

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

6/2013

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Б.К.Михайлов

Зам. главного редактора И.Ф.Мигачев
Зам. главного редактора Н.И.Назарова

А.Н.БАРЫШЕВ
Б.И.БЕНЕВОЛЬСКИЙ
В.И.ВАГАНОВ
С.С.ВАРТАНЯН
А.В.ВОЛКОВ
А.А.ГОЛОВИН
Ю.К.ГОЛУБЕВ
В.С.ЗВЕЗДОВ
П.А.ИГНАТОВ
А.И.ИВАНОВ
М.М.КОНСТАНТИНОВ
С.Г.КРЯЖЕВ
В.В.КУЗНЕЦОВ
Г.А.МАШКОВЦЕВ
Г.В.РУЧКИН
Г.В.СЕДЕЛЬНИКОВА

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 2013

Руды и металлы
№ 6 – 2013

ISSN 0869–5997

Свидетельство о регистрации средства массовой информации № 01919 от 21 декабря 1992 г.

Журнал по решению ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук»

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

Сдано в набор 25.10.13 г.
Подписано в печать 01.10.13 г.

Формат 30×42 1/2
Бумага листовая
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ФГУП «ЦНИГРИ»
Телефон: 8 (495) 315-28-47
Факс: 8 (495) 315-43-47
E-mail: rudandmet@yandex.ru, rudandmet@tsnigri.ru

Сайт Научной Электронной Библиотеки: <http://elibrary.ru>

Типография ФГУП «ЦНИГРИ»: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2013

Недропользование**Subsoil Use***Чернышов Н.М.*

Сульфидные платиноидно-медно-кобальт-никелевые месторождения Новохоперского рудного района и проблемы их комплексного освоения в условиях жестких экологических ограничений

5

Chernyshov N.M.

Sulfide platinoid-copper-cobalt-nickel deposits of Novokhopersk ore district and the problems of their integrated development under strict environmental constraints

Прикладная металлогения**Applied metallogeny***Вялов В.И., Балахонова А.С., Гамов М.И., Попов Ю.В., Наставкин А.В.*

Минералого-геохимические особенности черных сланцев Прибалтики в связи с их комплексной металлоносностью

14

Vyalov V.I., Balakhonova A.S., Gamov M.I., Popov Yu.V., Nastavkin A.V.

Mineralogical and geochemical features of the Baltic states sterile coals in connection with their complex metal content

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

Об определении формы рудных тел глубоководных сульфидных месторождений для оценки их ресурсного потенциала

19

Uglov B.D.

Determination of the form of ore bodies of deep sulfides deposits to assess their resources potential

Юричев А.Н.

Акцессорные шпинелиды из ультрамафитов: индикаторы условий формирования

30

Yurichev A.N.

Accessory spinelides from ultramafics: indicators of conditions of formation

Егорова Е.О., Афанасьев В.П., Самданов Д.А.

Закономерности транспортировки индикаторных минералов при формировании механических ореолов рассеяния

35

Egorova E.O., Afanasiev V.P., Samdanov D.A.

Transportation regularities of indicator minerals in the formation of mechanical dispersion halos

Строение рудных месторождений**Anatomy of ore deposits***Мельников А.В., Степанов В.А.*

Геолого-структурные особенности и золотоносность Октябрьского рудно-россыпного узла Приамурской провинции

40

Melnikov A.V., Stepanov V.A.

Geological-structural features and goldfields Oktyabrsky ore-placer node Amur province

Абрамов Б.Н.

Гранитоиды мезозойских золоторудных месторождений Восточного Забайкалья: условия формирования, геохимические особенности

48

Abramov B.N.

Granitoids of the mesozoic gold deposits from East Transbaikalia: conditions of formation, geochemical features

**Прогноз и оценка месторождений
твердых полезных ископаемых с
использованием современных
компьютерных технологий***Касымова Ш.Р.*Золотоносность Каратауской зоны смятия,
Узбекистан

55

**Mineral deposits: Prediction
and evaluation using IT***Kasimova Sh.R.*

Gold-bearing shear zone of Karatau, Uzbekistan

Новости, информация*Августинчик И.А., Яблокова С.В., Кузнецова Т.П.*
По следам Европейской минералогической кон-
ференции (ЕМС2012): прикладные аспекты

63

News, information*Avgustinchik I.A., Yablokova S.V., Kuznetsova T.P.*
Following the European mineralogical conferen-
ce: applied aspects**Дискуссии***Миляев С.А.*Геохимические критерии прогнозной оценки зо-
лоторудных объектов по данным анализа эндо-
генной зональности

72

Discussions*Milyaev S.A.*Geochemical criteria of gold deposits estimation
on the basis of endogenous zoning**Поздравляем с юбилеем**

А.П.Лихачева

77

Our congratulations

A.P.Likhachev

Список статей, опубликованных в журнале
«Руды и металлы» в 2013 году

78

**Rudy i Metally (Ores and Metals) List of publi-
cations 2013**



СУЛЬФИДНЫЕ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-КОБАЛЬТ-НИКЕЛЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОВОХОПЕРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА И ПРОБЛЕМЫ ИХ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЖЕСТКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Н.М.Чернышов (Воронежский государственный университет)

Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения Воронежского региона, открытые в 60–70-х годах XX в., впервые выступают в качестве первоочередного объекта создания Центрально-Европейской базы добычи цветных и благородных металлов. Приведены краткие сведения о геологии и структуре первоочередных объектов освоения — Еланском и Ёлкинском месторождениях, составе и генезисе руд, содержании в них стратегически важных металлов и их ресурсах. Предложена модель создания «экологического рудника» и добычи руд в условиях жестких экологических ограничений.

Ключевые слова: сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды, Новохоперский рудный район, Центральная Россия.

Чернышов Николай Михайлович, petrology@list.ru

SULFIDE PLATINOID-COPPER-COBALT-NICKEL DEPOSITS OF NOVOKHOPERSK ORE DISTRICT AND THE PROBLEMS OF THEIR INTEGRATED DEVELOPMENT UNDER STRICT ENVIRONMENTAL CONSTRAINTS

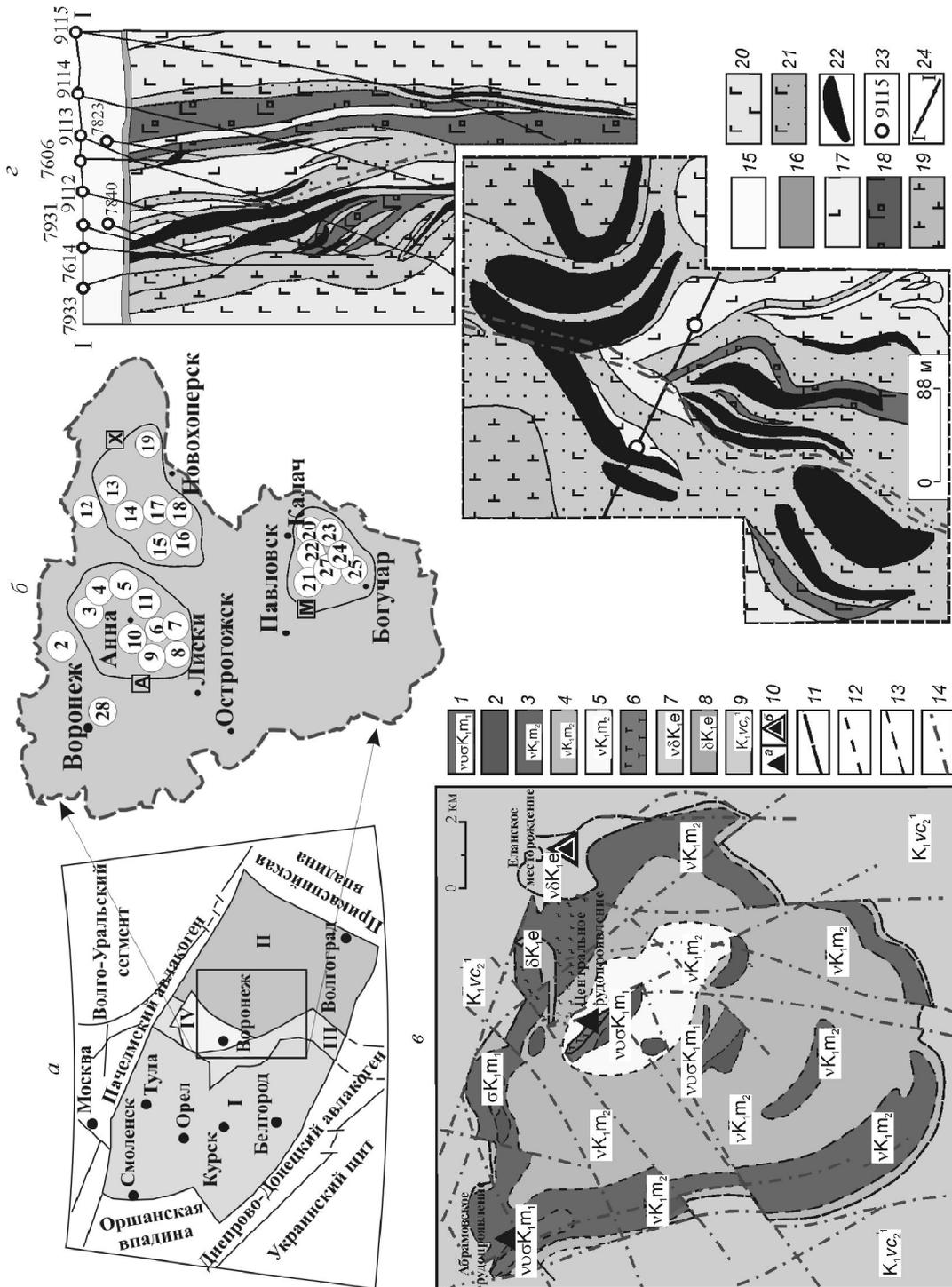
N.M.Chernyshov

The sulfide platinoide-copper-nickel deposits in the Voronezh region, discovered for the first time in the 60–70ies of the 20th century, act as a primary object for the creation of the Central European base of extraction of nonferrous and noble metals. Brief information on the geology and structure of the primary objects of development — Elan and Elka deposits, composition and genesis of the ores, the content and resources in them of strategically important metals is given. A model of the creation of «ecological mine» and ore mining under strict environmental constraints is suggested.

Key words: sulfide platinoide-copper-nickel ores, Novokhopersk ore district, Central Russia.

