

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

2/2010

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И.Ф.МИГАЧЕВ

Зам. главного редактора А.И.КРИВЦОВ
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
В.В.КУЗНЕЦОВ
Н.К.КУРБАНОВ
Г.А.МАШКОВЦЕВ
Г.В.РУЧКИН
Ю.Г.САФОНОВ
Г.В.СЕДЕЛЬНИКОВА
В.И.СТАРОСТИН
С.Ф.СТРУЖКОВ

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 2010

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

Сдано в набор 31.03.10 г.
Подписано в печать 10.04.10 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: 313-43-47
E-mail: tsnigri@tsnigri.ru
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2010

Прикладная металлогения

Applied metallogeny

Эйриш Л.В.

К перспективам выявления крупных золоторудных месторождений в складчатых комплексах и структурах активизации Приамурья и Приморья

5

Eyrish L.V.

On potential of folded zones and rejuvenated structures of the Amur and Russian Far East regions for large lode gold deposits

Копылов М.И.

Прогнозно-поисковые признаки и критерии титановых и медно-никелевых месторождений в пределах Дальневосточного габбро-анортозитового пояса

17

Kopylov M.I.

Titanium and Cu-Ni deposits of the Far East gabbro-anorthosite belt: Indications and signatures

Труфанов В.Н., Шарова Т.В., Труфанов А.В.

Золотоносные пегматиты габбро-норитовых комплексов Центрального Алдана

25

Trufanov V.N., Sharova T.V., and Trufanov A.V.

Gold-bearing pegmatites of the gabbro-norite series, Central Aldan area, Russia

Агибалов О.А.

Экзогенная золотоносность чехла центральной части Русской платформы — постановка проблемы

31

Agibalov O.A.

Supergenic gold potential of the Central Russian Platform: Substantiation of the problem

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений**Prognosis and exploration techniques and methods***Кряжев С.Г.*

Современные проблемы теории и практики термобарогеохимии

38

Kryazhev S.G.

Thermobarogeochemistry: Current issues of theory and practice

Хачатрян Г.К.

Типизация алмазов из кимберлитов и лампроитов по распределению азотных центров в кристаллах

46

Khachatryan G.K.

Diamonds from kimberlites and lamproites classified by distribution of N-V centers in crystals

Чекваидзе В.Б., Мильяев С.А., Исакович И.З.

Породно-минерально-элементные аномалии на золоторудных полях и их прогнозно-поисковая интерпретация

61

Chekvaidze V.B., Milyaev S.A., and Isakovich I.Z.

Anomalies in rock, mineral, and chemical composition in the gold fields and their predictive respects

Памяти

В.М.Яновского

65

In memoriam

V.M.Yanovsky

Дискуссии**Discussions***Степанов В.А.*

Существуют ли ураганные концентрации золота в угольных месторождениях Верхнего Приамурья и Сибири

66

Stepanov V.A.

Are there any extremely high gold concentrations in coal beds of the Upper Amur region and Siberia?

Подгаецкий А.В., Бунин И.Ж., Эпштейн С.А.
Криогенно-электроимпульсная активация ка-
менных углей

69

Podgayetsky A.V., Bunin I.Zh., and Epstein S.A.
Complex cryogenic-electric pulse activation of
coal

Поздравляем с юбилеем

Э.М.Денисову, О.В.Минину, А.Н.Некрасову,
А.И.Никулина, В.И.Романова, А.И.Романчука,
Г.В.Ручкина

74

Our congratulations

E.M.Denisova, O.V.Minina, A.N.Nekrasova,
A.I.Nikuliv, V.I.Romanov, A.I.Romanchuk and
G.V.Ruchkin



К ПЕРСПЕКТИВАМ ВЫЯВЛЕНИЯ КРУПНЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СКЛАДЧАТЫХ КОМПЛЕКСАХ И СТРУКТУРАХ АКТИВИЗАЦИИ ПРИАМУРЬЯ И ПРИМОРЬЯ

Л.В.Эйриш (Институт геологии и природопользования АмурНЦ ДВО РАН)

Некоторые золоторудные поля Приамурья и Приморья рассматриваются как обширные штоковые с возможными крупнообъемными ресурсами бедных руд, пригодных для открытой отработки. Приуроченность к складчатым черносланцевым толщам и структурам активизации, локализация в антиклиналях и штоках диоритов, связь с региональными и локальными минимумами силы тяжести, примесь в рудах редких металлов, многостадийность рудообразования позволяют сравнивать их с известными крупными зарубежными и российскими объектами.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, складчатые комплексы, антиклинали, гравитационные минимумы.

Эйриш Леонид Владимирович, lavrik@igd.khv.ru

OUTLOOK DISCOVER BIG GOLD DEPOSITS IN FOLDED SONS AND STRUCTURES OF REACTIVATION AMUR REGION AND AT SEA REGION

L.V.Eirish

Certain Gold deposits Far East this big ore folds possibly big resources poor ores, come in handy open exsploiration. Theirs to accustom by black folded schists and structures of reactivation, bond at anticlinals and stocks diorite, with regional and local gravity minimums, admixture in ores rare metals, presence mach stadges ore deposition point out on likeness with big deposits foreign and Russia.

Key words: gold deposits, big ore, fold basin, anticlinal dome, gravity minimums.

Рассматриваются месторождения складчатых зон Джагдинской и Сихотэ-Алинской золотоносных провинций, а также некоторые месторождения структур тектономагматической активизации Становой провинции, описанные ранее [13, 20–22]. В прежние десятилетия тематические исследования и поисково-разведочные работы в них были нацелены на собственно золоторудные объекты, преимущественно с богатыми рудами. В настоящее время возникла необходимость их переоценки в иных параметрах. Парагенезис золота и редких металлов считался негативным фактором, а золото и олово антиподами. Поэтому в регионе практически нет разведанных месторождений золото-редкометалльного типа. Известны лишь мелкие золото-вольфрамовые (Харгинское и Унгличканское в Джагдинской провинции [20]) и вольфрамовые месторождения (Незаметное, Восток-2 и Лермонтовское на Сихотэ-Алине), в которых золото при эксплуатации извлекалось попутно [21]. Значительные по ресурсам золото-редкометалльные месторождения в регионе отсутствуют, а крупные собственно золоторудные, локализованные в складчатых (углеродистых) толщах, имеются. Это месторождения Мало-

мыр в Джагдинской и Глухое в Сихотэ-Алинской провинциях. В подобной геологической обстановке разведаны крупные и уникальные золоторудные месторождения, руды которых существенно обогащены редкими металлами, попутно извлекаемыми при эксплуатации, например, уникальное месторождение Мурунтау (Узбекистан). В его рудах широко представлены шеелит и вольфрамит, в меньших количествах молибденит и касситерит, минералы теллура. Вольфрам и молибден являются индикаторами золотого оруденения [8]. В рудах месторождения с благородными металлами тесно ассоциируют Bi, W, Mo, Se, Sb.

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что примесь редких металлов (Bi, W, Sb, Te, Se, Hg, иногда Sn, Be) в рудах золоторудных месторождений, локализованных в складчатых черносланцевых комплексах, явление обычное. Таковы Мурунтау, Кочбулак, Кайрагач в Узбекистане [10], Бакырчик, Айбакай в Казахстане [15], Олимпиада, Благодатное, Удережское в Енисейском кряже [6], Итакинское, Карийское, Ушумунское в Забайкалье [17], Дегдекан, Эргелях в Магаданской области [5], Майское, Совиное на Чукотке [7], Аркачан, Ле-

водобинское в Западном Верхоянье [4]. Золото-редкометальное оруденение выявлено и в районе Нежданинского месторождения (Юго-Восточная Якутия, Курумский объект) [2]. В Енисейском кряже выделяется Тайская кольцевая структура длительного развития, включающая месторождение Олимпиада, которая контролируется гравитационным минимумом [6]. В центральной части структуры развито золото-сульфидное оруденение с примесью вольфрама и сурьмы, а по периферии — золото-кварцевое. В.В.Зверев утверждает, что важным признаком наличия крупного (и уникального) золоторудного месторождения (такого, как Олимпиада, Мурунтау, Коллар, Морру-Велью, Нежданинское, Поркюпайн и др.) является наличие в руде примеси вольфрама и мышьяка [6]. Например, в месторождении Поркюпайн добыто 1660 т Au и 200 т WO₃. Сходные данные известны и для крупных докембрийских золоторудных месторождений зеленокаменных поясов — Хемло (Канада), Хоумстейк (США), Морру-Велью (Бразилия) и др. В рудах этих месторождений отмечаются повышенные содержания Mo, W, Sb, Hg. А.Ф.Коробейников [11] отметил, что в зональной структуре крупных и уникальных золоторудных месторождений рассматриваемого типа (Сухой Лог, Воронцовское, Кумтор, Мурунтау, Бакырчик, Нежданинское и др.) участвуют редкие металлы.

Большинство упомянутых месторождений приурочены к антиклиналям и контролируются

глубинными структурами разуплотнения, охватывающими земную кору и верхи мантии. Это, а также наличие в рудных узлах и полях малых интрузий (дайки, штоки, силлы) гранитоидов и пород гибридного состава указывают на связь продуктивных фронтов (и оруденения) с глубинным преимущественно гранит-диоритоидным магматизмом. Многие крупные золоторудные месторождения штокверкового типа Центральной Азии [16] локализованы непосредственно в гранитоидных плутонах (Васильковское, Джеруй, Джилао, Зармитан). Они также приурочены к антиклиналям, контролируются структурами гравитационного разуплотнения и содержат редкие металлы в рудах. Ю.Г.Щербаков [18] подчеркивает, что осаждение золота в месторождениях складчатых черносланцевых комплексов, а также его халькофильных элементов-спутников, в том числе Bi, W, Sb, Te, Se, обусловлено наличием в системе самородного углерода, и формирование уникальных месторождений рассматриваемого типа чаще всего многоэтапно. По данным Н.С.Бортникова с соавторами [12], Майское месторождение (Чукотка) — крупный объект (запасы 277 т, при содержании 12 г/т Au), локализованный в куполовидной структуре, образованной среднетриасовыми дислоцированными алевролитами и песчаниками, прорванными дорудными штоками и дайками гранодиорит- и гранит-порфиоров, лампрофиоров. Рудное поле составляют зоны тонкой прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации с

Рис. 1. Схема районирования золотоносных площадей юга Дальнего Востока:

1 — палеогеновое золотое и золото-серебряное оруденение в вулканических комплексах среднего состава; 2 — золотоносные провинции мезозойских складчатых областей со вскрытым палеозойским фундаментом с юрско-раннемеловым золотым (а) и золото-редкометальным (б) оруденением; 3 — золотоносные провинции областей мезозойской тектономагматической активизации с меловым, преимущественно гипабиссальным золотым (а) и субвулканическим оруденением золотого (б), золото-серебряного (в) профиля; 4 — ареалы редкометального оруденения мелового и палеогенового возраста (олово, вольфрам); 5 — зоны с палеозойским золотым оруденением мезо-гипабиссальным; 6 — границы золотоносных структур (а — планетарных поясов, б — провинций и металлогенических поясов, в — зон, г — подзон); 7 — месторождения: а — гип- и мезоабиссальные (1 — золоторудные, 2 — золото-полиметаллические и золото-сульфидные, 3 — золото-сурьмяные, 4 — золото-редкометальные); б — субвулканические (5 — золоторудные, 6 — золото-серебряные, 7 — медно-порфировые с золотом); А — Монголо-Охотский золотоносный пояс. Провинции (цифры в кружках — зоны): I — Алданская (1 — Алдано-Учурская, 2 — Эватино-Ломамская), II — Становая (3 — Северо-Становая, 4 — Тукурингская, 5 — Сугджарская), III — Джагдинская (6 — Селемджино-Кербинская, 7 — Верхнеамурская), IV — Буреинская (8 — Северо-Буреинская, 9 — Восточно-Буреинская, 10 — Туранская); Б — Тихоокеанский золотоносный пояс. Провинции: V — Сихотэ-Алинская (11 — Прибрежная, 12 — Нижнеамурская, 13 — Центрально-Сихотэ-Алинская, 14 — Дурминская), VI — Яно-Колымская (15 — Южно-Верхоянская), VII — Охотско-Чукотская (16 — Джугджурская); зоны с палеозойским золотым оруденением: 17 — Малохинганская, 18 — Западно-Приморская; месторождения: 1 — Лебяжье, 2 — Скалистое, 3 — Лебединское, 4 — Куранах, 5 — Бамское, 6 — Улахан и др., 7 — Березитовое, 8 — Кировское, 9 — Успенское, 10 — Золотая Гора, 11 — Колчеданный Утес, 12 — Маломыр, 13 — Ворошиловское и Верхнемыское, 14 — Токурское, 15 — Сагурское, 16 — Афанасьевское, 17 — Харгинское, 18 — Унгличканское, 19 — Ленинское, 20 — Ниманская группа, 21 — Токоланское, 22 — Кербинское, 23 — Бурундинское, 24 — Боргуликан, 25 — Пионер, 26 — Покровское, 27 — Верхнетыгдинское, 28 — Ельничное, 29 — Прогнозное, 30 — Нони, 31 — Медвежье Одеало, 32 — Многовершинное, 33 — Белая Гора, 34 — Албазинское, 35 — Октябрьское, 36 — Покровско-Троицкое, 37 — Агние-Афанасьевское, 38 — Учаминское, 39 — Дяпле, 40 — Холанское, 41 — Зимовье, 42 — Тумнинское (Оемку), 43 — Дурминское, 43а — Силанское, 44 — Незаметное, 45 — Восток-2, 46 — Ягодное, 47 — Приморское, 48 — Салют, 49 — Малиновское (Намовское) 50 — Благодатное, 51 — Глухое, 52 — Аскольд, 52-1 — Криничное, 53 — Прогресс, 54 — Порожистое, 55 — Сбросовое (Тас-Юряхское), 56 — Дуэт, 57 — Юр, 58 — Авляканское, 59 — Етарское, 60 — Кулюклинское, 61 — Юрьевское, 62 — Чачика, 63 — Хаканджинское

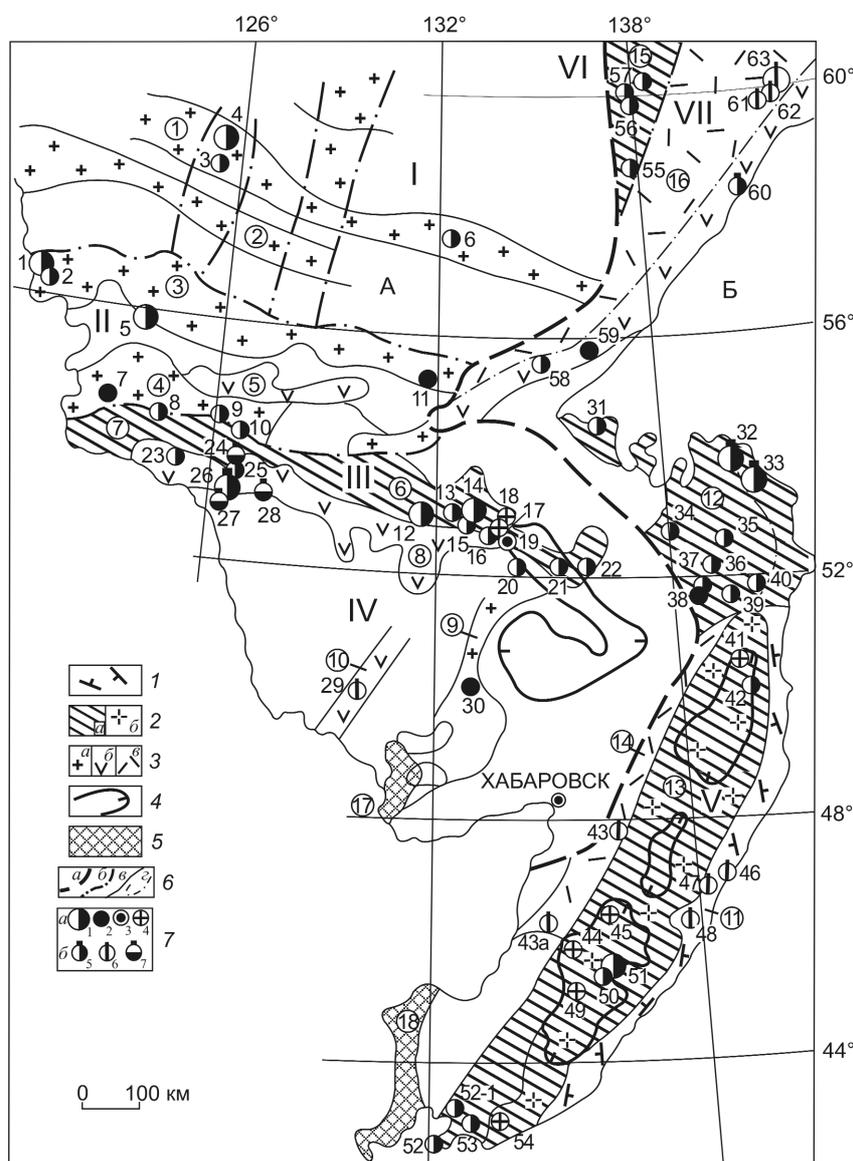
преимущественно тонкодисперсным золотом и поздними жильно-прожилковыми образованиями с более крупным золотом в углеродистых породах. Месторождение сформировалось из единого рудно-магматического очага в три этапа — ранний золото-сульфидный, средний золото-редкометалльный и поздний золото-сурьмяно-ртутный. При этом в рудообразующей системе функционировало три различных по физико-химическим параметрам флюида. Среднеглубинные руды раннего этапа представлены кварц-пирит-арсенопиритовой ассоциацией с тонкодисперсным золотом; малоглубинные золото-редкометалльные среднего этапа — кварц-касситерит-пирит-арсенопиритовой и станнин-сфалеритовой ассоциациями, развитыми по всему рудному полю, а также кварц-молибденитовой и кварц-вольфрамитовой

в центральной его части; близповерхностные золото-антимонитовые позднего этапа — это кварц-антимонитовые жилы, секущие оруденение двух предыдущих этапов. Отмечаются висмутин и козалин, содержащие Se и Te до нескольких процентов.

Расположенное восточнее Совиное золоторудное месторождение [13] также приурочено к антиклинальному поднятию. Локализовано в нижнекаменноугольных углеродистых и известковистых милонитизированных песчано-глинистых породах. Представлено крупнообъемным штокверком золото-кварц-сульфидных руд с примесью W, который контролируется геохимическими ореолами Bi, W, Mo.

Приведенные данные представляют интерес в связи с тем, что на Дальнем Востоке (в Приамурье и

Приморье) известны золоторудные месторождения сходного типа. Они пространственно обычно разобщены с собственно редкометалльными объектами. Их генетические связи ранее не рассматривались. Однако на примере Майского месторождения такая связь очевидна. Она обусловлена развитием вещественно различных, разноглубинных, разновременных этапов рудообразования, кумулированных в единой рудомещающей структуре. Логично предположить, что единство (и длительность) рудно-магматического процесса способствовала формированию крупных (и уникальных) рудных объектов. Совмещение положительных факторов происходило не всегда, поэтому чаще наблюдается разобщенность проявления рудоносных этапов. В некоторых районах рудный процесс проявился только на раннеорогенном этапе и обусловил формирование собственно золоторудных месторождений, в других — это редкометалльный этап (вольфрамовые и оловянные месторождения Дальнего Восто-



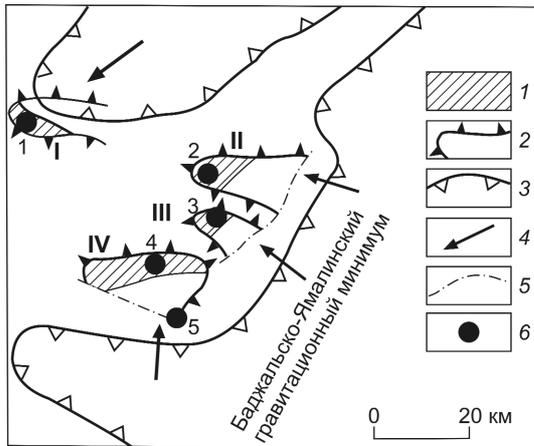


Рис. 2. Положение золотоносных площадей в куполовидных структурах Верхнеселенджинской зоны относительно Баджалско-Ямалинского гравитационного минимума:

1 — золотоносные площади; 2 — куполовидные структуры (I — Челогорская, II — Неэргенская, III — Эльгоканская, IV — Афанасьевская); 3 — минимумы силы тяжести; 4 — направление движения флюидов; 5 — разломы; 6 — золоторудные месторождения: (1 — Токурское, 2 — Унгличканское, 3 — Харгинское, 4 — Афанасьевское, 5 — Ленинское)

ка), а в третьих — поздний близповерхностный с сурьмяными и золото-сурьмяными рудами.

Сравним некоторые дальневосточные золоторудные месторождения с отмеченными эталонами крупнообъемных объектов.

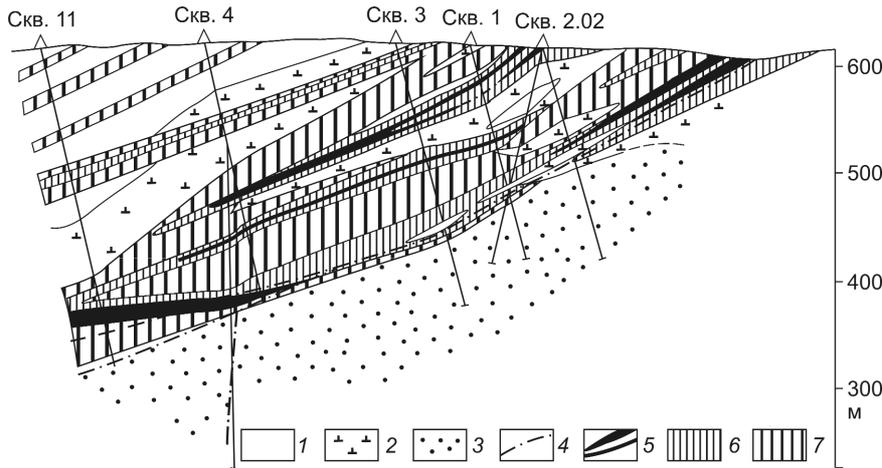


Рис. 3. Разрез через Диагональную зону Маломирского месторождения, составил С.Г.Парада:

1 — углеродистые филлиты и кремнисто-глинистые сланцы; 2 — зеленокаменные породы; 3 — метапесчаники; 4 — дайки диоритовых порфиритов; золото-сульфидная прожилково-вкрапленная минерализация с содержанием Au: 5 — относительно высоким, 6 — средним, 7 — низким

Джагдинская золотоносная провинция расположена в осевой части одноименной складчатой области, разделяющей Становой щит и Буреинский массив, сложена слабометаморфизованными терригенными часто углеродистыми породами (рис. 1). Месторождения Маломир и Токур ассоциируют с локальными минимумами силы тяжести, удаленными к западу (в особенности Маломир) от генеральной гравитационной структуры региона — Буреинско-Ямалинского минимума (рис. 2). В приближенных к нему районах известны мелкие Унгличканское и Харгинское золото-вольфрамовые месторождения и Ленинское золото-сурьмяное, а также ареалы геохимических потоков рассеяния Au, W, Bi, Sb, Sn.

Месторождение Маломир [3, 20] локализовано в Селемджино-Кербинской золотоносной зоне (см. рис. 1) в толще палеозойских осадочных дислоцированных пород зеленосланцевой фации, слагающих северное крыло антиклинали (рис. 3). Низы разреза представлены метапесчаниками с прослоями глинистых и зеленых сланцев, метакремней и линзами мраморизованных известняков, средняя часть — метаалевролитами (филлиты), графитистыми, зелеными сланцами, кварцитами, верхи разреза — метапесчаниками с линзами слюдястых сланцев и мраморизованных известняков. Породы прорваны, вероятно, позднепалеозойскими малыми интрузиями дорудных микроклинизированных гранитов, а также мезозойскими дайками порфиритов и порфиров.

Рудные тела сосредоточены в зоне Диагональная, наклоненной на северо-запад под углами 25–30°. Зона образована слабосульфидизированными перемятыми (до брекчий) метаалевролитовыми и другими сланцами, пронизанными кварцевыми прожилками (1–10 мм). Содержание сульфидов 2–5%. Преобладают пирит и арсенопирит. Халькопирит, сфалерит, пирротин, марказит, халькозин, вольфрамит, шеллит, молибденит, касситерит образуют редкие зерна. Золото <0,05 мм (90%) присутствует в кварце и по трещинам в сульфид-

дах. Проба 700–820‰. В арсенипирите содержание Au от 5 до 140 г/т, в пирите 5–50 г/т. В золотоносном пирите повышенны содержания Bi и Sb, иногда Ti, Mo и W, наряду с As, Co, Cu, Pb, Ag, Zn. Среднее содержание Au в рудах зоны 1–3 г/т, местами выделяются локальные рудные тела мощностью 3–8 м с содержанием Au 4–8 и даже 10–15 г/т (А.Е.Пересторонин, 1993). Рудные тела оконтуриваются опробованием. Слабозолотоносны (0,4–0,9 г/т) почти все породы зоны.

По простиранию зона Диагональная прослежена на 4,2 км, скважинами — на глубину 270 м и более при мощности 60–100 м. В пределах зоны оконтурена залежь длиной 2 км, мощностью от 14,5 до 49,1 м, длиной по падению 260–350 м при среднем содержании Au 2–2,45 г/т. Длина залежи по падению (на северо-запад), прослеженная буровыми скважинами, 1600 м, а на юго-запад по геофизическим данным — 2 км. Месторождение относится к сухоложскому золото-платиноидному типу [3]. Содержание в рудах Pt 0,5–10, Pd 0,2–7,1 г/т. Основные элементы-примеси в руде — As, Ag, Sb, W. Содержание W и Sb составляет тысячные и сотые, Sn и Mo — десятитысячные доли процента.

Месторождение Маломир может обрабатываться открытым способом. Золото из руды извлекается цианированием. Имеются данные о возможности применения метода кучного выщелачивания золота из кусковой руды. Прогнозные ресурсы объекта оцениваются от 100 до 200 т Au и могут быть увеличены за счет глубоких горизонтов юго-западного фланга и ресурсов Кварцитового месторождения, расположенного на правобережье руч. Маломир в 1,5 км от Диагональной зоны. Фактически это единое рудное поле. В отличие от месторождения Маломир Кварцитовое локализовано в штокообразных телах позднепалеозойских гранитоидов, прорывающих углистые кварц-полевошпатовые и зеленые сланцы. Представлено несколькими штокверковыми зонами окварцованных милолитов с вкрапленностью сульфидов (1–4%). Мощность рудных тел 2,5–18,7 м, протяженность 400 м, содержание Au 2,1 г/т. Прогнозные ресурсы Au 12,8 т. Золото локализовано в прожилках кварца, оно крупнее маломирского, в среднем 0,07–0,3 мм (до 1 мм). Примеси в рудах: As (0, n%), Ag (0, n–n г/т), W, Sb, Zn (0,00n, редко 0,0n%), отмечаются Mo, Sn и другие металлы. Руды менее упорные в



Рис. 4. Геологический разрез через центральную часть Токурского месторождения:

1 — верхняя песчаная толща с кремнями и базальным горизонтом серых среднезернистых песчаников; 2 — флишевая толща; 3 — нижняя песчаная толща; 4 — нижняя аргиллитовая толща; 5 — шток кварцевых диоритов, дайки диабазовых и диоритовых порфиритов; 6 — золоторудные кварцевые жилы; 7 — золоторудная зона Главного разлома

сравнении с маломирскими, золото может извлекаться гравитационно-флотационными методами.

Токурское месторождение [19, 20] находится в 100 км к востоку от Маломирского, расположено в толще верхнепалеозойских (?) дислоцированных слабометаморфизованных (цеолитовая фация) песчано-глинистых пород, флишевых образований, кремней, слагающей южное крыло Челогорской антиклинали (рис. 4; см. рис. 2), и контролируется локальным минимумом силы тяжести. С 1939 г. по 90-е годы здесь рудником обрабатывались секущие и близосогласные со слоистостью тектонические зоны, минерализованные кварцем, сульфидами и шелифом. Из них добыто ~35 т Au.

На месторождении установлены вертикальная геохимическая зональность и последовательность накопления As, W, Zn, Ag, Cu, Au, Pb, Hg от нижних горизонтов к верхним. Ртуть фактически образует надрудную «шапку», но есть случаи совмещения контрастных ореолов золота и ртути на более глубоких горизонтах. Этот факт интерпретируется как последующее (повторное) оруденение. Выделяются несколько волн рудообразования, каждая из которых накладывается на предыдущую и ведет к обогащению золотом рудоносной структуры. Именно так формируются крупные месторождения [18].

Зона Главного разлома длиной 5 км, мощностью десятки метров (см. рис. 4) представлена кварцевыми метасоматитами по песчаникам и кремням с сульфидной минерализацией, прожилками кварца и карбоната. Повышенный уровень золотоносности отмечается в более узких интервалах. Наиболее широко представлена ранняя минеральная ассоциация — серый тонко- и микрозернистый кварц с карбонатами, пиритом, арсенипиритом. Поздние генерации кварца образуют прожилки, широко развитые (10–30%) в обогащенных золотом участках.

Горными выработками зона оценена лишь на отдельных участках, а буровыми скважинами прослежена по падению на глубину 800 м от поверхности. От жильного типа эти руды отличаются более высоким содержанием сульфидов (до 3–5 против 1–2%), более низкими, но постоянными содержаниями вольфрама (10–150 г/т), золото в них свободное, мелкое и тонкое, значительная его часть диспергирована в сульфидах (в среднем 20 г/т).

В пределах Токурского рудного поля на всем протяжении зоны известно много участков с промышленными или близкими к ним параметрами. В районе Иннокентьевского месторождения (западный фланг зоны) оруденелые породы мощностью до 8,2 м с содержанием Au 2,2–5,8 г/т прослежены на 350 м. Восточнее имеется еще один интервал (200 м) с мощностью оруденелых пород (в стенке кварцшлага) 9,5 и 6 м, с содержанием Au 3,6 и 3,2 г/т соответственно. В центральной части рудного поля рудная зона прослежена на 1200 м. В штольне 38 в двух разрозненных сечениях содержание Au 3,4 и 5,9 г/т на мощность 10 и 6 м соответственно. Во вмещающих породах содержание Au на уровне 1 г/т. В зоне отмечены повышенные концентрации As, W, Hg, а также Cu, Zn, Pb, В, Мо. На левом склоне руч. Токур в борту дороги мощность рудной зоны составила 7 м, содержание Au 7,5 г/т. На левом склоне руч. Малый Токур зона представлена минерализованными милонитами сложного строения, развитыми по серым кварцитам. На мощность 8,2 м содержание Au 7,6 г/т.

В 1983 г. на Токурской обогатительной фабрике было обработано 900 т руды (отбитой на поверхности в районе штольни 42) по схеме для руд жильного типа. Извлечение составило 87,4% (на 10–15% меньше, чем для жильных руд). Прогнозные ресурсы рудной зоны Главного разлома при среднем содержании 2,84 г/т значительные.

Унгличканское золото-вольфрамовое месторождение [21] расположено на пересечении Джагдинской золотоносной провинции с областью Буреинско-Ямалинского минимума. Приурочено к периклинальному замыканию Неэргенской куполовидной структуры (см. рис. 2) и локализовано в зоне тектонического контакта пачек графитисто-кварцево-сланцевых и филлитовидных сланцев длиной 2 км и мощностью 300–560 м. Зона сложена милонитами, гидротермально измененными и сульфидизированными брекчированными породами (и брекчиями), а также дайками порфировых пород среднего – основного состава.

Поисково-разведочными работами оценивались сравнительно богатые руды с содержанием Au 18 г/т и W 0,05–0,9%. В рудном поле широко пред-

ставлены слабо изученные зоны окварцованных сланцев и рудных брекчий с лимонитовым цементом и кварцевыми прожилками, содержащими арсенопирит, пирит, шеелит, реже галенит, марказит, сфалерит и антимонит. Наиболее золотоносны рудные брекчии и кварц-альбитовые метасоматиты. Золото в рудах тонкое (0,005–0,5 мм). Шеелит образует желваки, прожилки, линзы. Кроме золота и вольфрама, в рудах отмечаются повышенные содержания As, Ag, Pb и Sb. Ареал геохимических потоков рассеяния золота протягивается на 20 км в широтном направлении при ширине 5–8 км, вольфрама — соответственно 15 и 3 км, сурьмы — 3 и 2 км. В северо-западной части рудного поля известны неопределенные первичные ореолы рассеяния золота и вольфрама. Рудное поле выделяется единым комплексным геохимическим ореолом (по делювию) Au, W, As, Cu длиной 1 км и шириной 250–400 м. Ореолы вольфрама не совпадают с максимумами золотого оруденения. Это указывает на связь данных металлов с разными этапами рудообразования, хотя и принадлежащими к единой структуре.

Золото и шеелит из руд извлекаются гравитационно-флотационным методом — 96,1 и 93,6% соответственно. Прогнозные ресурсы (P_1) золота оценены в 19,5 т при содержании 3,1 г/т. В рудном поле возможно выявление крупнообъемного золоторудного месторождения.

В 30 км к югу от Унгличканского в южной части Афанасьевской куполовидной структуры и в зоне влияния Буреинско-Ямалинского минимума (см. рис. 2) расположено *Ленинское золото-сурьмяное месторождение*, которое эксплуатировалось на сурьму. Систематического опробования на золото в процессе разведочных и эксплуатационных работ не проводилось, в штучках содержание Au достигало 17 г/т. В долине ближайшего руч. Ингалым разрабатывалась россыпь золота. Месторождение находится в восточной части обширного комплексного геохимического ареала потоков рассеяния Au, Sb, Cu, Bi, Zn, W, Pb, Sn, приуроченного к контрастной структуре гравитационного разуплотнения, ее западному замыканию (см. рис. 2). Рудное поле и геохимический ареал в целом следует изучить на возможное присутствие золото-редкометалльного оруденения объемного типа.

Таким образом, отмеченные выше золоторудные месторождения Джагдинской провинции по ряду признаков схожи с известными крупными (и гигантскими) месторождениями (Мурунтау, Майское и др.). Их объединяет приуроченность к складчатым черносланцевым толщам слабометаморфизованных преимущественно песчано-глинистых

пород, формирование в несколько этапов (обычно три и более), локализация в антиклиналях (часто куполовидных) в пределах отрицательных аномалий силы тяжести (присутствие на глубине гранитоидных масс), а также примесь в рудах редких металлов (W, Bi, Sb, Hg, Mo, Se, Te, Sn, ЭПГ).

В Сихотэ-Алинской золотоносной провинции золоторудные (и золото-редкометалльные) месторождения проявлены в терригенных складчатых местами черносланцевых толщах, прорывающих их интрузивных породах и выступах древнего фундамента. С собственно редкометалльными (оловянными) месторождениями они пространственно разобщены (рис. 5), но в целом и те и другие подчинены единой рудной (рудно-магматической) зональности, обусловленной развитием общего глубинного тектономагматического очага (рис. 6). В центральной части зональной структуры выделяется Редкометалльная зона Центрального Сихотэ-Алинского сводового поднятия с месторождениями и рудопроявлениями олова и обширными шлиховыми ореолами рассеяния касситерита и вольфрамит. Зона образована преимущественно нижнемеловыми дислоцированными песчано-глинистыми породами, менее развиты карбонатно-терригенные толщи палеозоя, прорванные позднемеловыми гранитоидами калиевых серий. Натровые магнитные гранитоиды ранних фаз внедрения в этой зоне редки, но именно с ними зачастую ассоциирует золотоносность, преимущественно в терригенном складчатом комплексе.

Наблюдается последовательная смена зон по составу: редкометалльная окаймляется золото-редкометалльной, за которой на западе и севере следует собственно золоторудная, в свою очередь окаймленная молодыми (Р-К₂) зонами золото-серебряного оруденения. Как предполагается, именно в золото-редкометалльной зоне совмещены ранняя золотая и более поздняя редкометалльная минерализация. В результате возникла система более длитель-

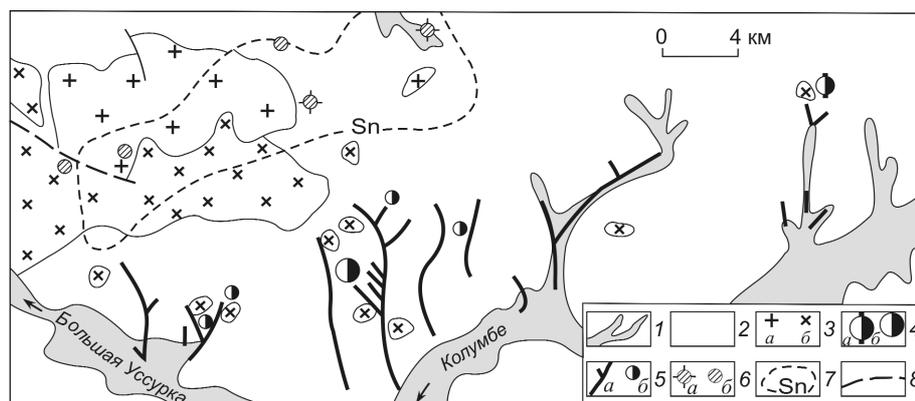


Рис. 5. Соотношение золотого, редкометалльного оруденения и продуктивных гранитоидных интрузий в Благодатном районе, по Ю.Н.Размахнину с дополнениями.

1 — четвертичный аллювий; 2 — дислоцированные песчано-глинистые породы нижнего мела; 3 — Присковый гранитоидный массив (а — редкометалльные калиевые немагнитные граниты второй фазы, б — гранодиориты, диориты, монзониты первой фазы, магнитные, натровые, с золотой специализацией); 4 — золоторудные месторождения: Глухое (а), Благодатное (б); 5 — золотоносные россыпи (а) и золоторудные проявления (б); 6 — редкометалльные месторождения (а) и рудопроявления (б); 7 — шлиховой ореол касситерита; 8 — тектонические разломы

ного и продуктивного (на золото) рудообразования, в которой могли сформироваться крупные месторождения. В этой связи представляет интерес месторождение Глухое [13, 21], расположенное в раннемеловой складчатой толще преимущественно алевропелитовых пород, обогащенных углеродистым веществом (С_{орг.} 0,1–1%). Оруденение тяготеет к экзоконтактовым и надынтрузивным зонам штоков диоритов, контролирующим северо-восточную зону Кулишовского разлома. Это западная часть Сихотэ-Алинского гравитационного минимума (см. рис. 6), осложненного заливообразным повышением поля. В рудном поле выделяется несколько рудоносных зон северо-восточного простирания. Наиболее представительная Основная зона длиной 4 км, шириной 300 м включает до 20 рудных зон, представленных перемятыми черносланцевыми породами, преобразованными в жильно-прожилковые штокверки и брекчии на кварцевом цементе. Длина Главного рудного тела 1400 м, средняя мощность до глубины 400 м 19 м, в раздувах до 83,9 м. Средние содержания Au 1,56–3,8 г/т. В рудном поле известны еще десятки рудных тел, но с меньшими параметрами и слабее изученные. Содержание в рудах С_{орг.} 0,09–0,93%, сульфидов 2–12% (преимущественно пирит, арсенопирит, пирротин и др.). Характерно присутствие в рудах шеелита, отмечаются также аргентит, блеклая руда, станнин, киноварь, молибденит, антимонит. Золото

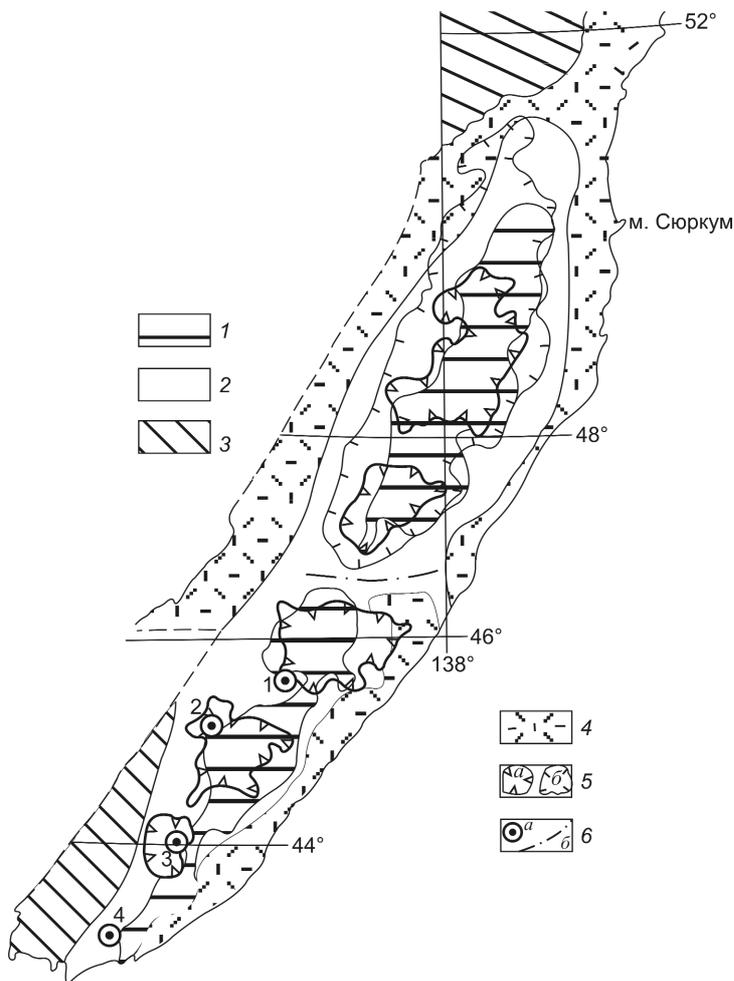


Рис. 6. Региональная рудная зональность Сихотэ-Алиня:

зоны развития минерализации гипабиссального уровня мелового возраста: 1 — редкометальной (Sn, W), 2 — золото-редкометальной, 3 — золотой; 4 — зоны золото-серебряной минерализации субвулканического уровня палеогенового возраста; 5 — интенсивные (а), менее интенсивные (б) гравитационные минимумы; 6 — рекомендованные для доизучения: а — золоторудные месторождения (1 — Глухое, 2 — Малиновское, 3 — Лазурное, 4 — Порожистое), б — Бикинская зона

тонкодисперсное свободное и связанное с сульфидами. Элементы-индикаторы золотого оруденения — Ag, As, Sb, W. Кроме золота и серебра, в рудах содержатся As (до 0,41%), сотые-тысячные доли процента Cu, Zn, Pb. Среди элементов-примесей в золоте присутствуют Bi 0,5–36, Hg 60–750 г/т, Sb 9–35%. Руды упорные. Хорошие результаты извлечения получены при цианировании руды, подвергнутой окислительному обжигу. Прогнозные ресурсы месторождения Глухое — крупные.

