый объект в Дамбукинском рудном районе, перспективный на промышленное медно-никелевое оруденение.

В третьей главе проанализированы сведения о металлогении никеля Верхнего Приамурья и сопредельных территорий. На юго-восточном обрамлении Северо-Азиатского кратона авторами выделена Становая никеленосная провинция. В ней разведаны среднее по запасам медно-никелевых руд месторождение Кун-Манье и некоторые перспективные рудопроявления сульфидной платиноидно-медно-никелевой формации.

Установлено, что медно-никелевое оруденение провинции генетически связано с тремя разновозрастными комплексами: позднеархейским анортозитовым и габбро-анортозитовым, раннепротерозойским дунит-троктолит-габбровым, раннемеловым кортландит-пироксенит-габбровым. К западу от Становой расположена Северо-Байкальская провинция, в которой известны сульфидные медно-никелевые месторождения (Йоко-Довыренское, Чинейское и др.). Границей между указанными провинциями служит зона Джелтулакского глубинного разлома. Описаны базит-гипербазитовые интрузии восточного фланга Северо-Байкальской провинции с медно-никелевым оруденением (Лукинда, Веселкинское, Колоктикан и др.).

В двух последних главах рассмотрены геологическое строение и закономерности локализации оруденения рудопроявлений никеля и перспективных участков Дамбукинского никеленосного района (четвертая глава), а также состав сульфидных медно-никелевых руд, их возраст и генезис (пятая глава). Установлено, что сульфидное медно-никелевое оруденение района связано преимущественно с джалтинским комплексом раннемеловых кортландит-пироксенит-габбровых малых интрузий, даек и силлов. Сульфидные медно-никелевые руды состоят из типового набора минералов — пирротина, халькопирита и пентландита с примесью других сульфидов, а также самородного золота, котульскита и сперрилита. Встречаются как сингенетичные (вкрапленные, гнездово- и густовкрапленные) руды, образовавшиеся одновременно с интрузиями

джалтинского комплекса, так и эпигенетические (брекчиевые, прожилковые и массивные), которые формировались после кристаллизации основной массы никеленосных интрузий.

Самородное золото встречается в рудах в виде пылевидных, тонких и весьма тонких зерен, пластинок, дендритовидных сростков и кубооктаэдров. Проба его изменяется от 428 (электрум) до 978‰ (высокопробное золото) с максимумом около 900–950‰. В делювиальных отложениях средняя проба золота снижается до 800–850‰. Это объясняется тем, что при окислении сульфидных руд высвобождается серебро, часть которого, взаимодействуя с частицами золота, снижает его пробу.

Возраст медно-никелевого оруденения, определенный рубидий-стронциевым методом по содержащемуся в рудах мусковиту, соответствует раннему мелу. Он совпадает с возрастом вмещающих оруденение кортландитовых интрузий джалтинского комплекса $121,2 \pm 2,4$ млн. лет по U-Pb методу.

Таким образом, книга В.А.Степанова и А.В.Мельникова «Никеленосность Верхнего Приамурья» раскрывает новые и интересные аспекты в формировании никелевой минерализации в Верхнем Приамурье. К сожалению, авторы оставили вне поля зрения новые данные по минералогии других проявлений медно-никелевых руд рассматриваемой провинции. Их сопоставление с полученными результатами по Дамбукинскому району позволило бы выявить основные типоморфные особенности минералов для данного типа оруденения.

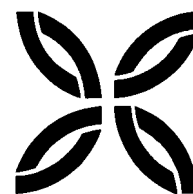
Повысило бы ценность данной работы и изучение некоторых теоретических вопросов генезиса медно-никелевого оруденения, флюидного режима и геодинамических условий формирования рудно-магматических образований Становой никеленосной провинции.

В заключение отметим, что данная книга — серьезное и интересное научное обобщение по никеленосности Приамурья. Изложенные в ней материалы, несомненно, будут востребованы геологами, минералогами и специалистами по рудным месторождениям, студентами и преподавателями вузов. Ряд выводов монографии представляют практический интерес для горнодобывающих компаний. Авторы проделали огромную работу не только по суммированию и анализу сведений по никеленосности региона, но выявили и детально охарактеризовали перспективные проявления медно-никелевых руд в Дамбукинском рудном районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимин С.С. Формации никеленосных роговообманковых базитов Дальнего Востока. – Новосибирск: Наука, 1973.
2. Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков / И.А.Васильев, В.П.Капанин, Г.П.Ковтюк и др. – Благовещенск, 2000.
3. Щека С.С. Петрология и рудоносность никеленосных дунито-троктолитовых интрузий Станового хребта. – М.: Наука, 1969.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



7 августа 2012 г. исполнилось 75 лет **Евгению Михайловичу Аксенову** — директору ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», доктору геолого-минералогических наук, заслуженному геологу Российской Федерации, академику Академии горных наук, члену-корреспонденту Международной академии минеральных ресурсов.