В обеспечении минерально-сырьевой безопасности России и устойчивого долгосрочного социально-экономического развития Центрального региона, расширении перспектив производственного комплекса и, пожалуй, всей макроструктуры в пределах Воронежского кристаллического массива (ВКМ) (рисунок, а, б) важнейшее значение приобретают сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения, сосредоточенные исключительно в Воронежской области (см. рисунок, в). В 60–70-х годах прошлого столетия здесь было выявлено пять месторождений и около 50 разно-масштабных по ресурсам проявлений, которые ранее рассматривались в качестве резервной минерально-сырьевой базы цветных и благородных металлов. По предварительно оцененным запасам и ресурсам Воронежская область — одна из крупнейших в Европе и третья в стране после Норильского и Кольского регионов минерально-сырьевая база стратегически важных для России металлов.

По геолого-генетической принадлежности, содержанию, запасам, ресурсам металлов выделяются промышленно-значимые месторождения мамонского и еланского типов [3, 4, 7, 8, 10, 11, 14, 15]. Объекты мамонского типа (месторождения Нижнемамонское, Подколдовское, Юбилейное, многочисленные рудопроявления преимущественно бедных никелевых руд в Нижнемамонском и Аннинском рудных районах) ассоциируют с ультрамафитами раннепротерозойской (2100–2080±15 млн. лет) дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой формации (см. рисунок, б, в), еланского (Еланское, Ёлкинское и более 20 разно-масштабных рудопроявлений — Новотроицкое, Листопадовское, Троицкое, Демьяновское, Русановское, Новопокровское и др. с высоким содержанием металлов сконцентрированы в Новохоперском рудном районе Хоперского мегаблока ВКМ) — генетически связаны преимущественно с норитами субвулканической ортопироксенит-норит-диоритовой формации (2065–2050±14 млн. лет) (см. рисунок 1, б, в).



Залегающие на глубине 40–350 м от дневной поверхности средние, мелкие и реже крупные месторождения и рудопоявления мамонского типа по геолого-технологическим параметрам руд близки к месторождениям Кольского региона и характеризуются сравнительно высокой степенью извлечения металлов при переработке флотационных концентратов.

Геология, типы, состав, ресурсы и запасы руд Еланского месторождения. Еланское (4,5 км²) и Ёлкинское (9 км²) месторождения [3, 4, 6, 10, 20, 23] относятся к новому, ранее не известному в России и за рубежом, высоконикелистому платиноидно-медно-кобальтовому типу, ассоциирующему с крутопадающими ортопироксенит-норит-диоритовыми субвулканическими телами (возраст 2065–2050±14 млн. лет) и многочисленными комагматичными дайковыми образованиями [7, 10].

Первоочередным объектом освоения ООО «УГМК-Холдинг» является Еланское месторождение, залегающее на глубине 250–300 м под осадочным чехлом. Пространственно оно сопряжено с более ранним дифференцированным Елань-Коленовским ультрамафит-мафитовым плутоном (120 км²) мамонского комплекса (см. рисунок, в). Внутренняя структура месторождения определяется неупорядоченным чередованием крутопадающих (75–85°) рудовмещающих норитов и их жильных комагматов, а также поздних диоритов (см. рисунок, з), слагающих в совокупности единую флюидонасыщенную и энергетически активную вулканотрузивную рудно-магматическую колонну.

Породная ассоциация Еланского рудоносного массива представлена двумя группами пород – норитовой и более поздней диоритовой, которые совместно с комагматичным им жильным (дайковым) комплексом образуют единый генетически родственный ряд пород. Норитовая рудонесущая породная группа включает меланократовые, мезократовые, лейкократовые нориты, их амфиболизированные и полевошпатизированные разновидности, а также комагматичные норитам дайки (биотитовые норит-порфириды, роговообманковые габбро, пироксеновые диоритовые порфириды и др.), широко развитые вблизи рудных тел. Диориты (интрузивные и жильные поздней фазы) представлены роговообманково-биотитовыми и кварц-кашлипатсодержащими разновидностями [10].

Петрогеохимический облик норитов и их дайковых комагматов определяется [1, 2, 4, 6–10, 19–23] присущими кремнеземистой высокомагнезиальной магматической серии признаками, отражающими принадлежность норит-диоритовых интрузий к контаминированному типу. Характерна повышенная (отвечающая мафит-субультрамафитовой породной группе) магнезиальность ($MgO = 8,4–17,4$ до 20 мас. %) при одновременно высоком (свойственном породам среднего состава) содержании SiO_2 (52,9–58,7 до 61 мас. %), пониженной роли CaO и Al_2O_3 и повышенной щелочей (2,5–5,0 мас. %, $Na_2O > K_2O$), Rb, Ba, и др. Нориты и вся совокупность интрузивных и жильных пород еланского комплекса принадлежат к единому петрохимическому ряду известково-щелочной серии. Их

Схема тектонического районирования ВКМ (а), размещение сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений мамонского и еланского типов в пределах Воронежской области (б), положение Еланского месторождения, Центрального и Абрамовского рудопоявлений в структуре Елань-Коленовского плутона мамонского комплекса (в), геологическая карта и разрез центральной части Еланского месторождения (з), по [7, 10, 16]:

мегаблоки (а): I — КМА, II — Хоперский; III — Лосевская шовная зона; IV — Ольховско-Шукавская грабен-синклиналь; *рудные районы (б):* А — Анненский, М — Нижнемамонский, Х — Хоперский; *месторождения, рудопоявления и потенциально перспективные участки (б):* 2 — Шукавский, 3 — Садовский, 4 — Восточный Садовский, 5 — Моховской, 6 — Шишовский, 7 — Астаховский, 8 — Песковатский, 9 — Икорецкий, 10 — Рябиновско-Большемартыновский, 11 — Анненский, 12 — Новогольский, 13 — Жердевский, 14 — Троицкий, 15 — Елань-Коленовский, 16 — Центральный, 17 — Еланский, 18 — Ёлкинский, 19 — Уваровский, 20 — Ширяевский, 21 — Нижнемамонский, 22 — Артюховский, 23 — Бычковский, 24 — Юбилейный, 25 — Подколотовский, 26 — Пионерский (Липов Куст), 27 — Сухой Яр, 28 — Воронежский; *на карте (в):* 1 — ультрамафит-мафитовые породы ритмично-расслоенной серии I интрузивной фазы (перидотит – пироксенит – меланократовый габбронорит (троктолит) – габбронорит); 2 — ксенолиты ультрамафитов (флогопитовый плагиоперидотит и тремолитизированный пироксенит); мафитовые породы дифференцированной серии габброноритов II интрузивной фазы: 3 — оливиновые и оливин-ортоклазовые габбронориты, 4 — биотит-амфиболовые габбронориты, 5 — биотит-амфиболовые габбронориты и амфиболовое габбро; 6 — ортопироксениты; 7 — нориты; 8 — диориты еланского комплекса; 9 — метапесчаники воронцовской серии; 10 — рудопоявления (а) и месторождения (б); контакты интрузивных пород: 11 — интрузивные с вмещающими метапесчаниками воронцовской серии, 12 — межфазовые интрузивные, 13 — постепенные; 14 — тектонические разрывные нарушения; *на разрезе и карте (з):* 15 — породы платформенного чехла; 16 — кора выветривания на кристаллическом фундаменте; 17 — диориты 2-й интрузивной фазы еланского комплекса; 18 — дайки роговообманкового габбро, норит-порфириды, диоритовых порфиридов и др.; 19–21 — нориты (19 — тонкозернистые («фельзические»), 20 — мелко-среднезернистые, 21 — порфиридные); 22 — рудные тела; 23 — скважины и их номера; 24 — линия геологического разреза

1. Содержание рудообразующих элементов (мас. %) и величины их отношения в сульфидно-никелевых рудах в норитах и роговообманковом габбро Еланского месторождения [10, 18]

| Типы руд | n | S | Ni | Co | Cu | S/Ni | Ni/Cu | Ni/Co | S/ Ni+Co+Cu | В 100% сульфидов | | | |
|----------------------------------|----|-------|------|------|------|------|-------|-------|----------------|------------------|-------|------|------|
| | | | | | | | | | | Fe | Ni | Co | Cu |
| <i>В норитах</i> | | | | | | | | | | | | | |
| Вкрапленные | 42 | 4,02 | 1,31 | 0,04 | 0,14 | 3,07 | 9,36 | 32,93 | 2,7 | 47,92 | 12,36 | 0,38 | 1,32 |
| Гнездово-вкрапленные | 17 | 12,87 | 5,48 | 0,25 | 0,19 | 2,35 | 28,84 | 23,92 | 2,2 | 44,42 | 16,18 | 0,74 | 0,56 |
| Массивные | 11 | 24,82 | 8,01 | 0,19 | 0,07 | 3,10 | 114,4 | 42,16 | 3,0 | 49,34 | 12,26 | 0,29 | 0,11 |
| <i>В роговообманковом габбро</i> | | | | | | | | | | | | | |
| Вкрапленные | 3 | 3,75 | 0,48 | 0,02 | 0,07 | 3,10 | 7,91 | 24,95 | 8,48 | 56,34 | 4,80 | 0,19 | 0,67 |
| Прожилково-вкрапленные | 12 | 10,77 | 3,42 | 0,05 | 0,29 | 3,01 | 12,01 | 65,81 | 2,86 | 48,80 | 12,07 | 0,18 | 1,01 |
| Массивные | 1 | 14,85 | 6,25 | 0,10 | 0,87 | 2,38 | 7,18 | 62,50 | 2,06 | 43,52 | 15,99 | 0,26 | 2,23 |

отличают высокие содержания (на порядок выше кларка) Cr (до 0,5 мас. % в меланократовых норитах), Ni с преобладанием его над Cu (Ni/Cu=3–10), S (0,2–1,0 мас. %), состав которой обогащен легким изотопом ($\delta^{34}\text{S}=-0,2...-3,50\text{‰}$), при устойчивой корреляции Fe, Ni, Ca, Cu, S. Породы обогащены легкими РЗЭ ($\text{Ce}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}=4-13$) при низком содержании тяжелых редких земель ($\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}=1-3$).

В пределах Еланского месторождения (см. рисунк, з) выявлено несколько прерывистых (в плане и разрезе) сравнительно мощных зон сульфидного оруденения, которые концентрируются в центральной части вулканотрузивной колонны, протяженностью от 400 до 600 м при мощности рудных тел от 10 до 15,3 м.

Количественно на Еланском месторождении резко преобладают вкрапленные руды, прожилково-вкрапленные или вкрапленно-агрегатные и массивные имеют ограниченное развитие. При относительно невысокой доле густо вкрапленных, прожилково-вкрапленных и сплошных руд они, вместе с тем, концентрируют более половины полезных компонентов [5, 10].