В 100 км к юго-западу в сходной геолого-геофизической обстановке находится *Малиновское редкометально-медно-золото-серебряное месторожде-*

ние (см. рис. 1, 6) [21]. Локализовано в эндо-экзоконтактах массива нижне-среднемеловых диоритоидов, прорывающих складчатую нижнемеловую песчано-глинистую толщу в узле пересечения Центрального Сихотэ-Алинского и Малиновско-Колумбинского разломов. Породы интенсивно дислоцированы, метасоматически изменены и содержат многочисленные крутопадающие минерализованные зоны и жилы, включающие золоторудные тела. Руды прожилково-вкрапленные с кварцево-сульфидными прожилками и жилами в диоритах, минерализованы и экзоконтактовые зоны. Главные рудные минералы (5–20%, в прожилках до 90%) — арсенопирит, халькопирит, пирит, пирротин, марказит, менее развиты висмутин, сфалерит, магнетит, аргентит, галенит, шеелит. Редко встречаются вольфрамит, касситерит, киноварь, молибденит, халькостибнит, сперрилит. Золото свободное и в виде включений в сульфидах, мелкое и пылевидное, ассоциирует с халькопиритом, арсенопиритом и висмутином. Прогнозные ресурсы золота и меди значительные (при средних содержаниях Au 5 г/т, Cu 0,73%). Кроме того, оценены ресурсы серебра (содержание Ag 25 г/т), висмута и вольфрама.

Фактически не изучена на объемный тип золото-редкометальных месторождений Бикинская золотоносная зона, занимающая седловину между высокоаномальными гравитационными минимумами в Центральном Сихотэ-Алине (см. рис. 6). Золоторудные проявления (Горелое и др.) локализованы в мезозойских складчатых терригенных породах, руды содержат примеси W, Mo, Sn. Наряду с пиритом, халькопиритом и арсенопиритом, отмечается вкрапленность шеелита, касситерита, висмутина, теллуридов.

Как возможный крупнообъемный объект представляет интерес Соболиный рудный узел с *месторождением Лазурное* (см. рис. 6) [21, 23]. Золотое оруденение приурочено к двум небольшим (1–1,5 км каждый) штокам диоритов, прорывающим складчатую толщу нижнемеловых песчано-глинистых пород, слагающих периклиналь антиклинали северо-северо-восточного простирания. Участок контролируется локальным минимумом силы тяже-

сти, совпадающим с горным поднятием, от которого начинаются богатые россыпи золота. В пределах обоих штоков и в экзоконтакте широко проявлено прожилково-вкрапленное золотое оруденение. Площадь продуктивной структуры 36 км². Рудноносные зоны по простиранию прослеживаются на сотни метров при мощности в несколько десятков метров. Центральная часть штоков сложена прожилково-вкрапленными рудами, краевые — вкрапленными. В пределах зон развиты кварцевые и кварц-сульфидные жилы (около 40) мощностью до 2–6 м, содержащие Au 0,5–1,5 до 5,6 г/т. Элементы-примеси в руде — Ag, Cu, Mo; Au:Ag=1:10. Золото

мелкое свободное и в сульфидах. Главные рудные минералы — халькопирит, молибденит, пирит, реже встречаются сфалерит, галенит, шеелит [14]. Проба золота 835‰, примеси в нем — Sb, Bi, а также Cu, As, Pb, Zn.

В поле развития древних протерозой-палеозойских (?) метагбброидов, прорванных меловыми дайками спессартитов, порфиоров и штоком гранитов, расположено *золото-вольфрамовое месторождение Порожистое*. Оно приурочено к южной окраине Центрально-Сихотэ-Алинского минимума силы тяжести (см. рис. 6). Выделено 95 минерализованных жильным кварцем и сульфидами зон длиной до 1,1 км, мощностью до 12 м. Главные рудные минералы — пирит, арсенопирит, пирротин, ковеллин, также шеелит, вольфрамит, молибденит. Средние содержания в рудах Au 1,9–13,5, Ag 10 г/т, W 0,1–2,2, Sb 0,03, Ge 0,002%.

Таким образом, Сихотэ-Алинь представляется не только редкометальным регионом, но и золоторудным, перспективным и для обнаружения крупнообъемных золоторудных (золото-редкометальных) месторождений. Такая оценка обусловлена продолжительными (мел-палеоген) рудно-магматическими процессами в Центральном Сихотэ-

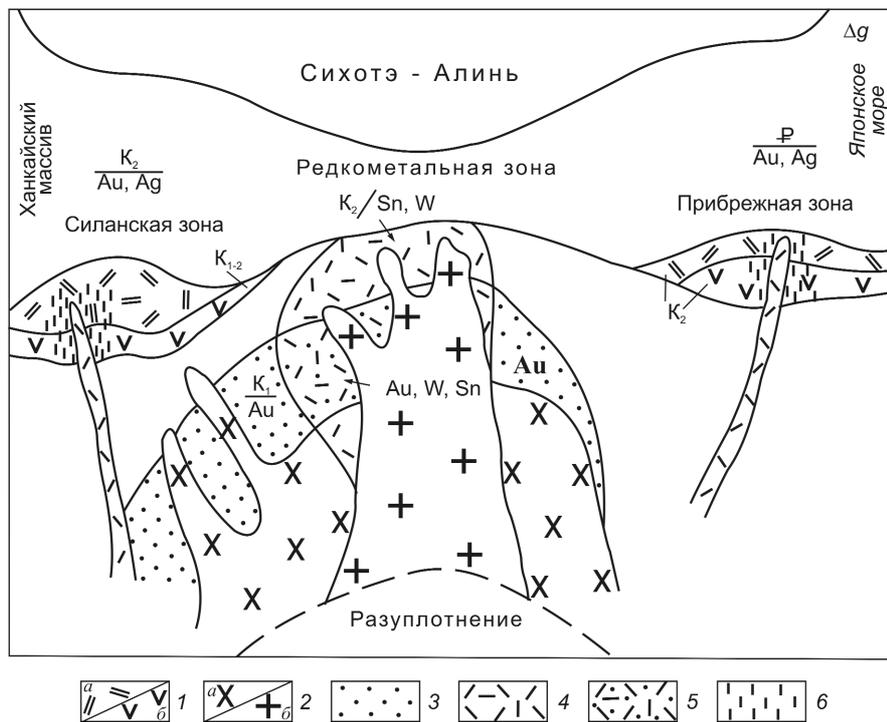


Рис. 7. Модель формирования рудно-магматической зональности Сихотэ-Алинской золоторудной (золото-редкометальной) провинции:

1 — вулканиты кислого (а) и среднего (б) составов; 2 — ранние натровые (а), поздние калиевые (б) гранитоиды; рудные формации: 3 — золотая, 4 — редкометальная, 5 — золото-редкометальная (гибридная), 6 — золото-серебряная

Алине, особенно интенсивными в осевой части структуры. На протяжении многих сотен километров структура контролируется глубоким минимумом силы тяжести северо-северо-восточного простирания, расчлененным гравитационными «седловинами» на несколько частей с более интенсивным глубинным разуплотнением (см. рис. 6). В период раннемелового орогенеза формировалось золотое оруденение (в ассоциации с натровыми гранитоидами повышенной основности), на этапе позднего средне-мелового орогенеза — редкометальное в ассоциации с калиевыми гранитоидами (рис. 7). Совмещение этих двух процессов в единой региональной структуре Центрального Сихотэ-Алиня (месторождение Глухое) могло привести к образованию крупнообъемных золотых и золото-редкометальных объектов.

Сходные соображения высказаны в работе [14] на основании изучения месторождений Лазурное (Cu, Au) и Искра (Cu, Sn) на юго-западе Кавалеровского рудного района: «рудогенерирующая магматическая система этого района представлена двумя комплексами флюидов разной специализации. Это привело к совмещению здесь медно-зо-

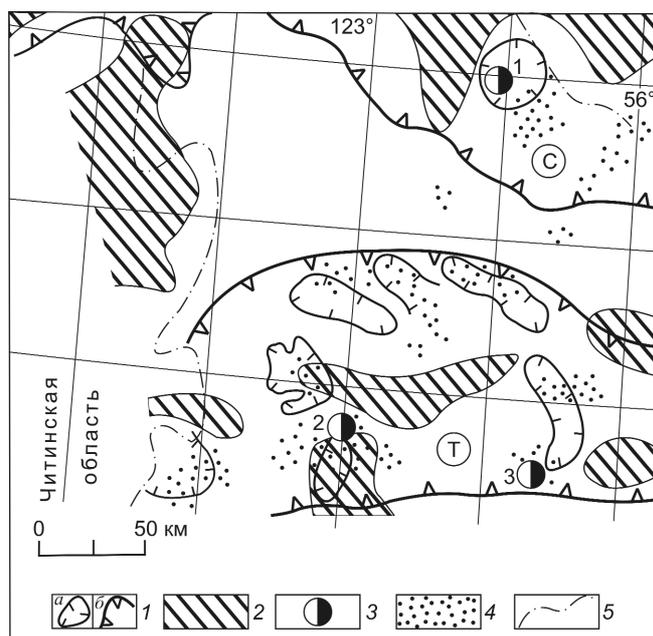


Рис. 8. Положение золоторудных месторождений периода тектономагматической активизации Становой провинции относительно геофизических аномалий:

1 — региональные (а) и локальные (б) структуры глубинного разуплотнения (С — Становая, Т — Тукурингская); 2 — глубинные фемические субстраты (по данным магнитометрии); 3 — золоторудные месторождения (1 — Бамское, 2 — Березитовое, 3 — Кировское); 4 — ареалы распространения рудной золотоносности; 5 — административные границы

лотой (с молибденом) и медно-оловянной минерализации». Наиболее благоприятными для такого совмещения оказались гравитационные «седловины». В центральных структурах разуплотнения формировались редкометальные месторождения, а золоторудные, по-видимому, уничтожались эндогенными и экзогенными процессами. На рис. 6 видно, что перспективные золоторудные объекты (на крупнообъемный тип оруденения) расположены в южной части Сихотэ-Алинского гравитационного минимума, а в северной, где разуплотнение более интенсивное, они отсутствуют. Вероятно, это связано с лучшей сохранностью золоторудных структур на юге.

Месторождения структур тектономагматической активизации. В качестве перспективной выделяется западная часть Становой золотоносной провинции (рис. 8), где в раннемеловой тектономагматической структуре докембрийского кристаллического комплекса локализованы месторождения Бамское, Кировское, Березитовое.

Бамское золоторудное месторождение (Северостановая зона) [1, 20] залегает в раннедокем-

брийском гранит-мигматовом комплексе и контролируется локальным гравитационным минимумом. Рудное поле представлено линейным штоквером длиной 4 км, шириной 200–300 м. Рудные зоны с прожилковой и кварцево-жилевой минерализацией падают под экран древних гранитоидов. Мощность рудных тел 3–9 м (до 18,8 м), содержание Au 6–15, Ag 7–36 г/т, Cu 0,2–3, Pb до 0,6, Zn до 0,03, W 0,01–0,8, Mo, Bi, Sb 0,0n–0,00n%, отмечаются Te, Hg, Sn, Co. Выделены три стадии рудообразования: ранняя (пирит, шеелит), средняя (пирит, халькопирит, тетрадимит, теннантит, сфалерит, шеелит) и поздняя (пирит, халькопирит, тетраэдрит, галенит, сфалерит, киноварь, молибденит, сульфовисмутиты, теллуриды). Подчеркнуты минералы, содержащие редкие металлы [12]. Содержание шеелита в рудах от 40 до 438 г/т, иногда достигает 1,2 и даже 10,9 кг/т. Золото мелкое 0,15–0,4 мм, проба 711–955‰. Коэффициент корреляции Au–Ag +0,84, Au–Cu +0,53, Au–W +0,61, Au–Hg +0,71. Типоморфные элементы руд — Au, W, Ag, Cu, Mo, Sb, Bi, Pb, Zn. Рудное поле примыкает с юга к локальной отрицательной аномалии глубинного разуплотнения, являющейся фрагментом регионального Северостанового минимума силы тяжести. В районе известны многочисленные геохимические потоки рассеяния отмеченных типоморфных элементов и их рудопроявления. Желательна оценка прогнозных ресурсов на весь объем штокверка или на его часть.

В Тукурингской зоне Становой золотоносной провинции *Кировское золото-редкометально-полиметаллическое месторождение* [13, 20] локализовано близ локального минимума силы тяжести, преимущественно в эндоконтакте штока раннемеловых диоритов, прорывающих докембрийский кристаллический фундамент (частично юрские углеродистые алевролиты, песчаники) в зоне Тукурингского глубинного разлома. Диориты существенно натровые с высокой магнитной восприимчивостью. В них известно более 300 золоторудных жил, из которых эксплуатировались несколько десятков (до глубины 200 м). Длина жил до 600–700 м, мощность до 1,5 м, в среднем 0,3 м, падение крутое на северо-запад и юго-запад. Сложены сероватым и молочно-белым кварцем (до 98%) с вкрапленностью сульфидов (арсенопирит, халькопирит, висмутин, пирит, магнетит, сфалерит, тетрадимит, шеелит, пирротин, редко самородный висмут, блеклые руды, энаргит). Из породообразующих мине-

ралов в жилах отмечаются анкерит, мусковит, кальцит, турмалин, халцедон. В тончайших (доли миллиметра) кварцевых прожилках и околожилных породах присутствует крупное золото. Содержание Au от 3 до 95,8 г/т, проба золота 920–970‰. Кроме золота в рудах содержатся Bi, As 1,63, Cu 0,9, Zn 1,8, Pb 2, Sb 1,5, W 0,42, Mo 0,009, Sn 0,1, Ni 0,63, Co 0,08, Se 0,001% и Ag 134 г/т.

По температурам декрепитации минералов выделены четыре этапа рудообразования с сопутствующими им продуктивными минеральными ассоциациями: кварц–турмалин–магнетит — 300–250°C, кварц–висмутин–халькопирит (наиболее продуктивная на золото) — 250–220°C, кварц–галенит–сфалерит — 220–170°C, кварц–антимонит — 180–140°C. На Майском месторождении [12] выявлены три этапа рудообразования: ранний золотой, средний золото-редкометалльный и поздний золото-сурьмяно-ртутный. Отличие состоит в том, что на Кировском месторождении золото-редкометалльный этап включает и полиметаллические ассоциации. Значительное сходство, по нашему мнению, имеется и с месторождением Форт-Нокс (Аляска) с запасами Au 260 т, где золото-редкометалльное штокерское оруденение локализовано в меловых гранодиоритах [9]. Сходен и состав рудных минералов: золото, висмутин, арсенопирит, молибденит, шеелит, теллуриды. Интересно, что это оруденение было известно 70 лет, но обрабатывались только россыпи. Продуктивный штокер был оконтурен геохимической съемкой. О масштабах оруденения Кировского рудного поля, фактически представляющего собой гигантский штокер, можно судить по золотоносной россыпи р. Джалинда, из которой добыто порядка 110–120 т Au. На Кировском месторождении из жильных руд было добыто 9,4 т Au, прогнозные ресурсы рудного поля (штокер) оцениваются в 50 т.

В 45 км к северо-западу в сходной геолого-геофизической обстановке (докембрийский фундамент, зона Тукурингского разлома, локальный гравитационный минимум) находится *Березитовое золото-полиметаллическое месторождение* [20] с запасами Au 42,2 т (ресурсы 50 т). В рудах, как и на Кировском месторождении, отмечаются повышенные концентрации редких металлов: Bi, Sb, Sn, Mo, W, Hg, иногда Ge, Ga, Tl. Золото и сульфиды (сфалерит, галенит, пирит, пирротин) ассоциируют с висмутином, станнином, шеелитом, молибденитом, касситеритом, киноварью, а также минералами меди, серебра и мышьяка. Содержание в рудах Au 2–7 г/т, Zn и Pb до целых процентов. Выделяются две продуктивные стадии рудообразования (В.А.Гуменюк): золото-полиме-

таллическая (основная) и золото-пиритовая. Кондиции (минимально-промышленное содержание Au 3,7, бортовое 1 г/т) рассчитаны для открытой разработки до глубины 190–210 м. Золото и серебро извлекаются цианированием, частично гравитацией.

До настоящего времени на Дальнем Востоке обрабатываются золоторудные месторождения со сравнительно высокими содержаниями золота из подземных горных выработок. За рубежом уже давно начато освоение открытым (карьерным) способом крупнообъемных месторождений с низкими содержаниями золота. Например, на упоминавшемся месторождении Форт-Нокс (США) среднее содержание Au 0,9, а бортовое 0,5 г/т. В Магаданской области в этой связи переоцениваются Наталкинское месторождение и др.

Приведенные данные о золоторудных объектах складчатых комплексов и структур активизации Джагдинской, Сихотэ-Алинской и Становой золоторудных провинций позволяют рассматривать некоторые рудные поля не как совокупность отдельных рудных жил и тел, а как крупные штокверки — изометричные (месторождение Лазурное), но чаще линейные. Крупными штокверками фактически являются рудные поля месторождений Маломырское, Кировское, Унгличканское, Бамское, Малиновское, зона Главного разлома (Токурское) и Основная зона (Глухое). Рекомендуется провести переоценку их ресурсов. Названные дальневосточные объекты (и некоторые другие) близки зарубежным крупнообъемным месторождениям не только по морфологии рудоносных структур, но и по ряду иных особенностей. Практически все они локализованы в антиклиналях или структурах поднятия, контролируются локальными (и региональными) минимумами силы тяжести, позволяющими говорить о наличии на глубине продуктивных гранитоидных масс. Руды месторождений формировались в несколько стадий, проявленных в единых рудовмещающих структурах (см. рис. 7), и становились более продуктивными. Кроме того, в рудах содержится примесь, иногда весьма существенная, редких металлов (W, Bi, Mo, Te, Se, Sn, Sb), что также усиливает их перспективность.

Переоценка месторождений (от жильного и других типов на крупнообъемный) потребует значительных затрат средств и времени. Однако это реальный путь существенного увеличения ресурсного потенциала золота, особенно для районов, где возможности золотодобычи за счет россыпей и традиционных типов месторождений с каждым годом уменьшаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бамское* золоторудное месторождение (геология, минералогия и геохимия) / В.А.Степанов, В.Е.Стриха, А.А.Черемисин и др. – Владивосток: Дальнаука, 1998.
2. *Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Прокофьев В.Ю.* Флюидный режим формирования различных типов руд Нежданинского рудного поля (Саха-Якутия) // *Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: Рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд.* Иркутск, 2005. С. 105–108.
3. *Буряк В.А., Пересторонин А.Е.* Маломыр — первое крупное золоторудное месторождение суходожского типа в Приамурье (геология рудного поля и месторождения, перспективы, проблемы освоения). – Благовещенск-Хабаровск: ИКАРП ДВО РАН, Комитет природных ресурсов Амурской области МПР РФ, ООО НП-Центр, 2000.
4. *Гамянин Г.Н., Боровиков А.А.* Новый висмут-сидерит-полисульфидный тип золотого оруденения Восточной Якутии // *Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология.* Улан-Удэ, 2004. С. 47–49.
5. *Горячев Н.А., Савва Н.Е., Сидоров А.А.* Золото // *Очерки металлогении и геологии рудных месторождений Северо-Востока России.* Магадан, 1994. С. 22–54.
6. *Зверев В.В.* Основные рудоконтролирующие структуры в региональном геохимическом поле Заангарья Енисейского края // *Отечественная геология.* 2009. № 2. С. 3–11.
7. *Золото-сульфидные* месторождения вкрапленных руд Северо-Востока России / А.В.Волков, А.А.Сидоров, В.И.Гончаров и др. // *Геология рудных месторождений.* 2002. Т. 44. № 3. С. 179–197.
8. *Конеев Р.И.* Систематизация золоторудных месторождений Узбекистана на основе микроминеральных парагенезисов // *Руды и металлы.* 2003. № 3. С. 20–28.
9. *Константинов М.М.* Модели золоторудных месторождений новых и нетрадиционных типов // *Руды и металлы.* 2006. № 3. С. 13–20.
10. *Константинов М.М.* Золоторудные гиганты // *Отечественная геология.* 1993. № 6. С. 75–83.
11. *Коробейников А.Ф.* Крупные и гигантские золоторудные месторождения: условия формирования и размещения // *Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология.* Улан-Удэ, 2004. С. 111–113.
12. *Майское* многоэтапное прожилково-вкрапленное золото-сульфидное месторождение (Чукотка, Россия): изотопы (O, S), история и условия образования / Н.С.Бортников, И.А.Брызгалов, Н.Н.Кривицкая и др. // *Геология рудных месторождений.* 2004. Т. 46. № 6. С. 475–509.
13. *Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В.* Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996.
14. *Особенности* флюидного режима при формировании систем с медно-молибденово-золотой и медно-оловянной минерализацией (Искра-Соболиный узел Кавалеровского рудного района, Приморье) / В.Г.Гоневчук, Т.Л.Крылова, А.А.Орехов и др. // *Тихоокеанская геология.* 2009. Т. 28. № 1. С. 5–20.
15. *Рафаилович М.С., Федоренко О.А., Старова М.М.* Крупные месторождения золота Казахстана: метасоматическая минералогия и геохимическая зональность // *Руды и металлы.* 2001. № 3. С. 5–14.
16. *Рафаилович М.С.* Крупные золоторудные штокверки Центральной Азии, ассоциирующиеся с гранитными plutонами // *Руды и металлы.* 2009. № 3. С. 43–53.
17. *Сизых В.И.* Золотоносность вулканоплутонических орогенно-активизационных комплексов Забайкалья // *Руды и металлы.* 2005. № 2. С. 5–9.
18. *Щербаков Ю.Г.* Геохимические индикаторы прогноза месторождений золота // *Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология.* Улан-Удэ, 2004. С. 250–252.
19. *Эйриш Л.В., Остапенко Н.С., Моисеенко В.Г.* Золоторудное месторождение Токур (Дальний Восток, Россия) // *Геология рудных месторождений.* 2002. Т. 44. № 1. С. 42–58.
20. *Эйриш Л.В.* Металлогения золота Приамурья (Амурская область, Россия). – Владивосток: Дальнаука, 2002.
21. *Эйриш Л.В.* Металлогения золота Приморья (Хабаровский край, Россия). – Хабаровск: ДВО РАН, 2003.
22. *Эйриш Л.В.* О факторах генерации золоторудных систем Дальнего Востока // *Геология рудных месторождений.* 2009. Т. 51. № 3. С. 250–260.
23. *Юшманов Ю.П.* Структурный контроль золотого оруденения Соболиного рудного узла в Центральном Сихотэ-Алине // *Отечественная геология.* 2001. № 3. С. 15–17.

УДК [553.494+553.43'48] (571.6)

© М.И.Копылов, 2010

ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ И КРИТЕРИИ ТИТАНОВЫХ И МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ГАББРО-АНОРТОЗИТОВОГО ПОЯСА

М.И.Копылов (ФГУП «Дальгеофизика»)

Рассмотрены критерии прогноза титановых и сульфидно-никелевых руд в пределах Дальневосточного габбро-анортозитового пояса. Показана возможность открытия крупных месторождений с апатит-ильменит-магнетитовыми рудами и средних — с медно-никелевыми.

Ключевые слова: габбро-анортозитовые массивы, апатит-ильменит-магнетитовые, медно-никелевые руды, поисковые критерии, прогноз.

Копылов Михаил Иннокентьевич, adm@dalgeoph.ru

TITANIUM AND CU-NI DEPOSITS OF THE FAR EAST GABBRO-ANORTHOSITE BELT: INDICATIONS AND SIGNATURES

М.И.Копылов

Indications and signatures inherent in Ti and sulfide Cu-Ni deposits localized within the Russian Far East gabbro-anorthosite belt are considered. Possibilities for new discoveries are demonstrated (e.g., large apatite-ilmenite-magnetite deposits and medium-size Cu-Ni objects).

Key words: gabbro-anorthosite massif, apatite-ilmenite-magnetite ore, Cu-Ni ore, indication, signature, prognosis.

Необходимость обобщения особенностей и условий образования габбро-анортозитовых ассоциаций Дальневосточного региона связана, в первую очередь, с выявлением в них за последние 20 лет проявлений титана, железа, апатита, ванадия, медно-никелевых руд, платиноидов и золота. Очевидно, что правильное решение вопроса о генетической принадлежности габбро-анортозитовых массивов региона, а также изучение структурно-геологических особенностей титаноносных, никеленосных массивов и их фациально-формационный анализ могут оказать существенную помощь в поисковых работах на эти металлы.

При первых исследованиях регионального характера (А.М.Ленников, Б.Г.Лутц, Г.Н.Баженова, В.Н.Мошкин, И.Н.Дагельская, Е.А.Панских, М.К.Суханов, Л.П.Карсаков, Е.В.Шарков и др.) изучались общие вопросы геологии анортозитовых ассоциаций рассматриваемой территории. Пик исследовательских работ пришелся на 1981–1988 гг., когда анортозитовые массивы отнесли к перспективному источнику сырья для получения фосфатных удобрений. Был установлен ряд апатитовых, титано-apatитовых, титано-ванадиевых точек минерализации и рудопроявлений в пределах Джугджурской и Каларской ветвей Дальневосточного габбро-анортозитового пояса (В.В.Гаврилов, Н.Г.Богданова, Е.А.Панских, Г.В.Роганов, Л.П.Карсаков, Б.Л.Годзевич, А.Н.Соляник, М.К.Суханов и др.). Поисково-оценочные работы на выявленных объектах проводили производственные организации ФГУП «Дальгеофизика», «Хабгеология» (В.В.Гаврилов, В.П.Оскарев, Р.И.Кулаков, М.И.Копылов, С.И.Рудаков и

др.), Зейская съемочная партия (З.П.Козак, В.П.Кошеленко), по результатам которых были открыты месторождения Геранское, Гаюмское, Богидэ, Урожайное, Давакит, Большой Сэйим, Куранах, Саикта. Технологические испытания показали, что получаемые из руд этих месторождений апатитовые концентраты по качеству не уступают хибинским, а ильменит-магнетитовые руды пригодны для изготовления пигментного диоксида титана высокого качества или для плавки его на шлак. Кроме того, в рудах содержатся ванадий и железо.

Разведочные работы проводятся с 2000 г. ФГУП «Дальгеофизика» и ООО «Регис» в пределах Каларской ветви габбро-анортозитового пояса и массива Кун-Манье (В.М.Запорожцев, М.И.Копылов, Ю.П.Потоцкий, С.И.Зверев и др.). Подсчитаны запасы Ti, Fe по Куранахскому, Саиктенскому, Водораздельному месторождениям ильменит-титановых и по массиву Кун-Манье (рудопроявления Шляпа, Треугольник, Соболевское, Фалкон) медно-никелевых руд, разработаны технологические схемы обогащения руд.

Поисковые критерии разрабатывались поэтапно. На первом этапе анализировались результаты региональных исследований (геологическая, гравиметрическая, аэромагнитная съемки м-ба 1:200 000), определялись особенности глубинного строения, вещественного состава и структурной позиции габбро-анортозитовых массивов с проявлениями апатит-ильменит-магнетитовой, ильменит-магнетитовой и медно-никелевой минерализации. На втором этапе анализировались данные геологической, гравиметрической, аэрогеофизической съемок и поисковых

работ м-ба 1:50 000. По результатам анализа выделялись краевая, центральная части массивов, определялась насыщенность их интрузивными образованиями основного состава и связанной с ними рудной минерализации. Третий этап включал обработку и анализ материалов комплексных геолого-геофизических работ (магниторазведка, ВП, метод переходных процессов, метод незаземленной петли, РРО, по отдельным сечениям ВЭЗВП, литогеохимическая съемка, геологические маршруты, каналы и бурение), которые в течение 30 лет проводило ФГУП «Дальгеофизика» в пределах Лантарского, Геранского, Чогарского, Баладекского, Кун-Манье и Каларского габбро-анортозитовых массивов.

Структурное положение анортозитовых массивов Дальневосточного региона (рис. 1) определяется приуроченностью их к глыбовым выступам преимущественно раннеархейского основания Становой складчатой системы и примыкающей к ней краевой части Алданского кристаллического массива [1, 2, 7, 8]. Пространственно они ассоциируют исключительно с выходами пород гранулитового комплекса. Характерной петрологической чертой гранулитов является устойчивость глубинных и высокотемпературных парагенезисов, которые указывают на высокие параметры метаморфизма — $T > 1000^\circ\text{C}$ и P 10 кбар.

Вмещающие породы габбро-анортозитовых массивов охвачены зональным метаморфизмом, гранитизацией, диафторезом. Согласно Г.Н.Баженовой [1], первично-магматический Каларский массив и др. интенсивно переработаны различными растворами и в настоящее время представляет собой метасоматические тела. В.Н.Быховер, Н.Н.Лаврович [3] считают, что образование анортозитовой магмы связано с метасоматической переработкой и частичным переплавлением габброидного материала уже на ранних стадиях формирования массивов, когда на них накладывались метаморфизм амфиболитовой фации, широко проявленный внутри зоны Станового разлома, а позднее — гранитизация с образованием мангеритов, чарнокитов. Е.А.Панских, М.К.Суханов [7] в преобразовании пород массивов ведущую роль отводят гранитизации и диафторезу. Постмагматическая деформация пород массива заключалась в мощном рассланцевании и зональном метаморфизме от эпидот-амфиболитовой до гранулитовой фации. Н.Н.Волосович [4] приводит данные о полистадийном развитии пород габбро-мангеритового комплекса. К наиболее раннему этапу он относит зональный метаморфизм амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций, в результате которого пироксены замещаются амфиболом и биотитом, плагиоклаз — агрегатом соссюрита. Позднее на габбро-

анортозиты накладывались линейные зоны диафторитов, характеризующиеся интенсивным рассланцеванием пород, замещением пироксенов и амфиболов минералами группы хлорита, актинолитом, развитием мелкочешуйчатых слюд и т.д.

Центральную часть Джанинского блока занимает сложно построенный Кун-Маньенский массив раннеархейских метагабброидов майско-джанинского комплекса, вытянутый в субширотном направлении на 60 км при ширине до 20 км, а восточную — Лантарский (см. рис. 1). Массив Кун-Манье сложен диафторированными гнейсовидными и грубополосчатыми, реже массивными метагаббро, габбро-амфиболитами и амфиболитизированными пироксенитами. Сланцеватость в метагабброидах подчеркивается мигматизацией их раннеархейскими эндербит-чарнокитами авляяканского и плагиогранитами, гранитами марагайского комплексов. В результате мигматизации и гранитизации по габброидам и вмещающим их кристаллическим сланцам и гнейсам образовались породы переходного к гранитам ряда с крайне неравновесным составом типа гранитогнейсов. В зонах динамометаморфизма описываемые породы приобретают сланцеватый облик и по структурно-текстурным признакам отвечают сланцам. Структура метагаббро габбробластовая или апогаббровая, а пироксенитов и амфиболитов нематобластовая и гранонематобластовая. На отдельных участках в южном обрамлении Кун-Маньенского массива наблюдаются небольшие тела метаанортозитов и метагаббро-анортозитов предположительно древнеджугджурского комплекса, имеющие сложную причудливую в плане форму и инъекционные контакты с метагаббро. Для них характерна линзовидно-послойная текстура, обусловленная наличием линзовидных меланократовых обособлений эпидот-цоизит-актинолит-тремолит-роговообманкового состава в белесоватой раскисленной до альбита и альбит-олигоклаза плагиоклазовой массе. Участками они гранитизированы и калишпатизированы. Небольшие тела линзовидной формы метагаббро-анортозитов отмечаются среди метагаббро краевой южной части Кун-Маньенского массива. Метаморфические породы обнажаются преимущественно в обрамлении массива, реже они встречаются в виде ксенолитов, провисов кровли и тектонических клиньев среди метагабброидов. Габброиды и вмещающие их породы метаморфизованы в гранулитовой фации, неоднократно претерпели региональный диафторез.

Поисково-прогнозные критерии прогноза титана для магматогенных месторождений. Магматические критерии. Перспективными являются территории, в пределах которых широко проявлены интрузивные образования габбро-анортозитовой и

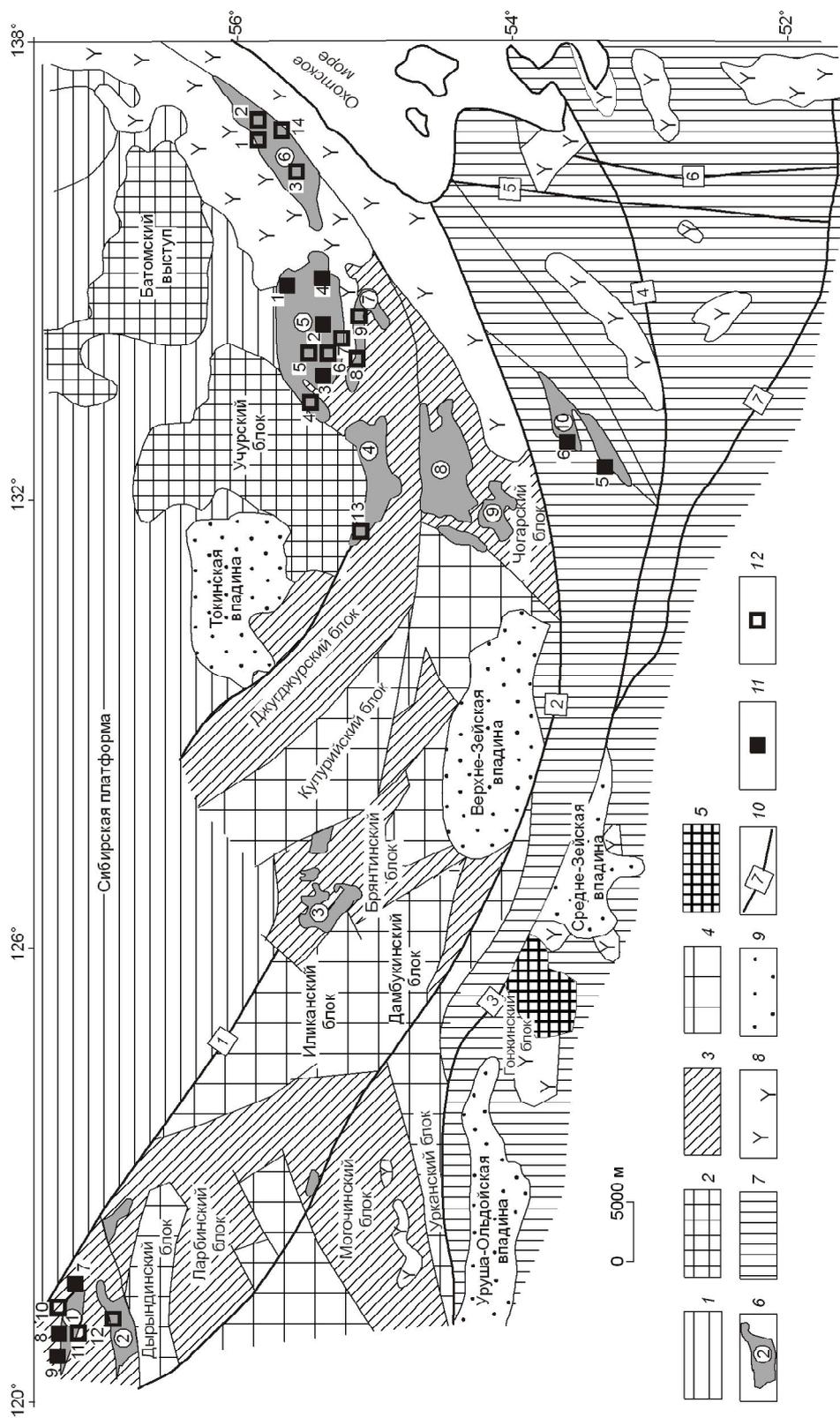


Рис. 1. Геолого-структурная схема габбро-анортозитовых массивов юга Дальнего Востока:

1 — Сибирская платформа; архейские гнейсы и кристаллические сланцы; 2 — раннего архея (Алданский шит), 3 — раннего и 4 — позднего архея (Становая складчатая область), 5 — докембрийские; 6 — габбро-анортозитовые массивы с выходами ультраосновных пород (1 — Куранахский, 2 — Иманакитский, 3 — Брянтинский, 4 — Кун-Маньенский, 5 — Геранский, 6 — Лантарский, 7 — Джаннинский, 8 — Сегтахский, 9 — Чогарский, 10 — Балалекский); 7 — Монголо-Охотская ГСС; 8 — вулканы, J-K; 9 — современные впадины; 10 — основные тектонические нарушения (1 — Становой, 2 — Северо-Тугурингрский, 3 — Южно-Тугурингрский, 4 — Тугурский, 5 — Торомский, 6 — Нимеленский, 7 — Пауканский); 11 — месторождения титана (1 — Геранское, 2 — Гаюмское, 3 — Богилд, 4 — Маймаканское, 5 — Урожайное, 6 — Давакит, 7 — Большой Сэйим, 8 — Сайта, 9 — Куранах); 12 — рудопроявления титана (1 — Мулжакинда, 2 — Лантарское, 3 — Мугэхское, 4 — Усоманское, 5 — Правобережное, 6 — Сорогинское, 7 — Соллолинское, 8 — Сахарбинское, 9 — Джаннинское, 10 — Балтылах, 11 — Водораздельное, 12 — Иманакитское) и медно-никелевые (13 — Соболевское, 14 — Нянди)

ультраосновной – щелочной магмы. Для выявления титановых месторождений наиболее предпочтительны протерозойские базитовые комплексы. Среди интрузий габбро–габбро-анортозитовой формации наиболее перспективны массивы андезитового и «щелочного» типов. Хорошо обогащаемые ильменит-титаномагнетитовые руды характерны для центральных комплексов интрузий габбро-щелочной формации. В массивах габбро-анортозитовой формации благоприятны краевые фации дифференцированных (расслоенных) интрузий и интрузий, претерпевших региональный метаморфизм в условиях амфиболитовой фации. Месторождения в массивах габбро-пироксенитовой и габбро-диабазовой формаций имеют титаномагнетитовый состав [6].

Геотектонические критерии. Установлена генетическая связь интрузивных комплексов габброидной магмы, внедрившихся в пограничных зонах разломов в области сопряжения древних платформ, с зонами более молодой протерозойской, реже раннепалеозойской складчатости. Более поздние месторождения, связанные с породами ультраосновного – щелочного составов, локализируются в зонах каледонской и герцинской складчатости в пределах платформ и консолидированного складчатого обрамления.

Структурно-тектонические критерии. Титановые и апатитовые месторождения имеют линейно вытянутую форму и представлены дайко- и пластообразными телами, сформированными в зонах глубинных разломов. Разломы облекают жесткие платформенные образования (щиты, срединные массивы) и тяготеют к положительным элементам складчатости, имея согласное с генеральным ее направлением простирание. Участки массивов в осевых частях зон разломов выражены линейными зонами контрастно дифференцированных магматических пород, несущих титановое, апатитовое оруденение. Довольно часто они трассируются зонами метасоматоза, милонитизации, а также телами более молодых гранитоидных интрузий. Форма рудных тел определяется протектоникой массива, т.е. контурами ослабленных зон в теле массива, которые на позднемагматическом этапе выполнялись остаточным рудным флюидом.

Минералогические критерии. В интрузивных породах базитового ряда наблюдаются вкрапленность ильменита, титаномагнетита, апатита, сидеронитовая текстура руд. На площадях развития интрузий основного состава проявлены шлиховые ореолы рассеяния титаномагнетита, ильменита и апатита. Для пород щелочных дифференциатов анортозитовых массивов характерно присутствие

рутила, для ультраосновных щелочных массивов — сфена, лопарита, перовскита и кнопитя.

От соотношения титаномагнетита и ильменита в рудах зависит относительное количество соответствующих концентратов, получаемых при их обогащении [9]. Соотношение рудных минералов в рудах определяется, в первую очередь, общим соотношением в них железа и титана. Чем больше относительное содержание титана, тем больше относительное количество ильменита в рудах. Для наиболее высокотитанистых месторождений Куранахское, Саикта, Большой Сэйим характерно наиболее высокое относительное количество ильменита. Наоборот, месторождениям с низким отношением двуокиси титана к железу в рудах свойственно минимальное относительное количество свободного ильменита в рудах [6, 8].

Региональный метаморфизм наиболее благоприятно сказывается на качестве титаномагнетитовых руд, что отчетливо проявляется при метаморфизме богатых руд. Примерами улучшения качества руд при региональном метаморфизме могут служить месторождения Куранахское, Саиктинское, Большой Сэйим и др. Второй процесс характерен для метаморфизованных бедновкрапленных руд Сайбалахского, Балтылахского рудопроявлений и отчасти месторождения Большой Сэйим.

Геохимические критерии. Геохимические элементы вмещающих пород в пределах рудных полей, месторождений и рудопроявлений можно разделить на два генетических типа рассеяния: первично-конституционный (сингенетический) и вторично-наложенный (эпигенетический) [6]. В настоящее время большинство исследователей допускают возможность образования повышенных концентраций многих элементов путем выщелачивания и мобилизации (ремобилизации) их из вмещающих пород в процессе регионального, контактового и гидротермального метаморфизма. Процессы же гранитизации приводили к разрушению как первичных вкрапленных руд во вмещающих породах, так и массивных. Типы рассеяния — важные геохимические признаки, определяющие вероятность обнаружения концентраций элементов, пространственно связанных с теми или иными породами (рис. 2). Содержание Ti и элементов группы Fe закономерно возрастает с повышением основности от гранитов (Ti 0,39, V 0,006, Cr 0,005, Cu 0,0015, Ni 0,0015, Co 0,001, Mn 0,04%), лейкократового габбро (TiO₂ 0,75, V 0,008, Cr 0,008, Cu 0,003, Ni 0,005, Mn 0,04, Co 0,002%) до меланократового габбро (Ti 1,09, V 0,015, Mn 0,15, Cu 0,004, Ni 0,007, Co 0,003%). Повышенные концентрации Zn, Pb, Mo, TR во вмещающих породах указывают на развитие калиевого метасоматоза. Процессы гра-

нитизации характеризуются выносом Ca, Al, Mg, Fe, Ti и привносом K, Na, SiO₂, P, Zr, TR (см. рис. 2). В архейских гранитах γAR_2d отмечаются резко повышенные содержания V, превышающие кларковые в 11 раз, Mo в 5–7 раз и пониженные содержания Y, Nb, Sn, составляющие соответственно 0,26, 0,35, 0,45 кларка этих элементов. В андезинитах не отмечаются повышенные содержания элементов, в то же время фиксируются резко пониженные содержания Mn, Ni, Co, Mg, Sc, составляющие сотые доли кларковых. В мангеритах содержания V, Ba превышают кларковые соответственно в 6,25 и 4,83 раза. Для габбро характерны содержания Cr выше кларковых в 5 раз и пониженные содержания Mn, P, Cu.