Е.М.Аксенов работает в институте с 1962 г., прошел путь от лаборанта до директора. Он — признанный ученый в области геологии неметаллических полезных ископаемых, внесший большой вклад в развитие минерально-сырьевой базы страны. Под его руководством успешно осуществляется научно-методическое и аналитико-технологическое обеспечение и сопровождение геологоразведочных работ в различных геолого-экономических районах, в том числе Северо-Кавказском, Сибири и на Дальнем Востоке. В Республиках Дагестан, Карачаево-Черкесской, Кабардино-Балкарской организуются и проводятся работы по переоценке ресурсно-

го потенциала твердых нерудных полезных ископаемых, формированию сырьевой базы минерально-строительного и сорбционного сырья. В Республике Саха (Якутия) и Иркутской области подготовлен ресурсный потенциал цементного сырья, в Томской области поставлены на государственный учет запасы стекольных песков. На территории Республики Татарстан опоискованы и разведаны новые виды твердых нерудных полезных ископаемых — цеолитсодержащие породы, стекольные и формовочные пески, мраморный оникс, минеральные пигменты.

За последние пять лет под руководством Е.М.Аксенова успешно выполнены работы по оценке новых месторождений нерудного сырья, оперативной геолого-экономической оценке объектов прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на неметаллы, созданию методических основ для проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям. Получен значительный прирост запасов и прогнозных ресурсов неметаллических полезных ископаемых для обеспечения базовых отраслей национальной экономики РФ. Часть из них была поставлена на государственный баланс запасов полезных ископаемых и передана по результатам аукционов и конкурсов недропользователям в целях дальнейшего изучения и освоения.

Под руководством Е.М.Аксенова институт стал обладателем аттестата аккредитации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. По его инициативе осуществляется техническое перевооружение предприятия, улучшаются условия труда, внедряются новые методы исследования нерудного сырья, уделяется внимание подготовке высококвалифицированных специалистов — докторов и кандидатов наук, научному росту молодых сотрудников.

Е.М.Аксенов имеет большой научный авторитет как в России, так и за рубежом. Он — автор более 200 научных трудов, из которых более 120 опубликованы, в том числе 20 монографий. Является членом секции минерального сырья и лицензирования твердых полезных ископаемых НТС Роснедра, действительным членом Академии горных наук, членом научных советов по проблемам геологии докембрия и по рудообразованию РАН, Межведомственного Стратиграфического комитета России, специализированного Ученого совета Казанского (Приволжского) федерального университета. Участвовал в разработке Долгосрочной государственной программы изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья на 2005–2010 годы и до 2020 года (раздел «Неметаллические полезные ископаемые»).

В составе группы ученых Е.М.Аксенову присуждена Государственная премия Республики Татарстан в области науки и техники за монографию «Геология Татарстана. Стратиграфия и тектоника». В 2012 г. он награжден Памятной медалью «Академик И.С.Грамберг».

Сердечно поздравляем Евгения Михайловича с юбилеем, желаем здоровья, творческого долголетия, высоких научно-производственных результатов, оптимизма, благополучия.

*Ученый совет ЦНИИГеолнеруд
Коллегия Роснедра
Президиум Росгео
Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

2 июля 2012 г. исполнилось 75 лет главному научному сотруднику ЦНИГРИ, доктору геолого-минералогических наук, профессору, академику РАЕН и МАМР, заслуженному деятелю науки РФ, одному из лидеров отечественной геологической науки в области золоторудных месторождений **Михаилу Михайловичу Константинову**.

М.М.Константинов трудится в ЦНИГРИ с 1960 г. Работал на свинцово-цинковых месторождениях Северной Осетии, золоторудных месторождениях Закавказья, Северо-Востока России, Дальнего Востока, Приморья, Якутии, Средней Азии. Полученные в результате исследований новые данные о строении месторождений использовались при определении направлений геологоразведочных работ. В многочисленных научных трудах им раскрыты основные закономерности размещения и формирования золоторудных месторождений, определены золоторудные эпохи, выделены рудно-геохимические системы, конвекционные золотоносные системы и динамические фации золотоносных формаций, рассмотрены процесс биогенного концентрирования золота и условия образования золоторудных гигантов.

М.М.Константинов был членом Техсовета Мингео СССР, куратором по золоту Северо-Востока России и Закавказья, участвовал в подсчете запасов многих месторождений, в том числе Зодского, Дукацкого, Меградзорского, руководил рабочей группой института, обеспечивающей научно-методическое сопровождение геологоразведочных работ в Республике Северная Осетия–Алания, Магаданской области, Якутии. Он постоянно передает свой опыт молодым исследователям. Под его руководством в ЦНИГРИ защищено 12 кандидатских диссертаций. Является членом редколлегии журнала «Отечественная геология».