Особенностью минерального состава руд Еланского месторождения является тесное пространственно-временное совмещение раннего халькопирит-пентландит-пирротинового и более позднего существенно обогащенного платиноидами и золотом кобальт-никелевого арсенид-сульфоарсенидного парагенеза, сформировавшихся из единого рудоносного расплава [7, 10, 16, 17]. Относительно широко распространенные (до 2–5%, иногда до 7%) арсениды, сульфоарсениды и антимониды никеля и кобальта, а также висмутиды и теллуриды представлены тесным сростанием достаточно большого числа минеральных фаз [5, 7, 10], среди которых преобладают никелин, минералы ряда герсдорфит-кобальтин (герсдорфит, кобальтистый герс-

дорфит, никелистый кобальтин и кобальтин). Реже встречаются маухерит, минерал состава Ni_3As_2 , гаухекорнит, стибигаухекорнит, ульманнит, теллуровисмутит. Входящие в арсенид-сульфоарсенидный парагенезис другие редкие минералы представлены молибденитом, сфалеритом, галенитом, борнитом, маккинавитом, самородным золотом, кюстелитом, алтаитом и виоларитом.

По содержанию главных рудообразующих элементов (Ni, Co, Cu) руды еланского типа принадлежат [7, 10] к маломедистым высоконикелистым с повышенными концентрациями Co (табл. 1). Они значительно обогащены изотопно-легкой серой ($\delta^{34}\text{S}=-0,3...-11,6\text{‰}$), отличаются широким комплексом попутных полезных (Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Os, Ir, Ru, Se, Te, Mo) и вредных (As, Sb, Bi, Pb) компонентов. Эти общие для всей хоперской группы месторождений и рудопроявлений признаки сульфидного никелевого оруденения — один из определяющих элементов рудно-магматической системы еланского типа [7].

Исследования фазового состава никеля по полным пересечениям рудных зон Еланского месторождения показали [5, 10, 16], что основная форма его нахождения в рудах — сульфидная (>90% от общего количества никеля) и лишь в верхних участках рудных зон (коры выветривания) значительно (до 50% и более) возрастает доля силикатного никеля. Главный носитель Ni — пентландит — содержит 93–94% сульфидного никеля, виоларит — 3–4%, пирротин — 2–3%, арсениды и сульфоарсениды — 1–2%. Практически вся медь присутствует в сульфидной форме и в одном минерале — халькопирите. Около 90% Co содержится в рудных минералах и примерно 10% — в силикатах. Основной минерал-носитель Co также пентландит (65–75% от общего количества кобальта). Значительная часть Co концентрируется в сульфоарсенидах (12–17%), неболь-

шая доля — в виоларите (3–4%), пирите и марказите (1–2%). Практический интерес при промышленной оценке и комплексном освоении еланской группы месторождений представляют повышенные концентрации в рудах Mo, Ag, Se (9 г/т), Te (2 г/т), Au (0,3–0,4 г/т), образующих самостоятельные минералы (молибденит, аргентопентландит, теллурувисмутит, алтаит, золото самородное и др.), а также элементы платиновой группы (ЭПГ).

Проведенные институтом «Гипроникель» (г. Санкт-Петербург) опытно-технологические исследования показали высокую степень обогащения (до 80–90% Ni, Cu, Co) руд на стадии получения концентратов (окатышей) и извлечения металлов (от 75 до 95%) при металлургической переработке.

Средневзвешенные содержания ЭПГ и сопутствующих им элементов в рудах Еланского месторождения, выполненные на значительном объеме проб в различных лабораториях и организациях [5, 10 и др.], свидетельствуют в целом о невысоких концентрациях платиноидов (0,31–0,48 г/т), Au (0,11–0,85 г/т), Ag (2,9–4,7 г/т). Наиболее высокие концентрации платиноидов выявлены в массивных рудах (Ni 13,3–14,35, Cu 0,28–1,17, Co 0,25–0,30%, Pt 0,10–0,38, Pd 0,36–1,0, Rh до 0,03, Ru до 0,012, Ir до 0,014 г/т) при среднем содержании платиноидов 0,495 г/т (Pd/Pt=2,4). В единичных пробах этих руд установлено до 12 г/т ЭПГ и до 2,5 г/т Au [10, 13, 14].

Извлечение ЭПГ из руд еланского типа (по данным Механобра) составляет 55–66%, а платины (по результатам исследований ЦНИГРИ) до 94,3%. Институтом «Гипроникель» в 1988 г. выполнено исследование технологической пробы руды Еланского месторождения, содержащей 0,08–0,12 Pt, 0,06–0,07 Pd, 0,003–0,004 Ru, 0,04 Rh, 0,05 Os, <0,01 г/т Ir. При среднем извлечении ЭПГ в 64,3% содержание Pt в сульфидном концентрате составило 0,39–0,64 г/т (извлечение 54,6–65,8%), Pd 0,31–0,93 г/т (извлечение 48,9–75,8%). За основные технологические показатели сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд рассматриваемого объекта приняты следующие. Содержание ЭПГ в руде 0,35, концентрате 2,13, хвостах 0,14, окатышах 2,18 г/т. Соответственно Au и Ag в руде 0,22 и 3,25, концентрате 1,58 и 24,90, хвостах 0,06 и 0,73, окатышах 1,58 и 24,90 г/т. Таким образом, при отработке Еланского и других крупномасштабных проявлений Хоперского рудного района возможно попутное извлечение платиновых металлов. При этом могут быть использованы технологии, апробированные на ряде отечественных и зарубежных месторождений [5, 10].

Пространственно-генетическая связь оруденения с многофазными субвулканическими ортопироксенит-норит-диоритовыми телами, рудовмещаю-

щие нориты которых отличаются комплексом минералогических (высокомагнезиальный состав феррических минералов, широкое развитие ортопироксена, наличие кварца и калишпата), петрохимических (несоответствие между высокими содержаниями MgO и повышенными концентрациями SiO₂ и K₂O; высокие значения отношений MgO/CaO, SiO₂/CaO, MgO/FeO), геохимических (обогащенность как Cr и Ni, так и крупноионными литофильными элементами — K, Rb, Ba, легкими РЗЭ; высокие отношения Ce/Yb, Ce/Nb, Ba/Zr; повышенные — Zr/Rb, Ti/Cr, Ti/Rb); изотопно-геохимических (высокие отношения ¹⁸O/¹⁶O, δ¹⁸O>6‰; ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr: ΣSr>1; низкие значения ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd: ΣNd<0) и других уникальных признаков [10] — следствие специфических условий формирования пород и руд из гибридного кремнисто-магнезиального (бонинитоподобного) сульфидоносного расплава, возникшего в результате контаминации исходных мантийных (коматиитовых) магм коровым материалом. Подобная генетическая модель определяет уникальность структурно-вещественных, петролого-геохимических и рудно-формационных граничных признаков крупного по запасам и ресурсам Еланского платиноидно-медно-кобальт-никелевого месторождения.

Данные, полученные институтом «Гипроникель» по оценке запасов и ресурсов (категории C₂, P₁, P₂), обобщены в табл. 2, 3. Ресурсы благородных металлов (категории P₁+P₂) при средних содержаниях Pt+Pd 0,35, Au 0,22, Ag 3,4 г/т составляют: Pt+Pd 42,0, Au 26, Ag 486 т.

Основные технические решения по отработке Еланского месторождения в условиях жестких экологических ограничений. Еланское и Ёлкинское месторождения, располагающиеся в пределах Новохоперского района с известными особо охраняемыми природными территориями, определяют необходимость решения многих проблем добычи руд и получения концентрата в условиях жестких экологических ограничений [17]. Прежде всего, руды Еланского месторождения находятся на глубине 250–300 м под осадочным чехлом, что требует исключительно шахтного способа отработки.

Осадочный чехол, перекрывающий месторождения, содержит шесть водоносных горизонтов. В их числе плиоценовый горизонт — основной источник водоснабжения и залегающие непосредственно над рудными телами рассолы с содержанием ~70 г/л разных элементов, прежде всего Вг и I. Сложные гидрогеологические условия требуют особой технологии прохождения шахт, создания современных водоотводящих систем для утилиза-

2. Запасы и ресурсы богатых руд Еланского месторождения

| Рудная зона | Руда, млн. т | Средние содержания элементов, % | | |
|-------------|--------------|---------------------------------|------|------|
| | | Ni | Cu | Co |
| 1 | 11,6 | 2,28 | 0,17 | 0,05 |
| 2 | 3,2 | 1,91 | 0,15 | 0,03 |
| 3 | 4,3 | 1,59 | 0,10 | 0,02 |
| 4+5 | 9,8 | 2,10 | 0,15 | 0,03 |

Примечание. Запасы и ресурсы ($C_2+P_1+P_2$) при средних содержаниях Ni 2,08, Cu 0,15, Co 0,035 мас. % составляют: Ni 732, Cu 53,6, Co 12,3 тыс. т.

ции технических вод, связанных с горными выработками (цементация, замораживание), добычей руд, производством концентрата, а также разработки специальных мероприятий по утилизации рассолов, возможному извлечению Вг и I.

Выбор и оборудование специальных экраняющих площадок для складирования отходов (хвостов обогащения) и их последующего использования в качестве закладочного материала для отработанных пространств, работа по комплексному освоению месторождений требуют перевода значительных площадей из статуса сельскохозяйственных в земли промышленного назначения с перемещением плодородного слоя почвы. К этому следует добавить расположение месторождений в зоне глубинного Шумилинско-Новохоперского разлома, к которому тяготеет ряд местных землетрясений (магнитуда до 1,5–2); наличие (по предварительным данным) в пределах Хоперского (Еланского) рудного района около 50 древних курганов и не менее десяти поселений эпох от бронзы до средневековья; обитание ряда видов уникальных животных и растений, включенных в Красную Книгу, книгу «Красная степь» и др. Это далеко не полный перечень проблем, определяющих методологию и методику разработки месторождений в условиях жестких экологических ограничений.

Основополагающим является вскрытие месторождения на всю глубину разведанных запасов двумя стволами — скиповым и клетьевым. Проходка стволов через обводненную толщу осадочных пород осуществляется с замораживанием. Диаметр стволов в свету 7,5 м. Проветривание рудника осуществляется по клетьевому стволу, исходящая струя выдается по скиповому. Стволы сбиваются с рудным телом системой этажных квершлаггов. Высота этажа 80–100 м. Этажи связываются между собой спиральными съездами. Месторождение отработывается камерной системой восходящим

3. Общие запасы и ресурсы Еланского месторождения

| Рудная зона | Руда, млн. т | Средние содержания элементов, % | | |
|-------------|--------------|---------------------------------|------|------|
| | | Ni | Cu | Co |
| 1 | 41,1 | 1,03 | 0,11 | 0,03 |
| 2 | 17,8 | 0,75 | 0,11 | 0,02 |
| 3 | 6,3 | 1,18 | 0,12 | 0,02 |
| 1+2+3 | 65,2 | 0,97 | 0,11 | 0,03 |
| 4+5 | 33,4 | 0,99 | 0,11 | 0,02 |

Примечание. Запасы и ресурсы ($C_2+P_1+P_2$) при средних содержаниях Ni 0,98, Cu 0,11, Co 0,023 мас. % составляют: Ni 1171,9, Cu 134,0, Co 28,1 тыс. т.