Петрографический контроль выражается в приуроченности наиболее богатого оруденения к оливиновым, оливинсодержащим роговообманковым разновидностям пироксенитов (вебстеритов) и роговообманковым перидотитам, а также оталькованным и серпентинизированным их разновидностям. В других породах рудоносного комплекса концентрации Ni значительно ниже. Содержания сульфидов наиболее высоки в рудных породах сложного минерального состава и, как правило, в рудных телах, состоящих из нескольких близких по составу видов пород. Приуроченность наиболее высоких содержаний сульфидов и концентраций рудных компонентов к висячему и лежащему бокам ряда наиболее крупных залежей и пластовых интрузий свидетельствует, по всей вероятности, об элементах их расслоенности или зональности. Наличие линз и пропластков вмещающих пород в составе (разрезах) пластовой залежи или пластины рудоносных мафит-ультрамафитов приводило, по-видимому, на завершающих стадиях их формирования к нарушению равновесия магматической системы расплава (породы) и, соответственно, к усилению или ослаблению процессов сульфидообразования или их переотложения.

Геофизические критерии. Для габбро-анортозитовых ассоциаций характерны интенсивные положительные аэромагнитные аномалии ΔT (20–80 мЭ) линейной формы протяженностью более 500 м и овальной формы с радиусом более 200 м. В гравитационном поле рудные зоны выделяются положительными локальными аномалиями Δg интенсивностью 3–10 мгал относительно фона. При наземных геофизических работах перспективными участками для выделения титанорудных зон и тел являются аномалии ΔT (5000–40 000 нТл), η_k (5–30%), ρ_k (300–1500 Ом·м), ΔVEP (-100...–300 мВ).

Петрофизические критерии. Наиболее высокими значениями α и J_n обладают массивные ильменит-магнетитовые руды ($\alpha=50\ 000$ – $120\ 000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, $J_n=110\ 000$ – $330\ 000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ). Вкрапленные

руды характеризуются существенным понижением значений магнитных параметров. Все породы и руды, затронутые процессом гранитизации, окварцевания, биотитизации отмечаются понижением значений α и J_n . Отмечено обратное намагничивание метасоматически измененных пород, в том числе руд гнездового и вкрапленного типов.

Плотность пород и руд месторождений варьируют в диапазоне от 2,53 до 5,2 г/см³. Наиболее высокая плотность у массивных руд (до 4,0–5,2 г/см³), причем она находится в прямой зависимости от содержания ильменита и магнетита: чем больше их концентрации, тем выше плотность.

Избыточная плотность руд на фоне анортозитового (2,61–2,81 г/см³), габбро-анортозитового (2,71–2,89 г/см³) комплексов составляет 0,5–2,0 г/см³, т.е. рудные тела могут выделяться аномалиями силы тяжести. Процессы окварцевания, гранитизации существенно понижают плотность вмещающих пород, а амфиболизации, напротив, несколько увеличивают. Процессы хлоритизации, биотитизации не приводят к существенным изменениям плотности, в общем случае отмечается некоторое уменьшение плотности габбро.

Закономерности локализации и размещения сульфидно-медно-никелевого оруденения. Магматические факторы. Сульфидное кобальт-медно-никелевое оруденение в Кун-Маньенском, Лантарском, Баладекском массивах генетически тесно связано с интрузиями мафит-ультрамафитов, формируется и размещается главным образом в пределах самих интрузий: плагио-вебстериты – вебстериты – серпентинизированные роговообманковые перидотиты (кортландиты) – тальк-серпентиновые породы являются материнскими для основной части руд. Только небольшая часть сульфидных руд в виде жил и брекчий проникает во вмещающие породы и лишь изредка сульфидная вкрапленность — на значительные расстояния 1–3 м. С учетом вышесказанного размещение сульфидных руд определяется размещением никеленосных интрузий.

Структурно-тектонические факторы. Характерна приуроченность пластовых тел рудоносных мафит-ультрамафитов к тектоническим швам раннепротерозойских разрывных нарушений, полого падающих в северо-восточном и северном направлениях. В таких тектонических структурах заключены, как правило, пластовые, линзовидные тела, но чаще всего пластины, состоящие из 1–3 вышеперечисленных тел и пропластков (прослоев) вмещающих пород кристаллического фундамента. Ограничения их представлены сланцами, структурно сопряженными с пластинами зон бластомилонитов мощностью от первых до нескольких десятков метров. Такие текто-

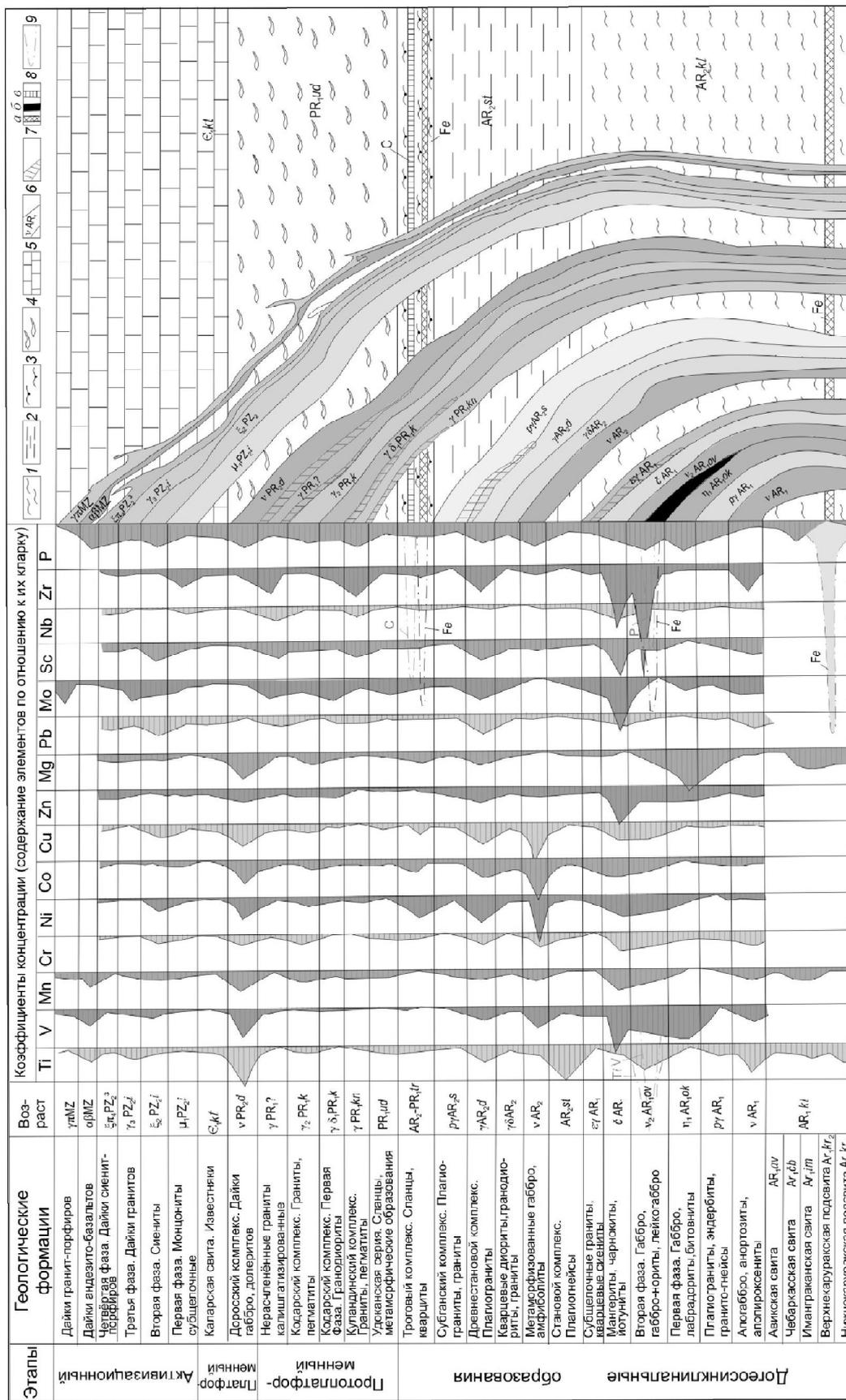


Рис. 2. Закономерности распределения химических элементов в породах Каларского габбро-анортозитового массива и вмещающих толщ его рамы:

1 — курульгинская серия, AR, kl; 2 — становой комплекс, AR₂st; 3 — троговый комплекс, AR₂-PR₁tr; 4 — удланская серия, PR₁ud; 5 — каларская свита, C₁kl; 6 — интрузивные образования; 7 — зона развития метасоматитов; 8 — железисто-кремнистая (а), ильменит-магнетитовая (б), графитистая (в) рудные формации; 9 — графики распределения содержания элементов по рудным формациям

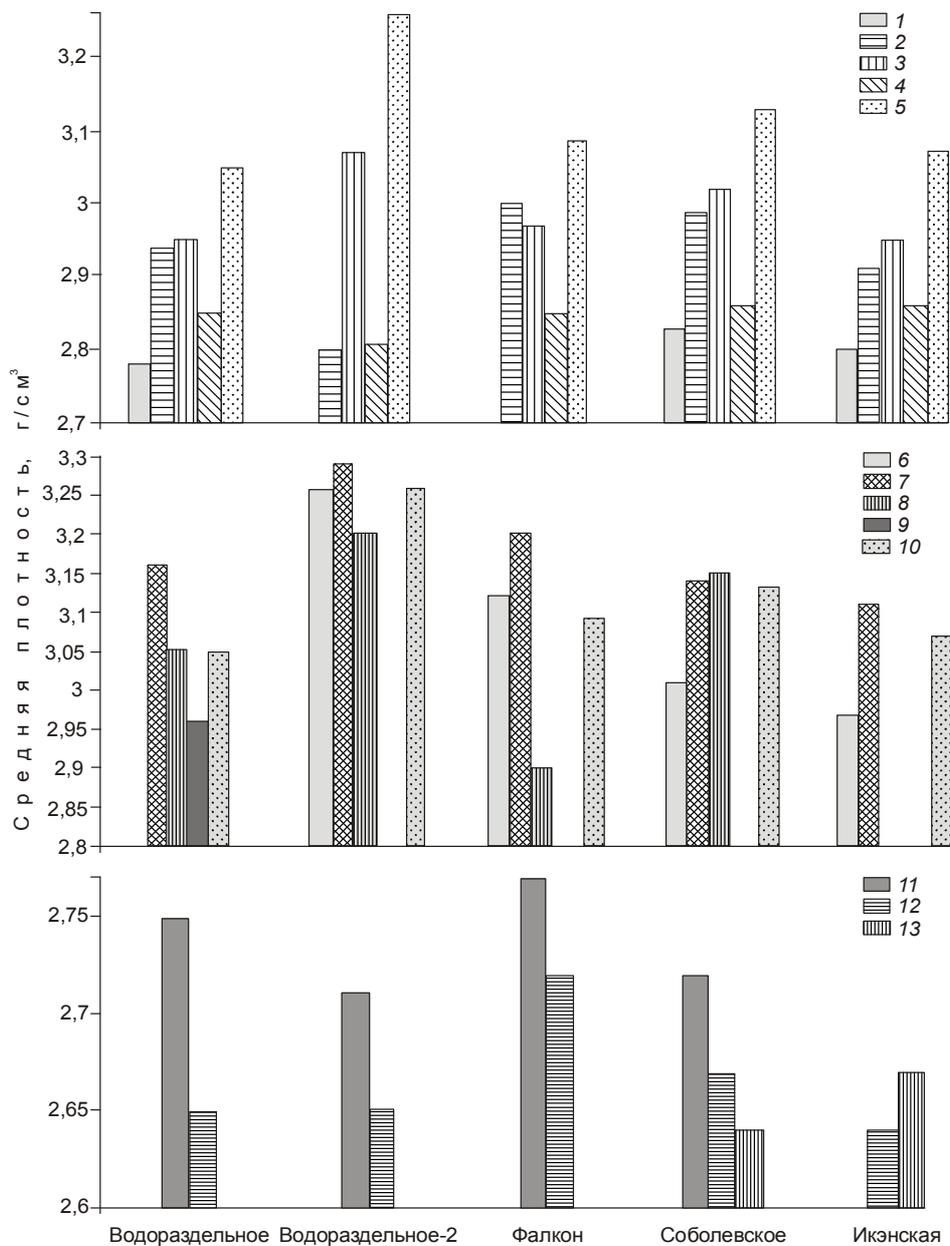


Рис. 3. Распределение средней плотности зерна основных комплексов пород по рудным телам и рудоносным интрузиям ультрабазитов:

1 — гнейсы; 2 — габбро; 3 — габбро-пироксениты; 4 — метагаббро; 5 — ультрабазиты в целом; 6 — вебстериты безрудные; 7 — вебстериты рудные; 8 — плагиевбстериты; 9 — лерцолиты; 10 — ультрабазиты в целом; 11 — метагаббро измененное; 12 — пегматиты; 13 — фельзит-порфиры

нические пластины, совместно с заключенными в них рудоносными интрузиями, участвуют в строении (в вертикальном разрезе) чешуйчато-надвиговых структур, крупных рудных полей и зон. Они обычно многоярусны и, по всей вероятности, имеют различные амплитуды перемещения на разных гипсометрических уровнях.

Геохимические факторы. Тела ультрамафитовых интрузивов дискордантны по отношению к

разнородным складчатым структурам фундамента, не претерпели регионального метаморфизма и не затронуты процессами архейской гранитизации и мигматизации, имеют близкий вещественный состав и характеризуются отчетливо проявленной геохимической специализацией на Cr, Ni, Cu, Co, V и кобальт-медно-никелевой с платиноидами минерализацией. Рудные тела картируются по протяженным первичным и вторичным ореолам Ni, Cu,

Со, Сг и сопутствующим им элементам. В пределах Кун-Маньенского рудного поля по данным комплексных работ выявлены около 30 крупных интрузивов ультрамафитовых пород и многочисленные мелкие дайкообразные тела. По прерывистым цепочкам вторичных ореолов Cu, Ni, Co рудное поле в плане прослеживается в северо-западном направлении на расстояние около 30 км.

Геофизические факторы. Рудные никеленосные тела отличаются повышенными значениями магнитного поля (1000–5000 нТл) по сравнению с вмещающими породами. В поле вызванной поляризации они трассируются аномалиями η_k интенсивностью 3–15%. По данным петрофизических исследований, рудные тела Водораздельное, Водораздельное-2, Фалкон, Соболевское, Икэнское имеют плотность от 3,0 до 3,3 г/см³ (рис. 3). Габбро-пироксениты, вестербиты обладают высокой плотностью, но, как правило, несут вкрапленную рудную минерализацию. На детальных гравитационных профилях рудные тела вкрапленного и массивного типов отвечают локальным аномалиям Δg . Приуроченность никеленосных интрузивов к зонам повышенной проницаемости позволяет прослеживать их в поле ρ_k по пониженным значениям сопротивлений 500–1000 Ом·м. Наличие сульфидной минерализации сопровождается высокими аномалиями поляризуемости 5–30%.

Влияние пород фундамента. Повышенные и наиболее высокие содержания сульфидов в пределах рудных полей наблюдаются в телах мафит-ультрамафитов, расположенных среди пород кристаллического фундамента более высокой основности или среди бластомилонитов по метагабброидам, кристаллосланцам.

По данным регионального прогноза, выполненного методом ранговых рядов, в пределах Дальневосточного габбро-анортозитового пояса возможно открытие 12 крупных с апатит-ильменит-магнетитовыми и пяти средних с медно-никелевыми рудами месторождений.

По результатам локального прогноза, проведенного с использованием установленных поисковых признаков, в пределах Геранского массива выделено 18 апатит-ильменит-магнетитовых рудопроявлений, в пределах Каларского массива — 25 рудопроявлений, перспективных на выявление ильменит-магнетитовых месторождений.

Итак, метасоматический и металлогенетические факторы локализации руд вплоть до настоящего времени изучены недостаточно. Из приведенной геохимической характеристики вмещающих пород Куранахского рудного поля можно заключить, что чем выше значения средней дисперсии и коэффи-

циента кларковых содержаний элементов, тем выше вероятность нахождения их избыточной формы распределения и, соответственно, вероятность проявления наложенных концентраций элементов.

Низкие содержания SO₃ указывают на убогое содержание сульфидной минерализации. Некоторое исключение составляет доросский комплекс, где возможен процесс образования сульфидных руд, в первую очередь, медно-никелевой минерализации. Кроме того, низкие содержания MgO (<3–5%) в габброидах каларского комплекса характеризуют их как малоперспективные на выявление медно-никелевых руд. Для массива Кун-Манье содержание MgO составляет 5–9%, что указывает на возможность образования в его пределах вкрапленных руд.

Формирование пород габбро-анортозитовой серии происходило в несколько стадий, решающую роль в которых играли, по-видимому, смена режимов кислотности – щелочности, гравитация с последующей метаморфической и метасоматической переконцентрацией элементов внутри массива и экзоконтактной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баженова Г.Н.* Геологическое положение и строение Каларского анортозитового массива // Геология и геофизика. 1964. № 11. С. 35.
2. *Богданова Н.Г.* Строение Геранского анортозитового массива // Геология и минералогия анортозитовых ассоциаций. Владивосток, 1987. С. 86–96.
3. *Быховер В.Н., Лавровиц Н.Н.* Новые данные о Каларском массиве анортозитов (Восточная Сибирь) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1980. № 2. С. 45.
4. *Воллосович Н.Н.* Геологическое положение Каларских габбро-мангеритов // Геология магматизм и оруденение Приамурья. Владивосток, 1985. С. 60.
5. *Гаврилов В.В., Иванов В.И.* Апатит-ильменит-титаномагнетитовые руды Джугджурской провинции — перспективная сырьевая база // Разведка и охрана недр. 1979. № 4. С. 16–20.
6. *Копылов М.И.* Перспективы освоения титанорудных месторождений Дальнего Востока и Забайкалья // Проблемы геологии, минеральных ресурсов и геоэкологии Западного Забайкалья. Улан-Удэ, 2007. С. 27.
7. *Панских Е.А., Суханов М.К.* Геология и минералогия автономных анортозитовых ассоциаций Восточно-Азиатского пояса // Геология и минералогия анортозитовых ассоциаций. Владивосток, 1987. С. 41–57.
8. *Роганов Г.В.* К рудоносности Имангакитского и Куранахского анортозитовых массивов (Алдано-Становой щит) // Тихоокеанская геология. 2002. Т. 17. № 3. С. 113–125.
9. *Шабалин Л.И.* Соотношение титаномагнетита и свободного ильменита в титаномагнетитовых месторождениях юга Сибири // Геология рудных месторождений. 1982. № 5. С. 82.

УДК 553.491

© В.Н.Труфанов, Т.В.Шарова, А.В.Труфанов, 2010

ЗОЛОТОНОСНЫЕ ПЕГМАТИТЫ ГАББРО-НОРИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО АЛДАНА

В.Н.Труфанов, Т.В.Шарова, А.В.Труфанов (Южный федеральный университет)

Описан новый генетический тип золоторудной минерализации в докембрийских метабазитовых комплексах Алдано-Станового щита — золотоносные пегматоидные тела.

Ключевые слова: месторождение им. Пинигина, золото, пегматиты, Алдано-Становой щит, термобарогеохимия.

Труфанов Вячеслав Николаевич, kpirgu@mail.ru, Шарова Татьяна Викторовна, kianitt@mail.ru, Труфанов Алексей Вячеславович, kpirgu@mail.ru

GOLD-BEARING PEGMATITES OF GABBRO-NORITE COMPLEXES OF CENTRAL ALDAN

V.N.Trufanov, T.V.Sharova, A.V.Trufanov

The paper describes a new genetic type of gold mineralization in Precambrian metabasite complexes of the Aldan-Stanovoy shield — gold-bearing pegmatitic bodies.

Key words: pinigin's deposit, gold, pegmatites, Aldan-Stanovoy shield, thermobarogeochemistry.

За длительный период освоения Центрального Алдана в его пределах было отработано множество коренных месторождений золота, большинство из которых приурочены к платформенному чехлу. По условиям локализации, геологической позиции, морфологии рудных тел, характеру минерализации выделены пять типов золоторудных месторождений — куранахский, лебединский, рябиновый, самолазовский, эльконский.

Месторождения лебединского и куранахского типов характеризуются накоплением золота в осадочных породах платформенного чехла, рябинового и самолазовского — наличием рудной минерализации в пределах многофазовых интрузий и метасоматитов в их экзоконтактах. С открытием в 60-х годах прошлого века золото-урановых месторождений Эльконского горста была поднята проблема золотоносности архейско-протерозойского фундамента.

В результате проведенных прогнозно-поисковых (1996–2000 гг.) и поисковых (2000–2003 гг.) работ на территории Верхне-Любкакайского рудного поля открыт новый генетический тип золотого оруденения в докембрийских метабазитовых комплексах — золотоносные пегматоидные тела, локализованные в габбро-норитовых интрузивах Алдано-Станового щита.

Один из перспективных объектов на данный тип оруденения — месторождение им. Пинигина — расположено в пределах Верхне-Любкакайского рудного поля. Последнее находится в центральной части Алдано-Станового щита вблизи границы Амгинской коллизионной зоны с Нимнырским гранулит-ортогнейсовым террейном.

Породы рудного поля (нимнырская свита, AR¹_{1mn} в районе ее контакта с федоровской свитой,

AR²_{1fd}) представляют собой пакет чередующихся согласных, субпараллельных, пластообразных линейных тел базитов, субщелочных биотитовых гранитов, гиперстеновых, графит-гранат-биотитовых и графит-гранат-кордиерит-биотитовых гнейсов и плагиогнейсов.

Золоторудная минерализация локализована в базитах медведевского магматического комплекса. Протяженность базитовых тел достигает 7,5 км и более, мощность колеблется от 25 до 150 м. Внешне это темно-серые средне- и равномерно-зернистые массивные породы, состоящие из ортопироксена (гиперстена) 0–40%, клинопироксена (ферросалита) 0–40%, амфибола 0–25%, андезина 45–60%, примеси биотита. Рассеянная вкрапленность магнетита, ильменита и титаномagnetита не превышает 2–5%. Среди аксессуарных минералов преобладает апатит в мелких призматических кристаллах, эпизодически встречаются циркон, ксенотим. Средний размер зерен 0,3–0,5 мм. Микроструктура пород гипидиоморфнозернистая, схема кристаллизации минералов боуэновская, что позволяет отнести базиты к ортопородам.

Рудные тела месторождения имеют пластообразную или линзовидную форму и залегают согласно с вмещающими габбро-норитами (рис. 1, 2). Они сложены зональными линзовидными обособлениями сульфидно-пироксен-плагиоклаз-кварцевого состава. Мощность обособлений варьирует от первых сантиметров до 0,8–1 м, кварцевые ядра в центральных частях рудных тел в единичных случаях достигают первых метров. Визуально золотоносные обособления достаточно резко отличаются от вмещающих пород зональным строением, крупнозернистым сложением, кварцевым составом цен-

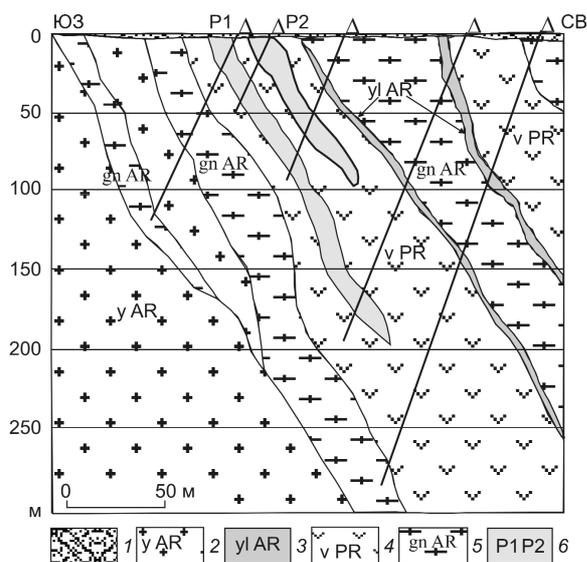


Рис. 1. Схематический геологический разрез рудовмещающих габбро-норитов:

1 — нерасчлененные делювиальные, аллювиальные, водно-ледниковые и ледниковые отложения; 2 — субщелочные биотитовые граниты; 3 — биотитовые граниты нормальной щелочности; 4 — габбро-нориты; 5 — гиперстен-биотитовые, гранат-графит-биотитовые, графит-гранат-кордиерит-биотитовые гнейсы; 6 — рудные тела золотоносных пегматоидных образований в габбро-норитах (P1, P2)

тральных частей линз, наличием сульфидов, количество которых обычно 5–12%, но может достигать 50–60% и более [7].

По данным В.Г.Амарского (2008), оптические свойства и химический состав цветных минералов в габбро-норитах и золотоносных обособлениях идентичны.

Внешняя зона (оторочка обособления), контактирующая с габбро-норитом, сложена крупными (1–1,5 см) зернами ромбического и моноклинного пироксена, в интерстициях которых находится переменное количество ксеноморфных включений сульфидов, преимущественно пирротина и пирита, реже — леллингита и арсенопирита. Мощность пироксеновой оторочки обычно 0,5–1 см, иногда 5–7 см и не зависит от мощности обособления (см. рис. 2). Следующая зона мощностью от первых сантиметров до 12–15 см сложена призматическими кристаллами олигоклаз-андезина, среди которых в подчиненном количестве встречаются идиоморфные зерна пироксенов. В интерстициях присутствует примесь ксеноморфных зерен кварца, количество которого возрастает по мере приближения к центральной зоне.

Центральная, или ядерная, часть обособлений выполнена крупными зернами кварца, в котором

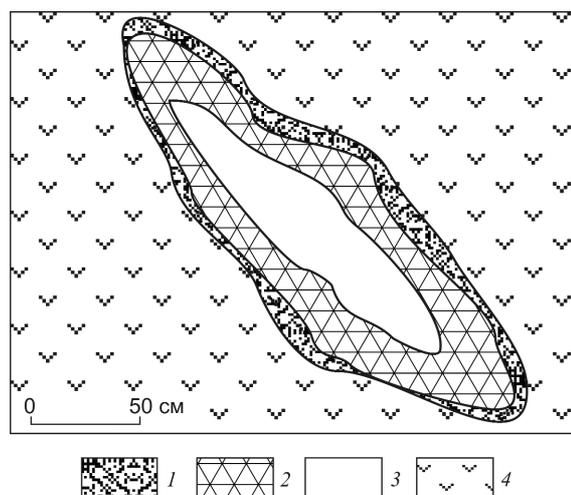


Рис. 2. Схема строения золоторудного пегматоидного тела:

1 — пироксеновая зона; 2 — плаггиоклазовая зона; 3 — кварцевое ядро; 4 — габбро-норит

рассеяны идиоморфные зерна и агрегатные скопления пироксена и плаггиоклаза, а также в переменном количестве крупные ксеноморфные выделения сульфидов. Мощность ядерной части зависит от мощности обособления и колеблется от первых сантиметров до первых метров.

Сульфиды при содержании 7–10% обычно вкрапленные и равномерно распределены в объеме обособления, при содержании >18–20% структура руд сидеронитовая. В сульфидном цементе находятся крупные зерна и агрегатные скопления пироксена, плаггиоклаза и кварца.

Выявленные структурно-генетические особенности рудных тел диагностируются нами как пегматоидные образования.

Свободное золото размером в среднем 10,7 мкм приурочено в основном к микротрещинам в кварцевых ядрах пегматоидных тел. Тонкодисперсное золото связано с сульфидами. В леллингите содержание Au до 200 г/т, в арсенопирите — 105 г/т. Морфология золотин, зависящая от формы заполняемой полости, неправильная, комковатая, редко кристаллоподобная, пластинчатая, таблитчатая. Пробность золота, отобранного из делювия, в среднем по месторождению 990%.

По результатам микронзондового анализа основным рудным минералом, содержащим золото, является леллингит (В.А.Амузинский, Н.В.Попов, 2003 г.). По химизму он охватывает весь спектр теоретического состава данного минерального вида, т.е. от низко- и умеренно сернистого (последний преобладает) до наиболее высокосернистого. Ха-

рактрно, что наиболее сернистые арсениды ($S_{0,169\%}$) зафиксированы в рудах с максимальным содержанием золота, т.е. устанавливается зависимость между сернистостью минералов и золотоносностью пегматоидных тел. Типоморфные примеси в леллингите — кобальт и никель ($Ni_{0,020}Co_{0,041}Fe_{0,926}S_{0,987}(S_{0,161}As_{1,854})_{2,015}$).

Состав пирротинов изменяется в достаточно узких пределах от $FeS_{1,068}$ до $FeS_{1,079}$. Наиболее высокие содержания золота характерны для высокосернистых пирротинов, образование которых по диаграмме Р.Арнольда происходило при T 500–700°C. Наиболее характерной примесью в пирротине является Ni до 0,44%. Пирит $Fe_{1,049}S_{1,956}$ и халькопирит $Cu_{1,002}Fe_{1,013}S_{1,984}$ отличаются незначительным дефицитом серы по сравнению с теоретическим составом. В арсениопирите ($Ni_{0,019}Co_{0,030}Fe_{0,959}S_{1,008}As_{1,104}S_{0,892}$) отмечается высокое в сравнении со стехиометрическим содержание мышьяка, особенно в наиболее золотоносных рудах.

Таким образом, золотоносные руды изучаемого района следует отнести к высокомышьяковистым, а основной минеральной формой нахождения золота признать тонкодисперсные кластеры в леллингите и арсениопирите. Минеральные ассоциации рудных тел данного месторождения могут быть отнесены к золотоносной кварц-никель-кобальт-сульфоарсенидной формации.

Геохимические исследования показали, что в рудных телах по сравнению с вмещающими породами заметно повышены содержания Au, Cu, Zn, W, Co, As, Bi, Ag. По результатам корреляционного анализа наметилась группа элементов-спутников. Золото положительно коррелирует с Cu, Ni, Co, Ag, As, Bi [8].

Проведенные по методике В.Н.Труфанова [3, 4] термобарогеохимические исследования позволили установить закономерности генезиса вмещающих и золотоносных пород. При исследованиях использовались вакуумные декриптографы типа ВД-5, совмещенные с газовыми хроматографами ЛХМ-8М. Определялись температуры эффектов декриптации флюидных включений, состав выделившихся газов, а также рассчитывался энергетический показатель флюидоактивности:

$$F = \Delta P \cdot V / T_d,$$

где ΔP — приращение давления в капсуле прибора ВД-5 с анализируемой пробой за счет выделения газовой фазы, V — объем выделившихся газов, T_d — температура максимума декриптации.

В пороодообразующих минералах пегматоидных тел выявлен сложный спектр флюидных включений — жидкие, газовые, газовой-жидкие, много-

фазовые, расплавные [6]. Анализ вакуумных декриптограмм золоторудных габбро-норитов показывает, что они характеризуются достаточно сложной структурой, содержащей от трех до пяти эффектов выделения флюидных компонентов. Главные три максимума выделения флюидов, очевидно, связаны с тремя системами включений среды минералообразования — низко-, средне- и высокотемпературной.

Поскольку золотоносные тела в габбро-норитах имеют зональное строение, каждая из зон была подвергнута термобарогеохимическому анализу.

Пироксеновая зона находится на границе вмещающих габбро-норитов и золотоносных пегматоидных обособлений сульфидно-пироксен-плаггиоклаз-кварцевого состава. В этой зоне к первичным нами отнесены немногочисленные расплавные включения, равномерно расположенные в объеме минерала-хозяина. Большинство включений имеют негативную и овальную формы, встречаются вакуоли неправильной формы. По составу они двух- и трехфазовые (газовый пузырек; затвердевший расплав — в проходящем свете вещество бесцветно, показатель преломления близок к таковому минерала-хозяина, в скрещенных николях изотропно, что характерно для стекла). Очень редко во включениях присутствует затвердевший сульфидный расплав.

Первично-вторичные (субсингенетические) вакуоли относятся к наиболее распространенным включениям сингенетических трещин залечивания в дораставших кристаллах. Они пересекают внутренние зоны роста кристаллов, но не выходят на их современную поверхность. Включения неправильной и овальной формы. Наряду с существенно газовыми вакуолями, встречаются и кристаллофлюидные включения.

Вторичные включения неправильной и овальной формы приурочены к многочисленным трещинам, пересекающим границы соприкасающихся зерен. Они относятся к двух- (водный раствор и газовый пузырек, жидкая углекислота и газовый пузырек) и трехфазовой (водный раствор, жидкая углекислота и газовый пузырек) разновидностям.

Вакуумные декриптограммы пироксеновой зоны имеют несколько максимумов газовой выделения в интервалах температур 80–120, 200–280, 300–400, 400–680°C (рис. 3).

Природа эффекта в низкотемпературном (80–120°C) интервале связана с декрипацией наиболее низкотемпературных систем флюидных включений. Второй максимум регистрируется в интервале 200–400°C и связан с декрипацией газовой-жидких и существенно газовых систем флюидных включений, которые, очевидно, образовались в результате

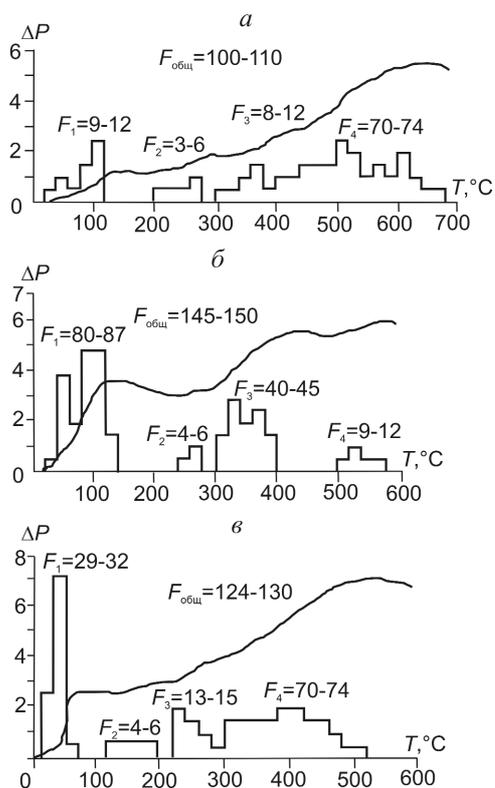


Рис. 3. Типовые вакуумные декриптограммы: пироксеновой (а), плагиоклазовой (б) и кварцевой (в) зон

автоматагенных процессов. Природа высокотемпературных (450–680°C) эффектов связана с декрипацией первичных многофазовых и газовой-твердых включений, представляющих собой реликты остаточных расплавов-растворов, возникающих в процессе кристаллизационной и эманационной дифференциации первичных расплавов основного состава.

Первые три максимума газовой выделения характеризуются невысокими показателями флюидоактивности (F), соответственно 9–12, 3–6, 8–12 усл. ед. Расчеты энергетического показателя флюидных включений позволяют к наиболее интенсивному максимуму на кривой декриптоактивности отнести четвертый, высокотемпературный, эффект с показателем флюидоактивности 70–76 усл. ед.

По данным газовой-хроматографического анализа в интервале T 300–500°C в составе газов H_2O , CO_2 преобладают над H_2S , CH_4 , N_2 .

Давление среды минералообразования, определенное по диаграмме С.Д.Малинина состояния H_2O-CO_2 [2] до температуры 350°C, а выше — методом интерполяции, достигает >800 бар.

Плагиоклазовая зона сложена крупнозернистыми агрегатами плагиоклаза с переменным коли-

чеством ксеноморфных выделений сульфидов. Мощность ее колеблется от первых до 12–25 см.

Первичные включения в плагиоклазе размером 0,08–0,23 мм диагностировались по расположению вдоль кристаллографических зерен минерала и по фазовому составу вакуолей. Наиболее крупные включения изучались под микроскопом (ув. 600) в проходящем свете при параллельных и скрещенных николях. Большинство из них имеют овальную форму, иногда встречаются вакуоли неправильного вытянутого облика. Они относятся по составу к трехфазовой разновидности (газовый пузырек, затвердевший расплав-стекло, мелкие призматические кристаллы, возможно, силикатов).

По данным С.Д.Великославинского [1], температура гомогенизации расплавных включений в пироксене метабазитов составляет $1285 \pm 20^\circ C$, а в плагиоклазах — $1255 \pm 15^\circ C$. Присутствие сульфидных расплавных включений также подтверждает вывод о том, что температура гомогенизации превышает $1000^\circ C$. В плагиоклазах также присутствуют первично-вторичные и вторичные включения. Их морфология и фазовый состав обычно такие же, как в пироксенах.

Вакуумные декриптограммы существенно плагиоклазовой зоны имеют несколько пиков газовой выделения с максимумами в интервалах 40–140, 240–280, 300–400, 500–580°C (см. рис. 3). Наибольшими значениями показателей флюидоактивности характеризуются низко- (80–87 усл. ед.) и среднетемпературные (40–45 усл. ед.) включения. Высокотемпературный эффект газовой выделения проявлен в интервале T 500–580°C с $F=9-12$ усл. ед.

Газоотделение при низких температурах связано с декрипацией вторичных газовой-жидких и существенно газовой включений, при средних и высоких — с декрипацией первично-вторичных или сингенетических и первичных кристаллофлюидных, раскристаллизованных, многофазовых систем включений.

В составе выделившихся летучих установлены следующие газы: H_2O , H_2S , CH_4 , N_2 . Давление среды минералообразования варьирует в диапазоне 400–600 бар.

Кварцевая зона. Ядерная часть золотоносных обособлений сложена сливным агрегатом крупных зерен кварца. Ее мощность зависит от мощности обособления и варьирует от первых сантиметров до первых метров.

В кварцевом ядре пегматоидных тел обнаружены включения трех типов: газовой, газовой-жидкие, многофазовые. Первичные и первично-вторичные включения представлены существенно газовой и многофазовыми вакуолями. Их форма неправильно-

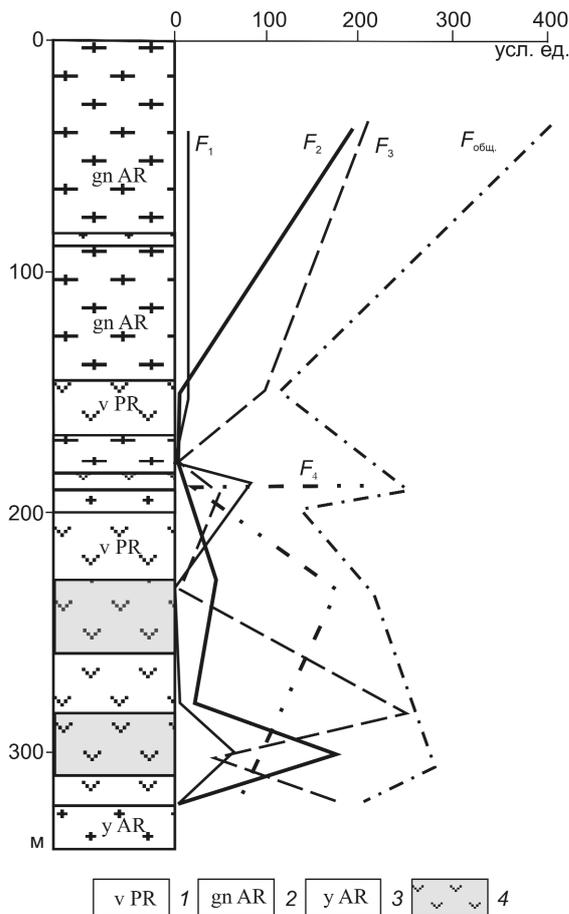


Рис. 4. Сводная диаграмма изменения показателя флюидоактивности по разрезу продуктивной толщи:

1 — габбро-нориты; 2 — графит-гранат-кордиерит-биотитовые гнейсы; 3 — биотитовые граниты; 4 — рудные тела

изометрическая, размеры редко превышают 0,03 мм. Существенно газовые включения на 95–98% объема заполнены газом. Гомогенизируются они в газовую фазу при T 500–530°C. В жидкогазовых включениях количество жидкости 25–40%, а гомогенизация их происходит в газовую фазу в интервале T 350–500°C. Многофазовые включения состоят из газа (20–25%), жидкости (25–30%) и минералов-узников.

Вторичные включения в кварце представлены газовой-жидкими вакуолями. Содержание газа внутри включений не превышает 30–35%. В некоторых включениях, кроме газа и водного раствора, наблюдается небольшое количество (не более 15%) жидкой углекислоты. Гомогенизация газовой-жидких включений в кварцевых ядрах происходит в интервале T 100–380°C.

На типовых вакуумных декриптограммах отмечается до четырех максимумов газовой выделения в ин-

тервалах T 40–80, 120–200, 220–280, 300–520°C (см. рис. 3). Наиболее интенсивные пики на кривой декриптоактивности — низкотемпературный эффект с $F=29–32$ усл. ед. и высокотемпературный с $F=70–74$ усл. ед. Природа эффектов в низкотемпературном интервале, вероятно, связана с декриптацией наиболее поздних вторичных углекислотных, газовой-жидких систем флюидных включений, а в высокотемпературном — с декриптацией первичных газовых и многофазовых систем включений.

Давление среды минералообразования устанавливается в диапазоне 300–500 бар. Согласно проведенным газохроматографическим исследованиям, в интервале T 300–500°C во флюидных включениях H_2O , CO_2 преобладают над H_2S , CH_4 , N_2 .

На сводной диаграмме проиллюстрированы изменения показателя флюидоактивности по разрезу разведочной скважины 50 до глубины 320 м (рис. 4). Максимальные значения F характерны для верхних (вмещающие комплексы) и нижних (золотоносные габбро-норитовые тела) частей разреза. В габбро-норитах это связано с декриптацией среднетемпературных и высокотемпературных систем флюидных включений, отражающих продуктивные стадии золотого оруденения. Можно ожидать, что максимальная золотоносность будет в интервале глубин 230–310 м от поверхности, что подтверждается данными опробования рудных тел.