М.М.Константинов живет в атмосфере постоянного научного поиска, к которому старается приобщить коллег. Он обладает творческой харизмой, умеет увлечь сотрудников работой над крупными научными обобщениями. К ним относятся изданные коллективные монографии по прогнозу золоторудных месторождений, их моделям, строению и развитию золотоносных рудообразующих систем.

М.М.Константинов — автор более 300 научных публикаций, в том числе 20 монографий.

М.М.Константинов — лауреат премий Правительства Российской Федерации и академика В.А.Обручева, удостоен звания «Почетный разведчик недр», награжден знаком «Отличник разведки недр».

Поздравляем Михаила Михайловича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия, новых творческих успехов.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*



8 июля 2012 г. исполнилось 60 лет заведующему лабораторией отдела конъюнктуры минерального сырья ЦНИГРИ, высококвалифицированному специалисту в области бурения скважин большого диаметра и лицензирования твердых полезных ископаемых **Владимиру Петровичу Рыбину**.

В.П.Рыбин работает в институте с 1974 г. Был принят на должность старшего техника отдела буровых работ. В 1989 г. он — научный сотрудник, лауреат премии Совета Министров СССР за разработку и внедрение прогрессивных технологий и высокопроизводительных средств для бурения скважин большого диаметра, в последующем — старший и ведущий научный сотрудник.

В 1974–1994 гг. выполнял исследования по разработке и совершенствованию технологии и технических средств для бурения скважин большого диаметра. Участвовал в комплексе экспериментальных исследований по установлению качественных показателей

бурения геологоразведочных скважин. С его участием разработаны научно-методическая документация для отбора качественных проб при бурении скважин на россыпях золота, технология бурения скважин установкой УБСР-25М в различных регионах страны (Дальний Восток, Красноярский край и др.).

В.П.Рыбин участвовал в заверочных работах на Олимпиадинском месторождении, в разработке проекта технического задания по созданию модернизированной буровой установки УБСР-25-2М с комплектом инструментов. Он — соавтор работы по определению исходных параметров установки УБСР-50, предназначенной для разведки глубокозалегающих россыпей скважинами большого диаметра, один из инициаторов комплекса экспериментальных исследований по созданию принципиально нового перспективного способа бурения геологоразведочных скважин на золотоносных россыпях с применением метода с обратной промывкой. Использование данных разработок позволило обеспечить высокое качество геологоразведочных работ, сократить сроки разведки, снизить их себестоимость, исключить проходку трудоемких и дорогостоящих горных выработок.

С 2003 г. В.П.Рыбин — ответственный исполнитель исследований в области системы лицензирования недропользования. С его участием подготовлены научно-методические основы лицензирования участков недр по твердым полезным ископаемым, методика обработки материалов по федеральному государственному статистическому наблюдению за выполнением условий пользования недрами при поисках, разведке и добыче твердых полезных ископаемых. Он руководит разработкой системы мониторинга цен на твердые полезные ископаемые для расчета стартового размера разового платежа при подготовке аукционов и конкурсов на право пользования участками недр, содержащих эти ископаемые.

В.П.Рыбин — автор более 60 научных трудов и четырех авторских свидетельств на изобретения. Неоднократно награждался денежными премиями и почетными грамотами ЦНИГРИ.

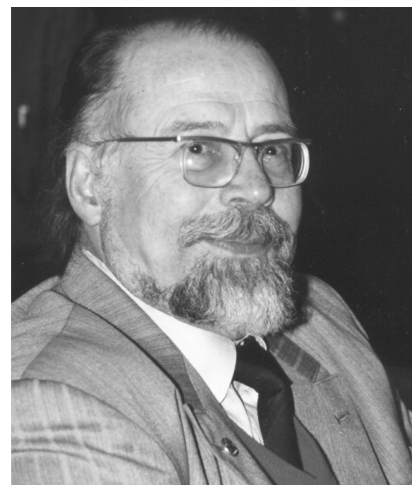
Поздравляем Владимира Петровича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия, новых творческих успехов.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

1 августа 2012 г. исполнилось 80 лет члену-корреспонденту РАН, доктору геолого-минералогических наук, профессору, советнику РАН **Анатолию Алексеевичу Сидорову**.

Ученик академиков А.Н.Шило и В.А.Кузнецова А.А.Сидоров внес большой вклад в развитие рудноформационного анализа, создав новую концепцию базовых рудных формаций.