порядком с буровзрывной отбойкой руды и закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Ориентировочные параметры камер, м: высота 80–100, ширина 50, длина 60 (на всю мощность рудного тела).

Осушение месторождения производится без отработки запасов кондиционных подземных вод осадочного чехла, перекрывающего породы кристаллического фундамента. Для обеспечения данной технологии в кровле рудного тела оставляется предохранительный рудный целик мощностью (толщиной) ~50 м, защищающий рудник от проникновения подземных вод осадочной толщи. По трубопроводу в клетьевом стволе дренажные воды выдаются на поверхность и далее перекачиваются на участок утилизации. Утилизация минерализованных дренажных вод осуществляется посредством их обратной закачки (захоронения) в руднокристаллический водоносный горизонт через систему закачных скважин, расположенных на удалении 5–7 км от подземного рудника.

Руда обогащается на обогатительной фабрике производительностью по концентрату 80–100 тыс. т в год. Технология обогащения исключительно флотационная. Применяется технология сгущения отходов обогащения (хвостов) с замкнутым циклом технического водоснабжения по схеме обогатительная фабрика—узел сгущения хвостов—обогатительная фабрика. Сгущенные хвосты поступают в хвостохранилище и далее используются для приготовления закладочного материала.

Товарной продукцией будущего производства является сульфидный концентрат флотационного способа обогащения. Дальнейший передел, связанный с окомкованием, обжигом и металлургическим способом обогащения металлов, в пределах Воронежского региона недопустим по многим причинам, главным образом экологическим.

Хвостохранилище рассчитано на аккумуляцию гущенных хвостов из расчета, как отмечалось, их дальнейшего максимального использования для приготовления закладочного материала. Чаша хвостохранилища будет иметь минимальную площадь и должна быть экранирована для полного исключения фильтрационных потерь в подземные воды. Хвосты, содержащиеся в хвостохранилище, должны быть в необходимой мере увлажнены для исключения пыления. Объем закладочной смеси должен соответствовать объему выработанного подземного пространства. Например, при годовой производительности рудника 2 млн. т и объемном весе руды порядка 3,1 т/м³ производительность закладочного комплекса может составлять 645 тыс. м³ в год. Состав закладочной смеси — хвосты+цемент+вода.

Готовая продукция — медно-никелевый концентрат — в количестве ~80–100 тыс. т в год железнодорожным транспортом отправляется за пределы Воронежской области на дальнейшую переработку (окомкование и металлургический передел). В случае суточной производительности рудника по концентрату 230 т потребность в подвижном составе (вагонах) грузоподъемностью 60 т — порядка 115 вагонов (два эшелона) в месяц.

Таким образом, представляется технически обоснованным строительство экологически чистого подземного рудника по производству медно-никелевого концентрата на базе Еланского месторождения.

Предложения по экологическим мероприятиям в связи с освоением месторождения. До начала геологоразведочных работ и последующей отработки месторождения необходимо проведение ряда опережающих мероприятий, которые являются базовыми при оценке влияния технологий разработки месторождений на экосистему. Программа комплексной оценки современного состояния окружающей природной среды в районе освоения Еланского месторождения в Новохоперском районе Воронежской области, реализуемая со второй половины 2012 г., включает: исследование региональных особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в районе будущих разработок никеля в связи с состоянием биоценозов и видов из «Красной книги Воронежской области», ООПТ «Краснянская степь», «Урочище Ольха», «Парк-усадыба Калиново», «Болото Безымянное»; археологическое обследование в целях выявления всех сохранившихся объектов археологического наследия; внесение открытых и обследованных памятников археологии в Государственный земельный кадастр и Единый государственный реестр объектов культурного наследия Российской Федерации.

До начала буровых и горных работ проводится детальное сейсмическое районирование зоны Шумилинско-Новохоперского разлома и территории горного отвода. Данные работы позволят оценить влияние локальных грунтовых, гидрогеологических и геоморфологических особенностей территории, дадут представление о «фоновом» состоянии геологической среды. Они помогут в выборе мест захоронения минерализованных вод, откачиваемых из шахты, и будут основой для сейсмического мониторинга в процессе эксплуатации шахты.

На первой стадии разведки месторождений предусмотрены отбор и исследование на действующих металлургических комбинатах двух крупнообъемных технологических проб (из скважин больших диаметров по рудной зоне) для установления параметров и их использования в существующих экологически эффективных схемах обогащения и последующей переработки рудных концентратов основных (Ni, Cu, Co), попутных полезных (ЭПГ, Au, Ag, Se, Te, Mo) и вредных (As, Sb, Bi) компонентов.

Реализация проекта в современных условиях немаловажна без информационного сопровождения, формирующего общественное мнение. Это должны делать специалисты. Населению Новохоперского района и Воронежской области нужно внятно разъяснить преимущества проекта: ожидаемая прибыль в бюджет района и области, предполагаемое количество рабочих мест, поддержка инвестором социальных объектов, инфраструктуры района и т.д. На всех этапах осуществления проекта по освоению никеленосных объектов предполагается многостороннее и наиболее полное социальное обеспечение по специально разработанной программе. На наш взгляд, руководить этой уже утвержденной и действующей программой следует с позиций единого теоретико-методологического, концептуального и управленческого подхода. Необходимо преодолеть фрагментарность в работе, усилить комплексность и всесторонний учет совокупности интересов государства, инвесторов и общества.

Ожидаемое в ближайшие годы возрастание спроса на мировом рынке на цветные и благородные металлы во многом определяет стратегию развития и освоения минерально-сырьевой базы этих металлов в зарубежных странах. В ряде стран (Финляндия, Канада, Норвегия, Китай и др.) обозначилась тенденция вовлечения в отработку средних и даже мелких (запасы 10–15 тыс. т) месторождений с невысокими содержаниями (%) Ni 0,5–0,6, иногда до 0,3, Cu 0,1–0,12, Co 0,02, ЭПГ до 0,5–1 г/т. Такой подход позволяет максимально сохранить экосистему, а также обеспечить ускоренную отдачу производства, внедрить новые современные

малоотходные технологии, быстро реагировать на изменение и нормализацию ценообразования. Учет зарубежного опыта приобретает особую актуальность в определении общей стратегии и тактики освоения платиноидно-медно-никелевых месторождений воронежской группы как новой минерально-сырьевой базы цветных и благородных металлов России, сохранения ее лидирующего положения по производству этих металлов.

Общий потенциал цветных и благородных металлов, сосредоточенных в месторождениях и рудопроявлениях воронежской группы, — надежная основа для создания нового крупного горно-обогатительного комбината (рудник, горнообогатительная фабрика, социально-жилищный комплекс) с получением на месте флотационного концентрата и его последующей металлургической переработкой на комбинатах Кольского региона, использующих значительный объем привозной руды из Норильска. Единственным оптимальным способом отработки месторождений воронежской группы является шахтный с необходимыми капитальными затратами, обеспечивающими максимальное сохранение экосистемы на всех стадиях горно-геологического и технологического процессов и комплексного освоения вскрышных пород с содержащимися в них питьевыми и минеральными водами.

Начатая в 2012 г. подготовка месторождений еланского типа к освоению, должна сопровождаться геологоразведочными работами для оценки глубоких горизонтов рудных тел, уточнения параметров месторождений, данных по содержанию, распределению и количеству попутных полезных и вредных компонентов. Вместе с поисковыми и поисково-оценочными работами в пределах установленных и потенциально перспективных площадей, включая Мамонский рудный район, необходимо решать вопросы обогащения руд. Промышленная разработка выявленных месторождений, предусматривающая использование современных малоотходных технологий и максимальное сохранение окружающей среды на всех стадиях отработки руд и их обогащения, одновременные поиски на перспективных объектах определяют стратегию освоения и развития новой минерально-сырьевой базы Центральной России. Расширение ее ресурсов и выработка долгосрочной концепции позволят создать в Воронежском крае новую отрасль народного хозяйства — горнодобывающую промышленность цветных и благородных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. — М.: Эслан, 2006.
2. *Надретт А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. — СПб.: СПбГУ, 2003.
3. *Чернышов Н.М.* Новый тип сульфидного никелевого оруденения Воронежского кристаллического массива // Геология рудных месторождений. 1985. № 3. С. 34–45.
4. *Чернышов Н.М.* Генетические типы месторождений медно-никелевой формации Воронежского кристаллического массива (ВКМ) // Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск, 1988. С. 182–190.
5. *Чернышов Н.М., Буковшин В.В., Спиридонов Г.В., Кравцова О.В.* Минералогические особенности сульфидных никелевых руд Еланского месторождения // Минералогический журнал. 1991. № 1. С. 18–30.
6. *Чернышов Н.М., Переславцев А.В., Молотков С.П., Чернышова М.Н.* Новый тип никеленосной формации в докембрии Воронежского кристаллического массива // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 9. С. 111–124.
7. *Чернышов Н.М.* Еланский тип сульфидных медно-никелевых месторождений и геолого-генетическая модель их формирования (Центральная Россия) // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 3. С. 220–236.
8. *Чернышов Н.М.* Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения еланского типа (геология, закономерности размещения, минералого-геохимические особенности руд, геолого-генетическая модель формирования) // Вестн. ВГУ. Сер. геол. 1998. № 5. С. 120–151.
9. *Чернышов Н.М.* Геолого-генетическая модель формирования сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений еланского типа (Центральная Россия) // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке (Минералогия, генезис, технология, аналитика). М., 1999. Т. 4. С. 120–140.
10. *Чернышов Н.М.* Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). — Воронеж: ВГУ, 2004.
11. *Чернышов Н.М., Чернышова М.Н.* Цветные и благородные металлы в недрах Воронежского края и перспективы их освоения // Регион: системы, экономика, управление. Воронеж, 2009. Вып. 2. С. 133–153.
12. *Чернышов Н.М.* Благородные металлы в сульфидных кобальт-медно-никелевых рудах еланской группы месторождений Воронежского региона (закономерности распределения, геолого-экономический потенциал, перспективы освоения) // Регион: системы, экономика, управление. Воронеж, 2011. № 2 (13). С. 59–85.
13. *Чернышов Н.М., Чернышова М.Н.* Особенности распределения и модель механизма фракционирования металлов платиновой группы в сульфидных никелевых рудах еланского типа месторождений. Статья 1. Сульфидные никелевые руды еланского типа месторождений и особенности распределения в них металлов платиновой группы // Вестн. ВГУ, Сер. геол. 2011. № 1. С. 117–132.