Анализируя графики зависимости содержания золота от показателей флюидоактивности (рис. 5), можно предположить, что золото на месторождении им. Пинигина сформировано в две продуктив-

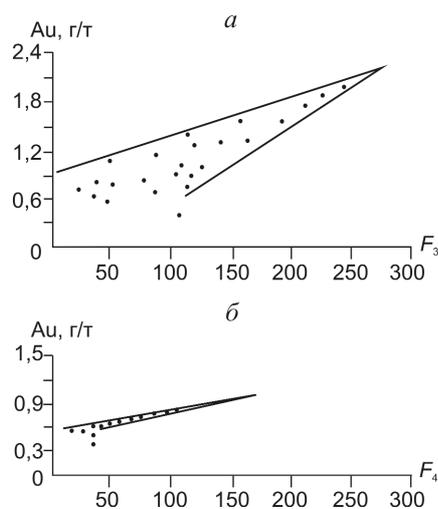


Рис. 5. Зависимость содержания золота в золотоносных габбро-норитах от показателя флюидоактивности (а, б):

фигуративные точки ВД-анализов золотоносных проб

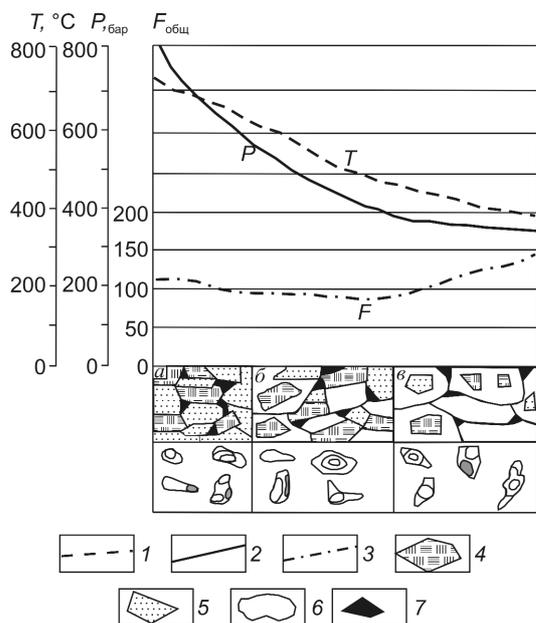


Рис. 6. *PT*-диаграмма формирования золоторудного месторождения им. Пиннигина:

1 — температура; 2 — давление; 3 — показатель флюидоактивности; 4 — плагиоклаз; 5 — пироксен; 6 — кварц; 7 — рудные минералы; зоны: *a* — пироксеновая, *б* — плагиоклазовая, *в* — кварцевая

ные стадии — высоко- (500–700°C) и среднетемпературную (300–450°C), что подтверждается положительной корреляцией между показателями флюидоактивности этих стадий и содержаниями золота в рудных телах.

На основании изложенного можно полагать, что золотое оруденение месторождения им. Пиннигина представлено новым генетическим типом золотоносных пегматоидных тел, сформировавшихся в габбро-норитовых силлах медведевского горизонта Алдано-Станового щита.

В истории формирования месторождения выделяются два этапа. На первом этапе в протерозойское время в результате дифференциации толеитовой магмы, внедрившейся в виде пластовых интрузий в гнейсовую толщу архейского возраста, образуются золотоносные пегматоидные тела. Механизм их формирования представляется как процесс раскристаллизации остаточного силикатно-сульфидного расплава-раствора, обогащенного рудными элементами, серой и кремнеземом. Тонкодисперсное золото связано с пирротинном, пиритом и сульфоарсенидом железа (леллингитом). На втором этапе кристаллизация основного расплава завершается внутрикамерными гидротермально-метасома-

тическими процессами (В.Г.Амарский, 2008 г.). Возможно, именно этим объясняется интенсивное замещение пироксенов и плагиоклазов вторичными минералами в центральных частях обособлений. Здесь кристаллизуются халькопирит, золотоносный арсенопирит, а также золото в самородной форме, приуроченное в основном к микротрещинам в кварцевом ядре пегматоидных тел.

Минералого-петрографические, геохимические и термобарогеохимические исследования позволяют считать, что рудоносный флюид представлял собой сульфидно-силикатно-кремнистый расплав-раствор с большим содержанием H_2O и CO_2 . Из него последовательно выделялись ортопироксен → клинопироксен → андезин → кварц → рудные минералы (пирротин, леллингит) при T 500–700°C и $P > 800$ бар. Гидротермально-метасоматические процессы протекают при T 300–400°C и P 300–500 бар (рис. 6). Золотое оруденение локализовано в конечных продуктах раскристаллизации расплава-раствора, в ядерном кварце пегматоидных тел в виде свободных выделений, а также в арсенидах и сульфоарсенидах железа. В фундаментальных работах А.Е.Ферсмана [5] отмечаются случаи образования подобных пегматитов в основных породах.

На основании выполненных исследований предложены новые прогнозно-поисковые критерии для выявления золоторудной минерализации на территории Алдано-Станового щита:

золоторудная минерализация сосредоточена в зональных телах крупнозернистых пород основного состава медведевского горизонта. Это сульфидно-пироксен-плагиоклаз-кварцевые образования, содержащие сульфоарсениды и арсениды;

золото положительно коррелирует с Cu, Co, Ag, W, Mo, As, Bi. В рудных телах по сравнению с вмещающими породами содержания этих элементов заметно повышены, что может использоваться как индикатор золотого оруденения данного вещества и генетического типа;

прямая корреляционная связь между содержаниями золота и показателем флюидоактивности рудовмещающих пород и минеральных ассоциаций пегматоидных тел также может служить поисково-оценочным критерием на золото.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Великославинский С.Д.* Метабазиты высокометаморфизованных комплексов раннего докембрия Алдано-Станового щита: петролого-геохимическая характеристика и геолого-тектоническая интерпретация: Автореф. дис... докт. геол.-минер. наук. – Санкт-Петербург, 1998.
2. *Малинин С.Д.* Система H_2O-CO_2 при высоких температурах и давлениях // *Геохимия*. 1959. № 3.

3. *Основы прикладной термобарогеохимии* / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, Л.К.Дудкевич и др. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2008.
4. *Труфанов В.Н.* Минералообразующие флюиды рудных месторождений Большого Кавказа. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1979.
5. *Ферсман А.Е.* Избранные труды. Т. 3. – М.: АН СССР, 1960.
6. *Шарова Т.В.* Флюидные включения в габбро-норитах месторождения им. Пинигина (Южная Якутия) // Тр. аспирантов и соискателей Ростовского государственного университета. Ростов-на-Дону, 2005. С. 99–101.
7. *Шарова Т.В.* Особенности условий локализации золоторудной минерализации докембрийских метабазитовых комплексов месторождения им. Пинигина (Южная Якутия) // Актуальные проблемы региональной геологии, литологии и минерации. Ростов-на-Дону, 2005. С. 182–185.
8. *Шарова Т.В.* Вещественный состав и особенности генезиса золотого оруденения в докембрийских метаморфитах Алданского щита // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2006. № 4. С. 102–103.

УДК 553.411 (470.1/.6)

© О.А.Агибалов, 2010

ЭКЗОГЕННАЯ ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ЧЕХЛА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ — ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

О.А.Агибалов (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Приведено описание основных типов проявлений россыпного золота в пределах чехла центральной части Русской платформы, их структурно-геоморфологической позиции, источников титания, литолого-фациального строения. Рассмотрены проблемы происхождения основных типов россыпей проявлений, закономерностей их пространственной локализации.

Ключевые слова: экзогенная золотоносность, титаноциркониевые россыпи, Русская платформа.

Агибалов Олег Анатольевич, agibalov-oleg@mail.ru

EXOGENIC GOLD-BEARING WITHIN THE LIMITS OF A COVER OF THE CENTRAL PART OF RUSSIAN PLATFORM — STATEMENT OF A PROBLEM

O.A.Agibalov

The aim of this study is to characterize of the basic types of displays placer gold within the limits of a cover of the central part of Russian platform, its structural-geomorphological positions, power supplies, lithologic-and-facies structures. There is observe of problems of an origin of the basic types placers gold, laws of their spatial localization are considered within the limits.

Key words: exogenic gold-bearing, titanite-zirconium looses, Russian platform.

Поступление кластогенного золота в породы чехла центральной части Русской платформы традиционно связывается с ледниковым материалом, принесенным с Балтийского щита, Тиманского поднятия и Уральского орогена. Проведенные в последние десятилетия исследования [5–9] показали широкое распространение россыпного золота в различных литолого-фациальных комплексах чехла платформы, причем локализация участков с повышенными содержаниями (в ряде случаев близкими к промышленным) не всегда обусловлена близостью к обрамляющим платформу кристаллическим массивам и складчатым областям, что свидетельствует о важном значении внутриплатформенных экзогенных и эндогенных процессов при формировании скоплений кластогенного золота.

Россыпная золотоносность в пределах рассматриваемой территории известна, по крайней мере,

с XIX в. [3]. Россыпей проявления локализованы в отложениях различного возраста и генезиса от кайнозойских аллювиальных и ледниковых до морских, элювиальных и аллювиальных мезозойско-палеозойских осадочных толщ. Наибольшее их количество сосредоточено в кайнозойских (70%) и мезозойских (26%) осадках. Золото (в ряде случаев с металлами платиновой группы) поступало в промежуточные коллекторы осадочного чехла платформы различных фациальных типов — аллювиальных, прибрежно-морских и прибрежно-озерных, карстовых с территории Балтийского щита, Воронежского кристаллического массива, Белорусского свода, Тиманского поднятия и Уральского орогена. При этом кластогенное золото испытало многократное переотложение и длительную транспортировку. Наибольшее количество россыпей проявлений выявлено в трех основ-

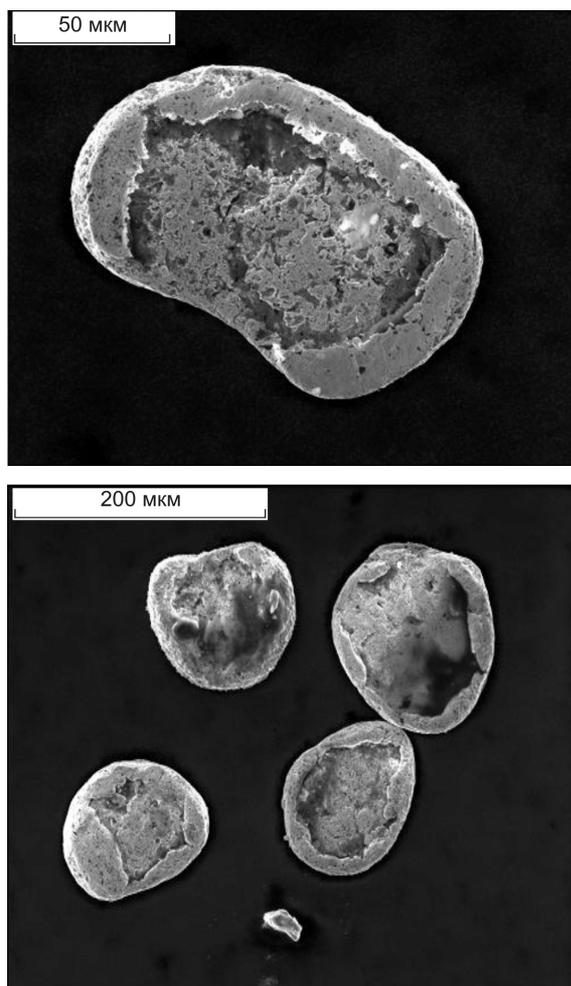


Рис. 1. Хорошо окатанное, толстопластинчатое и торондальное преобразованное золото из промежуточных коллекторов [9]

ных типах отложений: четвертичных аллювиальных (до 50% от всех установленных), четвертичных ледниковых грубообломочных (>15%), мезозойских морских титаноциркониевых и фосфоритных (~23%) [8].

Наряду с золотом дальнего сноса, которое несет следы интенсивного механического воздействия и изменения в зоне гипергенеза, отмечается слабо или совершенно не измененное золото рудного облика в сростках с сульфидами [9], золото агрегатного типа Прикамья [6] с повышенным содержанием Ag (нередко >12%), Hg (до 24,5%). На территории Воронежской антеклизы выявлены примеси Pt, Pd, Ro, Cu и других элементов, а также эксгалационное золото и интерметаллиды (А.Д.Савко, Л.Т.Шевырев и др., 1999). Таким образом, разнообразие форм выделений золота может говорить о его различной генетической природе, при этом золото-

носность россыпей проявлений тем выше, чем больше типов и, следовательно, источников золота участвуют в их образовании.

Среди четвертичных ледниковых осадков наибольшей золотоносностью характеризуются песчано-гравийные водно-ледниковые верхне-среднеплейстоценовые отложения, входящие в состав протяженных конечно-моренных образований, выраженных в современном рельефе в виде холмов и гряд Смоленско-Московской, Валдайской, Галичской и других возвышенностей. Обломочный материал представлен галькой разной степени окатанности преимущественно местных пород (известняки, песчаники, кремни). Соотношение между местными и привнесенными (магматическими и метаморфическими) породами на отдельных площадях изменяется от 96/4 до 50/50% [5], что отвечает мнению Ю.А.Лаврушина и Е.В.Рухиной о незначительном перемещении донной морены (первые километры), перегруженной рыхлым материалом подстилающих осадочных толщ. Золото обычно «растянуто» по разрезу, иногда отмечаются его повышенные концентрации в более грубообломочных фациях с песчано-глинистым заполнителем. Среднее содержание Au на массу до 40–50 мг/м³, максимальное по отдельным пробам до 370 мг/м³; преобладающий размер золотин -0,1...+0,05 мм, единичные зерна достигают 2,5–3 мм. Преобладание мелких и тонких классов металла приводит к следующим предварительным выводам. В источниках питания россыпей проявлений изначально золото имело небольшой размер. В процессе длительного переноса и многократного перетолжения с уровня на уровень частицы золота претерпели значительный механический износ. Возможно хемогенное и биогенное происхождение части золота.

Золотоносность рассматриваемого типа россыпей проявлений, учитывая преобладание в них местного материала, зависит не только от близости к источникам сноса, но и от степени экспонирования золотоносных коллекторов различных типов в доледниковых отложениях, т.е. морфоструктурной позиции площади. Конечно-моренные образования четвертичных ледниковых покровов часто подчеркивали первичный структурный рельеф доледникового ложа, который в свою очередь зависел от дифференцированных неотектонических движений и платформенных структур (валов, флексур), связанных с глубинными разломами в зонах влияния авлакогенов — Среднерусского, Крестцовского и др., особенно если эти структуры располагались поперек движения ледниковых масс. Известны районы, где гляциодислокации на-

кладывались на первичные тектонические нарушения (Каневские и Доно-Медведицкие дислокации, Торжокская гряда, гляциодислокации Ясмунда) [1] или, возможно, сопровождалась ими, так как ледниковая нагрузка могла служить своего рода «спусковым крючком» для проявлений четвертичного тектогенеза в ослабленных зонах чехла. Наиболее благоприятны для формирования золотосодержащих конечно-моренных отложений площади развития региональных морфоструктур с режимом развития умеренных поднятий (унаследованных или инверсионных) [7]. Уровень золотосодержания флювиогляциальных отложений напрямую зависит от количества золота в доледниковых промежуточных коллекторах — корях выветривания, дочетвертичных дельтовых, аллювиальных и прибрежно-морских фациях с титаноциркониевыми россыпями, фосфоритами и глауконитом, являющихся хорошими концентраторами золота.

Наряду с окатанным (признаки сильного износа) дальнеприносным золотом (рис. 1), в месторождениях песчано-гравийного сырья (ПГС) водно-ледникового генезиса отмечаются золото рудного облика (рис. 2) в сростках с кварцем и сульфидами (Н.В.Казак, 1999), золото в виде хорошо ограненных кристаллов и «хрупких» агрегатов, а также низкопробное (650‰ и ниже) с примесью Cu и Hg [9].

Вторым типом проявлений россыпного золота являются *комплексные титаноциркониевые россыпи*, широко распространенные в разновозрастных отложениях чехла центральной части Русской платформы. К самым древним относятся эйфельские прибрежно-морские россыпи Южного и Среднего Тимана. В отложениях перми (татарский и казанский ярусы) титаноциркониевые россыпи известны на территории Архангельской и Вологодской областей; в районе Токмовского свода выявлены юрские (батский ярус) россыпи с промышленными содержаниями циркона, рутила и ильменита [6]. Наиболее значимые в промышленном отношении титаноциркониевые россыпи локализованы в меловых отложениях Окско-Донского междуречья (Липецкая, Тамбовская, Рязанская области). Прибрежные фации палеогена близки по генетическим и фаціальным особенностям к меловым и нередко включают комплексные золотосодержащие россыпепроявления. В неогеновых континентальных осадках (усманские слои) в западной части Тамбовской области также отмечено повышенное содержание титаноциркониевых минералов с россыпным золотом до 212 мг/т (В.И.Романчук, 1998).

Формирование золотосодержащих комплексных россыпей связано с эпохами корообразования

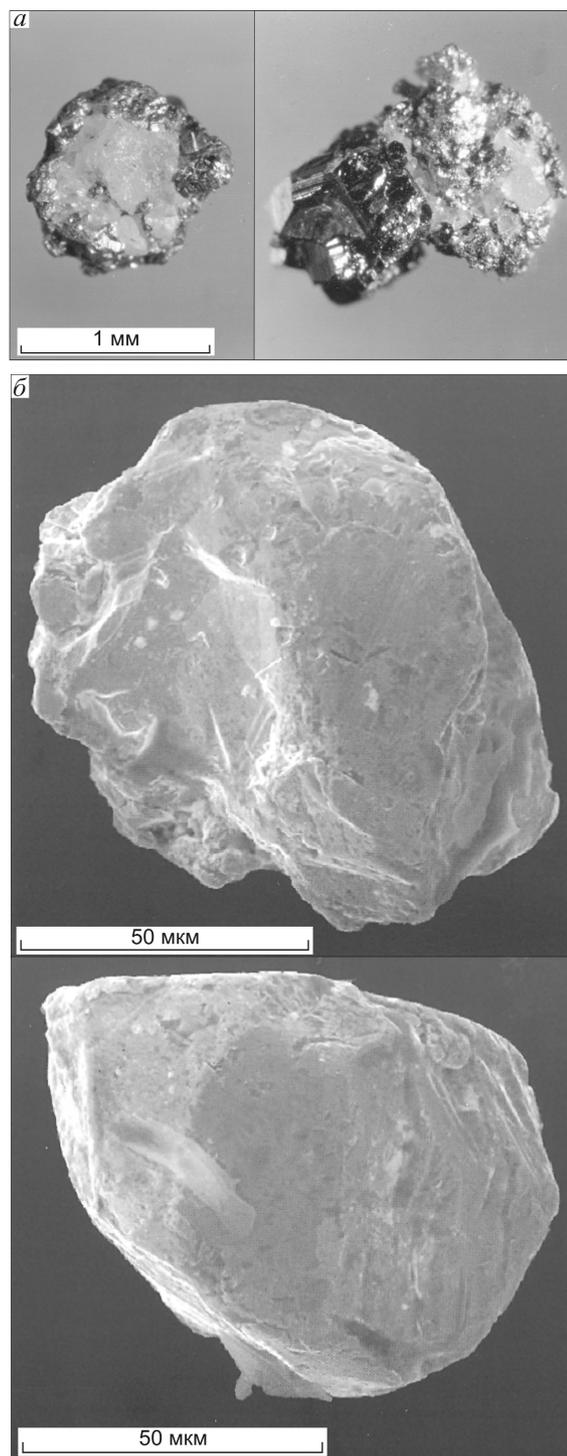


Рис. 2. Сростки золота с кварцем и пиритом (а), кристаллы самородного золота (б) [9]

(посткаледонской, постгерцинской, посткimmerийской) в пределах Балтийского щита, Украинского и Воронежского кристаллических массивов, Бело-русского свода, Ульяновско-Котельничского подня-

тия, Южного Тимана. В результате корообразовательных процессов из выведенных на поверхность в периоды тектономагматической активизации магматических и вулканических пород с эндогенной минерализацией высвобождались устойчивые в гипергенных условиях акцессорные минералы, в том числе и золото.

В пределах Воронежского кристаллического массива золотое оруденение отмечено в породах зеленокаменных толщ, железистых кварцитах, кварцевых конгломератах, черных углеродистых сланцах. Обнаружено около 60 рудных объектов, в том числе крупные и гигантские месторождения железистых кварцитов (КМА) с сопутствующим золото-платинометальным оруденением: Стойло-Лебединское рудное поле (содержания Au 3 г/т на мощность 10,7 м), Коробковское месторождение (4,14 г/т Au на мощность 0,45 м), Панковское месторождение (5,4 г/т Au на мощность 0,4 м и 10,9 г/т Au на мощность 0,2 м) и др. Общие прогнозные ресурсы золота в железистых кварцитах КМА и в подстилающих их кварцитах стойленской свиты оцениваются геологами ОАО «Белгородгеология» [12] не менее 2000 т.

Оруденение черносланцевого типа наиболее полно проявлено в крупной раннепротерозойской рифтогенной (протяженность 130 км при ширине 30–50 км) Тим-Ястребовской структуре КМА и характеризуется многоуровневым размещением (3–7 горизонтов мощностью от первых до 25–30 м) с высокими концентрациями МПГ и Au (1,5–34,6 г/т) [13]. Кроме того, по данным [14, 15], выявлено более 50 разномасштабных проявлений сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд халькопирит-пентландит-пирротинового состава со средними содержаниями Pt 0,016 г/т и Pd 0,42 г/т.

Карстовые и площадные коры выветривания с золотом, минералами редких и рассеянных элементов известны в глинисто-карбонатных нижнепалеогеновых и нижнемеловых отложениях Воронежской антеклизы, в сланцево-карбонатных породах позднего протерозоя Тимана (девонские коры выветривания). В корях выветривания (преимущественно на Украинском щите) содержания Au составляют 0,1–30 г/т. Золотины имеют дендритовидную и шарообразную формы размером 0,1–0,5 мм. Элювиальные и сопряженные с ними аллювиально-делювиальные россыпи, содержащие титаноциркониевые и редкоземельные минералы, выявлены и обрабатываются в пределах Украинского щита, в Приазовье (Иршинские, Комкодиево-Мазарувская) [16].

Наиболее мощными эпохами россыпеобразования на Русской платформе были девонская, поздне-

меловая, олигоценая и миоценовая. Девонские титаноциркониевые прибрежно-морские россыпи распространены главным образом в северо-восточной части Русской платформы, меловые — в центральной, олигоценые — на юге, миоценовые — преимущественно на Скифской платформе и в Предкавказье. Продуктивность молодых отложений сколько-нибудь ощутимо не снижается [7].

На территории центральной части Русской платформы наиболее известны комплексные россыпи, приуроченные к сложно построенной структурно-формационной зоне сочленения Воронежского массива и Волго-Уральской антеклизы в пределах Окско-Донского междуречья. Здесь установлено около 50 потенциально золотосодержащих титаноциркониевых россыпей и россыпепроявлений [6]. Образование их происходило за счет перемива осадочных промежуточных коллекторов преимущественно в пляжевых и мелководношельфовых зонах, прилегающих к положительным структурам в пределах мелового палеобассейна. Потенциально золотосодержащие коллекторы формировались в пределах рассматриваемой территории с девона по неоген. Это горизонты девонских конгломератов, гравелитов, песков и песчаников (эйфельский, живетский, франкий ярусы) с примесью глауконита и сидерита, обломками фосфоритов, галькой бурого железняка; литофации прибрежных равнин каменноугольного возраста (визейский ярус), вмещающие угленосные толщи с пиритизированными растительными остатками и желваками пирита, бокситоподобные породы, железные руды, прибрежно-морские отложения, обогащенные титаноциркониевыми минералами (бобриковский горизонт). Кроме того, в ниже-среднекаменноугольных (намюрский и башкирский ярусы) карбонатных породах Воронежской антеклизы отмечается прожилково-вкрапленная минерализация, представленная пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, марказитом, киноварью, антимонитом, арсенипиритом. Аналогичная минерализация в каменноугольных (и девонских) породах выявлена в прибортовых частях Пачелмского авлакогена. В среднекаменноугольных минерализованных породах содержания Au достигают 400–600 мг/т (Г.В.Писемский, 1975). Юрские морские отложения (байосский, келловейский ярусы) с железистыми оолитами, желваками сидерита и плотного фосфорита (содержания Au до 0,5 г/т) также существенно обогащены комплексом титаноциркониевых минералов.

Одним из источников питания юрских титаноциркониевых россыпей Волго-Уральского поднятия служат медистые песчаники и сланцы с повы-

шенными содержаниями Au и Pt. Аномальные содержания Au (до 2 г/т), Pt, Ag встречаются в терригенно-глинистых отложениях уфимского и нижеказанского ярусов в пределах Татарского свода и в зоне дислокаций на границе свода и Пугачевско-Жигулевского вала [10].

В формировании россыпных полей золотосодержащих титаноциркониевых месторождений Рязанской, Липецкой, Пензенской и Тамбовской областей особую роль играют системы приразломных валов и поднятий в прибортовых зонах Пачелмского авлакогена и наложенного на него Окско-Донского прогиба. К ним относятся структуры Окско-Цнинской системы валов северо-западного простирания (в соответствии со структурами Пачелмского авлакогена), Данковское, Зимаровское и другие поднятия вдоль прибортовой зоны Окско-Донского прогиба, которые обусловили образование в прибрежно-морских фациях комплексных россыпей на различных стратиграфических уровнях меловой толщи. Отмечается также четкая приуроченность большинства выявленных раннекаменноугольных россыпей проявлений к обрамлениям положительных структур второго и третьего порядков — Сафоновско-Ельнинская и Труфаново-Павелецкая зоны поднятий на юго-западе Московской синеклизы [4].

Россыпное золото, выделенное из продуктивных горизонтов комплексных титаноциркониевых месторождений (Корневское, Центральное, Кирсановское), как и в проявлениях первого типа, можно условно разделить на две основные разновидности (без учета переходных форм): дальнеприносное высокопробное (980‰ и более), хорошо окатанное, химически глубоко переработанное и золото ближнего сноса менее высокопробное (от 720‰), менее окатанное, сохранившее скульптуры первичного роста, кристаллическое (россыпь Русская Журавка), иногда в сростках с кварцем и магнетитом (месторождение Центральное), что указывает на возможность подпитки россыпей из коренных источников в структурно-формационных комплексах Воронежского массива, внутриплатформенных выступов. Так, значительную часть тяжелой фракции россыпи Токмовского свода составляет хромит, содержание которого достигает в отдельных случаях 90–100 кг/м³ песков. Такие высокие концентрации хромита неизвестны в других разновозрастных титаноциркониевых россыпях Русской платформы, что свидетельствует о возможности его поступления из местных источников. Свободное золото в основном мелкое и весьма мелкое (0,05–0,25 мм), средние содержания по ряду комплексных россыпей составляют около

200 мг/м³, максимальные до 1,5 г/м³, что позволяет рассматривать некоторые из них в качестве потенциальных собственно золотороссыпных объектов (Корневское, Русская Журавка).

Помимо золота, в комплексных титаноциркониевых россыпях выявлены алмазы и платина. Так, в аптских песках верхней залежи Волчинской россыпи Липецкой области из пробы 300 кг выделено 241 зерно полезного компонента общей массой 10 мг (содержание 0,0268 кар./м³). В сеноманских отложениях титаноциркониевого россыпного месторождения Центральное Тамбовской области общее число выделенных алмазов составило несколько десятков. В Малышевской россыпи, расположенной на границе Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины, по результатам обработки нескольких тысяч тонн песков было выделено более 20 000 зерен алмазов [11].

Таким образом, по периферии внутриплатформенных поднятий (в частности, на склонах Воронежской и Волго-Уральской антеклиз, Тиманского поднятия) в различные временные отрезки (от девона до неогена) в пределах шельфа формировались многочисленные титаноциркониевые комплексные золотосодержащие россыпи и россыпей проявления. Самородное золото в титаноциркониевых россыпях установлено в месторождениях многих областей — Центральное (Тамбовская), Кирсановское (Пензенская), Лукояновское (Нижегородская), Волчинское (Липецкая), Новозыбковское (Брянская), Балтийское, Буерак-Поповское (Волгоградская) и др. Только месторождение Центральное по некоторым оценкам может содержать не менее 50 т Au.

Если золотоносные россыпей проявления плейстоценовых водно-ледниковых отложений встречаются преимущественно в пределах конечно-моренных гряд четвертичного оледенения, прибрежно-морские россыпей проявления — в мезозойских (преимущественно меловых) осадках, то в *золотосодержащий верхнеплейстоценовый аллювий* перемываются как четвертичные ледниковые отложения, так и дочетвертичные морские и континентальные осадки. Условия россыпеобразования для данного типа определяются режимом морфоструктурного развития территории и уровнем золотоносности перемываемых отложений. В пределах центральной части Русской платформы выделены площадные региональные морфоструктуры умеренных поднятий, слабых поднятий, относительно слабых поднятий и стабилизации с унаследованным и инверсионным режимом развития [11]. Для морфоструктур относительно слабых поднятий типично унаследованное развитие со стабилиза-

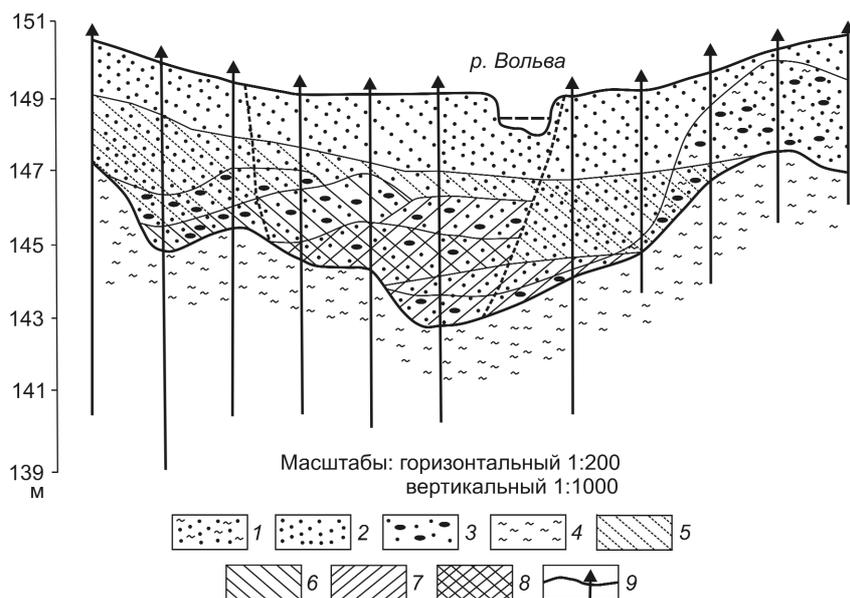


Рис. 3. Поперечный разрез россыпи долины р. Вольва в 1 км выше устья:

1 — песок глинистый; 2 — песок; 3 — песок с гравием и галькой; 4 — глина; содержание Au, мг/м³: 5 — 1–10, 6 — 10–50, 7 — 50–100, 8 — >100; 9 — буровые скважины

цией и слабыми дифференцированными движениями в неотектонический период и слабоконтрастным холмисто-увалистым рельефом. Относительно спокойное развитие рассматриваемых морфоструктур обуславливает вялое протекание эрозионных процессов, глубина вреза составляет 10–15 м, золотоносность аллювиальных отложений обычно убогая.

Умеренные неотектонические поднятия отмечаются в пределах наиболее приподнятых (с высотным положением 220–300 м и более) морфоблоков с восходящим режимом развития. Рельеф в их пределах сильно расчленен, долины 2–4 порядков глубоко (до 70–80 м) врезаны, значительная часть территории занята грядами краевых ледниковых образований. Унаследованное или инверсионное поднятие за неотектонический период создает благоприятные предпосылки для перемива значительных объемов золотосодержащих водно-ледниковых и прибрежно-морских отложений, а также аллювия дочетвертичных долин. Позитивным минералогическим индикатором золотоносности подстилаемых отложений является относительно высокий (2–3%) выход тяжелой фракции шлиха. Аллювиальные отложения в благоприятных морфоструктурных обстановках и при наличии промежуточных коллекторов с россыпным золотом характеризуются довольно высокими содержаниями последнего. Так, в пойменных отложениях р. Сетунь, на участке в непосредственной

близости от титаноциркониевого россыпепроявления, установлены содержания Au до 1,5 г/м³ (Н.М.Иванов, 1997).

Инстративная фация речных долин обычно расположена ниже уреза рек и в силу ее недоступности для шлихового опробования не получила должной оценки. На основании данных геологоразведочных работ на аллювиальные россыпи (М.Г.Казанский, 1979) создана модель строения россыпей в поперечном разрезе (рис. 3), приближенная к реальному строению ожидаемых россыпей.

В пределах линейно-площадных относительно опущенных морфоструктур, к которым приурочены долины рек высоких порядков (Сухона, Кама, Вятка и др.), формируются толщи перстративного и констративного аллювия с золотосодержащими месторождениями ПГС. Аллювиальная толща обогащалась золотом в основном за счет перемива инстративной фации, большого объема отложений ледникового комплекса, а также привноса его боковыми притоками. С золотосодержащими месторождениями ПГС долин высоких порядков связаны значительные ресурсы россыпного золота, однако невысокие его средние содержания позволяют рассматривать аллювий крупных долин лишь как объект попутной добычи золота при отработке месторождений песка и ПГС. В этой связи интересен опыт изучения условий концентрации мелкого и тонкого золота в бассейнах крупных рек Восточной Сибири — Лены, Вилюя, Алдана, Индигирки [2]. Отмечается, что по мере накопления тонкозернистых осадков прирусловой фации увеличение концентраций частиц золота происходит в верхних частях пойменных и старичных отложений, а также в головных частях намывных сегментов. При условии сопряженности участков сегментов их можно рассматривать в едином контуре россыпной залежи. В нижнем течении р. Вилюй в контуре россыпной залежи мелкого и тонкого золота длиной 2 км подсчитаны запасы в несколько тонн россыпного золота (точные данные не указаны) при среднем содержании 0,26 г/м³ (В.А.Ганин, 1965).

Итак, в результате изучения экзогенной золотоносности центральной части Русской платформы выделено три основных типа проявлений россыпного золота: четвертичные аллювиальные, плейстоценовые ледниковые, мезозойско-кайнозойские прибрежно-морские. Все они связаны с длительным формированием осадочного чехла платформы, в составе которого наибольшее значение для россыпеобразования имели аллювиальные и прибрежно-морские отложения различных этапов развития платформы. Полезные компоненты в этих осадках (кластогенное золото и платиноиды, титаноциркониевые минералы, алмазы) многократно переотлагались на различные стратиграфические уровни. Поэтому одной из основных проблем, которую необходимо решить при выделении площадей с повышенной экзогенной золотоносностью, является проведение палеогеографических реконструкций многоэтапного и многоуровневого формирования промежуточных коллекторов в пределах чехла центральной части Русской платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Асеев А.А.* Древние материковые оледенения Европы. – М.: Наука, 1974.
2. *Блинов А.А., Михайлов В.А., Федоров А.К.* Опыт петрофизического изучения аллювия зон концентрации мелких и тонких частиц золота // Отечественная геология. 2008. № 6. С. 79–85.
3. *Вестник* золотопромышленности и горного дела, 1901, 1905, 1906.
4. *Гурвич С.И., Болотов А.М.* Титано-циркониевые россыпи Русской платформы и вопросы поисков. – М.: Недра, 1968.
5. *Золото* Верхнекамской впадины / В.А.Наумов, И.Я.Илалтдинов, Б.М.Осовецкий и др. – Кудымкар: Коми-Пермяцкое книжное изд., 2003.
6. *Комплексные* титаноциркониевые россыпи центральной части Русской платформы — резерв минерально-сырьевой базы золота / Е.В.Матвеева, В.П.Филиппов, С.В.Яблокова и др. // Отечественная геология. 2005. № 2. С. 33–38.
7. *Матвеева Е.В., Филиппов В.П.* Типовые геологические обстановки формирования россыпных проявлений центральной части Русской платформы // Отечественная геология. 1998. № 3. С. 34–40.
8. *Основные* типы золотосодержащих месторождений осадочного чехла центральной части Восточно-Европейской платформы / С.С.Кальниченко, Н.М.Иванов, Н.А.Каримова и др. // Руды и металлы. № 6. 1995. С. 5–15.
9. *Признаки* золотоносности осадочного чехла центральной части Русской платформы / В.П.Филиппов, Е.В.Матвеева, С.В.Яблокова и др. // Отечественная геология. 2005. № 6. С. 42–47.
10. *Прогнозно-металлогеническое* районирование центральной части Волго-Уральского поднятия для прогноза золотоносности / Д.Г.Ажгирей, В.Н.Новиков, С.Л.Казаринов и др. // Руды и металлы. 1997. № 4. С. 49–50.
11. *Савко А.Д., Шевырев Л.Т.* Историческая минерогения — новое направление в учении о полезных ископаемых // Вестн. ВГУ. Сер. геология. 2006. № 2. С. 5–39.
12. *Чернышов Н.М., Кузнецов В.С., Резникова О.Г.* О золотоносности пород и руд Стойленского месторождения // Вестн. ВГУ. Сер. геология. 2009. № 1. С. 103–110.
13. *Чернышов Н.М., Моисеенко В.Г., Абрамов В.В.* Новые минеральные формы платиноидов в черносланцевом типе благороднометалльного оруденения КМА (Центральная Россия) // ДАН. 2008. Т. 423. № 3. С. 379–382.
14. *Чернышева М.Н.* Дайковый рудонесущий комплекс Юбилейного месторождения ВКМ (Центральная Россия) // Вестн. ВГУ. Сер. геология. 2009. № 1. С. 111–123.
15. *Швецов А.А., Абрамов В.В.* К проблеме прогнозирования золотоносности черносланцевых толщ Воронежского кристаллического массива на стадии региональных геологоразведочных работ // Руды и металлы. 2008. № 6. С. 22–30.
16. *Эпохи* коро- и россыпеобразования в фанерозе Русской платформы / А.Д.Савко, В.И.Сиротин, А.Д.Додатко и др. // Отечественная геология. 1998. № 3. С. 40–47.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 550.426

© С.Г.Кряжев, 2010

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ТЕРМОБАРОГЕОХИМИИ

С.Г.Кряжев (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Рассмотрены основные методические проблемы определения давления по флюидным включениям, содержащим диоксид углерода. Показано, что наиболее точные результаты можно получить на основе экспериментальных данных по растворимости CO₂ в растворах NaCl при высоких температурах и давлениях. Предложен новый способ экспресс-анализа флюидных включений в целях прогноза и поисков рудных месторождений.

Ключевые слова: флюидные включения, давление, рудные месторождения.

Кряжев Сергей Гаврилович, S34@mail.ru

THE CURRENT PROBLEMS OF THERMOBAROGEOCHEMISTRY

S.G.Kryazhev

The methods of pressure estimation from CO₂-bearing fluid inclusion studies are reviewed. It is shown, that to obtain the most accurate determination of the pressure from CO₂+NaCl fluid inclusion properties (phase volume fractions and phase transition temperatures) it is necessary to take into account the solubility of carbon dioxide in NaCl solutions at high temperatures and pressures. The thermodynamic (equation of state) modelling method is not valid for this purpose. The optimized technique for fluid inclusions research in the exploration for hydrothermal ore deposits has been outlined and discussed.

Key words: fluid inclusions, pressure, ore deposits.

Термобарогеохимия, или термодинамическая геохимия, как самостоятельная отрасль науки оформилась во второй половине XX в. [1–3, 10 и др.]. Для получения научной информации в общей геохимии элементов и минералогии изучаются состав и свойства минералов и их агрегатов, в термобарогеохимии — состав и свойства реликтов природных минералообразующих растворов, законсервированных в виде флюидных включений в минералах.

В настоящее время исследования флюидных включений продолжают интенсивно развиваться, о чем свидетельствуют материалы прошедшей в сентябре 2008 г. XIII Международной конференции по термобарогеохимии. Более 100 докладов сделано по новейшим методам и аппаратуре для анализа состава растворов включений, физико-химическим параметрам развития флюидных систем в обстановках магматизма, метаморфизма и гидротермального рудообразования. Представлен обширный фактический материал, полученный при термобарогеохимических исследованиях разнообразных природных объектов, включая рудные месторождения основных геолого-промышленных и рудно-формационных типов. В то же время, обозначились некоторые проблемы, главными из которых, по мнению автора, являются доказательность приме-

няемых методов барометрии по флюидным включениям и приложении термобарогеохимических данных к решению задач прогноза и поисков гидротермальных рудных объектов. Предлагаемые в статье пути их решения основаны на опыте, накопленном автором при многолетних исследованиях флюидных включений в кварце золоторудных месторождений. Фундаментальный характер затронутых вопросов позволяет надеяться, что сделанные выводы могут использоваться при термобарогеохимических исследованиях гидротермальных рудных месторождений любого типа.

Барометрия по флюидным включениям в минералах. Как и в любой другой отрасли естествознания, воспроизводимость аналитических данных в термобарогеохимии — неперемное условие, обеспечивающее возможность их дальнейшего использования в научных и практических целях. Из трех главных характеристик природных флюидных систем (давление – температура – концентрация) два последних параметра, как правило, определяются разными исследователями достаточно точно. Оценки же давления существенно расходятся и часто совершенно не сопоставимы, что противоречит фундаментальным положениям физической химии и указывает на ошибочность, по крайней мере, части получаемых результатов. Некоторые примеры по-

добных расхождений приведены в табл. 1.

Основная причина, по которой оценки давления существенно варьируют, в целом очевидна. Температура и концентрация растворов измеряются непосредственно при микротермометрических исследованиях включений по температурам фазовых переходов. При точной калибровке термометрической камеры достигается удовлетворительная сходимость результатов. Давление же определяется только расчетным путем, поэтому использование различных методов расчета может привести к несопоставимым результатам. Однако в дальнейшем это обстоятельство не учитывается. Данные барометрии по включениям без какой-либо критической оценки используются в обобщающих работах для обоснования выводов о том, что давление гидротермальных растворов значительно превосходит величину литостатической нагрузки и служит причиной восходящего движения флюидов [7], а перепады давления — существенным фактором рудообразования [8]. Проблема, таким образом, выходит за рамки чисто аналитической и затрагивает весьма важные вопросы общей теории рудообразующих процессов — их глубинность и динамику. Поэтому представляется необходимым более детально рассмотреть применяемые при термобарогеохимических исследованиях методы определения давления.