После окончания в 1953 г. геологоразведочного факультета Иркутского горно-металлургического (сейчас политехнического) института он в течение трех лет работал начальником поисковой партии Чаунского РайГРУ (Певек, Чукотка). В 1955–1957 гг. открыл ряд золото-серебряных месторождений и рудопроявлений. Оруденение данного типа не было изучено и оценено в пределах Северо-Востока России. Поэтому все работы 1955–1978 гг. — производственные отчеты, публикации, в том числе две монографии («Золото-серебряное оруденение Центральной Чукотки», 1966 г. и «Золото-серебряная формация Восточно-Азиатских вулканогенных поясов», 1978 г.) — были пионерными. По результатам этих работ А.А.Сидоров защитил кандидатскую (1965 г.) и докторскую (1973 г.) диссертации.



В дальнейшем при активном участии А.А.Сидорова появились новые концепции «докембрийских преформаций», «полных и редуцированных рудноформационных рядов», показано родство и особенности источников минерального вещества месторождений разных минеральных типов в пределах каждого рудноформационного ряда, установлены закономерности прогрессивной реовенации оруденения регионального масштаба. Концепции были апробированы и развиты в монографиях «Рудные формации и эволюционно-исторический анализ благороднометалльного оруденения», 1998 г., «Золоторудные гиганты России и мира» (в соавторстве с М.М.Константиновым, Е.М.Некрасовым, С.Ф.Стружковым), 2000 г., «Уникальный золоторудный район Чукотки» (в соавторстве с А.В.Волковым), 2001 г., «Геология месторождений серебра» (в соавторстве с М.М.Константиновым, А.В.Костиным), 2003 г., «Месторождения золота и серебра Чукотки» (в соавторстве с А.В.Волковым, В.И.Гончаровым), 2006 г., «Рудноформационный анализ» (в соавторстве с В.И.Старостинным, А.В.Волковым), 2011 г. А.А.Сидоровым опубликовано более 400 работ, в том числе 16 монографий (12 из них в соавторстве) и 25 статей в различных зарубежных изданиях.

В 1971 г. А.А.Сидоров принимал участие в организации лаборатории геологии благородных металлов СВКНИИ ДВНЦ АН СССР в г. Магадан, заведующим которой проработал восемь лет. В 1980 г. участвовал в организации отдела геологии золота Востока СССР в ЦНИГРИ, а затем по конкурсу был избран заведующим отделом. В 1985–1993 гг., работая директором СВКНИИ, организовал Северо-Восточный научный центр ДВО РАН, председателем которого был избран в 1990 г. Был руководителем народных университетов общества «Знание» (1983–1984 гг.), председателем Северо-Восточного отделения Всесоюзного минералогического общества (1985–1993 гг.), а также членом редколлегии журналов «Колыма», «Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР», «Тихоокеанская геология». В настоящее время является заместителем главного редактора журнала «Вулканология и сейсмология», членом редколлегии журналов «Тихоокеанская геология» и «Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН».

А.А.Сидоров — член национального комитета Тихоокеанской научной ассоциации, Международной ассоциации по генезису рудных месторождений, заслуженный деятель наук РСФСР, лауреат премии им. академика В.А.Обручева за 1990 г. Награжден знаком «Отличник разведки недр», грамотами Президиума РАН и губернатора Магаданской области, значком ЦК ВЛКСМ «Молодому передовику производства», медалями «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И.Ленина», «За трудовую доблесть», «Ветеран труда», «В память 850-летия Москвы», орденом «Знак Почета».

Поздравляем Анатолия Алексеевича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия, новых творческих успехов.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Ученый совет ИГЕМ РАН
Редколлегия журнала*

ПАМЯТИ ОЛЬГИ ВАСИЛЬЕВНЫ РУСИНОВОЙ

В июне 2012 г. скончалась Ольга Васильевна Русинова. Она пришла в ЦНИГРИ в 1960 г. после окончания МГРИ и прошла долгий путь от старшего коллектора до старшего научного сотрудника. Специализировалась в области рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа минералов и гидротермально измененных пород месторождений цветных и благородных металлов. В 1979 г. защитила кандидатскую диссертацию на тему «Аргиллизация пород и кристаллохимические особенности слоистых силикатов в близповерхностных золоторудных месторождениях». В качестве ответственного исполнителя провела полевые и лабораторные исследования руд и окolorудных пород многих золоторудных месторождений Северо-Востока СССР, Забайкалья, Средней Азии и Казахстана. Результаты ее работ изложены в многочисленных научных трудах, из которых более 60 опубликованы.

Трудовые заслуги О.В.Русиновой отмечены медалью «Ветеран труда».

О.В.Русинова была одним из ведущих специалистов отрасли по минералогии и петрографии окolorудных метасоматитов. Ее научные работы до настоящего времени широко используются, в том числе новым поколением минералогов.

Ольга Васильевна навсегда останется в нашей памяти как неутомимый исследователь, добрый жизнерадостный человек, с которым было легко преодолевать повседневные трудности полевой и кабинетной работы геолога.

*Коллектив ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*