14. Чернышов Н.М., Чернышова М.Н. Особенности распределения и модель механизма фракционирования металлов платиновой группы в сульфидных никелевых рудах еланского типа месторождений. Статья 2. Геолого-генетическая природа рудномагматической системы еланского типа и механизм фракционирования в рудах металлов платиновой группы // Вестн. ВГУ. Сер. геол. Воронеж, 2011. № 2. С. 148–167.
15. Чернышов Н.М., Чернышова М.Н. Платиноносные формации Воронежского кристаллического массива и их место в общей модели формирования докембрийской литосферы (Центральная Россия) // Платина России. Красноярск, 2011. Т. VII. С. 161–181.
16. Чернышов Н.М. Сульфидные платиноидно-медно-кобальт-никелевые руды еланского типа месторождений (условия локализации, типы и состав, генетические особенности) // Руды и металлы. 2012. № 6. С. 24–37.
17. Чернышов Н.М., Гензель Г.Н., Рахманин В.С. К проблеме комплексного освоения еланского типа месторождений цветных (Ni, Cu, Co) и благородных (платиноиды, золото, серебро) металлов Воронежского региона в условиях жестких экологических ограничений // Регион: системы, экономика, управление. Воронеж, 2012. № 2. С. 52–64.
18. Чернышова М.Н. Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия). – Воронеж: ВГУ, 2005.
19. Arndt N.T., Jenner G.A. Crystally contaminated komatiites and basalts from Kambalda, Western Australia // Chem. Geol. 1986. Vol. 56. № 3/4. P. 229–255.
20. Chernyshov N.M., Pereslavitsev A.V. The role assimilation in forming the nickeli-ferrous norite-diorite intrusions of the Voronezh crystalline massif // Int. Geol. Rev. 1994. Vol. 36. P. 587–604.
21. Huppert H.E., Sparks R.S.J. Cooling and contamination of mafic and ultramafic magmas during ascent through continental crust // Earth Planet. Sci. Letters. 1985. Vol. 74. N 4. P. 371–386.
22. Naldrett A.J., Rao B.V., Evensen N.M. Contamination at Sudbury and its role in ore formation // Metallogeny of basic and ultrabasic rocks. London, 1986. P. 75–91.
23. Sparks R.S.J. The role of crystal contamination through geological time // Earth Planet. Sci. Letters. 1986. Vol. 78. № 2/3. P. 211–223.



МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ ПРИБАЛТИКИ В СВЯЗИ С ИХ КОМПЛЕКСНОЙ МЕТАЛЛОНОСНОСТЬЮ

В.И.Вялов, А.С.Балахонова (ФГУП «ВСЕГЕИ»), М.И.Гамов, Ю.В.Попов, А.В.Наставкин (ЮФУ)

Приведены данные по комплексной металлоносности диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна — уникального источника не только U, но и Re, Sc, Rb, Te, Cs, Pt, Pd, Au, Ag, а также V, Ti, Cu, Mo для промышленного извлечения. Указаны ресурсы урана, оценены ресурсы благородных, редких, рассеянных, цветных металлов. Подсчитана их извлекаемая ценность, которая суммарно составляет около 4,35 трлн. р. Сделан вывод о возможном существенном расширении минерально-сырьевой базы страны за счет реализации комплекса ценных металлов диктионемовых сланцев.

Ключевые слова: диктионемовые сланцы (ДС), металлоносность, рений, структура, петрографический состав и органические компоненты ДС, сульфиды.

Вялов Владимир Ильич, Vladimir.Vyalov@vsegei.ru, Балахонова Алина Сергеевна, Гамов Михаил Иванович, gamov@sfedu.ru, Попов Юрий Витальевич, Наставкин Алексей Валерьевич

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF THE BALTIC STATES STERILE COALS IN CONNECTION WITH THEIR COMPLEX METAL CONTENT

V.I.Vyalov, A.S.Balakhonova, M.I.Gamov, Yu.V.Popov, A.V.Nastavkin

Data is presented on the metal content of dictyonema shale in the Baltic basin. The Baltic dictyonema shale is not only a unique source of U, but also of Re, Sc, Rb, Te, Cs, Pt, Pd, Au, Ag, and V, Ti, Cu, and Mo for commercial recovery. Information is given on uranium resources; resources of noble, rare, trace and non-ferrous metals are appraised. Their gross recoverable value is calculated, and it totals to about 4,35 trln. rub. The conclusion is drawn that the country's mineral resource base may be substantially extended due to a complex of valuable metals contained in the dictyonema shale.

Key words: dictyonema shale (DS), metal content, rhenium, structure and material-petrographical composition and organic components of DS, sulfides.

Черные, или диктионемовые, сланцы Прибалтийского бассейна — темно-коричневые аргиллиты, обычно тонкослоистые, с 10–20% керогена. Свое название получили из-за наличия в них многочисленных остатков *Dictyonema flabelliformis* Eichw., преобладающих в составе планктонных организмов раннепалеозойских морей. Локализованы ДС в одном пласте изменчивой мощности 0,5–8 м среди нижнеордовикских осадочных пород пакепортского горизонта. В Ленинградской области такие сланцы с ресурсами в десятки миллиардов тонн служат энергетическим низкосортным топ-

ливом, а также сырьем для получения урана* и потенциальным источником ряда редких и рассеянных элементов. В последние годы при помощи количественных инструментальных методов поэлементного анализа показано [2, 4], что диктионемовые сланцы — новое перспективное нетрадиционное минеральное сырье на рений, платиноиды и другие ценные металлы.

Диктионемовые сланцы Прибалтики накапливались в прибрежно-морских обстановках мелководного шельфа в условиях нормальной солености. После континентального перерыва в позднем кемб-

* Именно эти сланцы были первоначальным сырьем для извлечения урана, из которого в СССР была изготовлена первая атомная бомба. В настоящее время ДС отнесены к бедным и убогим урановым рудам из-за средней концентрации урана в них.

**1. Содержание химических элементов во фракциях (остатках после экстракции)
диктионемовых сланцев**

| Фракция | Re 1,7 | Ag 4,1 | Ni 45,9 | Cu 55,2 | V 1410 | Cr 94,5 | Mo 420 | Au 0,081 | Pt 0,061 | U 156 |
|---------|-------------|-------------|------------|--------------|---------------|------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| В-1 | 0,77 | 13,7 | 142,5 | 74,05 | 540,5 | 165,0 | 413,5 | 0,05 | <0,03 | 64,45 |
| В-2 | 0,00 | 5,36 | 18,15 | 30,60 | 59,0 | 52,45 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 3,48 |
| В-3 | 0,08 | н/о | 14,05 | 38,45 | 1435,0 | 55,85 | 84,05 | 0,09 | 0,06 | 72,20 |
| В-4 | 1,57 | | 44,40 | 53,60 | 1595,0 | 55,75 | 387,5 | 0,08 | 0,06 | 169,0 |
| В-5 | 0,17 | | 48,40 | 396,5 | 1615,0 | 61,95 | 56,55 | 0,08 | 0,07 | 163,5 |
| В-6 | 0,05 | | 0,87 | 9,97 | 9,09 | 9,85 | 2,84 | 1,89 | <0,02 | <0,03 |

П р и м е ч а н и е. Цифры под индексом элемента — концентрация в рядовой пробе ДС, подвергнутой экстракции; В-1 — гуминовые кислоты, В-2 — остаток после обработки HNO₃, В-3 — остаток после обработки перекисью водорода, В-4 — остаток после экстракции бензолом, В-5 — остаток после удаления гуминовых веществ, В-6 — водорастворимые карбоновые кислоты, в том числе фульвокислоты (собраны на активированном угле); жирным шрифтом выделены минимально промышленные содержания, учитываемые Госбалансом.

рии — раннем ордовике море трансгрессировало, образовав эпиконтинентальный заливо-проливообразный бассейн на севере Русской платформы. В этом бассейне сначала накапливались песчаные осадки с остатками створок беззамковых брахиопод *Obolus*, а в завершающей стадии существования бассейна — диктионемовые илы с максимальной мощностью в центральной части бассейна.

Изучение металлоносности диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна началось в 30-х годах прошлого века с исследования их радиоактивности. Сланцы анализировались как возможное сырье для извлечения радия, а с середины 40-х годов были организованы прогнозно-поисковые работы, направленные на выяснение перспектив их ураноносности. В результате работ, проведенных Северной экспедицией Первого главного геологического управления Мингео СССР, были выявлены крупнейшие ресурсы бедных урановых руд. Дальнейшее изучение диктионемовых сланцев проводилось попутно при геолого-съёмочных работах м-ба 1:200 000 и поисково-разведочных исследованиях на фосфатное сырье в оболочках песчаниках, залегающих под диктионемовыми сланцами. При этих работах были выявлены локальные участки с концентрациями урана.

Поисковые и разведочные работы сопровождались детальными литологическими и минералогическими исследованиями, которые осуществлялись сотрудниками ВИМС (М.Н.Альтгаузен, Т.Н.Давыдова, Ц.Л.Гольдштейн и др.) [1]. Было определено строение пласта диктионемовых сланцев, распределение в нем урана, его формы нахождения, а также содержания сопутствующих элементов. В их числе наиболее часто в повышенных концентрациях были отмечены Mo, V, Ni, P, реже Zn, TR, Sc,

Re и др. Источником урана, по мнению М.Н.Альтгаузена, была морская вода.

Во ВСЕГЕИ также проводились региональные металлогенетические исследования, специализированные на уран (Л.В.Григорьева и др., 1972; И.С.Ожинский и др., 1975; И.С.Оношко и др., 1979 и др.) [7]. Установлено, что область развития ураноносных нижнеордовикских пород находится в зоне влияния мантийных и коровых разломов, проникающих из фундамента в осадочный чехол. В участках пересечения разломов в породах чехла установлены полиметаллическая минерализация и аномальные ореолы молибдена. На основе этих данных сделано предположение о возможности эпигенетического перераспределения урана в зонах влияния разломов с возникновением более высоких концентраций по отношению к сингенетическим накоплениям.

О наличии рения в органическом веществе горючих и битуминозных сланцев, битумах, нефти известно примерно с начала 70-х годов прошлого века. С 1978 г. стали периодически отмечаться случаи выявления повышенных концентраций Re в сланцах Прибалтики [7]. В 2006 г. Б.Е.Наумов рассчитал, что в пределах Эстонии запасы Re в диктионемовых сланцах, даже при их содержании 100–200 мг/т, составляют около 10,5–21,1 тыс. т [5].