Среди существующих методов барометрии одно из ведущих мест принадлежит определению давления по флюидным включениям, содержащим углекислоту. Это обусловлено практически повсеместным присутствием таких включений в минералах гидротермального генезиса, а также достаточно хорошей изученностью систем $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ и $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$. В приведенных выше примерах (см. табл. 1) авторы использовали именно этот метод.

В чем же причина расхождения результатов интерпретации термобарометрических измерений? В статье [6] делается предположение, что предшествующие исследователи использовали устаревшие данные по плотностным свойствам углекислоты. Это объяснение не может быть принято, так как плотностные свойства углекислоты со времени их первого измерения при низких и высоких PT -условиях (Амагат, 1892; Дж.Кеннеди, 1954) остались практически неизменными. Все более поздние уточнения находятся на уровне ошибки криотермометрических измерений и могут обусловить погрешность оценки давления не более 10–50 бар. Обсуждаемая проблема, очевидно, имеет более глу-

1. PTX -параметры углекислотно-водно-солевых растворов по флюидным включениям в кварце

Месторождения	T , °C	Концентрация		P , бар	Ссылка
		NaCl , мас. %	CO_2 , % мол.		
Сухой Лог	385–210	5–8	4–17	2260–130	[15]
	355–230	4–7	6–17	1000–800	[9]
Наталкинское	360–280	3–5	4–14	2430–1120	[6]
	385–250	4–9	2–10	800–300	[5]

бокие корни.

В работах [6, 15] использовался метод определения давления по газообразным включениям CO_2 , разработанный В.А.Калужным [3]. Этот наиболее точный и простой метод состоит в определении плотности углекислоты по температуре ее гомогенизации и оценке температуры консервации включения по сингенетичным углекислотно-водным включениям. Соответствующее значение давления находят по PTX -диаграмме CO_2 . К сожалению, на практике применение метода встречает значительные трудности.

Во-первых, доказать сингенетичность различных групп включений в большинстве случаев невозможно. В одном образце вполне могут находиться включения, захваченные при разной температуре, поэтому для определения давления более корректно использовать весь интервал измеренных температур гомогенизации углекислотно-водных включений, что снижает точность метода.

Во-вторых, практически всегда углекислотные включения содержат существенную долю примесей (H_2O , CH_4 , N_2), которые влияют на температуру гомогенизации CO_2 и приводят к значительным погрешностям определения ее плотности. Коэффициент растворимости метана и азота на 1–2 порядка ниже, чем CO_2 . Поэтому при вскипании поликомпонентного флюида CH_4 и N_2 преимущественно перераспределяются в газовую фазу и в повышенных количествах входят в состав газообразных включений. Вследствие неравновесности процесса соотношение компонентов газовой смеси может существенно варьировать. Это приводит к неравномерному снижению температуры гомогенизации CO_2 и как следствие — завышению и большой дисперсии оценок плотности углекислоты и давления флюида.

Так, в работе [6] для группы сингенетичных включений указывается очень широкий от +26,1 до +3,6°C интервал температур гомогенизации углекислоты. Авторы без каких-либо обоснований связывают эту неоднородность с вариациями плотности

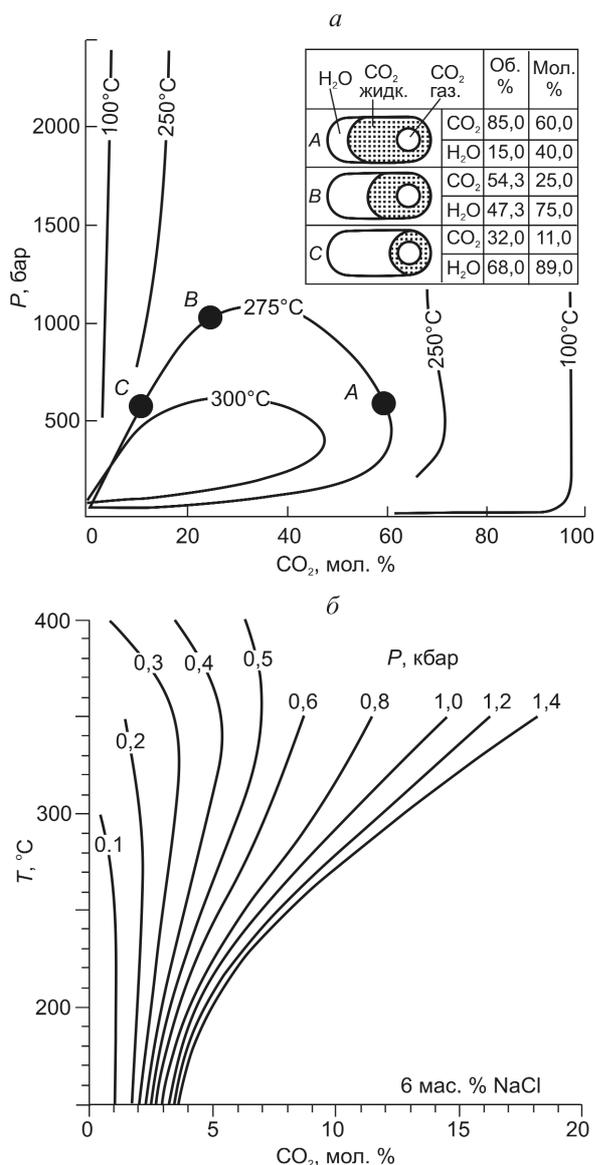


Рис. 1. *PTX*-диаграммы систем $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (*a*) и $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$ (*б*):

на диаграмме *a* изображены три цилиндрических включения указанного состава; серый крап — область, занимаемая при 25°C жидкой ($0,71 \text{ г/см}^3$) CO_2 ; показаны фигуративные точки, соответствующие этим включениям [10, с. 514]; диаграмма *б* построена по данным [13] для концентрации 6 мас. % NaCl

CO_2 от 0,69 до $0,91 \text{ г/см}^3$, что неизбежно приводит к разбросу расчетных (при температуре 330°C) значений давления от 1150 до 2200 бар. На самом деле указанные значения плотности и давления заведомо завышены, так как температура тройной точки углекислоты в проанализированных включениях смещена в область низких температур (до $-59,9^\circ\text{C}$), что свидетельствует о присутствии во флюиде зна-

чительной доли низкокипящих газов — CH_4 и (или) N_2 . В подобных включениях измеряемые вариации температур фазовых переходов с большей долей вероятности могут быть обусловлены изменчивостью состава газовой смеси, чем ее плотности.

В работе [15] не приводятся первичные данные, могущие послужить для вывода о вариациях давления от 130 до 2450 бар в сингенетичных группах включений при температуре их образования $385\text{--}275^\circ\text{C}$. Сообщается только, что авторы применили метод В.А.Калужного для поликомпонентных включений ($\text{CO}_2+\text{CH}_4+\text{N}_2$). Следовательно, и в этом случае завышение давления и большая дисперсия результатов, вероятнее всего, обусловлены влиянием низкокипящих газов на температуру гомогенизации углекислоты. Учесть же влияние примесей для трехкомпонентной системы ($\text{CO}_2+\text{CH}_4+\text{N}_2$) на основании только криометрических измерений невозможно по правилу фаз. И еще одно обстоятельство позволяет усомниться в правильности сделанной оценки давления. Экспериментально установленный минимальный предел прочности на разрыв для кварца составляет 850 бар [3]. Поэтому преобладающие в кварце месторождения Сухой Лог крупные флюидные включения не могли образоваться и сохраниться в условиях перепада давления >2 кбар, как это следует предполагать исходя из представленных в работе [15] данных.

Существует еще один фактор, связанный с присутствием воды в газообразных включениях и также приводящий к завышению определений давления. Об этом подробнее будет сказано ниже.

Указанные недостатки можно свести к минимуму, если давление определять по включениям $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$. Этот метод был теоретически обоснован Э.Реддером [10] и именно он использован для оценки давления в работах [5, 9]. Метод основан на достоверных экспериментальных данных по растворимости углекислоты в водных растворах солей различной концентрации при повышенных температурах и давлениях [4, 13]. Содержание углекислоты во флюиде рассчитывают на основе измерения объемной доли CO_2 и определения ее плотности по температуре гомогенизации. Необходимо учитывать также долю углекислоты, находящейся в водном растворе. Минимальное давление консервации флюида определяется при температуре полной гомогенизации включений по соответствующим диаграммам (рис. 1). Если флюид был близок к состоянию насыщения углекислотой, что закономерно для природных гидротермальных систем [3], то полученное значение P близко соответствует флюидному давлению при образовании включения. В

недосыщенных относительно углекислоты флюидных системах, если таковые предполагаются, не могут образоваться газовые включения CO_2 , и, следовательно, метод В.А.Калюжного к ним вообще не применим.

Как отмечалось выше, находящаяся в водном растворе углекислота наиболее свободна от примесей, а проблема обоснования сингенетичности водной и углекислотной фаз в данном случае вообще отсутствует. Наиболее значительные ошибки при оценке давления по включениям смешанного состава могут быть связаны с неверным определением относительного объема фаз (F) в вакуолях. Поэтому необходимо использовать для этой цели включения наиболее простой формы (плоские, трубчатые, цилиндрические и т.п.), проводить точные измерения их линейных размеров и (или) площадей при помощи современных технических средств (цифровых фотокамер и графических редакторов), выполнять замеры для группы сингенетичных включений (имеющих одинаковую температуру гомогенизации) и рассчитывать среднее значение F .

Рассмотрим конкретный пример использования характеристик CO_2 -содержащих включений для оценки давления при минералообразовании. В кристалле горного хрусталя (Березовское золоторудное месторождение, Средний Урал) обнаружены флюидные включения трех типов, содержащие плотную углекислоту с температурой плавления $-56,7^\circ\text{C}$ (рис. 2). Результаты их изучения показали, что включения типа А образуют относительно равномерно рассеянные трехмерные скопления, иногда примыкают к ксеногенным твердым фазам и, вероятно, относятся к первичным, а типов Б и В — к псевдоторичным, так как расположены в коротких трещинах, не выходящих на поверхность кристалла (табл. 2). В редких случаях они наблюдались совместно в одной трещине.

Минералообразование протекало в условиях снижения температуры и давления (см. табл. 2). Гомогенный углекислотно-щелочно-хлоридный флюид был захвачен в первичные включения (тип А) при T не менее 355°C и P не менее 1100 бар. При снижении температуры и (или) давления растворимость CO_2 в водном растворе уменьшается. Вследствие неполной несмесимости CO_2 и H_2O в новых условиях исходный флюид должен расслоиться на две фазы — обогащенную водой плотную и обогащенную углекислотой газообразную, причем по мере снижения PT -параметров состава фаз будут ме-

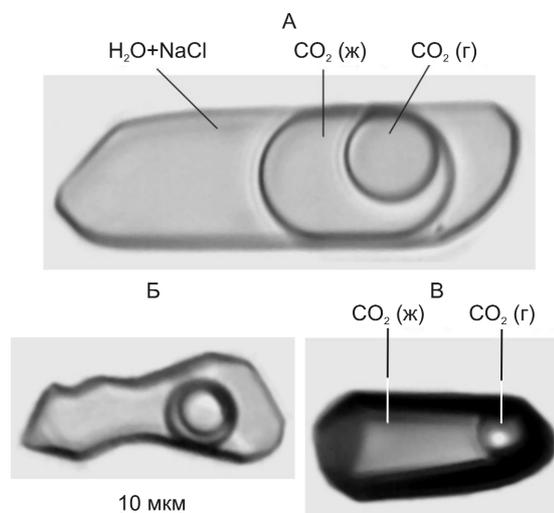


Рис. 2. Ассоциация CO_2 -содержащих включений с различным соотношением компонентов:

ж — жидкость; г — газ

няться (см. рис. 1, а). При температуре 245°C и давлении 0,85–0,9 кбар обе фазы были захвачены в псевдоторичные включения (типы Б и В). Этот вывод, подчеркнем, основан на экспериментально установленных свойствах системы $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2\pm\text{NaCl}$.

Следует отметить удовлетворительное совпадение значений давления, полученных разными методами (по углекислотно-водным и углекислотным включениям). Подобная согласованность результатов служит подтверждением сингенетичности изученных включений разного состава, относительной «чистоты» углекислоты, а также свидетельствует о правильности определения давления с использованием диаграмм, приведенных на рис. 1.

Остановимся на одной из ошибок, нередко возникающих в случае применения метода В.А.Калюжного к так называемым существенно газовым включениям, т.е. к газообразным включениям, со-

2. Результаты анализа трех включений, показанных на рис. 2

Параметры включений	Включения		
	А	Б	В
T гомогенизации CO_2 (в жидкую фазу), $^\circ\text{C}$	24	30,5	26,5
Плотность CO_2 , г/см ³	0,73	0,57	0,69
Содержание CO_2 :			
об. %	38	22	100
мол. %	15,5	6,2	100
T гомогенизации (растворение CO_2 в H_2O), $^\circ\text{C}$	355	245	-
P , бар:			
по методу В.А.Калюжного	-	-	860
по диаграмме на рис. 1, б	1100	900	-

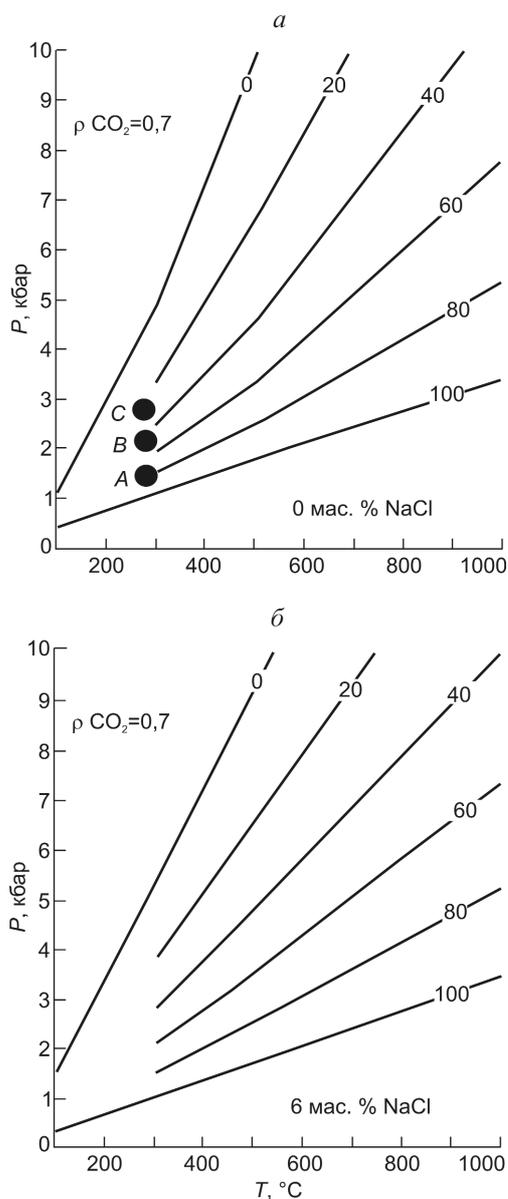


Рис. 3. *PTX*-диаграммы систем $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (а) и $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$ (б):

показаны изохоры флюидных включений, содержащих указанное количество углекислоты (от 0 до 100 об. %) плотностью 0,7 г/см³, по [14]; на диаграмме (а) фигуративные точки отвечают флюидным включениям, изображенным на рис. 1, а

держали при комнатной температуре до 25 об. % жидкой воды. В рассмотренном выше случае при температуре ниже 250°C, как следует из диаграммы (см. рис. 1, а), в углекислоте растворяется не более 30 моль. % H₂O. Это количество воды при комнатной температуре занимает менее 5% объема вакуолей и практически не влияет на плотность CO₂ и

температуру ее гомогенизации. Если же указанный метод применить к сингенетичным включениям типов А и С (см. рис. 1, а), то для «существенно газового» включения типа А, содержащего углекислоту плотностью 0,69 г/см³, при температуре его образования 275°C получим $P=950$ бар, которое более чем в полтора раза превышает истинное давление образования включения (575 бар).

В.А.Калужный [3] указывал на необходимость введения поправок на объем водного раствора при определении плотности CO₂ во включениях, однако исследователи часто не уделяют этому должного внимания. Рассмотрим существенно-газовые включения, использованные для расчетов давления в работе [6]. На приведенной авторами микрофотографии (фиг. 8, в) видно, что в вакуоли присутствует не менее 10 об. % жидкого водного раствора. Если CO₂ гомогенизируется в жидкую фазу при +21,6°C, то авторы статьи оценивают ее плотность как 0,76 г/см³, а давление консервации при 300°C в 1370 бар как сумму давлений CO₂ (1285 бар) и H₂O (85 бар). Напомним, что измерить температуру консервации газообразных включений невозможно, поэтому точность подобных определений в любом случае сомнительна. Неправомерно также простое суммирование парциальных давлений реальных газов. В рассматриваемом случае только игнорирование необходимых поправок на объем водного раствора приводит к завышению оценки плотности CO₂ не менее чем на 10% и как следствие — к завышению расчетного давления на 250 бар. По сравнению с погрешностями, обусловленными влиянием примесей CH₄ и N₂, указанная ошибка не столь значительна. Однако формальное использование параметров водно-углекислотных включений для барометрии может привести и к более существенным отклонениям от истины.

В зарубежной литературе большой популярностью пользуется метод определения давления на основе уравнения состояния системы (УРС) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \pm \text{NaCl}$. Для моделирования *PTX*-параметров смешанных флюидов за последние 50 лет были предложены различные виды подобных уравнений, большинство из которых относится к преобразованным формам УРС Редлиха-Квонга. Уравнения позволяют интерполировать полученные экспериментально свойства отдельных чистых компонентов смеси и экстраполировать их в области не изученных *PT*-условий. Ф.Браун и В.Лэмб [14], обобщив опубликованные версии УРС, предложили метод наиболее точного расчета положения изохор флюидных включений в *PT*-пространстве и разработали комплект диаграмм, предназначенный для использо-

3. Сопоставление значений давления, полученных разными методами, бар

Метод определения давления	Включения, изображенные на рис. 1, а			Включения на рис. 2	
	А	В	С	А	Б
По экспериментальным данным	575	1000	575	1100	850
По диаграммам на рис. 3	1300	2000	2500	3600	3000
По всем УРС, включенным в пакеты программ FLINCOR и FLUIDS	1080–1160	1221–1533	1655–2245	2560–2800	2175

вания уравнений в целях более точного определения температур и давлений захвата флюидных включений в различных геологических обстановках. Две диаграммы из указанной работы приведены на рис. 3. Были также созданы и вошли в практику работ компьютерные программы для расчетов давления и других параметров включений (FLINCOR, Ф.И.Браун, 1989; FLUIDS, Р.Ж.Бэккер, 2003).

Несмотря на то что УРС крайне неточно описывают реальные гидротермальные системы, метод термодинамического моделирования достаточно широко используется исследователями флюидных включений. Не исключение и работа [15], авторы которой со ссылкой на упомянутую статью Ф.Брауна и В.Лэмба отмечают, что давление гетерогенного флюида получено как сумма давлений водяного пара и плотных газов (CO_2 , CH_4 , N_2) в обогащенных газом и газом-жидких включениях.

Попробуем применить этот метод для определения давления образования рассмотренных выше флюидных включений (табл. 3). Полученные результаты, как видно, не просто расходятся с экспериментальными данными, они не имеют с ними практически ничего общего. Если верить диаграммам на рис. 3, обычные крупные включения, достигающие температуры гомогенизации, в этот момент развивают внутреннее давление >3 кбар. Не останавливаясь на том, что предположение о линейном характере изохор системы $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$ в PT -координатах не обосновано [10] и к тому же игнорирует распространенные в природе и воспроизводимые экспериментально случаи сосуществования двух флюидов различной плотности при одинаковых P и T , укажем главную причину наблюдаемого несоответствия.

При моделировании флюидных систем смешанного состава основная цель исследователей — наиболее точная интерполяция положения так называемых «изохор» между изохорами жидкой воды (0% CO_2 , см. рис. 3) и углекислоты определенной плотности (100% CO_2). При этом авторы оставили без внимания то обстоятельство, что различные фазы внутри включения не относятся к изохорическим системам. Представления о нахождении изохоры включения $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$ между изохорами чи-

стых компонентов, наблюдающихся в нем при нормальных условиях, не только умозрительны, но в корне ошибочны. Авторы фактически рассчитывают некое среднее давление между автоклавами, полностью заполненными жидкой водой и плотной углекислотой. К флюидным включениям подобные расчеты никакого отношения не имеют.

По мере повышения температуры состав и объем фаз CO_2 и H_2O внутри включения непрерывно изменяются, а отвечающие им изохоры меняют положение и наклон. В точке гомогенизации оба компонента равномерно распределяются по всему объему включения.

В соответствии с фундаментальным законом Дальтона общее давление смеси $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$ внутри вакуоли равно сумме тех давлений, которыми обладал бы каждый отдельно взятый компонент, если бы он один при той же температуре занимал весь объем включения. Например, внутреннее давление при гомогенизации углекислотно-водного включения, содержащего при комнатной температуре 50 об. % CO_2 плотностью $0,7 \text{ г/см}^3$, должно рассматриваться как сумма внутренних давлений двух аналогичных по объему гомогенных включений, заполненных паром плотностью $0,5 \text{ г/см}^3$ и CO_2 плотностью $0,35 \text{ г/см}^3$. При 400°C эта сумма составит не более 870 бар ($400 \text{ бар } P \text{ H}_2\text{O}+470 \text{ бар } P \text{ CO}_2$), а не 2500 бар и более, как следует из рис. 3 и компьютерных расчетов.

Приведенный расчет правомерен в отношении идеальных газов, на свойствах которых и базируются уравнения состояния. При исследовании же флюидных включений фактически анализируются весьма плотные газы и жидкости. Поэтому основополагающими понятиями при определении физико-химических условий природного минералообразования по включениям $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}\pm\text{NaCl}$ должны служить растворимость и смешимость, а единственным достоверным источником информации — существующие экспериментальные данные по соответствующим смешанным системам. При этом только исследование всего комплекса сосуществующих в образце включений, содержащих диоксид углерода и его водные растворы, позволит не сомневаться в правильности оценки давления.

Таким образом, широкие вариации давления рудообразующих растворов, приводимые в рассмотренных публикациях, не отражают условия протекания природных процессов, а являются следствием низкой точности применяемого метода барометрии. При этом значительная часть определений оказалась сильно завышенной главным образом вследствие влияния примесей на параметры углекислотной фазы во включениях.

Результаты, полученные на основе достоверных экспериментальных данных, свидетельствуют об относительно низких градиентах давления в процессе формирования изученных золоторудных месторождений. Этот вывод имеет и большое практическое значение, поскольку в условиях стабильности *PTX*-условий соотношение фаз в вакуолях можно обоснованно использовать в качестве критерия связи флюидных включений с конкретной рудообразующей системой.

Экспресс-анализ флюидных включений в целях прогноза и поисков гидротермальных рудных месторождений. Сегодня трудно указать какой-либо тип гидротермальных рудных месторождений, эталонные представители которого не были бы изучены методом термобарогеохимии. Для месторождений главных рудно-формационных и геолого-промышленных типов определены состав и свойства флюидных включений, которые можно рассматривать как элементы соответствующих геолого-поисковых моделей и использовать в качестве поисковых критериев. Разработаны и успешно прошли проверку на конкретных месторождениях разнообразные поисковые методы, основанные на анализе флюидных включений [11 и др.]. В различных вариациях для поисков и оценки оруденения, в частности, использовался метод продуктивных стадий, разработанный Е.М.Лазыко с соавторами. В основе этого метода лежит установленная возможность визуальной диагностики включений рудообразующих флюидов, из которых формировались продуктивные минеральные ассоциации. Так, для магматогенных руд характерно присутствие во флюидных включениях кристалликов галита, фазы жидкой углекислоты и т.п. Такие включения отражают специфичность состава, концентрации, агрегатного состояния, температуры и давления рудоносных растворов в сравнении с растворами непродуктивных стадий.

Аналогичный комплекс термобарогеохимических прогнозно-поисковых критериев разработан для золоторудных объектов Центрально-Колымского региона [12]. Он обеспечивает возможность идентификации типа золотой минерализации (золото-кварцевый жильный или штокверковый, золото-полисульфидно-кварцевый), выбора первоочеред-

ных объектов с подбором адекватных прогнозно-поисковых моделей на ранних этапах геологоразведочных работ. Необходимо отметить, что основная часть предложенных критериев не требует проведения термобарометрических измерений, а может выполняться при обычном микроскопическом исследовании фрагментов кварцевых жил (обнаруженных, например, в россыпях золота).

Однако, несмотря на очевидную перспективность развития прикладной термобарогеохимии, методы исследования флюидных включений в минералах до настоящего времени не получили широкого применения в практике геологоразведочных работ и остаются за рамками прогнозно-поисковых комплексов. По нашему мнению, это объясняется, во-первых, неравномерностью распределения и относительно малой распространенностью флюидных включений, доступных для микроскопического исследования. Как показывает многолетняя практика, не более 10% отобранных образцов пригодны для термобарогеохимического анализа. При этом (как правило, слишком поздно) обнаруживается несистематичный и весьма фрагментарный характер имеющегося материала. Во-вторых, требуются относительно большие затраты времени и средств, связанные с необходимостью изготовления большого числа полированных пластин (из которых 90% оказываются непригодными для анализа по причине отсутствия в них достаточно крупных включений).

Автором разработан и успешно используется способ изучения флюидных включений в минералах, позволяющий исключить указанные недостатки. Включения исследуют в монтированных пластинках, изготовленных из минеральной фракции $-0,25+0,1$ мм. Фракцию перемешивают с эпоксидной композицией (типа ЭДП, г. Дзержинск) и помещают между двумя пластинками оргстекла (удобен также листовой гляцевый «канцелярский» полиэтилен). Затвердевший препарат представляет собой пластинку толщиной 0,3–0,5 мм с зеркально-гладкой поверхностью. По оптическим качествам она не отличается от обычной двусторонне полированной пластины (рис. 4).

Количество изготавливаемых препаратов лимитируется только скоростью подготовки минеральных фракций. Каждая пластинка содержит несколько тысяч зерен минерала, которые могут представлять значительно более широкую область геологического пространства по сравнению с обычным шлифом. Если в этой области присутствуют искомые флюидные включения — они обязательно обнаруживаются.

Таким образом, метод исследования включений в монтированных пластинках практически не имеет

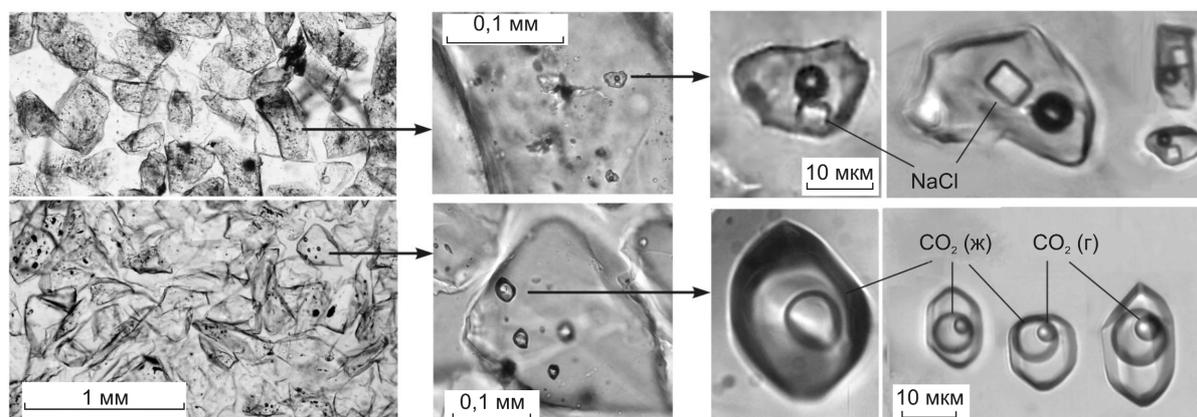


Рис. 4. Вид монтированных пластин под микроскопом

усл. обозн. см. рис. 2

ограничений по частоте опробования и может оперативно реализовываться в полевых условиях. Появляется возможность работы не только с жильным материалом, но и с мелкообломочной фракцией элювиально-делювиального рыхлого чехла. Все это позволяет включить термобарогеохимические исследования в комплекс экспрессных малозатратных поисковых методов, сохраняющих «работоспособность» и в «закрытых» рудных районах.

Просмотр монтированных пластин под микроскопом позволяет количественно определять и картировать относительное число включений в пробе, присутствие во включениях индикаторных твердых или газообразных фаз, соотношение газ/жидкость в вакуолях, в определенной мере отражающее температуру и давление образования включений (точность измерений значительно возрастает при использовании фотонасадки к микроскопу).

При наличии аппаратуры для криометрического анализа можно выполнить весь комплекс исследований в области низких температур. Перекалибровка криокамеры для работы с монтированными пластинами легко осуществляется по фракциям стандартных образцов, содержащих включения с известными криометрическими характеристиками. Эпоксидная композиция выдерживает нагревание до 250°C, однако токсичность ее паров не позволяет широко использовать это свойство на практике.

Необходимые заверочные термометрические анализы могут выполняться позже, при этом «работоспособность» изготавливаемых двусторонне полированных пластин будет стопроцентной не только в отношении количества, но и качества флюидных включений.

Использование монтированных пластин также весьма полезно при валовом анализе включений,

поскольку позволяет определить концентрацию растворов индивидуальных включений непосредственно в анализируемой фракции.

Применение в практике геологоразведочных работ упрощенной методики экспресс-анализа флюидных включений обеспечит возможность привлечения к решению прогнозно-поисковых задач большого объема информации, накопленной термобарогеохимиками в процессе многолетних исследований гидротермальных рудных месторождений всех основных типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ермаков Н.П.* Геохимические системы включений в минералах. – М.: Недра, 1972.
2. *Ермаков Н.П., Долгов Ю.А.* Термобарогеохимия. – М.: Недра, 1979.
3. *Калужный В.А.* Основы учения о минералообразующих флюидах. – Киев: Наук. думка, 1982.
4. *Малинин С.Д.* Физическая химия гидротермальных систем с углекислотой. – М.: Наука, 1979.
5. *Многофакторная модель золоторудного месторождения Наталка / С.Ф.Стружков, М.В.Наталенко, В.Б.Чекваидзе и др. // Руды и металлы. 2006. № 3. С. 34–43.*
6. *Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) / Н.А.Горячев, О.В.Викентьева, Н.С.Бортников и др. // Геология рудных месторождений. 2008. Т. 50. № 5. С. 414–444.*
7. *Наумов В.Б., Дорофеева В.А., Миронова О.Ф.* Основные физико-химические параметры природных минералообразующих флюидов // Мат-лы XIII Международной конференции по термобарогеохимии и IV симпозиума APFIS. М., 2008. Т. 2. С. 88–89.

8. Наумов Г.Б., Миронова О.Ф. Параметры гидротермальных флюидов и их изменения в процессах рудообразования // Там же. С. 90–93.
9. Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе / В.Л.Русинов, О.В.Русинова, С.Г.Кряжев и др. // Геология рудных месторождений. 2008. № 1. С. 1–44.
10. Рёддер Э. Флюидные включения в минералах (в 2-х томах). – М.: Мир, 1987.
11. Ройзенман Ф.М. Теория богатого флюидного рудообразования под воздействием «углекислотной волны». – М.: Изд. МЮИ, 2008.
12. Стружков С.Ф., Кряжев С.Г., Наталенко М.В., Голубев С.Ю. Отличия золото-кварцевых и золото-полисульфидно-кварцевых месторождений Центральной Колымы по термобарогеохимическим данным // Матлы XIII Международной конференции по термобарогеохимии и IV симпозиума APIFIS. М., 2008. Т. 2. С. 124–127.
13. Такеноучи С., Кеннеди Дж. Растворимость углекислоты в растворах NaCl при высоких температурах и давлениях // Термодинамика постмагматических процессов. М., 1968. С. 137–149.
14. Brown P.E., Lamb W.M. P-V-T-properties of fluids in the system H₂O±CO₂±NaCl: new graphical presentations and implications for fluid inclusion studies // Geochim. Cosm. Acta 53. 1989. P. 1209–1222.
15. Geology, composition, and genesis of the Sukhoi Log noble metals deposit, Russia / V.V.Distler, M.A.Yudovskaya, G.L.Mitrofanov et. al. // Ore Geol. Reviews. 2004. Vol. 24. P. 7–44.

УДК 549.211

© Г.К.Хачатрян, 2010

ТИПИЗАЦИЯ АЛМАЗОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ И ЛАМПРОИТОВ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ АЗОТНЫХ ЦЕНТРОВ В КРИСТАЛЛАХ

Г.К.Хачатрян (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Методом ИК-спектроскопии изучено распределение азотных центров в 4402 кристаллах алмаза из месторождений разных платформ мира. Выделено шесть типов алмаза, которые отличаются по составу минеральных включений, температуре и скорости кристаллизации. Показано зональное распределение типов в пределах платформы и алмазоносного района.

Ключевые слова: алмаз, азотные центры, популяции, минеральные включения.

Хачатрян Галина Карленовна, khachatryan_g_k@mail.ru

CLASSIFICATION OF DIAMONDS FROM KIMBERLITES AND LAMPROITES ACCORDING TO DISTRIBUTION OF THE NITROGEN CENTERS IN CRYSTALS

G.K.Khachatryan

Nitrogen centers distribution on 4402 diamond crystals from mining's of different platforms all over the world studied by IR spectroscopy and six diamond types have been revealed. They differ by mineral inclusions composition, crystallization rate and temperature of formation of diamond. Zonal distribution of the types within platforms and their areas showed.

Key words: diamond, nitrogen centers, populations, mineral inclusions.

Азот — самая распространенная изоморфная примесь в кристаллической структуре природных алмазов, влияющая на их физические свойства. Основными формами вхождения азота в алмаз являются одиночные, спаренные и тетраэдрически сгруппированные атомы [16, 20]. В публикациях последних лет их обычно обозначают как N-, A- и B-центры соответственно. Алмазы из кимберлитов и лампроитов содержат азот преимущественно в A-форме в сочетании с B-дефектами при пониженной доле одиночных атомов (<0,01% от общего содержания). В кристаллах из метаморфических пород преобладают N- и A-центры, присутствующие в неизмеримых количествах. Концентрации структурных примесей азота в кристаллах служат типо-

морфными характеристиками алмаза, что во всем мире широко используется в прогнозно-поисковых целях. Прогнозные оценки основаны на сравнении свойств алмазов исследуемого объекта с алмазами из уже известных трубок или россыпей. Если алмазы из россыпей отдельно взятого участка, поля или района отличаются по распределению азота от алмазов близлежащих трубок, то делается вывод о наличии на этой площади нового еще не выявленного коренного источника.

Изучение примеси азота в кристаллах алмаза из кимберлитов началось в середине 60-х годов XX в. [1, 11, 17]. Показано, что концентрации азота в кристаллах одного месторождения существенно (на 1–2 порядка) варьируют. Преобладают обычно ин-

дивиды с содержаниями примеси, характерными для каждой трубки [17]. Для сравнения кристаллов из разных объектов предлагалось использовать распределение алмазов в зависимости от содержания в них структурной примеси азота. Однако в дальнейшем оказалось, что такой метод далеко не всегда позволяет дифференцировать алмазы из разных коренных источников. Например, в ряде случаев кристаллы отдельных трубок в пределах одного района близки между собой по распределению азотных центров [1]. Подобие свойств кристаллов из пространственно разобщенных месторождений, вероятно, обусловлено сходными условиями алмазообразования в глубинных источниках. Так, согласно данным работы [44], общее содержание азота в алмазе ($N_{tot} = NB + NA$) взаимосвязано с ультраосновным или эфолитовым типом минеральных включений. Доля азота в агрегированной форме — $\% NB = (NB / (NB + NA)) \cdot 100\%$ — зависит от температурного режима алмазообразования [34].

Таким образом, для совершенствования критериев прогноза, основанных на распределении азота в кристаллах, необходимо массовое сравнительное изучение представительных коллекций алмазов из трубок и россыпей разных платформ, районов и полей с выделением групп кристаллов, обладающих сходными свойствами. При этом предлагаемая типизация кристаллов алмаза должна проводиться на количественной основе по наиболее информативным в генетическом плане параметрам — общему содержанию азота (N_{tot}) и степени его агрегации ($\% NB$).

Известная в настоящее время физическая классификация алмаза [43] не решает в достаточной мере проблем типизации и сопоставления алмазов из разных объектов, так как носит главным образом качественный, а не количественный характер.

Систематизация кристаллов по распределению в них азота начата автором в 2001 г. на основе собственных исследований коллекций алмаза из 32 месторождений Сибири, Архангельской области, Канады и Южной Америки [36]. По средним значениям N_{tot} и $\% NB$ был выявлен типоморфизм алмаза на уровне отдельных районов — Зимнего Берега, Мало-Ботуобинска, Далдыно-Алакита (Россия), Коромандель и Джуина (Бразилия), Гуаниамо (Венесуэла). Однако результаты исследования более представительных коллекций алмазов Якутии и Архангельской области, полученные сравнительно недавно, позволили существенно уточнить предложенную ранее систематизацию кристаллов и по-новому взглянуть на проблему типоморфизма алмаза.

Фактический материал и методы исследования. Сопоставление кристаллов алмаза из отдельных коренных источников и россыпей в алмазонос-

ных полях, районах и провинциях проводилось на основе разработанной базы данных. Она включает информацию о 4402 образцах алмаза кимберлитового и лампроитового типов из 75 трубок и россыпей Восточно-Европейской, Сибирской, Африкано-Аравийской, Австралийской, Северо-Американской, Южно-Американской и Хино-Корейской платформ. Около 60% всех данных основаны на собственном аналитическом материале, полученном по алмазам Урала, Архангельской области, Якутии, Южной Америки и частично Канады. Остальные заимствованы из литературы, опубликованной за период с 1979 г. по настоящее время. Характеристика алмаза из всех объектов приведена в табл. 1.

В качестве основного использовался метод ИК-спектроскопии, позволяющий количественно оценивать концентрацию азота в *A*- и *B*-формах [18]. ИК-спектры записывались с разрешением 4–6 см^{-1} на спектрометрах Specord M-80, Carl Zeiss, Jena и Nicolet 380 с микроскопом Centaurus, Thermo Electron Corporation, USA. Дополнительно изучались морфологические особенности (габитус, скульптура поверхности) кристаллов, их внутреннее строение с применением метода катодной люминесценции. Методом катодной люминесценции выборочно исследовались кристаллы из якутских трубок Мир, им. XXIII съезда КПСС, Юбилейная, Прогнозная, Удачная, трубок Архангельской области им. Ломоносова, им. Карпинского-1, Поморская, им. В.Гриба и из россыпей Северного Урала на растровом электронном микроскопе Stereoscan IIa, снабженном приставкой для цветной катодной люминесценции.

Для сопоставления кристаллов по распределению азотных центров из разных объектов нами выделялись группы кристаллов — популяции, доминирующие среди индивидов каждой трубки или россыпи. Одномодальное распределение кристаллов по содержанию азота в *A*- и *B*-формах, например, в трубке Заполярная указывает на наличие одной главной популяции, а двумодальное, выявленное в россыпи р. Тюнг, соответствует двум популяциям (рис. 1). Термин «популяция», принятый в биологии и используемый в литературе по алмазам, означает, что близкие по свойствам кристаллы сформировались в сходных обстановках. Обычно в одной трубке присутствует одна (главная) или две (главная и второстепенная) популяции кристаллов. Доля кристаллов основных популяций в трубке, как правило, составляет 50–75%. В россыпях иногда отмечается более двух популяций кристаллов. Это может быть обусловлено множественностью их коренных источников. Популяции выделялись следующим образом: в статистически представительной выборке (>30 штук) исследовалось распределение

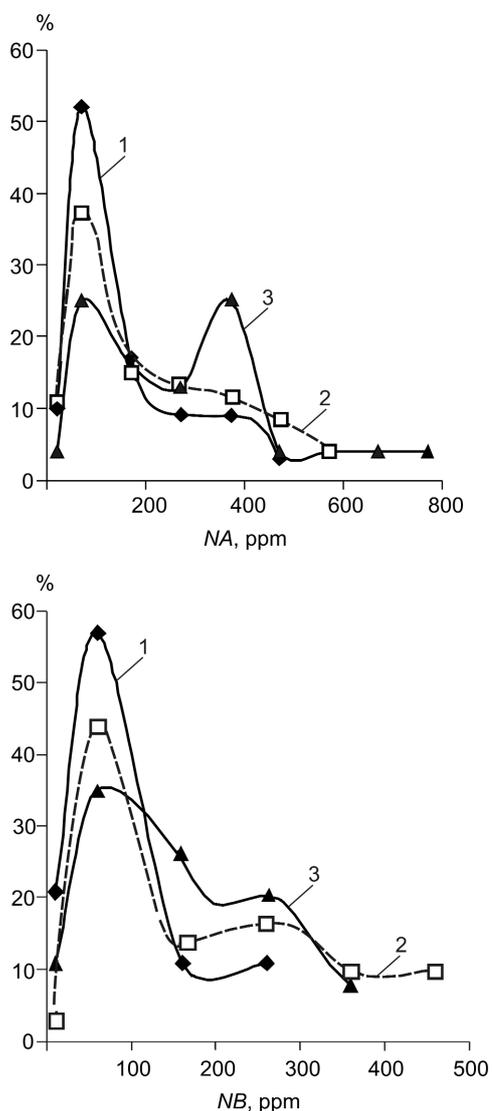


Рис. 1. Распределение азотных центров в кристаллах алмаза Муно-Тюнгского района из трубки Заполярная (1), россыпей рек Средняя Муна (2) и Тюнг (3)

кристаллов по общему содержанию азота (сумма азота в *A*- и *B*-формах). Как правило, оно подчиняется нормальному закону, присущему объектам природного происхождения. Главный азотный максимум на кривой распределения служит характеристикой главной популяции кристаллов месторождения, побочный максимум (при двумодальном распределении) — соответственно второстепенной популяции. Критерии выделения популяций устанавливаются эмпирически на основании опыта изучения выборок кристаллов из разных объектов. К одной популяции отнесены кристаллы, концентрации азота в которых не более чем вдвое отличаются от модального (среднего) значения, при этом их

доля в выборке не ниже 50% для главной популяции и не ниже 25% для второстепенной.