Традиционные источники рения — медно-порфировые месторождения, но в России недостаточно развиты технологии их освоения в отношении Re. Возможный путь для России в плане создания стабильной МСБ рения — поиск его нетрадиционных источников.

В настоящее время [2, 4] в ДС установлены промышленные концентрации Re до 3,6 г/т в штучных пробах и в среднем ~0,2 г/т в бороздовых. Отметим, что содержание Re как сопутствующего

2. Результаты микрозондирования диктионемовых сланцев (масс-спектрометрия с лазерной абляцией), г/т

| Номера точек | Re | Co | Cu | Zn | As | Mo | Ag | Au | Ti | Pb | Th | U |
|--------------|-------------|-------------|---------------|------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-----|-------------|-------------|
| 1 | 1,1 | 224 | 2430 | 86,2 | 658 | 28,8 | 8,43 | н/о | 18 | 256 | 9,93 | 154 |
| 2 | 0,45 | 61,4 | 352 | 80,6 | 504 | 8,35 | 5,89 | 0,059 | 2,71 | 444 | 10,7 | 103 |
| 3 | 0,4 | 124 | 693 | 96 | 477 | 9,67 | 5,09 | 0,027 | 2,93 | 307 | 7,06 | 76 |
| 4 | 2,1 | 165 | 20 950 | 61,9 | 567 | 96,8 | 22,7 | 0,07 | 207 | 211 | 79,4 | 1090 |
| 5 | 2,3 | 85,1 | 1650 | 13,7 | 620 | 21,9 | 10,4 | н/о | 4,75 | 424 | 50,5 | 955 |
| 6 | 1,5 | 53,8 | 1040 | 29,3 | 662 | 22,5 | 8,47 | | 4,52 | 405 | 9,52 | 80,2 |
| 7 | 1,5 | 104 | 308 | 34,8 | 493 | 22,8 | 4,87 | 0,38 | 267 | 134 | 43,3 | 266 |
| РП | 0,12 | 26,2 | 421 | 94,1 | 42,6 | 17,4 | - | 0,019 | 6,63 | - | 3,99 | 19,3 |

Примечание. РП — данные по рядовой пробе «массивных сульфидов».

компонента в рудах на промышленном уровне составляет всего 0,045 г/т [1]. Суммарные концентрации платиноидов (Pd+Ro+Pt) в ДС 0,03–0,06 г/т, а содержание РЗМ часто превышает 340 г/т (данные по 16 скважинам, пробуренным в 2012 г. в районе пос. Копорье). Подобные концентрации фигурируют в Государственном балансе запасов месторождений полезных ископаемых Российской Федера-

ции [3] и поэтому заслуживают внимания. Имеются также повышенные содержания Rb, Cs, Sc, заметные Ag (0,0–n г/т), Au 0,0n г/т, а V, Ti, Cu, Mo достигают промышленных концентраций, подобных таковым в рудах этих металлов в некоторых известных месторождениях.

Естественно, возникают вопросы о том, где локализируются металлы — в неорганической минеральной части ДС (и/или) в органическом веществе (ОВ). Знание закономерностей распределения металлов в ДС особенно необходимо для решения технологических проблем по извлечению ценных элементов.

Методика исследований.

Структура и вещественно-петрографический состав ДС изучались на растровом электронном микроскопе VEGA II LMU (фирмы «Tescan») с энергодисперсионным микроанализом INCA ENERGY 450/XT (фирмы «OXFORD Instruments Analytical») в Центре исследований минерального сырья и состояния окружающей среды Южного федерального университета. Минеральная часть ДС (остаток после обработки бензолом) анализировалась в лаборатории ВСЕГЕИ на рентгеновском дифрактометре «ДРОН-6», оснащенный трубкой с Со-анодом и графитовым монохроматором при напряжении $U=35$ Кв и силе тока $I=25$ мА в диапазоне от 5 до 75° по шкале 2 θ (аналитик В.Ф.Сапега). Спектр обрабатывался при помощи программного пакета PDWin-4

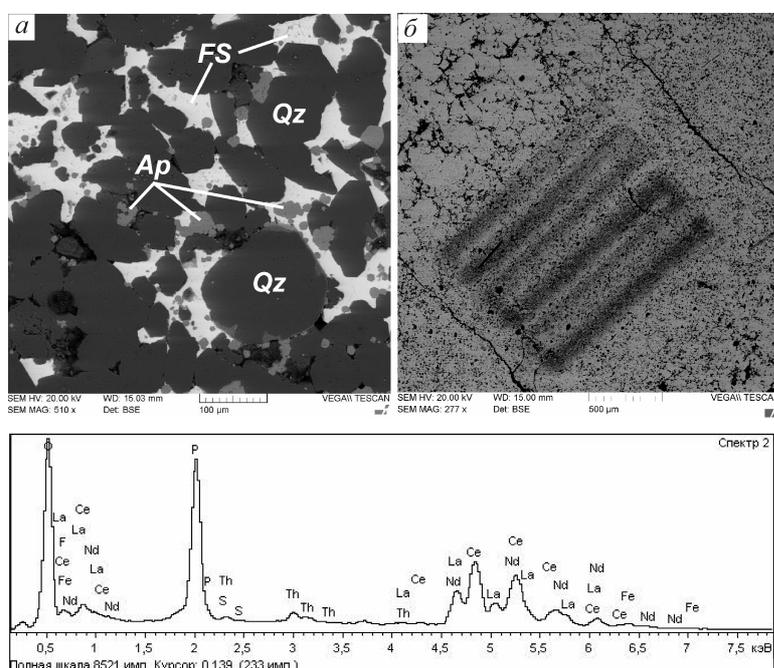


Рис. 1. Песчаник из нижней части пласта диктионемового сланца:

a — зерна кварца, сцементированные сульфидами с тонкой вкрапленностью апатита; *б* — зона лазерной абляции в сульфидном цементе песчаника; пирит (белое), вверху справа — фосфатизированный обломок *Obolus* (серое), обломки полевых шпатов, кальцит (серое); удлиненные формы черного цвета — остатки *Dictyonema*

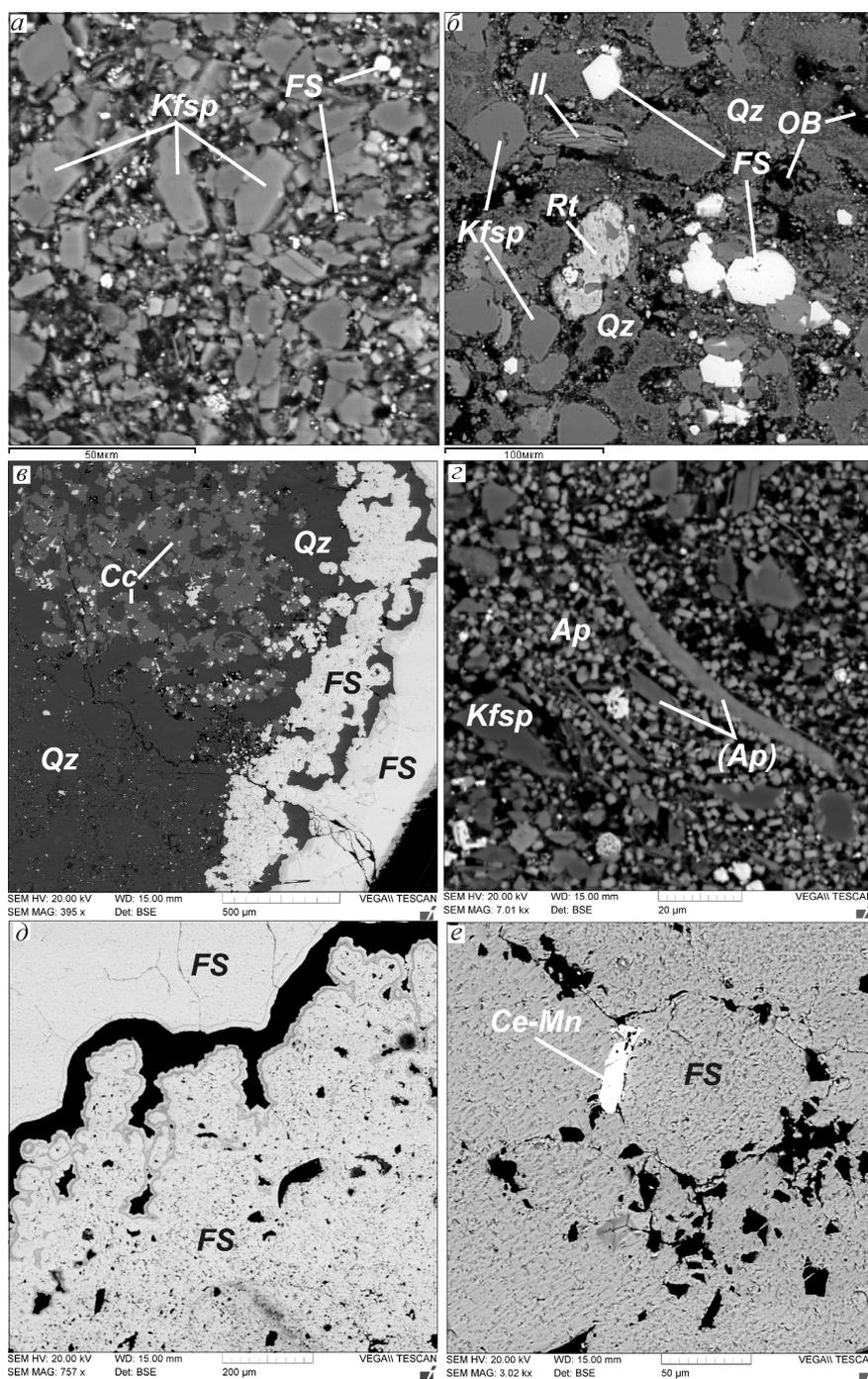


Рис. 2. Структура и минеральный состав диктиниевых сланцев (а–е):

Kfsp — калиевый полевой шпат, *Qz* — кварц, *Il* — иллит, *FS* — сульфиды железа, *Rt* — рутил, *Ap* — карбонатфторапатит, (*Ap*) — фосфатизированный детритовый материал, *Cc* — кальцит, *Ce-Mn* — цериевый монацит, *OB* — органическое вещество

и международной картотеки JCPDS. Для изучения особенностей распределения рения и других ценных металлов производилось экстрагирование диктиниевых сланцев не только бензолом, но и другими растворителями (HNO_3 , перекись водорода). Были выделены гуминовые (в среднем 15 вес. %) и карбоновые кислоты, в том числе фульвокислоты (экстрагирование выполнено А.А.Гонцовым, ФГУП

«ВНИГРИуголь»). Остатки и вытяжки были проанализированы в ЦЛ ВСЕГЕИ. Результаты приведены в табл. 1. Для прямого определения металлов в сульфиде в ЦЛ ВСЕГЕИ сделан микроанализ методом масс-спектрометрии с лазерной абляцией на квадрупольном масс-спектрометре «ELAN-DRC-6100» (рис. 1, б — точки зондирования размером 1×1 мм, результаты в табл. 2).

В гуминовые кислоты переходят (%): Re 7, V, U 6, Mo, Cr 15, Cu 20, Ag, Ni ~50. При выходе гуминовых кислот из диктионемовых сланцев в среднем 15% и концентрации рения 0,77 г/т их можно рассматривать как «руды на рений» и положительно оценивать возможности извлечения ценных металлов из ДС.

Минеральная часть диктионемовых сланцев представлена полиминеральной смесью (%) из кварца (~60), калиевого полевого шпата — санидина и микроклина (~25%), иллита (<10%), карбонатов, элементарной серы и селена, кристаллического карбонатфторопатита и фосфатизированных фрагментов раковин (замещенных Na,S-содержащим карбонатфторопатитом), сульфидов железа — пирита, марказита и (пирротина?) (Σ 2–10), образующих несколько генераций рентгеноаморфной фазы (до 1) (рис. 2, в–д). Среди акцессорных минералов отмечаются циркон (с содержанием Hf ~1,5 вес. %) и рутил (см. рис. 2, б). Сульфиды железа встречаются в виде рассеянной вкрапленности или локализируются в форме прослоек и линзочек, нередко образуя микросфероагрегаты в сростании с минералами кремнезема различной степени раскристаллизованности (см. рис. 2, д). В составе таких агрегатов отмечаются единичные зерна галенита, халькопирита, Се-монацита (см. рис. 2, е) и микронной размерности вкрапления фаз оксида урана (вероятно, настурана).

Рений и ряд ценных элементов локализируются в сульфидах диктионемовых сланцев. Исследование состава сульфидов, образующих массивный цемент песчаника из нижней части пласта диктионемового сланца (см. рис. 1, а), указывает на содержание в них ценных металлов в надфоновых концентрациях (табл. 2). Учитывая площадь области зондирования (1×1 мм, см. рис. 1, б) и приведенные выше данные о минеральном составе сульфидных ассоциаций, можно заключить, что металлы присутствуют как в виде изоморфных примесей в сульфидах железа, так и в форме микроминеральных фаз иного состава (карбонатфторопатит, монацит, настуран и др.).

Микроанализ показал содержания Re в пирите от 0,4 до 2,1 г/т. Выявлена устойчивая корреляционная связь Re–U (коэффициент корреляции 0,83) и Re–Mo (коэффициент корреляции 0,59). Следует отметить, что молибден в диктионемовых сланцах не обнаружен.

Проведенными исследованиями установлено, что рений и другие представляющие практический интерес металлы связаны как с органическими компонентами ДС, так и с сульфидами. Учитывая преимущественно эпигенетический характер фор-

мирования сульфидов в песчаниках, концентрации металлов в образце «массивных» сульфидов (см. табл. 2), по-видимому, отражают особенности перераспределения микроэлементов в пласте ДС в течение их длительной (более 500 млн. лет) геологической истории.

Изучение вещественно-петрографического состава диктионемовых сланцев при помощи современной инструментальной аналитической техники позволяет глубоко исследовать минеральный состав и особенности распределения ряда ценных металлов и дать положительные рекомендации по их возможному извлечению. Как было показано ранее [6], экстракция рения из мелких кристаллов маккиновита (пирита) возможна в водном растворе. Они легко растворяются с высвобождением Re и других связанных с сульфидом элементов. Семиокись рения свободно растворяется в воде. При осушении нанофракции рений может фиксироваться в образующемся гипсе. Таким образом, рений (и ряд сопутствующих ему ценных металлов) могут легко извлекаться в количестве от 32% и более из минеральных и органических компонентов диктионемовых сланцев. В результате последние следует относить к крупнейшей нетрадиционной МСБ рения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альтгаузен М.Н.* Металлоносные черные сланцы венд-нижнепалеозойского возраста // Oil Shale-Горючие сланцы. Таллин, 1992. 9/3. С. 194–207.
2. *Вялов В.И., Миронов Ю.Б., Неженский И.А.* О металлоносности диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна // Минеральные ресурсы России. 2010. № 5. С. 19–23.
3. *Государственный баланс запасов месторождений полезных ископаемых Российской Федерации.* – М., 2010. Вып. 28. Рассеянные элементы. С. 18.
4. *Металлоносность диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна / В.И.Вялов, В.А.Михайлов, Г.А.Олейникова и др.* // Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург, 2010. Вып. IV (20). С. 193–199.
5. *Наумов Б.Е.* Рений и другие редкие и рассеянные металлы в горючих сланцах Прибалтики и в медно-молибденовых рудах Средней Азии как ценный природный ресурс // Тр. Института экономики и управления. Таллин, 2006. Вып. 4. С. 125–145.
6. *Олейникова Г.А., Панова Е.Г., Русанова Л.И., Шишлов В.А.* Патент RU № 2 370 764 от 20.10.2009, приоритет от 27.12.2007 г., ФГУП «ВСЕГЕИ» и СПбГУ.
7. *Поплавко Е.М., Иванов В.В., Орехов В.С., Тархов Ю.А.* Особенности металлоносности горючих сланцев и некоторые предположения об их генезисе // Геохимия. 1978. № 9. С. 1411–1418.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.435:551.35

© Б.Д.Углов, 2013

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФОРМЫ РУДНЫХ ТЕЛ ГЛУБОКОВОДНЫХ СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА

Б.Д.Углов (ФГУП «ЦНИГРИ»)

Достоверная оценка ресурсного потенциала обнаруживаемых на дне океана колчеданных рудных тел невозможна без определения их формы и объема. Для решения этой задачи в настоящее время может быть применен метод приближенных аналогий с известными наземными колчеданными месторождениями. Однако корректное решение задачи состоит в применении комплекса специализированных геофизических методов — высокоточной батиметрии, электроразведки методом естественного электрического потенциала и высокоточной магнитометрии в придонных вариантах. В статье рассмотрены некоторые потенциальные возможности использования данных методов.

Ключевые слова: глубоководные полиметаллические сульфиды, колчеданные руды, высокоточная батиметрия, электроразведка методом естественного электрического потенциала, высокоточная магнитометрия, оценка ресурсного потенциала.

Углов Борис Дмитриевич, bduglov@mail.ru

DETERMINATION OF THE FORM OF ORE BODIES OF DEEP SULFIDES DEPOSITS TO ASSESS THEIR RESOURCES POTENTIAL

B.D.Uglov

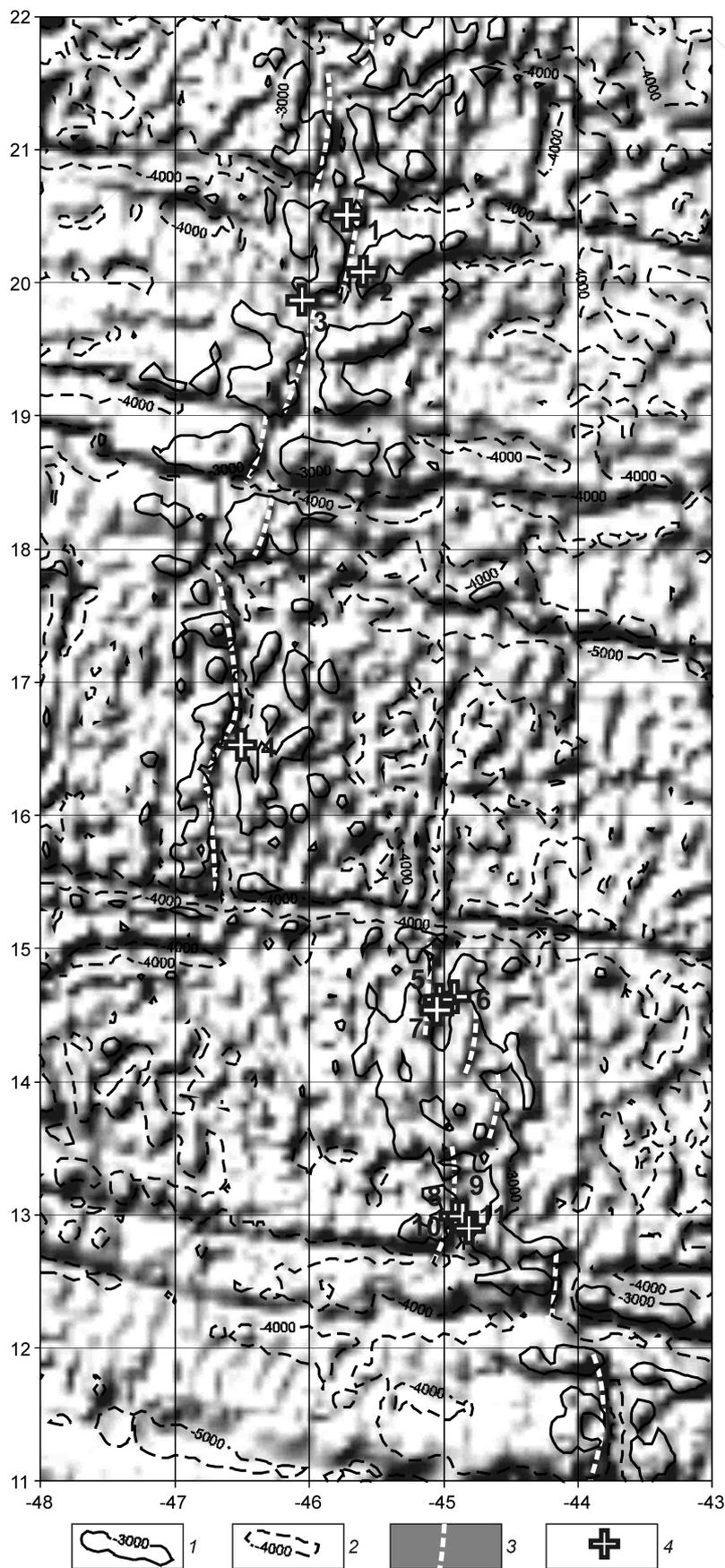
Reliable estimate of the resource potential of detected on the ocean floor massive sulfide ore bodies is not possible without the determination of its shape and volume. To solve this problem at present method can be applied close analogies with known ground pyrite deposits. However the correct solution is to use complex specialized geophysical methods — the precision bathymetry, electrical by the method of the natural electric potential and a high-precision magnetometry in the bottom versions. The article discusses some potential uses of the data methods.