Характеристика основных популяций алмаза. Данные по распределению азотных центров в основных популяциях алмаза и ряд других информативных в генетическом плане свойств кристаллов из изученных объектов приведены в табл. 1. При описании кристаллы различных трубок и россыпей разделены в пределах каждой платформы по алмазосным провинциям, районам или полям.

Алмазы Восточно-Европейской платформы изучены из трубок Архангельской области и россыпей Урала. По распределению азотных центров (см. табл. 1) среди них преобладают три основные группы: низкоазотная $N_{tot} < 250$ ppm с пониженным содержанием *B*-дефектов (<45%); низкоазотная с высокой долей *B*-дефектов (>70%); средне- и высокоазотная с $N_{tot} > 600$ ppm и $NB < 38\%$ от общего содержания примеси.

Как видно из табл. 1, первая группа наиболее характерна для трубок Верхотинского (им. В.Гриба, Волчья) и Золотицкого (им. Ломоносова, Первомайская) полей, вторая — для трубок Кепинского поля (Степная, Юрасская), третья — для трубок Золотицкого поля (им. Карпинского-1, Архангельская, Поморская) и россыпей Урала. Различное распределение азота в алмазах первой и третьей групп связано с составом минеральных включений и внутренним строением кристаллов (рис. 2) при отсутствии отчетливой корреляции с их преимущественно ромбододекаэдрическим габитусом. Так, включения в алмазах трубок им. Гриба и им. Ломоносова (первая группа) относятся главным образом к ультраосновной ассоциации, а в алмазах из трубки им. Карпинского-1 и из россыпей Урала (третья группа) — к ультраосновной и эклогитовой. Кристаллы первой группы (трубка им. В.Гриба) характеризуются в основном послыно-октаэдрическим, нередко почти однородным внутренним строением (см. рис. 2, *a*). Это свидетельствует об их медленной кристаллизации в условиях термодинамической стабильности алмаза [37]. Среди кристаллов из россыпей Урала (третья группа) также имеется значительное количество кристаллов с послыно-октаэдрическим внутренним строением, но весьма характерны и кристаллы с центральной кубооктаэдрической областью, характеризующейся секториальной структурой [9]. Последняя формируется в результате смешанного (тангенциального и нормального) механизмов роста и служит индикатором быстрой кристаллизации алмаза [37]. Для кристаллов из трубок им. Карпинского-1 (третья группа) наиболее типично волкнистое внутреннее строение (см. рис. 2, *b*), указывающее на нормальный механизм роста и высо-

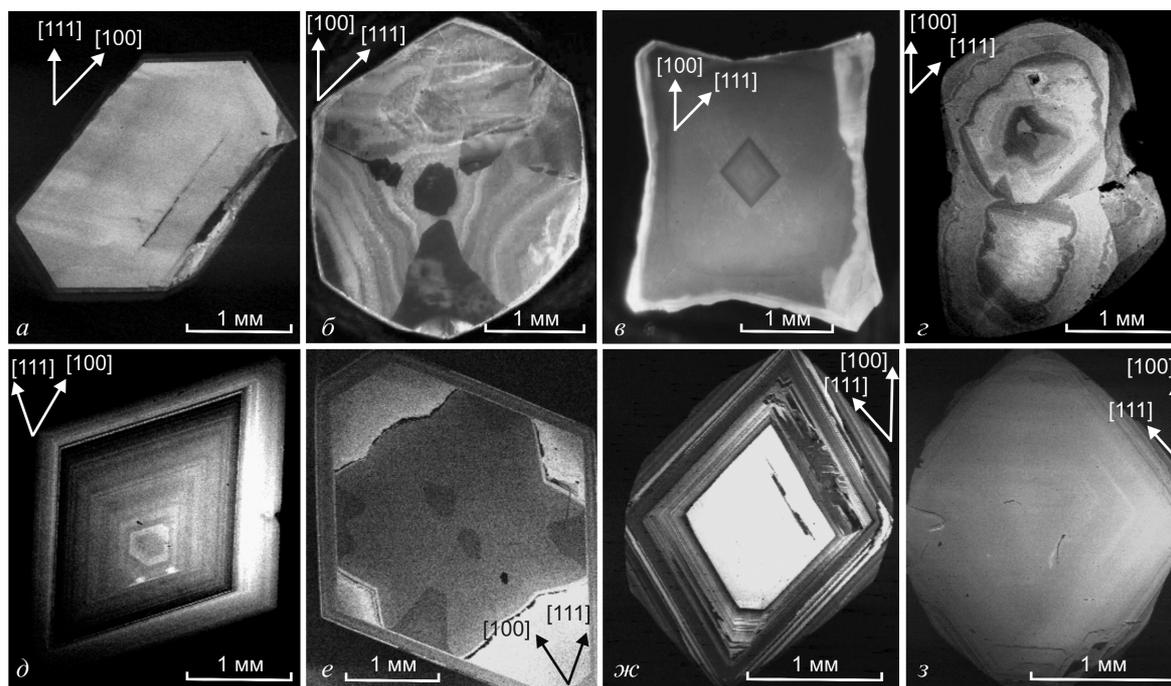


Рис. 2. Особенности внутреннего строения кристаллов алмаза из месторождений Архангельской области (а–е) и Якутии (д–з) по данным катодной люминесценции:

кристаллы из трубок: а — им. В.Гриба, б–г — им. Карпинского-1, д, е — Мир, ж, з — Прогнозная; изображения получены с полированных алмазных пластин; стрелками показаны направления, перпендикулярные к граням октаэдра и куба [111] и [100] соответственно

кие скорости кристаллизации в пересыщенной углеродом системе. Нередко отмечается смена послойного механизма роста на нормальный (см. рис. 2, в), а также наличие октаэдрических индивидов более ранней генерации внутри кристаллов с волокнистым строением (см. рис. 2, з).

Алмазы Сибирской платформы. Наиболее полно охарактеризованы алмазы из трубок и россыпей Центрально-Сибирской субпровинции — Мало-Ботубинского, Далдыно-Алакитского, Муно-Тюнгского районов, а также Лено-Анабарской субпровинции — Анабарского, Приленского, Среднеоленинского и Нижнеленского районов (см. табл. 1). Алмазы разных районов в пределах Центрально-Сибирской субпровинции четко различаются по комплексу типоморфных признаков. В трубках и россыпях Мало-Ботубинского района преобладают кристаллы с умеренными содержаниями азота. Это главным образом октаэдрические индивиды с ритмичным послойным октаэдрическим (см. рис. 2, д) и зонально-секториальным (см. рис. 2, е) внутренним строением (см. табл. 1). Небольшая часть из них (<10%) содержит минеральные включения ультраосновной и эклогитовой ассоциаций. В трубках Далдыно-Алакитского района преимущественно распространены

кристаллы с пониженными концентрациями структурного азота (см. табл. 1), представленные в основном слоистыми ромбододекаэдрами с послойно-октаэдрическим (см. рис. 2, ж), нередко слабоконтрастным внутренним строением (см. рис. 2, з). Доля минералов ультраосновной ассоциации во включениях значительно выше, чем эклогитовой. Помимо главной низкоазотной популяции, в ряде трубок Далдыно-Алакитского района (Удачная, Юбилейная, Зарница) присутствует второстепенная среднеазотная популяция, аналогичная главной популяции алмазов Мало-Ботубинского района (см. табл. 1).

По распределению азотных центров, внутреннему строению и ультраосновному составу минеральных включений преимущественно ромбододекаэдрические кристаллы из трубок и россыпей Муно-Тюнгского района сходны с кристаллами главной популяции алмаза из трубок Далдыно-Алакитского района. В то же время, кристаллы трубки Поисковая обладают специфическими свойствами — высокой долей «безазотных» индивидов ($NA, NB < 20$ ppm) и повышенной долей В-дефектов. По этим параметрам кристаллы данной трубки аналогичны низкоазотной популяции кристаллов Кепинского алмазоносного поля Архангельской области (см. табл. 1).

I. Характеристика популяций алмаза из трубок и россыпей разных платформ

Район, поле	Объект — трубка (Т), россыпь (Р)	Число образцов	Доминантная форма	Обозначение популяции	$N_{\text{кор}}$, ppm	% NB	Тип включений	Тип алмаза		
I	2	3	4	5	6	7	8	9		
<i>Восточно-Европейская платформа</i>										
Койво-Вижайский	Р. Среднего Урала	44	Д	1	958±99	26±10		IV		
		(1)		474±61	52±18		VI			
Вишерский	Р. Северного Урала	32	Д	2	826±143	33±10	9+У [7]	IV		
		78		449±250	40±22		IV			
Зимний Берег, Золотское	Т. им. М.В. Ломоносова	102	Д	4	186±132	32±20	У [6]	III		
		77		(4)	892±159	19±11	9 [6]	IV		
				5	599±120	38±21	У>9 [6]	IV		
				(5)	1365±145	23±8		V		
				6	1402±162	22±12	9 [6]	V		
Т. Архангельская	39	Д	7	1396±170	25±11	9 [6]	V			
Т. Поморская	159	Д	8	146±101	29±23		III			
Зимний Берег, Верхоянский	Т. Первомайская	62	Д	(8)	389±218	45±17		IV		
		57		Д	9	859±168	26±19		IV	
		(9)		70±47	43±31		III			
Зимний Берег, Келинское	Т. им. В.Гриба	78	О+О-Д	10	233±133	32±16	У [12]	III		
		30		Д	11	857±142	30±12		IV	
Зимний Берег, Келинское	Т. Юраская	49	Д	(11)	33±8	78±37		II		
				12	112±89	70±52		II		
Терский Берег	Т. Ермаковская-7	31	Д	13	907±281	30±18		IV		
<i>Сибирская платформа</i>										
Нижнегленский	Р. Булкур	43	Д	14	482±91	48±6	9 [8]	VI		
		(14)		1537±97	27±15		V			
Приленский	Р. Конгломертовый	32	О+Рд	15	460±119	21±13	У [8]	IV		
		31		Д+Рд	16	188±133	31±15	У [8]	III	
Анабарский	Р. Верхнее Молодо	17	Д	(16)	595±153	48±20		VI		
				17	1600±164	25±4	9 [8]	V		
				18	503±101	48±12	У [8]	VI		
				19	732±111	19±15	9 [8]	IV		
				60	Рд+Д	752±118	19±5	У+9 [5.8]	IV	
Мало-Ботуобинский	Т. им. XXIII съезда КПСС	62	О	20	752±118	19±5	У+9 [5.8]	IV		
				34	Т. Ступник	21	589±110	26±10	У+9 [5.8]	IV
				57	Т. Интернациональная	22	743±114	24±4	У [8]	IV
				30	Т. Мир	23	413±75	35±11	У+9 [5.8]	IV
				30	Р. Солур	24	402±108	26±15		IV
Мало-Ботуобинский	Р. Ирелях	30	О>О-Д	25	415±157	15±8		IV		
		30		О>О-Д	26	432±146	24±12		IV	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дальне-Алтайский	Т. Зарница	36	Д+Рд	27 (27)	203±123	31±19	У [8]	III
	Т. У дачная	39	Рд+О (О-Д)	28 (28)	587±81	32±15	У [8]	IV
	Т. Айхал	35	Рд	29	172±93	42±17	У [8]	III
	Т. Молодость-1		Рд	29	688±131	28±14	У [8]	IV
	Т. Сытыканская	32	О+Рд	30	133±44	38±10	У [8]	III
	Т. Дальняя	35	Рд+О-Д	31	185±95	48±20	У [8]	III
	Т. Прогнозная	40		32	184±104	38±18	У [8]	III
	Т. Краснопресненская	43	Рд+О-Д	33	122±70	41±19	У [8]	III
	Т. Комсомольская	39	Рд+О-Д	34	223±80	50±21	У [8]	III
	Т. Юбилейная	90	О+Рд	35	259±147	41±13	У [8]	III
	Т. Ленинград	28	О>Рд	36	242±103	40±17	У [8]	III
	Р. Средняя Муха	30	Д	37	105±74	38±23	У [8]	III
	Р. Тюнг	30	Рд+Д	38	486±187	25±20	У [8]	IV
Т. Заполярная	31	Д+Рд(О)	39	280±150	27±18	У [8]	III	
Т. Поисковая	30	Д	40	221±96	41±34	У [8]	III	
			41	114±76	33±14	У [8]	III	
				515±100	33±19		IV	
				95±52	29±19		III	
				71±33	66±17		II	
<i>Африкано-Аравийская платформа</i>								
Ботсвана	Т. Орапа	118	Нф+К	42 (42)	175±88	66±10	Э>>У [31]	II
	Т. Джванг	40	К+Рд+О	43 (43)	919±98	13±10	У [23]	IV
ЮАР, Венеция	Т. Венеция	271	Д	44 (44)	284±168	71±21		II
	Т. Премьер	131	Д+О-Д	45 (45)	850±200	24±12	У>>Э [50]	IV
ЮАР, Постмасбург	Т. Финш	89	О>Рд(Д)	46	175±125	66±21	Э [50]	IV
	Т. Робертс Виктор	99	О+О-Д	47	919±121	13±10	Э [27, 29]	IV
ЮАР, Ягерсфонтейн	Т. Ягерсфонтейн	65	Нф+О (О-Д)	48	161±136	70±22	У>>Э [27, 29]	II
	Т. Коффифонтейн	61	Д	49	932±119	27±9	У>>Э [27, 29]	IV
Гана	Р. Биррим	99	О>Д	50	59±27	34±12	У>>Э [28]	III
	Р. Намибби	56	О+Д	51	66±36	36±13	У>Э [30]	II
Северные Территории	Т. Эктор	47	О	52	40±25	75±23	У>Э [30]	II
				51	76±45	68±34	У>Э [30]	II
				102±33	36±15	У [44]	III	
				382±266	71±43	Э>>У [22]	II	
<i>Австралийская платформа</i>								
Северные Территории	Т. Эктор	47	О	52	148±80	32±21		III

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Новый Южный Уэльс	Р. Веллингтон	112	Д	53	687±214	60±29	У>Э [25]	VI	
	Р. Блангара	75	Д	54	399±242	60±34	Э>У [25, 40]	VI	
	Р. Коуптон	31	Д	55	141±42	29±20	Э>У [25, 40]	III	
	Т. Аррайл	114	Д+О	56	251±202	88±41	Э>>У [52]	I	
<i>Северо-Американская платформа</i>									
Северо-Западные Территории	Т. ДУ-27	43	О+Д	57	592±169	39±20	Э>У [45]	IV	
	Т. Панда	105	О+Нф	58	41±23	34±19	У>>Э [41, 51]	III	
		(58)		363±215	85±39	II			
	Т. Пойнт Лейк	68	О+Д	59	194±109	61±29		II	
(59)		811±99		11±3	IV				
Альберта	Т. К-252	113	Д	60	122±95	79±55	Э>>У [19]	II	
		(60)		1504±236	29±13	V			
<i>Южно-Американская платформа</i>									
Бразилия, Коромандель	Р. Криминоза	32	Д+О-Д	61	504±119	57±9	У>>Э	VI	
	Р. Эспирито Санто	32	Д+О-Д	62	535±89	51±12	У>>Э	VI	
	Р. Грога до Пимпим	34	Д+О-Д	63	532±139	55±11	У>>Э	VI	
		32		504±131	63±11	VI			
	Р. Лоскоитос	52	Д+О-Д+О	65	778±143	67±12	Э>>У	VI	
		Силва Гуанамо		51	768±180	69±19		Э>>У [32]	VI
	Венесуэла, Гуаниамо	Р. Сентела	401	Д+О-Д	67	601±172	73±8	Э>>У [32]	VI
		Р. Чихуахуа	33	Д+О-Д	68	772±58	72±10	Э>>У [32]	VI
		Р. Куэбрада Гранде	40	Д+О-Д	69	802±70	70±8	Э>>У [32]	VI
			33		692±67	63±3	VI		
Бразилия, Джужина	Р. Цикора	34	Д+Нф	71	51±25	92±19	СГМ [46]	I	
	Р. Сорисо	36	Д+Нф	72	31±15	87±11	СГМ [35]	I	
	Р. Сан Луис	31	Д+Нф	73	93±21	92±12	СГМ [46]	I	
	Р. Вермельхо	33	Д+Нф	74	111±29	90±21	СГМ [46]	I	
<i>Дино-Корейская платформа</i>									
Мьянма	Р. Момейк и Зейндо	114	Д	75	736±136	32±19	У>Э [33]	IV	

Примечание. 1-75 — главные популяции алмаза, в скобках — второстепенные. В столбцах 7 и 8 приведены средние значения и среднеквадратические отклонения. Ассоциации: У — ультраосновная, Э — эглогитовая, СГМ — «сверхглубинных минералов». Доминантные формы: О — октаэдр, Д — додекаэдр, О-Д — комбинация октаэдра и додекаэдра, Рд — слоистый ромбоэдра, К — куб, Нф — неясная форма.

В пределах Лено-Анабарской субпровинции, расположенной далее на северо-восток от рассматриваемых районов, высокоалмазоносные трубки не обнаружены. Свойства алмаза трубок Лено-Анабарской субпровинции можно охарактеризовать на примере кристаллов трубки Ленинград Среднеоленинского района. Это преимущественно низкоазотные индивиды, сходные с алмазами Далдыно-Алакитского района (см. табл. 1). Особый интерес среди трубок севера Якутии представляет трубка Малокуонапская Анабарского района, выделяющаяся среди других более высокой алмазоносностью. По распределению азота алмазы этой трубки близки к алмазам Мало-Ботуобинского района, отличаясь от последних округлой формой кристаллов и эклогитовым типом минеральных включений.

Алмазы Африкано-Аравийской платформы. Свойства кристаллов алмаза африканских месторождений детально охарактеризованы в работах [14, 22–24, 27–31, 44, 49], при этом наиболее полно — кристаллов южной части Африканского континента: трубок Премьер, группы Венеция, Финш, Ягерсфонтейн, Коффифонтейн, Робертс Виктор (ЮАР), а также Орапа, Джваненг (Ботсвана) и некоторых россыпей.

По типоморфным особенностям кристаллов — концентрациям азотных центров, а также внешней форме и составу минеральных включений — можно выделить три основные группы алмазоносных объектов (см. табл. 1).

В трубках Финш, Робертс Виктор и россыпи Биррим (первая группа) преобладают низкоазотные кристаллы октаэдрического габитуса. Основной формой вхождения азота в алмаз являются A -центры ($NA > NB$). Среди включений в этих кристаллах наиболее распространены минералы ультраосновной ассоциации.

В трубках Ягерсфонтейн и Коффифонтейн (вторая группа) кристаллы имеют пониженную концентрацию азота с преобладанием B -дефектов над A -центрами ($NB > NA$). Большинство из них представлены осколками неопределенной формы. Среди включений в алмазе присутствуют минералы как ультраосновной, так и эклогитовой ассоциаций.

В трубках Орапа, Джваненг, Премьер, Венеция (третья группа) по распределению азота в кристаллах выделяются две популяции: главная — низкоазотная и второстепенная — среднеазотная (см. табл. 1). Низкоазотная популяция алмаза трубок Орапа, Джваненг, Премьер, Венеция подобна низкоазотной популяции алмаза трубок Ягерсфонтейн и Коффифонтейн, а также низкоазотной популяции алмаза Кепинского поля Архангельской области (см. табл. 1). Среднеазотная популяция сходна с со-

ответствующей популяцией алмаза Золотицкого поля Архангельской области. В отличие от кристаллов алмаза из трубок первой группы (Финш и Робертс Виктор), среди кристаллов трубок третьей группы октаэдрические индивиды присутствуют в подчиненном количестве, а минеральные включения преимущественно принадлежат к эклогитовой ассоциации (кроме алмазов трубок группы Венеция). В работах [24, 50] проанализировано внутреннее строение алмазов с различным распределением азота из трубок Премьер и группы Венеция. Все они сформировались за счет послойного роста, что свидетельствует об их медленной кристаллизации в термодинамически стабильных условиях. Можно допустить, что низкоазотные кристаллы алмаза из других трубок и россыпей юга Африки также образовались преимущественно в результате медленно-го послойного роста в равновесных условиях.

Алмазы Австралийской платформы. Согласно литературным данным [10, 25, 40, 47, 52], кристаллы алмаза из разных районов Австралии разнообразны по распределению азотных центров и составу минеральных включений. Вместе с тем, для алмазов большинства месторождений характерны низкие и умеренные концентрации структурного азота, округлая форма кристаллов, повышенная доля минеральных включений эклогитовой ассоциации (см. табл. 1). По распределению азота кристаллы трубки Эктор сходны с кристаллами Далдыно-Алакитского района Якутии (см. табл. 1). Специфична основная популяция алмаза трубки Аргайл, так как эти кристаллы содержат азот преимущественно в B -форме ($\% NB \sim 88$), что не типично для алмазов большинства месторождений кимберлитового и лампроитового типов.

Алмазы Северо-Американской платформы. Основные месторождения алмаза Северной Америки сосредоточены на территории Канады. Нами изучено распределение азота в алмазах трубки ДО-27 провинции Слейв. Данные по алмазам трубок Пойнт Лейк и Панда той же провинции, а также по алмазам трубки К-252 (провинция Альберта) заимствованы из работ [26, 41, 45, 48, 51]. Кристаллы алмаза из трех трубок провинции Слейв отличаются друг от друга по распределению примесного азота, несмотря на сходный преимущественно октаэдрический габитус. Так, в трубке ДО-27 доминируют кристаллы среднеазотной популяции, близкой к главной популяции алмаза из трубок Мало-Ботуобинского района Якутии (см. табл. 1). Основная популяция алмаза в трубке Панда подобна популяциям алмазов, преобладающих в трубках Далдыно-Алакитского района. В трубке Пойнт Лейк преобладает низкоазотная популяция с повышенной до-

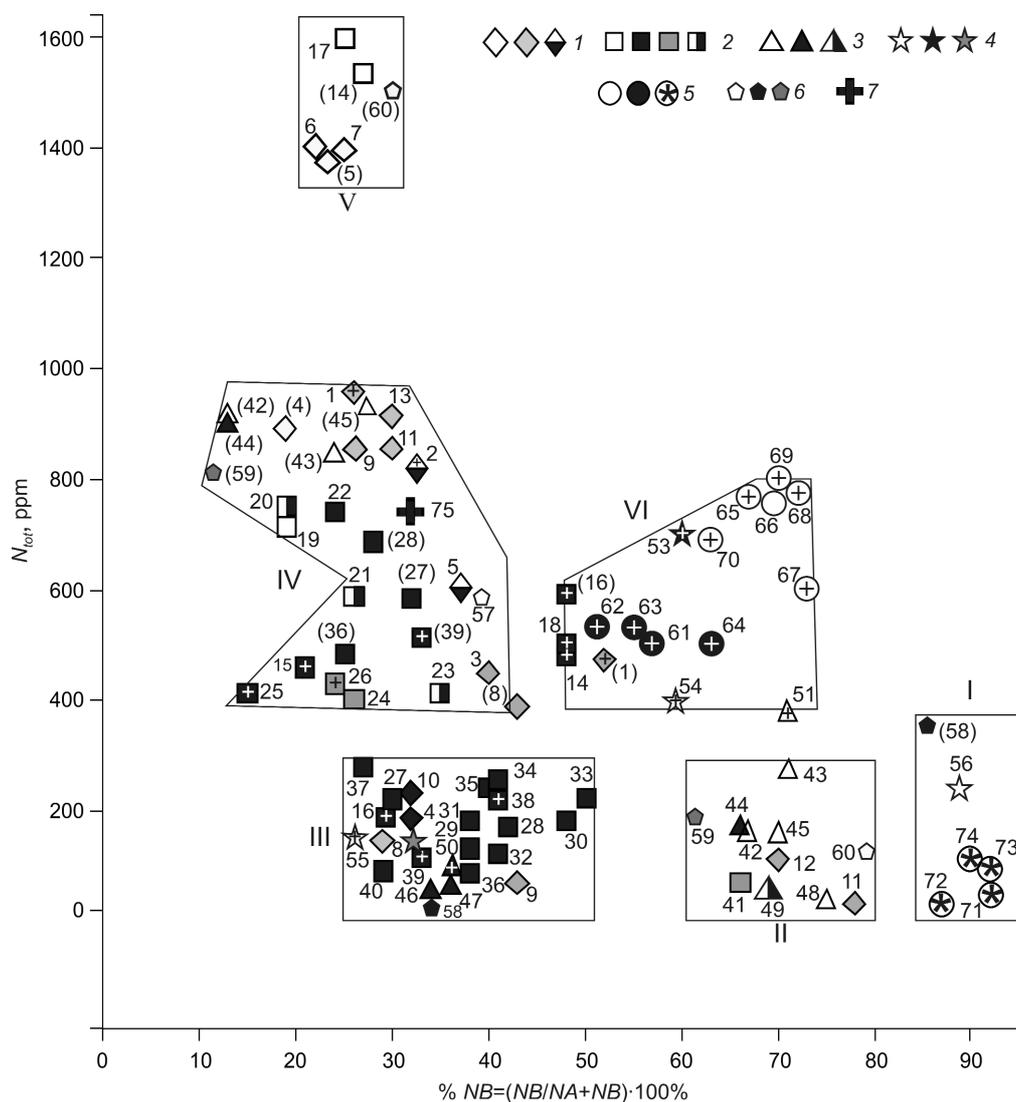


Рис. 3. Типизация алмазов из кимберлитов и лампроитов по распределению в кристаллах азотных центров:

I–VI — типы алмаза; каждая пронумерованная точка на диаграмме соответствует главной или второстепенной (номер в скобках) популяциям алмаза из трубок и россыпей разных платформ (нумерация та же, что и в табл. 1); популяции кристаллов разных платформ: 1 — Восточно-Европейской, 2 — Сибирской, 3 — Африкано-Аравийской, 4 — Австралийской, 5 — Южно-Американской, 6 — Северо-Американской, 7 — Хино-Корейской; крестиком отмечены популяции алмазов из россыпей; характерные для каждого месторождения (или популяции) ассоциации минералов-узников алмаза: бесцветным — эклогитовая, черным — ультраосновная, серым — не определена, звездочка в кружке — «сверхглубинные» минералы

лей *B*-дефектов, сходная с главной популяцией алмаза из трубки К-252, а также с алмазами широко распространенными в южноафриканских трубках Орапа, Джваненг, Премьер, Венеция.

Алмазы Южно-Американской платформы. На протяжении многих десятилетий в Южной Америке разрабатываются многочисленные россыпные месторождения алмазов. Значительная их часть сосредоточена на территории Бразилии и Венесуэлы. За последние 20 лет в ряде районов россыпных

проявлений открыты алмазоносные кимберлитовые и лампроитовые трубки и силлы. Распределение структурных дефектов в алмазах Южной Америки рассмотрено нами на примере кристаллов из россыпей районов Лоскокитос и Гуаниамо в Венесуэле, а также Коромандель и Джуина в Бразилии. Алмазы района Джуина специфичны по минералогическим особенностям и отличаются от большинства алмазов из трубок и россыпей других регионов мира. В большинстве своем это «безазотные» или

низкоазотные додекаэдроиды с послынным октаэдрическим или блоковым внутренним строением [35, 46]. Часть из них содержит индикаторные «сверхглубинные» минералы — мейджорит, феррипериклаз, кальциевый и магниевый силикаты со структурой перовскита и др.

Алмазы других районов Южной Америки — среднеазотные с высокой долей азота в *B*-форме (>50%), большинство из них имеет ромбододекаэдрический габитус. В кристаллах района Коромандель преобладают включения ультраосновной ассоциации, района Гуаниамо и Лоскокитос — эклогитовой [32, 38, 39].

Алмазы Хино-Корейской платформы, россыпи Момейк и Зейндо (Мьянма). В россыпях Мьянмы [33] преобладают среднеазотные кристаллы с пониженной долей азота в *B*-форме. Все они представлены додекаэдроидами. По распределению азота, габитусу и преобладанию включений ультраосновной ассоциации эти кристаллы близки к алмазам из кимберлитовых трубок Шенгли и Бинхай Северного Китая [4]. Сходное распределение азотных центров в кристаллах прослеживается в алмазах из трубки им. Карпинского-1 Золотицкого поля Архангельской области и в алмазах некоторых трубок Мало-Ботубинского района Якутии (см. табл. 1).

Типы алмазов и их распространение в пространстве. Данные по распределению азота в кристаллах основных популяций алмаза из трубок и россыпей различных регионов сведены на диаграмме (рис. 3). Выделяются шесть обособленных областей, соответствующих разным типам алмаза. Пять из них объединяют преимущественно главные и второстепенные популяции алмаза из коренных источников, а тип VI представлен почти исключительно кристаллами из россыпей.

Типы I–VI отличаются друг от друга не только по распределению азота в кристаллах и другим типоморфным свойствам, но и по распространенности в разных алмазоносных провинциях мира.

По состоянию изученности на сегодняшний день типы I и V можно считать редкими, проявляющимися локально или в относительно небольших количествах. Типы II–IV и VI распространены на территориях различных платформ. Как видно из рис. 3, на Африканской, Северо-Американской, Восточно-Европейской и Сибирской платформах встречены популяции алмазов основных типов II–IV. Помимо этого, популяции алмаза типа III проявлены на Австралийской платформе, а IV — на Хино-Корейской. Популяции алмаза из россыпей (тип VI) распространены во всех рассматриваемых алмазоносных провинциях, кроме Северо-Американской и Хино-Корейской.

Суммируя полученные данные (см. рис. 3, табл. 1), можно выявить характерные особенности алмазов разных типов.

Тип I (N_{tot} 40–370 ppm и *NB* 85–95%) включает главные популяции алмаза из трубки Аргайл (Австралия) и месторождений района Джуина в Южной Америке. В алмазах из трубок и россыпей этого района распространены включения «сверхглубинных» минералов мейджорита, феррипериклаза, стишовита и др. По данным работы [35], кристаллы типа I характеризуются в основном послынно-октаэдрическим и блоковым внутренним строением.

Кристаллы типа II (N_{tot} <290 ppm и *NB* 60–80%) широко распространены в трубках Южной Африки, причем в тех из них, где включения в алмазах представлены преимущественно минералами эклогитовой ассоциации (Орапа, Джваненг, Премьер, Ягерсфонтейн). Большинство алмазов типа II имеют послынно-октаэдрическое внутреннее строение.

Тип III (N_{tot} <280 ppm и *NB* 25–52%) наиболее характерен для трубок Далдыно-Алакитского района Якутии. В месторождениях, где распространены кристаллы этого типа, алмаз ассоциирует главным образом с включениями минералов гипербазитов. Кристалл амалмаза типа III свойственно преимущественно послынно-октаэдрическое квазиоднородное или зональное внутреннее строение.

Тип IV (N_{tot} 390–960 ppm и *NB* 11–43%) широко представлен в месторождениях Мало-Ботубинского района Якутии и Урала. Алмазы из этих месторождений содержат включения как ультраосновной, так и эклогитовой ассоциации. При этом нередко в алмазах одной трубки или россыпи включения ультраосновной и эклогитовой ассоциаций присутствуют в соизмеримых количествах (см. табл. 1). Наиболее часто кристаллы типа IV имеют послынно-октаэдрическое или секториально-зональное внутреннее строение.

Тип V (N_{tot} 1390–1600 ppm и *NB* 20–30%) доминирует только в нескольких трубках Золотицкого поля Архангельской области. Минеральные включения в высокоазотных алмазах типа V из этих трубок очень редки, но все они по данным [6] относятся к эклогитовой ассоциации. Большинство кристаллов типа V имеют волокнистое внутреннее строение. В россыпях кристаллы типа V встречены на севере Якутии, при этом все они содержат минеральные включения эклогитовой ассоциации [8].

Тип VI (N_{tot} 380–800 ppm и *NB* ~31–73%) часто встречается в россыпях Южной Америки. Кристаллы с подобным распределением азота сравнительно редки в кимберлитовых и лампроитовых трубках. Основные популяции алмаза типа VI отличаются

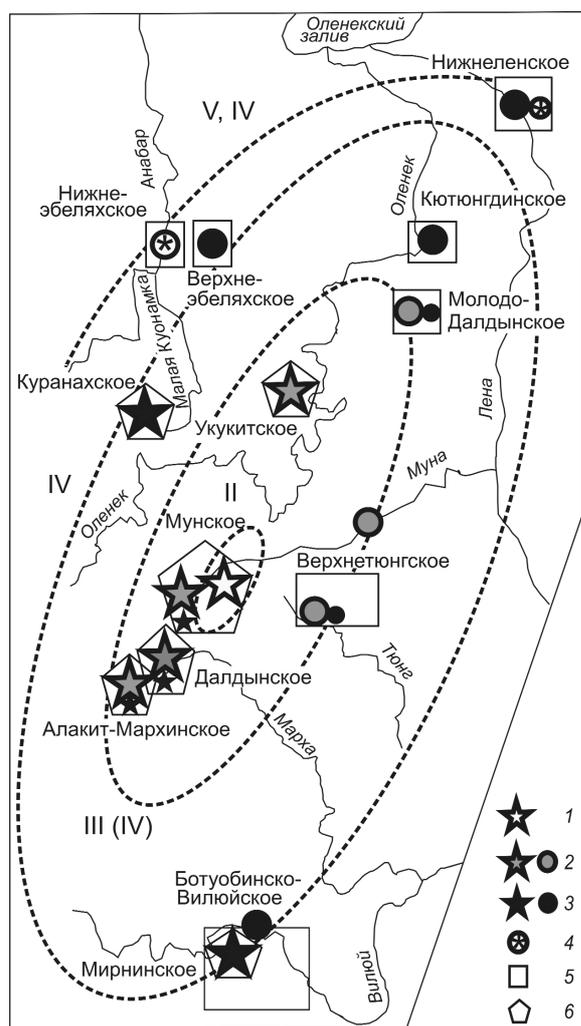


Рис. 4. Схема распространения типов алмаза на территории Якутии:

1–4 — алмазы типов II–V соответственно (звездочками обозначены трубки, кружками — россыпи; крупные знаки соответствуют главной популяции алмаза каждого месторождения, более мелкие — второстепенной); алмазные поля: 5 — россыпное, 6 — кимберлитовое; области распространения алмазов разных типов обозначены штриховой линией

по составу минеральных включений. В россыпях района Коромандель (Бразилия) алмазы с включениями ультраосновной ассоциации преобладают над алмазами эклогитовой, а в россыпях районов Гуаниамо и Лос Кокитос в Венесуэле, напротив, доминируют кристаллы эклогитовой ассоциации.

Типы алмаза по-разному распределены в разных кимберлитовых провинциях мира. Самые «высокобарические» и «высокотемпературные» кристаллы типа I доминируют лишь в некоторых месторождениях Южно-Американской и Австралий-

ской платформ. Кристаллы типа II наиболее распространены на Африкано-Аравийской платформе. В Якутии, Архангельской области и Канаде более обычны кристаллы III–IV типов. Редкий тип V широко представлен главным образом в трубках Архангельской области и в подчиненном количестве присутствует в некоторых россыпях севера Якутии.

Нередко наблюдается зональное распространение типов алмаза в пределах одной провинции или района. В Якутской провинции зональность в распределении типов алмаза носит концентрический характер (рис. 4). При этом самые высокотемпературные для Сибири кристаллы типа II встречаются в Мунго-Тюнгском районе (трубка Поисковая). Эта территория совпадает с резким возрастанием (до 57 км) мощности земной коры [13]. Район может отвечать наиболее погруженной части алмазоносной среды в высокотемпературную область, откуда транспортируются алмазы к земной поверхности.

Зональное распределение типов алмаза может проявляться и на меньших по площади территориях, например в масштабе одного алмазоносного района. Так, типизация алмазов Зимнего Берега Архангельской области по азоту (рис. 5) показала, что распределение типов алмаза по площади имеет тренд от юго-востока (трубка Степная Кепинского поля). В Архангельской области северо-западный тренд изменчивости свойств алмазов и состава горных пород может отражать северо-западный фланг концентрической зональности, подобной той, что отмечена выше для Якутии.

Особенности генезиса кристаллов алмаза разных типов. По распределению азота и другим типоморфным характеристикам алмазы типов I–VI отличаются друг о друга, что свидетельствует о различиях в их генезисе. В настоящее время большинство исследователей придерживаются концепции «ксеногенной» природы алмаза, согласно которой он образуется в глубинных зонах Земли и выносится на поверхность вместе с кимберлитами и лампроитами. В связи с этим следует ожидать, что распределение азота в разных типах алмаза во многом должно определяться условиями его кристаллизации в глубинных источниках. В то же время, кристаллы типа VI, встреченные только в россыпях, отличаются по свойствам от алмазов из кимберлитовых и лампроитовых трубок. Можно предположить, что алмазы типа VI отражают результат «естественного отбора» кристаллов с определенными свойствами в процессе образования россыпей. Известно [3], что прочностные свойства алмаза зависят от содержания азота в кристаллах, особенно от азота в B-форме. При транспортировке кристаллов в россыпях низкоазотные алмазы раз-

рушаются в первую очередь, что в итоге приводит к относительному «обогащению» россыпи высокоазотными индивидами. Очевидно, что доля таких кристаллов будет возрастать по мере удаления россыпи от коренного источника. Так, в трубке Заполярная, расположенной в верховьях р. Муна, доля кристаллов низкоазотной популяции максимальна. В россыпях рек Средняя Муна и Тунг доля кристаллов с низким содержанием азота в А- и В-формах снижается, а высокоазотных увеличивается (см. рис. 1).

С учетом работ [2, 34, 44] можно выделить три основные группы факторов, определяющих разнообразное распределение азота в алмазах кимберлитового и лампроитового типов. Первая — химические факторы, в значительной мере обусловленные типом глубинного алмазного субстрата, вторая — термодинамические (PT) параметры формирования кристаллов, третья — особенности кинетики кристаллизации и захвата примеси азота.

Если общее содержание структурной примеси азота (N_{tot}) и состав минеральных включений в алмазах отражают свойства среды кристаллизации, то можно полагать, что алмазы первых пяти типов сформировались в различных глубинных источниках. Так, алмазы типа I, характеризующиеся включениями сверхглубинных минералов, кристаллизовались в специфическом субстрате, обедненном азотом (табл. 2). В его составе, согласно работе [15], присутствует широкий спектр минералов больших глубин: мейджоритовый гранат, гранат гроссуляр-пироп-альмандинового состава, тетрагональная альмандин-пироповая фаза, стишовит, магнезиальный и кальциевый силикаты со структурой перовскита, феррипериклаз и др.

Алмазы типов II и III, по-видимому, образовались в обедненной азотом среде, причем тип II в эклогитовой, а тип III в гипербазитовой (см. табл. 2). Как показано выше, в месторождениях, где минералы-узники в алмазе относятся преимущественно к эклогитовой ассоциации, доминируют кристаллы

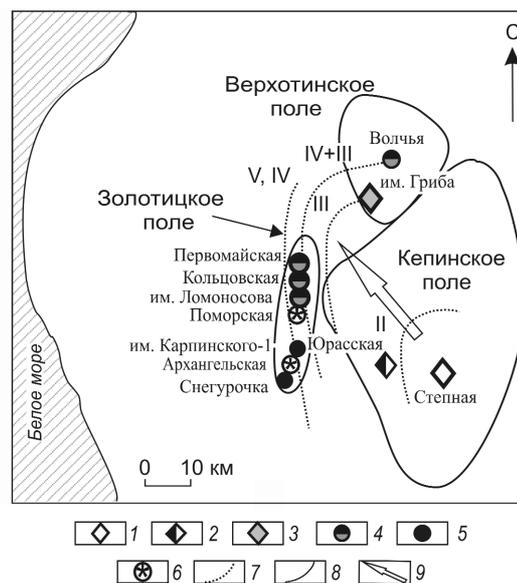


Рис. 5. Схема распространения алмаза типов II-V в Зимнебережном районе Архангельской области:

типы алмаза: 1 — II, 2 — II+IV, 3 — III, 4 — III+IV, 5 — IV, 6 — V; 1-3 — алмазы из трубок, сложенных кимберлитами железо-титанистой серии, 4-6 — то же, глиноземистой; 7 — области распространения алмазов разных типов; 8 — границы алмазоносных полей; 9 — тренд распределения типов алмаза

типа II. В свою очередь, преобладание среди включений в алмазах минералов ультраосновной ассоциации коррелирует с широкой распространенностью в месторождении кристаллов типа III (см. табл. 1, рис. 3). Распределение азотных центров в выборках алмаза с различным типом включений также подтверждает предположение о разном составе среды кристаллизации алмазов типов II и III (рис. 6). Как видно из рисунка, кристаллы типа II близки к алмазам эклогитовой, а типа III — ультраосновной ассоциации. Кроме того, кристаллы типа IV сопоставимы со среднеазотной популяцией алмаза эклогитовой ассоциации (см. рис. 6) и, вероят-

2. Особенности генезиса алмазов разных типов

Тип алмаза	Тип субстрата	Концентрация азота в среде	Относительная температура (T)	Относительная скорость роста (V)
I	Специфический, содержащий СГМ	Низкая	$T(I)=max$	Высокая
II	Эклогитовый	Низкая	$T(II)$ высокая, $T(II)<T(I)$	Низкая
III	Ультраосновной	Низкая	$T(III)<T(II)$	Низкая, $V(II)\approx V(III)$
IV	Эклогитовый	Высокая	$T(IV)\leq T(III)$	Повышенная
V	Эклогитовый	Очень высокая	$T(V)=min$	Очень высокая

Примечание. СГМ — «сверхглубинные» минералы.

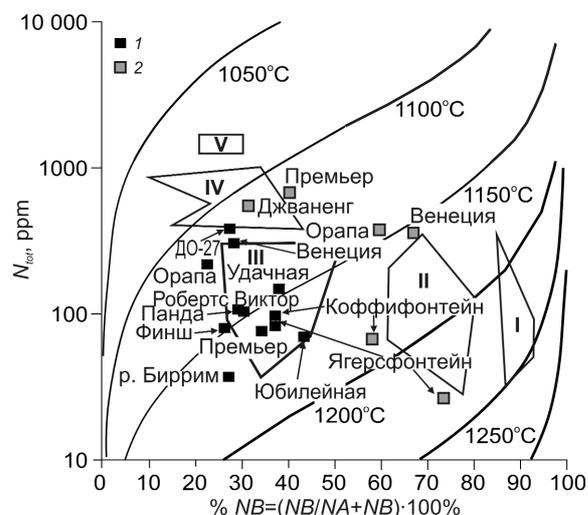


Рис. 6. Распределение азотных центров в алмазах типов I–V и популяциях кристаллов с включениями ультразвуковой (1) и эклогитовой (2) ассоциаций из различных месторождений, по данным [22, 23, 27–31, 41, 42, 44, 45, 50, 51]:

изотермы приведены по диаграмме из работы [49] для «условного возраста» алмазов 3 млрд. лет

но, образовались в обогащенном азотом эклогитовом субстрате (см. табл. 2).

Менее ясен вопрос о среде кристаллизации алмазов типа V, имеющих высокие концентрации азота и преимущественно волокнистое внутреннее строение. По косвенным данным (см. рис. 3) эти алмазы также сформировались в эклогитовом субстрате, но в результате быстрого роста по нормальному механизму в пересыщенной азотом и углеродом среде (см. табл. 2). Различное суммарное содержание азота в кристаллах типов IV и V может определяться главным образом двумя факторами: эклогитовый субстрат кристаллов типа V мог быть обогащен азотом по сравнению с субстратом алмазов типа IV; кристаллы, растущие по разным механизмам и с разной скоростью, обладают различной способностью захватывать примесь. По общему содержанию азота кристаллы типа V и частично типа IV сходны с описанной в работе [21] группой «волокнистых» алмазов из различных месторождений мира.

Таким образом, выделяются лишь один тип источников для алмазов ультразвуковой ассоциации и три типа для алмазов эклогитовой. Это указывает на сложные соотношения условий кристаллизации алмаза и минеральных ассоциаций эклогитов.

На основе экспериментальных данных с использованием уравнения Аррениуса рассчитаны количественные зависимости между параметрами распределения азота в кристаллах, температурой и

продолжительностью термического воздействия [34, 47]. В работе [49] предложена диаграмма (см. рис. 6) для оценки температуры алмазообразования при фиксированных значениях условного возраста кристаллов. При этом временной фактор оказывает относительно малое влияние: изменение температуры на 10–15°C равносильно изменению времени термического воздействия на 1 млрд. лет [47, 49]. Исходя из этого можно полагать, что температуры кристаллизации алмазов типов I–V варьируют в интервале ~200°C. Температура алмазообразования, вероятно, последовательно уменьшалась от типа I к типу V (см. рис. 6, табл. 2).

Кристаллизация алмазов типов I–V проходила с разной скоростью. В кристаллах типов II–III послонно-октаэдрическая зональность, нередко слабоконтрастная, служит признаком медленного роста в условиях термодинамической стабильности алмаза (см. табл. 2). В отличие от этого скорость роста кристаллов алмаза типа I, по-видимому, была более высокой, поскольку значительная часть кристаллов типа I (район Джуина, Бразилия) имеет блоковое внутреннее строение. В алмазах типа IV, наряду с послонно-октаэдрическим, нередко проявляется секториально-зональное строение, указывающее на более быстрый рост этих кристаллов по сравнению с алмазами типов II–III (см. табл. 2). И, наконец, скорость кристаллизации алмазов типа V, характеризующихся преимущественно волокнистым строением (нормальный механизм роста), была максимальной по сравнению с алмазами других рассматриваемых типов.

Итак, систематизация данных по распределению азотных центров в популяциях алмаза из 75 трубок и россыпей разных платформ позволила выявить шесть основных типов кристаллов. Они подчеркивают общность свойств алмазов разных провинций мира, которые зависят прежде всего от условий в глубинных источниках. Полученные результаты согласуются с представлениями о ксеногенной природе алмаза из кимберлитов и лампроитов.

Популяции алмаза разных типов отличаются по частоте встречаемости и пространственному распространению. Популяции кристаллов типа I доминируют лишь в некоторых месторождениях Южно-Американской и Австралийской платформ, типа II — наиболее распространены на Африкано-Аравийской платформе. В Якутии, Архангельской области и Канаде более обычны популяции алмаза III–IV типов. Популяции кристаллов типа V представлены главным образом в трубках Архангельской области и в подчиненном количестве в некоторых россыпях севера Якутии. С другой стороны, в пределах одной провинции, а иногда и одного райо-

на наблюдается зональное распределение популяций алмаза разных типов, что может быть использовано в прогнозно-поисковых целях. Нередко среди алмазов одной трубки имеются две популяции кристаллов, представленные алмазами разных типов. Такая ситуация возникает, когда кимберлиты или лампроиты образуются за счет разных по составу алмазосодержащих сред на разной глубине.

Распределение азота в выделенных типах кристаллов различно и взаимосвязано с температурным режимом и скоростями их роста, а также составом глубинного алмазосодержащего субстрата. Помимо этого, специфика алмазов типа VI, вероятно, обусловлена «естественным отбором» относительно прочных кристаллов с высокими концентрациями азотных А- и В-центров при транспортировке в россыпи.

Автор благодарит В.К.Гаранина, О.Д.Захарченко, Н.Н.Зинчука, Ф.В.Каминского, В.И.Коптиля за предоставление для изучения коллекций кристаллов алмаза, данных по их морфологии, внутреннему строению и составу минеральных включений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Биленко Ю.М.* Содержание азота в алмазах из коренных месторождений Якутии // Геология и геофизика. 1982. № 10. С. 78–82.
2. *Блинова Г.К.* Структурные примеси как индикаторы механизма роста природных кристаллов алмаза // Докл. АН СССР. 1987. Т. 294. № 4. С. 868–871.
3. *Влияние* оптически активных центров на прочностные свойства алмазов / А.М.Налетов, Ю.А.Клюев, О.Н.Григорьев и др. // ДАН СССР. 1979. Вып. 246. № 1. С. 83–86.
4. *Гао Сюин.* Алмазосодержащие кимберлиты Хуабэй в Китае и Архангельской алмазосодержащей провинции в России — сравнительная минералогическая характеристика: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — М.: МГУ, 2008.
5. *Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П.* Минералогия алмаза, содержащего включения // Геология и разведка. 1990. № 2. С. 48–56.
6. *Захарченко О.Д., Махин А.И., Хачатрян Г.К.* Типоморфные свойства алмазов. Атлас. — М.: ЦНИГРИ, 2002.
7. *Захарченко О.Д., Хачатрян Г.К., Гречишников Д.Н.* Алмазы Тимано-Уральского региона. — М.: ЦНИГРИ, 2006.
8. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. — М.: Недра, 2003.
9. *Исследование* оптически активных центров в алмазах из россыпей Урала в связи с проблемой их коренных источников / Г.К.Хачатрян, Н.Н.Зинчук, В.И.Коптиль и др. // Геология и геофизика. 2004. Вып. 45. № 2. С. 226–234.
10. *Кимберлиты* Мерлина (Северная территория, Австралия) / Д.К.Ли, Х.Дж.Милледж, Т.Х.Редклифф и др. // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 1. С. 78–90.
11. *Клюев Ю.А., Смирнов В.И., Непица В.И.* Статистическое распределение алмазов по микродефектам как одна из характеристик месторождения // Комплексные исследования алмазов. М., 1980. Вып. 153. С. 19–28. (Тр. ЦНИГРИ).
12. *Палажченко О.В.* Комплексные исследования алмаза из месторождений Архангельской кимберлитовой провинции: обобщение, генетические и практические следствия // Вестн. МГУ. Сер. геол. 2008. № 2. С. 68–75.
13. *Ротман А.Я., Манаков А.В.* Петрология, геотектоника и алмазосодержащая кимберлитовая формация Сибири // Смирновский сборник. М., 2007. С. 155–182.
14. *Смирнов Г.И., Клюев Ю.А., Каминский Ф.В.* Некоторые особенности кристаллов алмаза из кимберлитовой трубки Премьер // Минералогический журнал. 1986. Т. 8. № 4. С. 69–73.
15. *Смит К.Б., Буланова Г.П., Ушков В.В., Эндрюс Д.Л.* Ограничения в использовании химического состава минералов-индикаторов при прогнозировании алмазов // Региональная геология и металлогения. 2006. № 27. С. 150–157.
16. *Соболев Е.В.* Азотные центры и рост кристаллов природного алмаза // Проблемы петрологии земной коры и верхней мантии. Новосибирск, 1978. С. 245–255.
17. *Соболев Е.В., Ленская С.В.* О проявлении «газовых» примесей в спектрах природных алмазов // Геология и геофизика. 1965. № 2. С. 157–159.
18. *Хачатрян Г.К.* Усовершенствованная методика оценки концентраций азота в алмазе и ее практическое применение // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы АК «АЛРОСА». Современное состояние, перспективы, решения. Мирный, 2003. С. 319–322.
19. *Banas A., Stachel T., Muehlenbachs K., McCandless T.* Diamonds from the Buffalo Head Hills, Alberta: formation in a non-conventional setting // Lithos. 2005. Vol. 83. P. 265–278.
20. *Bursill L.A., Glaisher R.W.* Aggregation and dissolution of small and extended defect structures in type I a diamond // Amer. Miner. 1985. Vol. 70. P. 608–618.
21. *Cartigny P., Harris J.W., Javoy M.* Diamond genesis, Mantle fractions and mantle nitrogen content: a study of $\delta^{13}\text{C}$ -N concentrations in diamonds // Earth and Planet. Sci. Lett. 2001. Vol. 185. P. 85–98.
22. *Cartigny P., Stachel T., Harris J.W., Javoy M.* C- and N-stable isotope Characteristics of Diamonds from Namibia // Intern. Kimberlite Conf. 8. Kimberlite conf. 2003.
23. *Cartigny P., Harris J.W., Javoy M.* Eclogitic diamond formation at Jwaneng; no room for a recycled component // Science. 1998. Vol. 280. P. 1421–1424.
24. *Chinn I., Pienaar C., Kelly C.* Diamond growth histories at Premier mine // 8-th Intern. Kimberlite Conf. Long Abstract. Victoria, British Columbia, 2003.

25. *Davies R.M.* The characteristics and origins of alluvial diamonds from the Eastern Australia // Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Sydney, 1998.
26. *Davies R.M., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Doyle B.J.* Geochemical characteristics of microdiamond from kimberlites at Las de Gras, Central Slave Craton // 8-th Intern. Kimberlite Conf. Long Abstract. Victoria, British Columbia, 2003.
27. *Deines P., Harris J.W., Gurney J.J.* Associated chemical and carbon isotopic composition variations in diamonds from Finsch and Premier kimberlite, South Africa // *Geochim et Cosmochim. Acta.* 1984. Vol. 48. № 2. P. 325–342.
28. *Deines P., Harris J.W., Gurney J.J.* Carbon isotopic composition, nitrogen content and inclusion composition of diamonds from the Roberts Victor Kimberlite, South Africa; evidence for super ^{13}C depletion in mantle // *Geochim et Cosmochim. Acta.* 1987. Vol. 51. № 5. P. 1227–1243.
29. *Deines P., Harris J.W., Spear P.M., Gurney J.J.* Nitrogen and ^{13}C content of Finsch and Premier diamonds and their implications // *Geochimica and cosm acta.* 1989. Vol. 53. P. 1367–1378.
30. *Deines P., Harris J.W., Gurney J.J.* The carbon isotopic composition and nitrogen content of lithospheric and asthenospheric diamonds from the Jagersfontein and Koffifontein Kimberlite, South Africa // *Geochim et Cosmochim. Acta.* 1991. Vol. 55. № 5. P. 2615–2625.
31. *Deines P., Harris J.W., and Gurney J.J.* Depth-related carbon isotope and nitrogen concentration variability in the mantle below the Orapa kimberlite, Botswana, Africa // *Geoch. et Cosmoch. Acta.* 1993. Vol. 57. P. 2781–2796.
32. *Diamonds from the Guaniamo area, Venezuela / F.V.Kaminsky, O.D.Zakharchenko, W.L.Griffin et al.* // *Can. Mineralogist.* 2000. Vol. 38. P. 1347–1370.
33. *Distribution and characteristics of diamond from Myanmar / T.T.Win, R.M.Davies, W.L.Griffin et al.* // *Journal of Asian Earth Sciences.* 2001. Vol. 19. P. 563–577.
34. *Evans T.* Aggregation of nitrogen in diamond // The properties of natural and synthetic Diamond. Acad. Press. London, 1992. P. 259–290.
35. *Hayman P., Kopylova M., Kaminsky F.* Alluvial diamonds from the Rio Soriso (Juina, Brazil) // 8-th Intern. Kimberlite Conf. Long Abstract. Victoria, British Columbia, 2003.
36. *Kaminsky F.V., Khachatryan G.K.* Characteristics of nitrogen and other impurities in diamond, as revealed by infrared absorption data // *Canad. Mineralogist.* 2001. Vol. 39. P. 1733–1745.
37. *Kaminsky F.V., Khachatryan G.K.* The relationship between the distribution of nitrogen impurity centers in diamond crystals and their internal structure and mechanism of growth // *Lithos.* 2004. Vol. 77. № 1–4. P. 255–271.
38. *Kaminsky F.V., Zakharchenko O.D., Khachatryan G.K., Shiryayev A.A.* Diamond from the from the Coromandel Area, Minas Gerais, Brazil // *Revista Brasileira de Geoc.* 2001. Vol. 31. P. 583–596.
39. *Kaminsky F.V., Zakharchenko O.D., Khachatryan G.K.* Diamond from the from the Los Coquitos Area, Venezuela // *Can. Mineralogist.* 2006. Vol. 44. P. 661–674.
40. *Meyer H.O.A., Milledge H.J., Sutherland F.L., Kennewell P.J.* Unusual diamonds and unique inclusions from New South Wales, Australia // Sixth Internat. Kimberlite Conf. Extended Abstr. Novosibirsk, August 1995. P. 379–380.
41. *Mineral inclusions in diamond from the Slave Province, Canada / R.Tappert, T.Stachel, J.W.Harris et al.* // *European Journ of Mineralogy.* 2004.
42. *Richardson S.Y., Harris J.W.* Antiquity of peridotitic diamonds from the Siberian craton // *Earth and Planet. Sci. Let.* 1997. Vol. 151. P. 271–277.
43. *Scarratt K. & Fritsh E.* A note on diamond types // *Gems & Gemology, Spring.* 1992. P. 38–42.
44. *Stachel T., Harris J.W.* Singenetic inclusions in diamond from the Birim field (Ghana)-a deep peridotitic profile with a history of depletion and re-enrichment // *Contr. Mineral. Petrol.* 1997. Vol. 127. P. 336–352.
45. *Stachel T., Harris J.W., Tappert R., Brey G.P.* Peridotitic diamonds from the Slave and Kaapval cratons-similarities and differences based on a preliminary data set // *Lithos.* 2003. Vol. 71. P. 489–503.
46. *Super-deep diamonds from the Juina area, Mato Grosso State, Brazil / F.V.Kaminsky, O.D.Zakharchenko, R.Davies et al.* // *Contr. Mineral. Petrol.* 2001. Vol. 140. P. 734–753.
47. *Taylor W.R., Jaques L.A., Ridd M.* Nitrogen-defect aggregation characteristics Australian diamonds: Time-temperature constraints on the source regions of pipe and alluvial diamonds // *Amer. Miner.* 1990. Vol. 75. P. 1290–1310.
48. *Taylor W.R., Gurney J.J., Milledge H.J.* Nitrogen aggregation and cathodoluminescence characteristics of Diamond from the Point Lake kimberlite pipe, slave province, NWT Canada // Sixth Internat. Kimberlite Conf. Extended Abstr. Novosibirsk, August 1995. P. 620–622.
49. *Taylor W.R. & Milledge H.J.* Nitrogen aggregation character, thermal history and stable isotope composition of some xenolith-derived diamonds from Roberts Victor and Finch // Sixth Internat. Kimberlite Conf. Extended Abstr. Novosibirsk, August 1995. P. 620–622.
50. *Viljoen K.S. (Fanus)* An infrared investigation of inclusions-bearing diamonds from Venetia kimberlite, Northern Province, South Africa: implications for diamonds from craton-margin settings // *Contr. Miner. Petrol.* 2002. Vol. 144. P. 98–108.
51. *Westerlund K., Hauri E.H., Gurney J.J.* FTIR absorption and stable nitrogen and carbon isotope microanalysis of Mid-Archaeal diamonds from the Panda kimberlite // 8-th Intern. Kimberlite Conf. Long Abstract. Victoria, British Columbia, 2003.
52. *Yakovovsky K., Adriaenssens G.J.* Optical characterization of natural Argyle diamonds // *Diamonds and Related Materials.* 2002. № 11. P. 125–131.

550.84:553.411

© В.Б.Чекваидзе, С.А.Миляев, И.З.Исакович, 2010

ПОРОДНО-МИНЕРАЛЬНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ АНОМАЛИИ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ ПОЛЯХ И ИХ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

В.Б.Чекваидзе, С.А.Миляев, И.З.Исакович (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Методика идентификации геохимических аномалий основана на комплексном анализе околорудных метасоматических, минералогических и геохимических (элементных и ионных) ореолов как на эндогенном уровне, так и в зоне гипергенеза. Методика базируется на поисковых петрографо-минералого-геохимических моделях ожидаемых рудных объектов и разработанных на их основе комплексах поисково-оценочных критериев.

Ключевые слова: методика, рудный объект, петрографо-минералого-геохимические модели, геохимические аномалии.

Чекваидзе Виктор Борисович, Миляев Сергей Анатольевич, Исакович Ирина Зигмундовна, metallogeny@tsnigri.ru

Prognostic and prospecting interpretation of petrographic-mineral-element anomalies of gold-bearing fields

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

The technique of identification of geochemical anomalies based on the complex analysis of near-ore metasomatic, mineralogical and geochemical (element and ionic) halos both in endogenous and in hypergene zones is considered. The technique is based on prospecting petrographic-mineralogic-geochemical models of expected ore deposit and on the complexes of prospecting and estimated criteria worked out on either basis.

Key words: technique, ore deposit, petrographic-mineralogic-geochemical models, geochemical anomalies.

На территории Российской Федерации в настоящее время выявлено огромное число геохимических, минералого-геохимических и минералогических аномалий, провести массовую заверку которых горными выработками и скважинами не представляется возможным. В связи с этим проблема разбраковки, интерпретации и оценки аномалий без проведения дорогостоящих работ представляется весьма актуальной.

В то же время, многие из выявленных аномалий сопровождаются минеральными и породными новообразованиями, что существенно расширяет спектр индикаторов оруденения с охватом различных уровней организации вещества в виде околорудных метасоматических, минералогических и геохимических ореолов. Преимуществом их комплексного исследования является возможность суммирования «поисковых вкладов» указанных трех независимых групп критериев с существенным повышением достоверности прогнозных оценок. Методика апробировалась на золоторудных объектах ведущих формационных типов [2] Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, Центрально-Колымского региона, Северного и Восточного Казахстана, Узбекистана, Урала, Закарпатья и в ряде случаев способствовала выделению новых рудоносных площадей и вскрытию ранее неизвестных рудных тел [8].

Базисом рассматриваемой методики служат поисковые многофакторные (петрографо-минералого-геохимические) модели рудных объектов, ожидаемых на исследуемой площади. Модели строятся

на основе имеющихся эталонных месторождений, а в случае отсутствия таковых или при выходе на новые площади с учетом уже разработанных обобщенных моделей формационных типов оруденения.

Модельные характеристики околорудных метасоматических ореолов включают формационный тип, минеральный состав главных породобразующих ассоциаций, стадийность (этапность), латеральную и вертикальную зональность [3], особенности проявления объектов различного ранга и масштаба.

К ведущим параметрам минералогических ореолов относятся минеральный состав, стадийность минералообразования, текстурно-структурные характеристики минеральных агрегатов, кристалломорфологические — отдельных минералов, различные типоморфные — минералов (цветовая гамма, вариации в содержании основных и второстепенных компонентов и др.) [1].

Параметры эндогенных геохимических ореолов включают элементный состав аномалии, геохимический спектр аномального поля, коэффициент формационной принадлежности, геохимические показатели вертикальной, латеральной и продольной зональности, количественные характеристики аномального геохимического поля (линейные, площадные, удельные продуктивности ореолов) [5, 6].

Составление комплексных моделей осуществляется по следующей схеме: составление опорных сечений по эталонному объекту с разноской всех видов минералого-геохимической информации; построение графической модели рудного объекта; со-

ставление сводных таблиц поисково-оценочных критериев.

Материалы по опорным сечениям являются базисными для всех последующих модельных построений. Именно на этих материалах проводится подразделение ореольного пространства на серии латеральных и вертикальных зон, выявляются коррелирующие признаки, визуально оценивается их относительная информативность, намечаются массивы для математических расчетов количественных характеристик ореолов.

Графическая модель эталонного объекта отражает наиболее общие черты отдельных групп параметров (околорудных метасоматических, минералогических, геохимических) с той или иной степенью абстрагирования от конкретных значений. В большинстве своем графическая модель носит иллюстративный характер, хотя по ряду позиций она представляется весьма важной для восприятия и целенаправленного применения поисково-оценочных критериев.

Обычно для составления модели привлекается наиболее изученный разрез через месторождение (при необходимости возможно использование плана поверхности и погоризонтных планов). На разрез выносятся наиболее информативные черты каждого вида ореолов с их вариациями в зависимости от положения в латеральной и вертикальной зональности. Применительно к околорудным метасоматическим параметрам в качестве модельных характеристик обычно используются группы измененных пород, обладающих индикационными свойствами по отношению к различным зонам. Аналогичным образом выбираются определенные ассоциации минералов и элементов. Проводится реставрация эродированной части месторождения с отображением реальных или предполагаемых надрудных продуктов. Примеры графических моделей представлены в работе [8].

Комплект таблиц поисково-оценочных критериев — основной инструмент при переходе к интерпретации и оценке аномалий. При этом преследуется достижение следующих целей: идентификация ожидаемого типа оруденения и ранга ожидаемого рудного объекта; приближение к местам рудо-локализации по латерали; оценка уровня эрозионного среза и направления приближения к рудному объекту на глубине; оценка масштаба оруденения. Последние три позиции могут быть дифференцированы в зависимости от ранга рудного объекта (месторождения, рудного тела и т.д.).

Разновидностью поисковой модели является статистическая модель, представляющая собой обобщенное пространственно упорядоченное трех-

мерное изображение содержаний типоморфных метасоматитов, минералов и надфоновых содержаний рудных элементов. В основе этого вида модели лежат данные детального изучения эталонных месторождений, хорошо вскрытых по латерали и на глубину. Методика и примеры их построения описаны ранее [8]. Здесь же отметим, что модели данного вида позволяют получить более точную количественную оценку местоположения скрытого оруденения по латерали и вертикали (в пределах ореольного пространства), уровня эрозионного среза аномалий и прогнозных ресурсов выявляемого рудного объекта.

Выведение эндогенных индикаторов в зону гипергенеза при модельных построениях осуществляется путем изучения сопряженных профилей, включающих детально откартированные и опробованные (по канавам, скважинам и т.д.) эндогенные минералого-геохимические ореолы и располагающиеся непосредственно над ними профили опробования рыхлых образований по выработкам или по поверхности.

В зоне гипергенеза околорудные метасоматические и минералогические ореолы устанавливаются и изучаются при исследовании обломочной фракции (1–3 мм) проб из элювиоделювиальных образований. Указанная фракция скрепляется цементирующим веществом (полистирол, эпоксидная смола и др.) до состояния твердого брикета, из которого готовятся шлифы и аншлифы. Брикет-шлифы и брикет-аншлифы, включающие не менее 10 обломков пород (обычно 20–30), с высокой достоверностью фиксируют нижележащие зоны метасоматитов и минералогических ореолов при мощности элювиоделювия до 6–8 м [8].

При изучении литохимических ореолов отсчитывается фракция <1 мм, которая направляется на эмиссионный спектральный и атомно-абсорбционный анализы на Au, Hg.

При поисковых работах в зоне гипергенеза весьма перспективен ионно-потенциометрический метод, основанный на применении ионно-селективных электродов [7] на широкий круг ионов — NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , NO_3^- , I^- , Cl^- , Br^- и др., а также потенциалов pH и Eh. Для анализа подготавливается породная суспензия из фракции <0,25 мм путем смачивания ее дистиллированной водой в отношении 1:1. Метод характеризуется дешевизной, высокой экспрессностью (до 80–100 проб за смену), возможностью получения данных непосредственно в полевых условиях.

Применение метода основано на существовании в верхних (почвенных) горизонтах элювиоделювия слабых солевых ореолов, связанных с погребенной эндогенной минерализацией. Происхожде-

ние ореолов обусловлено, в первую очередь, биогенной и сорбционной аккумуляцией химических элементов в почвенном слое. Обменные химические реакции, гидратация и сорбция ведут к «закреплению» солевого ореола, придавая ему свойства устойчивого геологического образования. При смачивании исходной пробы водой часть солевого ореола переходит в раствор и может быть проанализирована.

Проведенные исследования позволили установить устойчивые связи определенных групп ионов и потенциалов с определенными типами золотого оруденения [4]. Так, для золото-кварцевого и золото-сульфидного оруденения в углеродистых терригенных толщах наиболее характерны аномалии pH/Eh , для вулканогенных золото-серебряных месторождений — аномалии NH_4^+ , для объектов золото-сульфидно-кварцевой формации в интрузивных и метаморфических породах — K^+ , Na^+ , NH_4^+ , причем положение рудных тел наиболее отчетливо определяется с помощью мультипликативного показателя $(K^+ \cdot NH_4^+) / Na^+$ [9].

Особое значение ионно-потенциметрический метод имеет при поисках в закрытых районах при большой мощности рыхлого (в том числе и аллохтонного) чехла, когда остальные минералого-геохимические методы оказываются не эффективными.

В некоторых случаях ионно-потенциметрические ореолы оконтуривают с поверхности рудные тела в близком соответствии с данными по первичным и вторичным геохимическим ореолам. На ряде месторождений вулканогенного золото-серебряного типа наблюдается тесная корреляционная зависимость запасов металлов в рудных телах от количества аммония во вторичных ореолах. Эти и другие данные позволяют в определенных условиях проводить разработку геохимических аномалий и участков рудопроявлений на основе только ионно-потенциметрических съемок (без минералого-геохимического опробования).

Обращаясь к интерпретации и оценке геохимических аномалий, необходимо отметить, что рас-



Схема применения комплексной петрографо-минералого-геохимической методики при интерпретации и оценке геохимических аномалий

сматриваемая методика предполагает как последовательное укрупнение масштаба поисковых работ на аномалиях (от 1:50 000 к 1:10 000 и крупнее), так и разработку аномалий, обнаруженных при различных крупномасштабных съемках по вторичным и первичным ореолам.

Схема работ по первому из названных вариантов приведена на рисунке. В результате площадной литохимической съемки по вторичным ореолам выявляются аномалии, отвечающие рангам потенциальных рудных полей и крупных месторождений. Рудные поля дифференцируются на отдельные аномальные участки, соответствующие месторож-

дениям и служащие исходными объектами последующих исследований.

На этих объектах осуществляется комплексное минералого-геохимическое опробование по 2–3 профилям вкрест господствующего простирания рудоконтролирующих геологических структур. По результатам ионно-потенциметрического анализа уже в полевых условиях возможны оконтуривание рудоносного участка с выявлением деталей его внутреннего строения, предварительное определение генетической природы аномалии. При достижении положительных результатов возможен переход к геохимическим съемкам м-ба 1:10 000. При отсутствии таковых или в случае неопределенных данных используются материалы изучения всех трех видов ореолов в зоне гипергенеза (околорудных метасоматических, минералогических и геохимических), проводится последующее сопоставление с моделью эталонного объекта.

По результатам комплексного изучения аномалии производится ее интерпретация, разбраковка и оценка с заключением о степени перспективности и необходимости вскрытия горными выработками и скважинами. На данном этапе может возникнуть необходимость уточнения местоположения потенциальных рудоносных зон, и перед вскрытием аномалии осуществляются литохимическая съемка участка в м-бе 1:10 000–1:5000.

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

Помимо данного варианта использования методики, при котором последовательно укрупняются масштабы работ, возможна отработка аномальных полей, выделенных при любых видах крупномасштабных съемок (крупнее 1:50 000), с соответствующей ориентацией на выявление рудного объекта определенного ранга и применением необходимого комплекса критериев согласно позиции исследуемой аномалии в приведенной на рисунке схеме.

В заключение отметим преимущества приведенной комплексной методики по сравнению с традиционными приемами разбраковки геохимических аномалий:

повышается достоверность прогнозных оценок за счет суммирования данных, полученных различными методами;

появляется возможность взаимопроверки результатов, полученных при использовании четырех независимых групп критериев, относящихся соответственно к породному, минеральному, элементному и ионному уровням организации вещества;

возможна опережающая оценка аномальной площади непосредственно в поле путем использования ионно-потенциметрического метода. Последний эффективен и в условиях закрытых территорий с развитием резко ослабленных наложенных ореолов;

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

Дальнейшее развитие комплексной методики может быть связано с расширением круга высокоэффективных индикаторов оруденения в пределах каждой из используемых групп критериев, а также с совершенствованием методов математической обработки больших массивов качественной и количественной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Исакович И.З.* Ореолы нерудной прожилковой минерализации на полиметаллических и золоторудных месторождениях и их прогнозно-поисковое значение. – М.: Бородино-Е, 2009.
2. *Константинов М.М.* Золоторудные провинции мира. – М.: Научный мир, 2006.
3. *Метасоматизм и метасоматические породы* / В.А.Жариков, В.Л.Русинов, А.А.Маракушев и др. – М.: Научный мир, 1998.
4. *Миляев С.А., Чекваидзе В.Б.* Применение ионо-потенциметрического метода при поисках золоторудных месторождений в терригенно-сланцевых толщах (на примере Центральной Колымы) // Отечественная геология. 2007. № 4. С. 52–59.
5. *Овчинников Л.Н.* Прикладная геохимия. – М.: Недра, 1990.
6. *Соловов А.П.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1985.
7. *Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых* / Под ред. А.П.Соловова. – М.: Недра, 1990.
8. *Чекваидзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З.* Комплексная петрографо-минералого-геохимическая методика поисков золоторудных месторождений. – М.: Бородино-Е, 2004.
9. *Чекваидзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З.* Комплексная петрографо-минералого-геохимическая методика при интерпретации и оценке литохимических аномалий золоторудных полей // Разведка и охрана недр. 2009. № 5. С. 33–37.

ПАМЯТИ ВЛАДИСЛАВА МИХАЙЛОВИЧА ЯНОВСКОГО

14 января 2010 г. на 76-м году жизни скончался доктор геолого-минералогических наук, профессор, старший научный сотрудник отдела благородных металлов ЦНИГРИ **Владислав Михайлович Яновский**.

В.М.Яновский работал в ЦНИГРИ с 1961 г. Изучал геологию золоторудных месторождений Южного Урала, Восточного Казахстана, Верхне-Амурской области, Енисейского края, Ленской провинции, Центральной Колымы, Якутии. Его труды, посвященные разработке современной научно-методологической основы прогнозирования, поисков и оценки месторождений золота, способствовали успешной реализации многолетних геологоразведочных программ в этих регионах. При участии В.М.Яновского даны прогнозные оценки и обоснованы направления геологоразведочных работ по ряду рудных полей, новых перспективных районов, золоторудных провинций, получившие подтверждение при поисково-оценочных работах. За цикл работ «Разработка и внедрение прогрессивных методов и технологии поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов» коллективу авторов с участием В.М.Яновского присуждена премия Мингео СССР (1987 г.)



Его исследования по проблемам золотоносности черносланцевых толщ получили признание широкого круга геологов. Для Северо-Востока России им разработаны методологические приемы оценки перспектив крупных территорий, основанные на синтезе разномасштабной информации, а также использовании геодинамических, геолого-геофизических и других моделей.

В.М.Яновский был экспертом ГКЗ СССР, ЦКЗ Мингео РСФСР, Мингео СССР в Йемене и Эфиопии, куратором по рудному золоту Якутии, членом экспертного научно-технического совета Мингео СССР. Участвовал во многих отечественных и международных совещаниях, проводившихся АН СССР и Мингео СССР, регулярно читал лекции по геологии месторождений золота на курсах повышения квалификации при Мингео РСФСР. Его общественно-научная и воспитательная деятельность на посту ученого секретаря Совета по защите кандидатских и докторских диссертаций способствовала становлению нового поколения ученых, сохранению и развитию научных традиций школы ЦНИГРИ.

Светлая память о Владиславе Михайловиче Яновском навсегда сохранится у его коллег-геологов.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

ДИСКУССИИ

УДК [550.42:553.41/.42]:553.9 (571.5/.6)

© В.А.Степанов, 2010

СУЩЕСТВУЮТ ЛИ УРАГАННЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗОЛОТА В УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ И СИБИРИ?

В.А.Степанов (НИГТЦ ДВО РАН)

Дискутируется вопрос об ураганных содержаниях золота (десятки грамм на 1 т) в углях ряда месторождений Верхнего Приамурья и Сибири в публикациях авторов из Амурского научного центра ДВО РАН. Ураганные концентрации золота получены авторами пробирным анализом новой разновидности из навески в 1–2 г угля и не подтверждены другими методами. Это вызывает сомнения в их существовании. По данным других авторов, содержания золота в тех же месторождениях на три порядка меньше.

Ключевые слова: золото, угольные месторождения, пробирный анализ.

Степанов Виталий Алексеевич, vitstepanov@yandex.ru

IS THERE THE CONCENTRATION OF GOLD IN COAL DEPOSITS OF VERKHNEE PRIAMURYE AND SIBERIA?

V.A.Stepanov

The question about hurricane gold contents (tens of grams per ton) in coal of some deposits of Verkhnee Priamurye and Siberia is discussed in the papers of the workers from Amur Research Centre of FEB RAS. Hurricane gold concentrations were obtained from 1–2 grams of coal by a new type of assay analysis. This analysis was patented by the same workers. These concentrations were not confirmed by other methods. This fact raises doubts of the existence of hurricane gold concentrations in coal. Besides, in accordance with other workers gold content in the same deposits is less in 3 times.

Key words: gold, coal deposits, assay analysis.

Ураганными или «фантастическими» названы В.В.Серединым [12] средние содержания Au в четырех месторождениях угля Верхнего Приамурья, г/т: Свободненском — 15, Сергеевском — 17, Огоджинском — 30, Райчихинском — 53. В отдельных пробах этих месторождений исследователи Амурского научного центра ДВО РАН В.М.Кузьминых и А.П.Сорокин [3] определили содержание Au от 5 до 100 г/т. Данные получены запатентованным авторами пробирным анализом, позволяющим предотвратить потери золота от улетучивания при горении угля.

Запасы угля на перечисленных месторождениях известны [5]. Они меняются от сотен тысяч (Огоджинское, Сергеевское) до первых миллионов (Свободненское) и десятков миллионов тонн (Райчихинское). Можно подсчитать и ресурсы содержащегося в них золота. Они будут составлять от первых тонн (Огоджинское и Сергеевское месторождения) до десятков тонн (Свободненское) и первых тысяч тонн (Райчихинское). Все бы ничего, но ресурсы угля Амурской области составляют 72 млрд. т [12], что при указанных выше средних

содержаниях приводит к фантастическим ресурсам золота в угольных месторождениях Приамурья. Это, на наш взгляд, не может не заинтересовать геологов, изучающих месторождения золота, и промышленников.

Но так ли это на самом деле? Вопрос не праздный. Если да, то всю золотодобывающую промышленность, и не только Амурской области, надо срочно переводить на добычу золота из углей. Запасов хватит на сотни лет. К тому же, легко прикинуть, сколько стоит одна тонна угля, содержащая 15 или 50 г/т Au, при нынешней стоимости последнего >30 дол/т.

Заинтересовавшись этим вопросом, автор несколько лет назад выполнил обзор существующих представлений о золотоносности угольных месторождений Сибири и Дальнего Востока [11]. В многочисленных публикациях исследователей из институтов РАН (ИГЕМ, ГЕОХИ, ДВГИ), Томского политехнического университета, ДВИМС и других организаций показано, что в углях содержания Au колеблются от 1,2 до 5,6 мг/т, редко превышая 10 мг/т. Повышенные содержания Au до 1 г/т, на-

пример, в Павловском бурогольном месторождении Приморья связываются В.В.Серединым [7] с наложенной на угли гидротермальной деятельностью. Концентрации Au в золе, получаемой от сгорания углей, гораздо выше, чем в углях, и достигают иногда 1 г/т, что свидетельствует о низкой летучести золота при горении углей. Содержания Au в углях >1 г/т редки и в каждом отдельном случае требуют тщательной проверки.

Казалось бы, что проблема очевидна и заключается в систематическом завышении содержаний Au на три (!) порядка сотрудниками АмурНЦ ДВО РАН, пользующихся оригинальной, но не апробированной в других лабораториях разновидностью пробирного анализа. Подтверждение данных другими видами анализа отсутствует. Несмотря на это, в 2007 г. появляется очередная статья указанных авторов в соавторстве с Л.В.Эйришем в журнале «Тихоокеанская геология» [10], а в 2009 г. — в журнале Доклады академии наук [8] и серия тезисов в сборнике «Плаксинские чтения» [4, 9].

В статье [10] главным образом дан обзор существующих представлений о благороднометальном оруденении в углеродистых формациях. Определениям содержаний Au в углях посвящен лишь один абзац: «В Приамурье авторами определено (в 400 пробах) Au в бурых углях Ерковецкого, Сергеевского, Райчихинского, Свободненского и Хоронорского (Забайкалье) месторождений [21]. Содержание Au в углях — от 1 до 20 г/т, в единичных пробах и более (до 58,7 г/т, Ерковецкое месторождение)». В середине абзаца сделана ссылка на предыдущую работу авторов 2004 года. Но в той работе речь идет о другом числе проб (120) и отличающемся наборе угольных месторождений. В новой публикации исчезло Огоджинское месторождение и появились два новых — Хоронорское и Ерковецкое. Изменились и пределы содержаний Au: от 5 до 100 г/т в первой статье и от 1 до 20 г/т во второй. Под сомнением и среднее содержание Au в углях Райчихинского месторождения, составляющее по данным первой статьи 53 г/т, в то время как во второй указан верхний предел содержаний Au 20 г/т. Впрочем, подобные нестыковки, похоже, совсем не смущают авторов этих двух публикаций и объяснением их они себя не озадачивают.

В работе [8] сообщается об изучении золотоносности углей ряда разновозрастных бурогольных месторождений Приморья и Приамурья, а также красноярских и хоронорских углей из поставок на ТЭЦ г. Благовещенска. Выполнено более 3000 пробирных анализов. «Содержание Au (г/т) в углях приведенных выше месторождений (в пробах массой 1–2 г) менялось в следующих пределах: Крас-

ноярское 4,5–20,0, Райчихинское 2,5–9,0, Павловское (Приморье) 9,0–35,0, Хоронорское 4,2–14,3, Ерковецкое 6,0–12,0. При этом во всех типах углей отмечается аномально высокое содержание Au; например, в 42 (14%) из 300 анализов красноярских углей от 15 до 117 г/т». Подчеркнем, что красноярские и хоронорские угли опробовались из поставок на ТЭЦ, поэтому геологической привязки этих проб нет и проверка их золотоносности исключается. В отличие от первой статьи содержания Au на Райчихинском месторождении значительно занижены: в первой статье среднее — 53 г/т, в третьей — от 2,5 до 9 г/т.

В тезисах докладов, помещенных в сборнике «Плаксинские чтения – 2009», группой авторов Амурского научного центра во главе с В.М.Кузьминых и А.П.Сорокиным сообщается следующее:

анализ углей на золото, проводимый пробирными методами в лаборатории АмурНЦ ДВО РАН по разработанной и запатентованной методике, дает высокие надежные результаты [4];

концентрации Au в углях кайнозойских бурогольных месторождений Приамурья колеблются от 4–5 до 100 г/т, но в большинстве своем (70–80%) составляют 2–7 г/т [9];

природные угли некоторых месторождений Дальнего Востока содержат богатый набор микроэлементов, в том числе Au (от 2 до 20 г/т) [4].

Обращает на себя внимание то, что содержания Au в углях <2 г/т не приводится, т.е. все проанализированные угли месторождений Приамурья, Приморья, Забайкалья и Красноярского края являются богатой рудой на золото. Остаются под вопросом пределы колебаний содержаний Au в углях: от 2 до 20 или от 4–5 до 100 г/т. К тому же, если нижний предел, указанный в одном из тезисов, 4–5 г/т, то как может быть в той же выборке 2 г/т. Подобная небрежность характерна почти для всех рассматриваемых статей. Декларируемые авторами «высокие и надежные результаты» не подтверждены другими видами анализов углей ни в лабораториях АмурНЦ, ни в других организациях. Исключение составляют ссылки на атомно-абсорбционные анализы Покровского рудника. Анализы сделаны по хлоридным растворам, полученным мокрым сжиганием углей с переосаждением Au на чистый активированный уголь, и повторены мокрым сжиганием этого угля [10]. Непосредственно угли в лаборатории Покровского рудника не анализировались.

Ссылок на данные других исследователей, изучавших золотоносность углей тех же месторождений, нет. Однако работы в этом направлении проводились и проводятся. Наиболее полные данные по золотоносности углей Дальнего Востока и Камчат-

ки содержатся в работах И.В.Китаева из института ДВГИ ДВО РАН [1, 2]. В них приведены сотни и тысячи анализов углей на золото нейтронно-активационным методом. Показано, что средние содержания Au в углях Дальнего Востока составляют, мг/т: в каменных углях 5, их золе 17, бурых углях 4, золе 19 [1]. В угольных месторождениях Приамурья содержания Au колеблются от 2,4 до 4,7 мг/т, увеличиваясь в золе до 15,2–27,5 мг/т [2]. То есть на три порядка меньше, чем в работах А.П.Сорокина и В.М.Кузьминых с соавторами.

Несколько выше содержания Au в углях Приамурья по данным В.Г.Моисеенко, В.И.Радомской, С.М.Радомского и Н.В.Моисеенко из ИГИП Амурского научного центра [6]. По результатам атомно-абсорбционных определений они составляют, (мг/т): Райчихинское месторождение — 15, Огоджинское — 22, Свободненское — 16, Ерконецкое — 16, Богучанское — 13, среднее содержание в углях 16,4. Таким образом, по данным указанных исследователей ДВГИ и ИГИП ДВО РАН золотосодержание углей на три порядка меньше, чем по данным А.П.Сорокина и В.М.Кузьминых с соавторами из Амурского научного центра.

Судя по статьям, коллектив АмурНЦ, возглавляемый А.П.Сорокиным, претендует на открытие российского, если не мирового, значения. Положительная сторона исследований — наличие запатентованного метода определения золота в углях, исключаяющего, по мнению авторов, потери золота при горении. Слабости очевидны. Во-первых, это отсутствие фундаментальности исследований. В статьях не показаны конкретные разрезы опробуемых угольных месторождений. Неясно, какая часть пласта опробовалась — кровля, средняя часть или подошва. Не опробовались вмещающие породы, не указано есть ли на угольных месторождениях признаки гидротермальной деятельности. Не приводятся ни состав, ни марка, ни степень зольности углей, ни наличие элементов-примесей. Создается впечатление, что большая часть опробованных углей набрана из отвалов ТЭЦ г. Благовещенска.

Во-вторых, запатентованная методика не апробирована в других лабораториях. Оборудование пробирной лаборатории АмурНЦ, в которой анализировались угли, в значительной степени изношено, требует доукомплектации и замены, согласно акту комиссии по комплексной проверке Амурского научного центра весной 2009 г. Указаний на аттестацию пробирной лаборатории не имеется.

Указанные навески угля (1–2 г) не являются представительными при опробовании на золото. Полученный при анализе королек настолько мал, что появление его можно объяснить не только золо-

тоносностью угля, но и наличием золота в материале тигля, глете, шихте и других ингредиентах пробирной плавки.

Учитывая приведенные замечания, вероятность средних «ураганных» содержаний Au в угольных месторождениях Приамурья, Сибири и других регионов России весьма сомнительна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Китаев И.В.* Золообразующие и малые элементы углей Дальнего Востока. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1989.
2. *Китаев И.В., Михайлов М.А.* Геохимические закономерности распределения золота и серебра в осадочных породах и углях // Геохимия и минералогия осадочных комплексов Дальнего Востока. Владивосток, 1979. С. 57–76.
3. *Кузьминых В.М., Сорокин А.П.* Миграция и накопление золота при гипергенных процессах // Вестн. ДВО РАН. 2004. № 2. С. 113–119.
4. *Кузьминых В.М., Сорокин А.П., Рождествина В.И., Чурсина Л.А.* Формы нахождения и перераспределения золота по фазам при горении углей // Мат-лы международного совещания «Плаксинские чтения – 2009». Новосибирск, 2009. С. 274.
5. *Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков / И.А.Васильев, В.П.Капанин, Г.П.Ковтунюк и др.* – Благовещенск, 2000.
6. *Моисеенко В.Г., Радомский С.М., Радомская В.И., Моисеенко Н.В.* Благородные металлы в углях Амуро-Зейской и Буреинской депрессий Среднего Приамурья // Докл. РАН. 2008. Т. 422. № 4. С. 533–535.
7. *Середин В.В.* Au-PGE-минерализация на территории Павловского бурогоугольного месторождения Приморья // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 1. С. 46–73.
8. *Сорокин А.П., Кузьминых В.М., Рождествина В.И.* Золото в бурых углях: условия локализации, формы нахождения, методы извлечения // Докл. РАН. 2009. Т. 424. № 2. С. 239–243.
9. *Сорокин А.П., Кузьминых В.М., Рождествина В.И.* Распределение золота в кайнозойских бурых углях Верхнего и Среднего Приамурья // Мат-лы международного совещания «Плаксинские чтения – 2009». Новосибирск, 2009. С. 50–51.
10. *Сорокин А.П., Эйриш Л.В., Кузьминых В.М.* Благороднометальное оруденение в углеродистых формациях (обзор материалов по восточным районам России) // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 5. С. 43–54.
11. *Степанов В.А.* Благородные металлы в угольных месторождениях Сибири и Дальнего Востока // Руды и металлы. 2005. № 3. С. 67–74.
12. *Угольная база России. Т. VI (Сводный, заключительный). Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России.* – М.: ООО «Геоинформмарк», 2004.

УДК 622.7+537.52

© А.В.Подгаецкий, И.Ж.Бунин, С.А.Эпштейн, 2010

КРИОГЕННО-ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА КАМЕННЫХ УГЛЕЙ**А.В.Подгаецкий, И.Ж.Бунин (ИПКОН РАН), С.А.Эпштейн (МГГУ)**

Представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию комбинированной криогенной и электромагнитной импульсной обработки на механические свойства и микроструктуру каменного угля. Показано усиление интенсивности дезинтеграции минеральных сред сложного вещественного состава при электроимпульсном воздействии на стадии предварительной криогенной обработки материала.

Ключевые слова: мощные наносекундные электромагнитные импульсы, криогенная обработка, каменный уголь, микроструктура.

Подгаецкий Андрей Викторович, podgan@mail.ru, Бунин Игорь Жанович, bunin_i@mail.ru, Эпштейн Светлана Абрамовна, apshstein@aha.ru

CRYOGENIC AND ELECTROMAGNETIC PULSED-POWER TREATMENT OF COAL**A.V.Podgaetsky, I.Zh.Bunin, S.A.Apshtein**

The results of experimental investigations about the effects of combined cryogenic and electromagnetic pulsed-power treatment on mechanical and microstructure of coal are represented. The increase of disintegration intensity of mineral media with complex material composition under electric pulsed effect in the stage of previous cryogenic material treatment is shown.

Key words: high-power nanosecond electromagnetic pulses, cryogenic treatment, coal, microstructure.

Исследования последних лет в УРАН ИПКОН РАН по селективной дезинтеграции тонкодисперсных минеральных комплексов наносекундными импульсными воздействиями [1, 6–10] показали целесообразность использования электроимпульсных технологий для обработки широкого спектра геологических материалов. Особое внимание было уделено перспективам применения мощных наносекундных электромагнитных импульсов (МЭМИ) с амплитудой напряженности электрической компоненты поля $\sim 10^7$ В/м при обогащении упорных благороднометалльных руд и промпродуктов. В ряде случаев технологическую упорность руд создают дисперсная форма локализации золота и наличие углистого вещества [4, 11, 12].

С учетом высокой перспективности разработки ряда крупных месторождений углеродистых руд с дисперсными формами содержания благородных металлов [2] было проведено более подробное изучение особенностей воздействия наносекундных электромагнитных импульсов на минеральные включения в составе углеродсодержащих минеральных сред на примере каменных углей [3].

Для тонкодисперсных минеральных комплексов, в которых металлическая частица благородных металлов размером < 10 мкм заключена во вмещающей матрице минерала-диэлектрика (кварц) или минерала-полупроводника (пирит, арсенопирит), основными механизмами процесса селективной дезинтеграции при нетепловом воздействии наносекундных высоковольтных электрических полей являются [6, 8, 10]: разупрочнение минералов вследствие электрических пробоев матрицы, вмещающей тонкодис-

персные металлические частицы; дезинтеграция минеральных агрегатов при локальном импульсном нагреве в связи с возникновением термомеханических напряжений на границе сростков компонентов с различными электро- и теплофизическими свойствами; поглощение электромагнитной энергии наноразмерными частицами благородных металлов, заключенными в диэлектрическую и полупроводящую среду, вследствие скин-эффекта; поглощение энергии мощных наносекундных электромагнитных импульсов в процессе электрических разрядов между частицами минералов-полупроводников в результате автоэмиссии электронов с их поверхности.

В случае пород с высоким процентом содержания органического вещества возможно снижение эффективности воздействия МЭМИ, а также основного процесса извлечения золота — цианирования — из-за экранирующего влияния ископаемой органики. При этом вскрытие руд возможно после активации, приводящей к развитию достаточного числа микронарушений в структуре как органического вещества, так и кристаллических решеток минералов-носителей.

Проведены эксперименты по использованию криогенного воздействия жидким азотом в качестве активирующей обработки каменного угля. Объектами исследования, моделирующими породы с высоким содержанием органической составляющей, выбраны образцы каменных углей с различным содержанием и фазовым составом минеральных включений. Для опытов отобран уголь ПО «Донецкуголь» шахт Кировская (пласт h_8 Пра-

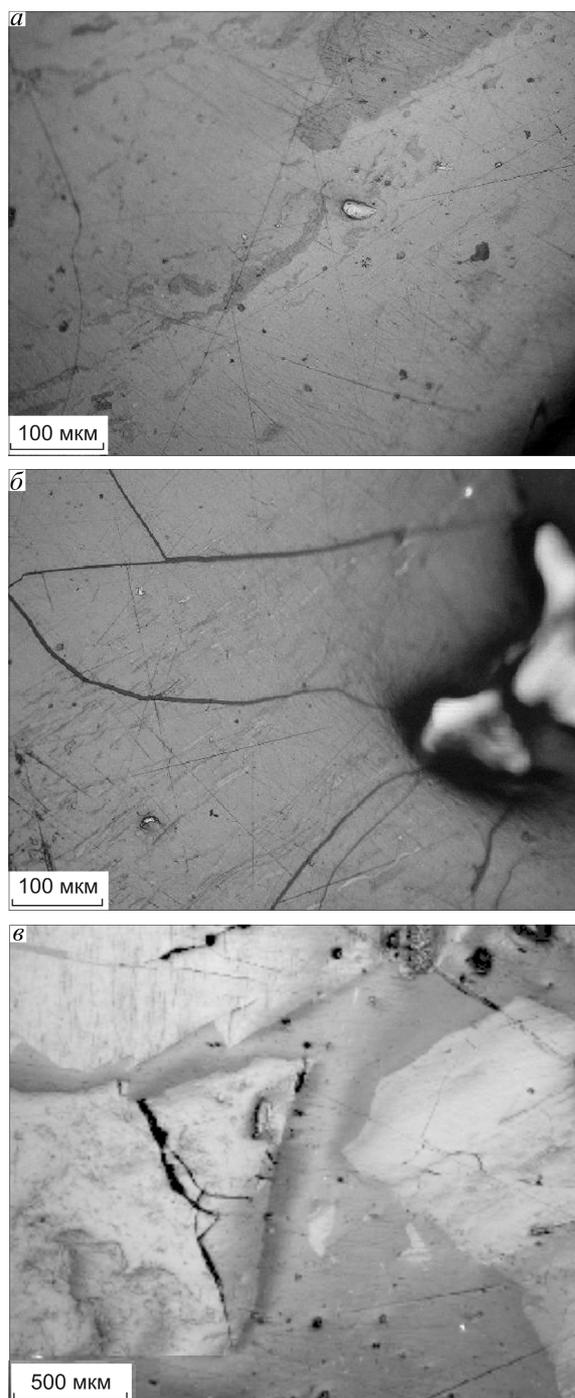


Рис. 1. Изменение состояния поверхности исходного угля (а) в результате криогенной (б) и комбинированной (КР – МЭМИ) (в) обработки, шахта Кировская

сковиевский) и Торецкая (пласты l_7 Пугачевка и l_5 Солёный). Отбор проб в шахте Торецкая проведен с учетом данных рентгенофазового анализа, показавших преобладание сульфидов в составе минеральной части углей пласта Солёный и карбонатных ми-

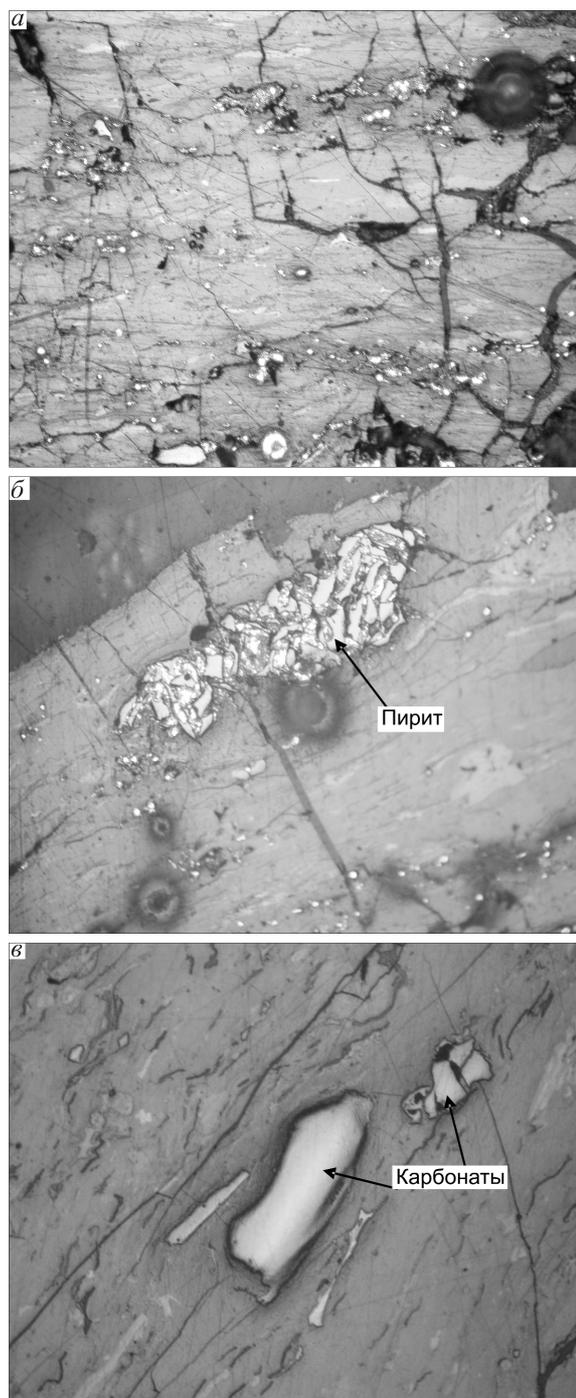


Рис. 2. Влияние комбинированной (КР – МЭМИ, 2 мин) обработки на минеральные включения в угле:

а, б — пирит, пласт Солёный; в — кальцит, пласт Пугачевка

нералов — пласта Пугачевка. В углях шахты Кировская содержатся кварц и каолинит.

Замораживание проводилось погружением навески на 5–10 мин в жидкий азот (-196°C) при атмосферном давлении с последующим оттаиванием до

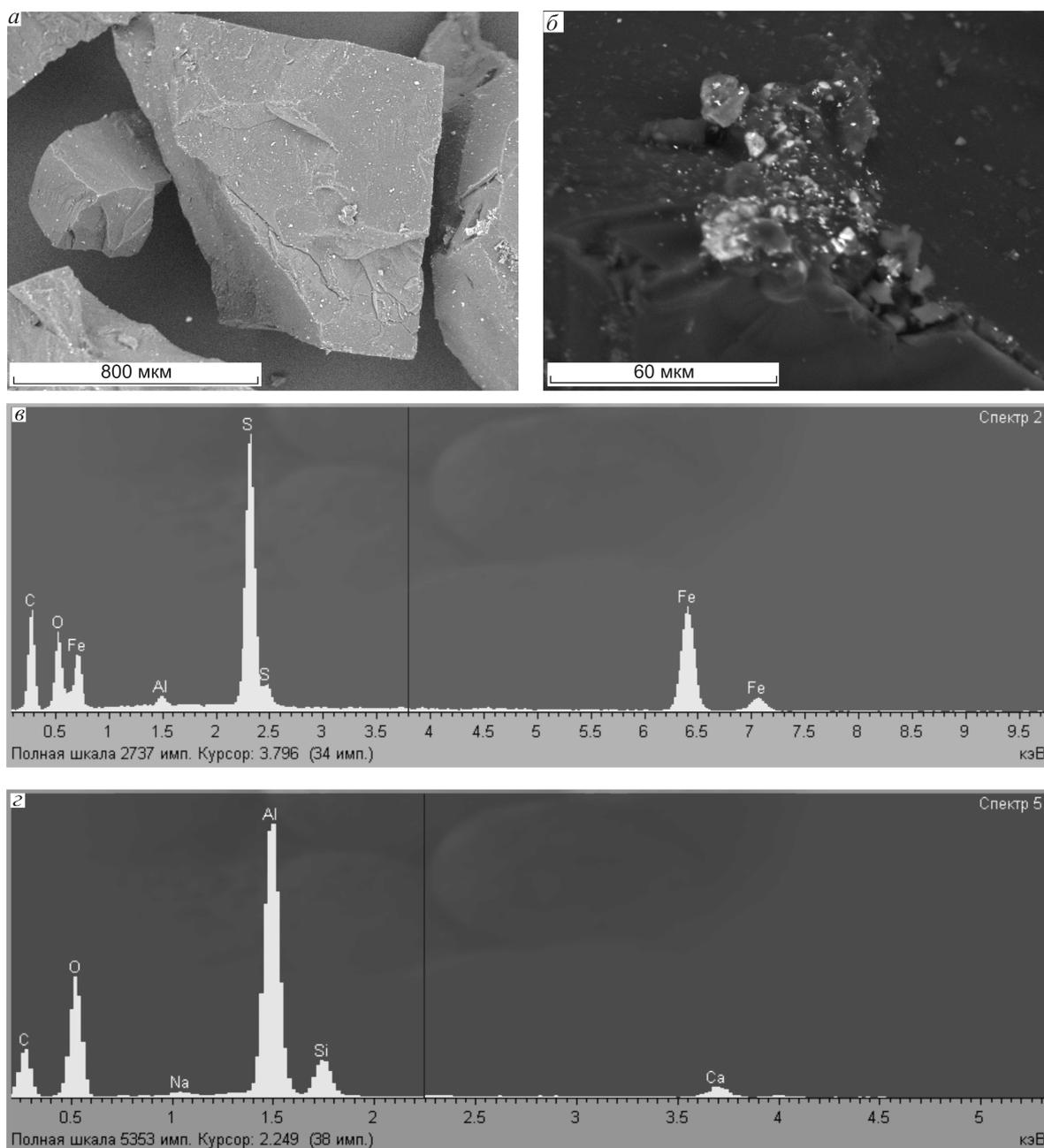


Рис. 3. Поверхность частицы угля пласта Соленый до (а) и после МЭМИ обработки со следами дезинтеграции включений пирита (б); отраженные электроны и соответствующие энергодисперсионные спектры (в, г)

комнатной температуры. Электроимпульсная обработка выполнялась на установке УЭИРМ-1 (УРАН ИПКОН РАН). Навески угля помещались в межэлектродную область генератора наносекундных электромагнитных импульсов с напряженностью электрической компоненты поля $E \sim 5$ МВ/м; частота следования импульсов 100 Гц, максимальное время обработки не превышало 2 мин. Применялись различные комбинации криогенной (КР) и электроимпульсной обработок.

Влияние обработки на фазовый состав и технологические свойства углей контролировалось рентгеновской дифрактометрией (аппарат ДРОН-3,0; CuK_α излучение) и техническим анализом углей. Микроструктуру поверхности частиц угля изучали методами оптической и растровой электронной микроскопии (LEO-1420VP, микроанализатор INCA-Oxford-350). Микротвердость образцов измеряли на микротвердомере ПМТ-3М при нагруз-

1. Влияние обработки на трещиноватость углей, шахта Кировская, пласт h_8

Вид обработки	M , %	Характеристика микротрещин
Уголь исходный	17	Микротрещины на отдельных зернах
МЭМИ	20–25	То же
КР	30–43	«
МЭМИ – КР	40	Большая часть зерен затронута микротрещинами; тип трещин изменяется, появляются тонкие микротрещины
КР – МЭМИ	43	Практически все зерна затронуты трещинами; по всей поверхности зерен преобладают тонкие трещины
КР – МЭМИ – КР	32	Трещины на отдельных зернах, как в исходном угле

ке 20 г по стандартной методике. Микрохрупкость угля определяли по количеству отпечатков с трещинами (ГОСТ 21206-75. Угли каменные и антрацит. Метод определения микротвердости и микрохрупкости) [3].

Результаты, характеризующие влияние различных видов обработок и их комбинаций на процесс трещинообразования в угле (табл. 1), показывают, что при комбинированной обработке выход мелких фракций увеличивается на 17–23%. Приведенный в таблице параметр M характеризует число участков, затронутых трещинами. На рис. 1 представлены микрофотографии аншлифов угля до и после обработки, а на рис. 2 — минеральных включений исходных и обработанных углей. Виден процесс развития трещин в органическом веществе углей в зависимости от типа проведенной обработки. Криогенная обработка существенно увеличивает трещиноватость угля по сравнению с исходными и после электроимпульсного воздействия. Однако максимальная трещиноватость частиц угля наблюдалась после комбинированной криогенной и наносекундной импульсной обработки и составила 43%. В этом случае практически все зерна угля были затронуты тонкими трещинами, распространяющимися по всей поверхности зерен (см. рис. 1, в). В результате комбинированного воздействия увеличивалась микротвердость (локальная прочность) угля при одновременном уменьшении микрохрупкости (увеличении пластичности), что характерно для комбинированной обработки по схемам КР – МЭМИ и КР – МЭМИ – КР (табл. 2).

После проведения цикла замораживания – размораживания изменяется вид рентгенограммы: смещается и уменьшается интенсивность первого дифракционного максимума, увеличивается интенсив-

ность фона. Криогенная обработка приводит к трансформации структуры органической массы углей вследствие возникновения механических сил, вызванных, по-видимому, ростом кристаллов льда из содержащейся в них физической и связанной влаги. Отмеченные изменения рентгendifракционных спектров исходного и обработанного угля обусловлены тем, что напряжения, возникшие в результате прохождения ледяного фронта, деформируют углеродные слои, поворачивая их на определенный угол. Последнее приводит к увеличению когерентного рассеяния между слоями в пакете. При этом уменьшается размер слоя ароматического углерода и увеличивается расстояние между слоями [5]. Этим можно объяснить повышение пластичности углей после обработки. От глубины распространения и скорости протекания указанных процессов зависят интенсивность и характер трещинообразования.

Установлено, что комбинированная (КР – МЭМИ) обработка обеспечивает формирование каналов пробоя и трещин в органической матрице практически ко всем зернам сульфидных минералов, включая мелкие (см. рис. 2, а). Крупные зерна пирита при этом подвергаются интенсивному растрескиванию (см. рис. 2, б), а более мелкие — дезинтеграции (рис. 3, а, б) с изменением химического состава соответствующих им локальных областей поверхности (см. рис. 3, в, г). Карбонатные и силикатные минеральные включения также вскрываются трещинами, хотя в этом случае процесс трещинообразования в органическом веществе протекает менее интенсивно (см. рис. 2, в).

Таким образом, выявлено, что криодезинтеграция вызывает существенные изменения физико-химических и механических свойств углей, приводящие к развитию трещиноватости. Образующиеся

микротрещины облегчают прохождение каналов электрического пробоя в органическом веществе, что повышает эффективность процесса селективного разрушения минеральных комплексов при наносекундном электромагнитном импульсном воздействии. Поскольку сульфидные минералы, как правило, являются основными носителями благородных металлов в упорных рудах с примесью органики, такая обработка может рассматриваться в качестве подготовительного этапа перед цианированием.

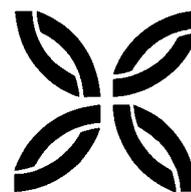
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Использование* мощных электромагнитных импульсов в процессах дезинтеграции и вскрытия упорного золотосодержащего сырья / В.А.Чантурия, И.Ж.Бунин, В.Д.Лунин и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2001. № 4. С. 95–106.
2. *Парагенетические* отношения пирита, углерода и золота на месторождении Сухой Лог и типоморфизм поверхности пирита / В.Л.Таусон, В.К.Немеров, Э.А.Развозжаева и др. // Докл. РАН. 2009. Т. 426. № 4. С. 528–532.
3. *Подгаецкий А.В., Бунин И.Ж., Эпштейн С.А.* Влияние комбинированной (криогенной и электромагнитной импульсной) обработки на механические свойства каменных углей // ГИАБ. 2009. № 3. С. 159–168.
4. *Резник Ю.Н., Шумилова Л.В.* Выбор технологии извлечения золота из упорных руд на основе геохимико-технологических исследований минерального сырья // ГИАБ. 2007. № 12. С. 299–305.
5. *Хренкова Т.М.* Механохимическая активация углей. – М.: Недра, 1993.
6. *Чантурия В.А., Бунин И.Ж.* Нетрадиционные высокоэнергетические методы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов // ФТПРПИ. 2007. № 3. С. 107–128.
7. *Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Зубенко А.В., Подгаецкий А.В.* Влияние мощных электромагнитных импульсов на структуру и состояние поверхности шунгитовых пород // Тр. II Российского совещания по органической минералогии. Петрозаводск, 2005. С. 164–166.
8. *Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Ковалев А.Т.* Селективная дезинтеграция тонко вкрапленных минеральных комплексов при высоко импульсном воздействии // Изв. РАН. Сер. Физическая. 2005. Т. 69. № 7. С. 1058–1061.
9. *Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Лунин В.Д.* Нетрадиционные методы дезинтеграции и вскрытия упорных золотосодержащих продуктов: теория и технологические результаты // Горный журнал. № 4. 2005. С. 68–74.
10. *Чантурия В.А., Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Бунин И.Ж.* Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. – М.: ИПКОН РАН, 2006.
11. *Шумилова Л.В.* Анализ причин упорности руд с дисперсным золотом при цианировании // ГИАБ. 2009. № 6. С. 194–200.
12. *Шумилова Л.В.* Влияние форм дисперсного золота в минеральном и органическом веществах на технологическую упорность руд // ГИАБ. 2009. № 6. С. 184–193.

2. Микротвердость и микрохрупкость углей после обработки, шахта Кировская, пласт h_8

Вид обработки	Микротвердость, МПа	Микрохрупкость, %
Уголь исходный	296,7	70–80
МЭМИ – КР	357,2	30–40
КР – МЭМИ – КР	357,2	
КР – МЭМИ	383,1	

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



8 марта 2010 г. исполнилось 70 лет заведующей планово-производственным отделом ЦНИГРИ **Эмме Михайловне Денисовой**.

Э.М.Денисова начала свою трудовую деятельность в 1957 г. С 1962 г., более двадцати лет, работала в Управлении геологии Туркменской ССР, где прошла все ступени планово-экономической службы — от старшего бухгалтера до начальника планово-экономического отдела. С 1987 г. — главный экономист Главного планово-экономического управления Министерства геологии СССР, участник разработки и реализации нового хозяйственного механизма Госгеолслужбы страны. С августа 1990 г. работает в ЦНИГРИ. Ее высокий профессионализм, организаторские способности, знание сложностей и тонкостей планово-экономической работы в геологической отрасли позволяют эффективно планировать финансовую работу ЦНИГРИ, что в значительной мере способствует продуктивной научной деятельности института.

За трудовые успехи награждена медалями «Ветеран труда», «За заслуги в разведке недр», «300 лет горно-геологической службы России», юбилейной медалью «В память 850-летия г. Москвы», знаком «Отличник разведки недр», грамотами Мингео СССР и МПР России.

Поздравляем Эмму Михайловну с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия, дальнейших трудовых успехов.

*Дирекция ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*



1 января 2010 г. исполнилось 70 лет старшему научному сотруднику отдела металлогении, кандидату геолого-минералогических наук, одному из ведущих специалистов в области изучения, поисков и оценки месторождений меди **Ольге Васильевне Мининой**.

О.В.Минина работает в ЦНИГРИ с 1968 г. Занималась изучением колчеданных месторождений Южного и Среднего Урала — Октябрьского, Юбилейного, Подольского, Ново-Вишневого, им. III Интернационала, Красногвардейского, медно-порфириновых месторождений Урала, Кавказа, Средней Азии, Сибири. В 1977 г. защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Участвовала в разработке разномасштабных критериев прогноза применительно к месторождениям медно-порфиринового семейства, подготовке методических рекомендаций по оценке золотоносности руд этих месторождений. Важное направление исследований О.В.Мининой — разработка геолого-поисковых моделей месторождений благородных и цветных металлов в целях крупномасштабного и локального прогноза. Она — соавтор крупных монографий, посвященных моделям медноколчеданных и медно-порфириновых месторождений.

В настоящее время является ответственным исполнителем работ по созданию современных мелко-среднемасштабных основ прогноза медно-порфириновых месторождений на территории РФ, в первую очередь на Северо-Востоке.

О.В.Минина — вдумчивый, квалифицированный исследователь. За трудовые успехи награждена медалью «300 лет горно-геологической службы России», знаками «Отличник разведки недр», «Почетный разведчик недр» является лауреатом премии Мингео СССР.

Поздравляем Ольгу Васильевну с юбилеем, желаем здоровья, новых успехов и достижений на творческом пути.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

19 февраля 2010 г. исполнилось 75 лет научному сотруднику отдела геологии, методов поисков и экономики месторождений благородных металлов, кандидату геолого-минералогических наук **Алефтине Николаевне Некрасовой**.

А.Н.Некрасова работает в ЦНИГРИ с 1973 г. Занималась изучением месторождений золота и серебра Востока России. Ею выявлена зональность руд ряда объектов, расположенных в этом районе. Участвовала в работах по совершенствованию поисково-оценочных критериев золоторудных месторождений. Являлась ответственным исполнителем ряда актуальных геологических, минералогических и технологических тем. Участвовала в разработке методических руководств, оценке промышленной значимости впервые выделенного олово-серебряного пояса Восточной Якутии.

В 1990–2010 гг. принимала участие в детальных исследованиях и создании минералого-геохимических моделей золото-серебряных месторождений вулканоплутонических поясов.

А.Н.Некрасова — высококвалифицированный специалист в области минералогии золота. На ее счету более 100 научных работ.

Награждена медалями «За трудовое отличие», «Ветеран труда», Почетной грамотой ЦНИГРИ.

В настоящее время проводит исследования по вещественному составу руд Магаданской области.

Поздравляем Алефтину Николаевну с юбилеем, желаем здоровья, благополучия, творческих успехов.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

23 февраля 2010 г. исполняется 80 лет **Александру Ивановичу Никулину** — заведующему лабораторией обогащения руд и песков благородных металлов и алмазов, кандидату технических наук.

А.И.Никулин — один из ведущих специалистов отрасли в области обогащения минерального сырья. Работает в ЦНИГРИ с 1962 г. Под его научным руководством и при непосредственном участии разработаны эффективные технологии переработки золотых и комплексных руд более 20 золоторудных месторождений, в том числе Мурунтау, Олимпиадинского, Кючус, Майского, Нежданнинского, Сухой Лог и др. Они стали основой при подсчете запасов руд в ГКЗ и разработке технологических регламентов на проектирование промышленных предприятий.

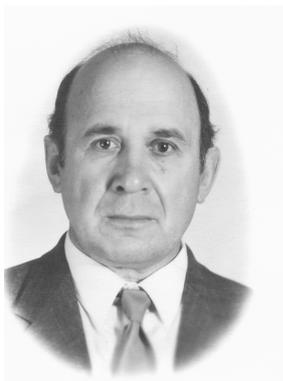
А.И.Никулин активно участвует в создании и освоении нового обогатительного оборудования и технологий, является соавтором рекомендаций по технологической оценке золотосодержащего сырья различного типа. Он — инициатор и участник создания в г. Богородицке, а затем в г. Туле лабораторных и полупромышленных обогатительных установок для проведения исследований по технологической оценке руд. Автор более 200 научных трудов, имеет 16 авторских свидетельств на изобретения, награжден орденом «Знак Почета», двумя медалями, знаками «Отличник разведки недр», «Ветеран труда золото-платиновой промышленности», «Изобретатель СССР», «Почетный разведчик недр», медалями и дипломами ВДНХ, почетными грамотами Мингео СССР и ЦНИГРИ.

Коллеги ценят А.И.Никулина за высокую квалификацию, профессионализм, организаторские способности, огромное трудолюбие, доброжелательность и отзывчивость.

Поздравляем Александра Ивановича с 80-летием, желаем крепкого здоровья и новых творческих успехов.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*



24 апреля 2010 г. исполняется 75 лет старшему научному сотруднику отдела металлогении и прогноза месторождений цветных и благородных металлов, кандидату геолого-минералогических наук **Вячеславу Ивановичу Романову**.

В.И.Романов работает в ЦНИГРИ с 1962 г. Проводил анализ структур рудных полей, узлов, районов и металлогенических зон, разработку геологических критериев поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов. Участвовал в подготовке геологических основ для подсчета запасов колчеданно-полиметаллических (Филизчайское, Кацдагское), золоторудных (Мурунтауское, Кумторское) и других месторождений, составлении прогнозно-металлогенических карт Большого и Малого Кавказа (м-ба 1:500 000) и Урала (м-ба 1:1 000 000), разработке моделей месторождений цветных и благородных металлов различных геолого-промышленных типов. С его участием в 1975–1985 гг. подготовлены и приняты в Мингео СССР генеральные проекты геологоразведочных и научно-исследовательских работ Узбекистана, Киргизии, Азербайджана, Армении, Грузии,

разработаны рекомендации по направлениям ГРП, внедрение которых привело к существенному увеличению запасов колчеданно-полиметаллических и золоторудных месторождений указанных регионов. С 1977 по 1980 гг. работал в Алжире, и награжден Почетной грамотой Генерального Консульства СССР.

С 2005 г. В.И.Романов участвует в составлении прогнозной карты цветных и благородных металлов на структурно-формационной основе южного и юго-восточного сегментов Тетиса, что позволит существенно пересмотреть потенциальные возможности регионов России.

Награжден медалью «Ветеран труда», юбилейной медалью «В память 850-летия г. Москвы», знаком «Отличник разведки недр», Почетной грамотой ЦНИГРИ.

Поздравляем Вячеслава Ивановича с юбилеем, желаем здоровья, счастья, успехов в работе.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*



17 марта 2010 г. исполнилось 60 лет заведующему отделом обогащения минерального сырья, кандидату технических наук **Александру Ильичу Романчуку**.

А.И.Романчук работает в ЦНИГРИ с 1982 г. В течение многих лет является научным руководителем исследований по созданию технологий комплексного использования глубоководного железомарганцевого сырья, выполняемых в рамках Общегосударственной комплексной программы изучения Мирового океана. При его участии разработаны эффективные, защищенные рядом патентов технологии извлечения полезных компонентов из железомарганцевых конкреций и корок, использованные при составлении технико-экономических соображений об их возможном промышленном освоении. Разработанная технология получила призовое место в международном конкурсе стран-участниц СО «Интерокеанметалл». Участвовал в подготовке и создании ряда методических и нормативных документов по опробованию и переработке глубоководного сырья.

Под руководством А.И.Романчука разработаны научно-методические основы технологической оценки руд с мелким и тонким золотом: созданы и эффективно используются в отрасли новый прецессионный аппарат — концентратор «Бегущая волна» и методика гравитационного концентрирования свободного золота при подготовке проб к анализам для повышения достоверности определения содержания золота в минеральном сырье.

В последние годы при его участии в ЦНИГРИ развивается новое направление — фотометрическая сепарация золотосодержащих руд, результаты которой были успешно использованы при пересчете запасов руд месторождения Сухой Лог.

А.И. Романчук — автор около 200 научных работ и изобретений, ведет большую научную организационную работу, является экспертом рабочей группы СО «Интерокеанметалл», членом Ученого совета ЦНИГРИ, заместителем председателя секции технологии и аналитики, председателем НМС отдела обогащения минерального сырья.

Награжден знаками «Отличник разведки недр», «Почетный разведчик недр».

Поздравляем Александра Ильича с юбилеем, желаем здоровья, дальнейших творческих успехов, личного счастья.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

13 февраля 2010 г. исполнилось 70 лет **Геorgию Владимировичу Ручкину** — доктору геолого-минералогических наук, профессору, лауреату премии Правительства Российской Федерации, академику РАЕН, известному ученому в области металлогении и геологии рудных месторождений.

Одно из основных направлений научно-практической деятельности Г.В.Ручкина — изучение генезиса, метаморфизма и регенерации руд колчеданных месторождений Южного Урала. По итогам изучения докембрийских образований Карелии, Прибайкалья и Юго-Восточной Якутии им разработаны основы прогноза, поиска и оценки древних месторождений колчеданного семейства. Значительный вклад он внес в изучение и подсчет запасов уникального, одного из крупнейших в мире, Холодинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Бурятия), оценку свинцово-цинковых месторождений в карбонатных породах: Сардана (Якутия) и Павловское (Архангельская область). По результатам исследований им защищены в 1968 г. кандидатская, в 1980 г. — докторская диссертации, выпущена монография «Стратиформные полиметаллические месторождения докембрия» (1984).

Другая важная область научно-производственных интересов Г.В.Ручкина — изучение комплексов прогнозно-поисковых признаков рудоносности и системы моделей рудных месторождений, разрабатывавшихся в ЦНИГРИ в 1980–1990 гг. Под его руководством осуществлялось комплексирование работ по прогнозу и поискам колчеданно-полиметаллических месторождений в докембрийских углеродисто-терригенных комплексах (1987 г.) и составление атласа параметрических геолого-поисковых моделей колчеданно-полиметаллических месторождений (1993 г.).

В последние годы Г.В.Ручкин участвовал в исследованиях, связанных с системой управления, использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы России. Под его руководством составлен раздел «Цветные металлы (свинец и цинк)»-2004 г., выполнена работа по инвентаризации ведомственных нормативно-методических и нормативно-технических документов, используемых в системе МПР России при геологоразведочных работах на твердые полезные ископаемые (2003–2006 гг.). Разработаны научно-методические основы комплексной оценки рудоносности осадочных бассейнов, проанализированы закономерности формирования и размещения месторождений цветных и благородных металлов на территории Карелии, Забайкалья, Дальнего Востока, Украины, оценены перспективы золотоносности терригенных и черносланцевых комплексов Востока России и разработаны методы и методики прогноза и поисков золоторудных месторождений в этих комплексах (2007–2009 гг.).

В 1983 г. Г.В.Ручкин, будучи директором ДВИМС (г. Хабаровск), реализовал комплекс научно-организационных мер по реформированию института и повышению эффективности и практической направленности его деятельности. В 1987 г., с началом внедрения в отрасли новых хозяйственных механизмов, он был назначен директором ВИЭМС, в котором обеспечил выполнение комплекса работ по организации и внедрению отраслевой хозрасчетной системы, в первую очередь, в научно-исследовательских институтах. В 1989 г. возвратился в ЦНИГРИ, где до 2008 г. руководил отделом металлогении и прогноза месторождений цветных и благородных металлов.

Результаты научных исследований Г.В.Ручкина изложены в более чем 250 научных трудах, включая 14 монографий. Им подготовлены 15 кандидатов геолого-минералогических наук. Он ведет большую научно-организационную работу, являясь членом ряда ученых и научно-методических советов отрасли, заместителем главного редактора журнала «Отечественная геология», членом редколлегии журнала «Руды и металлы», активно участвует в международном геологическом сотрудничестве. Неоднократно выступал с докладами на международных геологических конгрессах и симпозиумах.

За успехи в научной деятельности Г.В.Ручкин удостоен премии Правительства РФ в области науки и техники за 2000 и 2008 гг., награжден орденом «Знак почета», медалью «Ветеран труда», знаками «Отличник разведки недр» и «Почетный разведчик недр», Почетной грамотой Минприроды РФ.

Поздравляем Георгия Владимировича с юбилеем, желаем здоровья, долголетия и творческих успехов на благо отечественной геологии.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

**Порядок оформления статей, представляемых в журнал
«Руды и металлы»**

**Настоящий порядок вводится с 2010 г. в соответствии с рекомендациями ВАК
Министерства образования и науки Российской Федерации и унификацией для
Научной Электронной Библиотеки (НЭБ)**

Образец оформления статьи

УДК.....

© А.С.Барышев, К.Н.Егоров, 2009

**О совершенствовании методики поисков перекрытых коренных источников
алмазов**

А.С.Барышев, К.Н.Егоров (Институт земной коры СО РАН)

Аннотация (на русском языке, не более 5–7 строк).....
.....
.....
.....
.....
.....

Ключевые слова (на русском языке, не более 5–7 слов).....
.....

Название статьи (на английском языке, полужирным шрифтом)

Фамилии авторов (на английском языке, полужирным шрифтом)

Аннотация (на английском языке, не более 5–7 строк).....
.....
.....
.....
.....
.....

Ключевые слова (на английском языке, не более 5–7 слов).....
.....

Контактная информация: почтовый адрес, *e-mail* для переписки, телефон.....

ТЕКСТ СТАТЬИ (см. требования к авторам статей).....

Требования к авторам статей

1. Рукопись статьи подготавливается в соответствии с образцом оформления и представляется с установленными сопровождающими документами: письмом (разрешением на опубликование) руководителя учреждения и экспертным заключением о возможности публикации в открытой печати. В конце статьи ставятся подписи всех авторов.

2. К статье прилагается справка об авторе (авторах), в которой указываются фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность, место работы, адрес для переписки (почтовый), телефон, e-mail каждого автора.

3. Объем статьи — 15 страниц, включая таблицы и список литературы. Поля страницы — сверху и снизу по 2 см, справа 1 см, слева 3 см. Все страницы рукописи нумеруются. В редакцию представляются два варианта — распечатка с принтера и электронный вариант в Text format (*.rtf), (*.doc) с использованием шрифта Times New Roman (размер 12, полуторный межстрочный интервал). Текст, таблицы, рисунки помещаются в отдельные файлы. Таблицы должны иметь названия, набираются без сокращения слов (размер 10, один межстрочный интервал). Возможна передача статей по электронной почте: tsnigri@tsnigri.ru с пометкой для журнала «Руды и металлы».

4. Для набора математических формул и химических символов рекомендуется использовать Microsoft Equation 3.0.

5. Список литературы приводится в конце статьи с нумерацией источников по алфавиту. Иностранная литература помещается после отечественной. Ссылки в тексте на источник приводятся соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. В список не включаются неопубликованные работы. Подписные подписи печатаются на отдельной странице после списка литературы.

6. Рисунки и другие графические материалы (черно-белые, не более 5) прилагаются в печатном и электронном вариантах. На обратной стороне распечатки каждого рисунка карандашом указываются его порядковый номер, фамилия автора и название статьи. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формат страницы журнала (23×16). Цифры и буквы в условных обозначениях, вынесенных за пределы рисунка, даются курсивным шрифтом. Текстовые и цифровые надписи на рисунках набираются на компьютере (шрифт 8), толщина линий рисунка — не менее 0,2 мм. Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: TIFF — только для фото (*.tif), Corel Draw (*.cdr), Диаграмма Microsoft Excel (*.xls). Графика должна быть связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются.

8. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать название статьи, текст, рисунки.

9. В целях облегчения редактирования статей редколлегия просит авторов использовать термины и понятия в значениях, отраженных в следующих изданиях:

Толковый словарь английских геологических терминов. Пер. с англ. / Под ред. Н.В.Межеловского. — М.: Геокарт, 2002.

Российский металлогенический словарь / Под ред. А.И.Кривцова. — СПб: ВСЕГЕИ, 2003.

Термины и понятия, используемые при прогнозно-металлогенических исследованиях / Под ред. А.И.Кривцова, В.М.Терентьева - СПб.: ВСЕГЕИ, 1991.

Главный редактор И.Ф.Мигачев

Информация

Решением
Президиума Высшей аттестационной комиссии
Министерства образования и науки
Российской Федерации
от 19 февраля 2010 года № 6/6 утверждена новая
редакция Перечня ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий

В Перечень включены журналы
«Отечественная геология» и «Руды и металлы»