Key words: deep sea polymetallic sulphides, pyrite deposits, high-precision bathymetry, electric prospecting method of natural electric potential, high-precision magnetometry, assessment of resource potential.

В последние десятилетия XX столетия стало очевидным, что основные рудные полезные ископаемые Мирового океана – железомарганцевые конкреции (ЖМК), кобальтомарганцевые корки (КМК) и глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС), соответствующие колчеданным рудам, широко распространены на океанском дне. Более того, там выявляется все большее количество обстановок, благоприятных для формирования данных рудных образований [9]. В результате этого Мировой океан представляется хранилищем колоссальных ресурсов твердых полезных ископаемых, многократно превышающих ресурсы их континентальных аналогов. В конкрециях, корках и субмаринных колчеданных рудах содержится значительное количество Ni, Co, Mn, Cu, Zn, Ag, Au, Pb и других полезных компонентов, многие из которых являются стратегическими. Это заставило обратить внимание на минерально-сырьевые ресурсы дна Мирового океана научные, промышленные и поли-

тические круги ведущих стран мира и рассматривать их как последний в пределах Земного шара потенциальный ресурсный источник, способный обеспечить перспективное развитие государств и сулящий в будущем значительные геополитические и экономические выгоды.

Предмет нашего рассмотрения – глубоководные полиметаллические сульфиды – обладают некоторыми уникальными внешними признаками и внутренними свойствами. Их массивные тела, образующие подводные холмы и причудливые сооружения типа гигантских труб, через которые изливаются горячие металлоносные растворы («черные курильщики»), найдены в осевых зонах (рифтовых долинах) срединно-океанских хребтов, формирующих гигантскую глобальную подводную горную систему в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах. В большом количестве ГПС обнаружены в пределах островных дуг, обрамляющих западную часть Тихого океана, а также в некоторых районах



Средиземного моря. Содержащиеся в данных рудах полезные компоненты можно подразделить на несколько групп: главные — Cu, Zn, Pb, Fe, S, попутные — Au, Ag, редкие и рассеянные — Co, Ni, Cd, As, Sb, Mo, In, Sc, Te, Se, Bi, Ta, Ga, Ge, Y и др.

Начатые в России (Министерство геологии СССР) более 35 лет тому назад планомерные геологоразведочные работы в Мировом океане в целях изучения и освоения его минеральных ресурсов ознаменованы определенными научными и политическими результатами. Так, в 1982 г. при активном участии нашей страны разработан и принят текст Международной конвенции по морскому праву, которая тогда же была ратифицирована Советским Союзом. В этом основополагающем документе определены главные принципы многосторонней деятельности в Международном районе морского дна (МРМД) за пределами зон национальной юрисдикции прибрежных и островных государств, представленных прибрежной полосой шириной 200 морских миль (около 370 км).

Важным шагом в направлении активного участия нашей страны в освоении минеральных ресурсов Мирового океана стало, в частности, заключение Контракта на разведку полиметаллических сульфидов между Международным органом по морскому дну (МОД ООН) и Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации в 2012 г. В нем устанав-

Рис. 1. Район российских интересов в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта:

1 — изобаты -3000 м и мельче; 2 — изобаты -4000 м и глубже; 3 — рифтовая долина САХ; 4 — сульфидные месторождения (1 — Пюи-де-Фолль, 2 — Зенит-Виктория, 3 — Питерское, 4 — Краснов, 5 — Логачёв-4, 6 — Логачёв-1, 7 — Логачёв-2, 8 — Семёнов, 9 — Ашадзе-1, 10 — Ашадзе-2, 11 — Ашадзе-3)

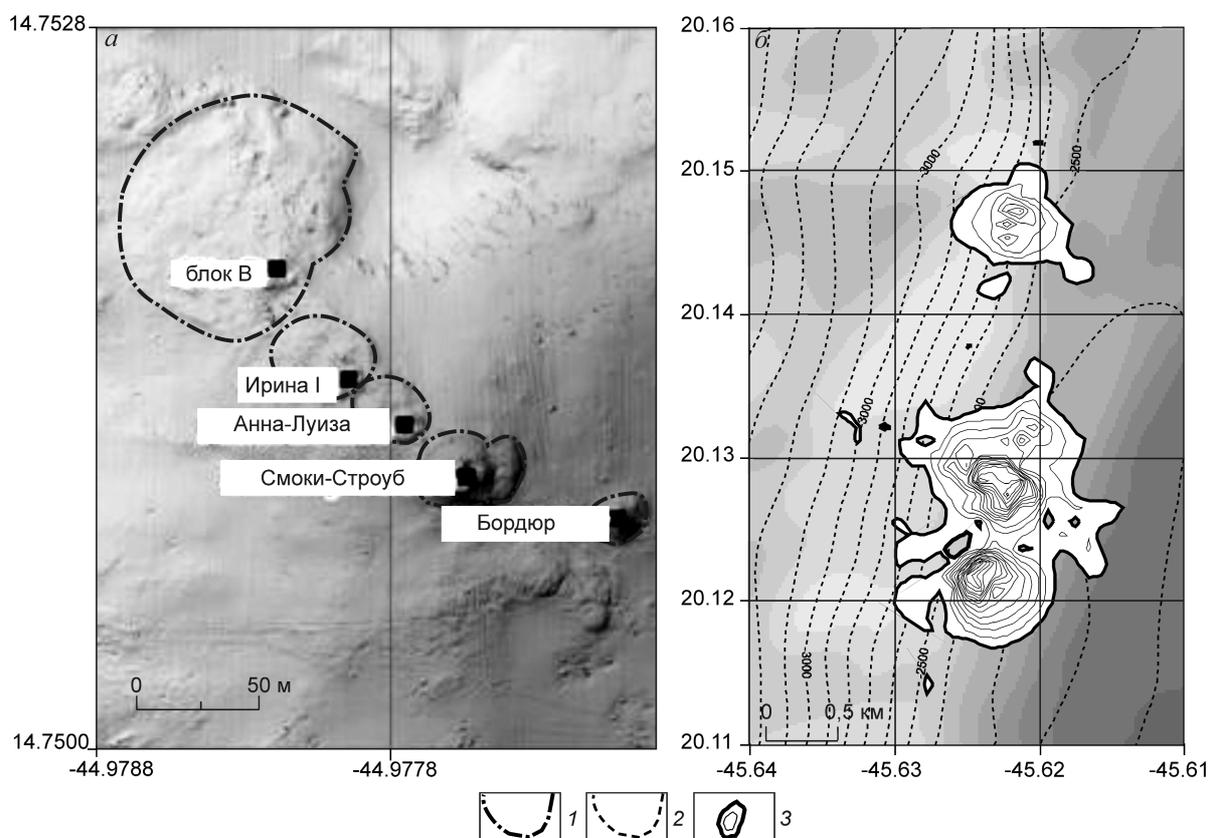


Рис. 2. Основные гидротермальные постройки рудного поля Логачёв-1 по данным детальной придонной батиметрии, полученным французской экспедицией Ifremer (*a*), и расположение рудного поля Зенит-Виктория по электроразведочным (ЕП) данным (*b*):

1 — предполагаемые контуры рудных тел по батиметрическим данным; 2 — изобаты; 3 — предполагаемые контуры рудных тел по электроразведочным данным (жирная линия) и изолинии полного горизонтального градиента электрического потенциала (dU)

ливаются, что Российский разведывательный район общей площадью 216 622 км² представлен 100 не граничащими друг с другом блоками (10×10 км каждый) в интервале 12°48'25"–20°54'50" с.ш. осевой зоны Срединно-Атлантического хребта (длинная сторона района составляет 897 км). Общий район российских интересов в Атлантике на современном этапе, включающий Российский разведывательный район, представлен на рис. 1.

Первоочередная задача первого этапа работ по Контракту — выявление перспективных районов для проведения более детальных разведочных работ, поскольку половина участков, не отобранных нашей страной для дальнейшей эксплуатации, должна быть возвращена МОД ООН для дальнейшего использования на благо всего человечества. В связи с этим соответствующие специализированные исследования на ГПС в выделенном районе должны быть направлены на обнаружение новых

сульфидных рудных тел и оценку их ресурсного потенциала.

Оценка ресурсов предусматривает определение размеров рудных тел по трем координатным осям и, соответственно, их объема. Важнейшие методы определения этих параметров — геофизические. Рассмотрим некоторые используемые и предлагаемые методы поисков и разведки конкретных сульфидных рудных тел в пределах перспективных на колчеданообразование обстановок в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта. Одни из них применяются Полярной морской геологоразведочной экспедицией (ПМГРЭ) при практических поисках глубоководных сульфидных рудных тел, другие — зарубежными организациями или предлагаются в настоящей работе.

Широко применяется один из наиболее эффективных геофизических методов поисков месторождений ГПС — высокоточное многолучевое эхолотирование океанского дна. На основе полученных

детальных карт рельефа выделяются геоморфологические особенности изучаемого района, связываемые с перспективными площадями, и намечаются некоторые предположительно рудоносные участки дна. Выполняемая затем сонарная съемка локатором бокового обзора позволяет определить в общем плане характер субстрата (илистое, песчаное или скальное дно), а придонная батиметрическая с высоким разрешением — обнаружить вершины сульфидных холмов, соответствующих местоположению рудных тел. Пример такой съемки, осуществленной французской экспедицией Ifremer, показан на рис. 2, а. Выделенные небольшие сульфидные холмы от 20 до 50 м в поперечнике размещаются в пределах рудного поля Логачёв-1. Такие батиметрические данные дают представление о расположении некоторых, но, очевидно, далеко не всех рудных тел, поскольку выходы последних на поверхность могут быть завуалированы рыхлыми отложениями или вообще не отражаться в рельефе. Кроме того, батиметрические данные не дают информации о распространении рудного тела на глубину.

Одно из решающих значений для разведки сульфидных рудных тел имеет геофизический метод естественной поляризации ЕП. Наиболее подробно его теория и практика рассмотрены А.С.Семеновым [8]. Метод основан на том, что сульфидные рудные тела и некоторые другие природные образования создают достаточно интенсивные электрические поля, которые могут быть зафиксированы современной электроизмерительной аппаратурой — потенциометром с двумя неполяризуемыми электродами, буксирюемыми с интервалом в несколько десятков метров друг от друга на расстоянии в первые сотни метров от дна. Генерация электрического потенциала обусловлена тем, что колчеданное рудное тело и вмещающая его водная среда образуют гальванический элемент, внешней цепью которого является само рудное тело, а внутренней — окружающая ионная среда. Вследствие этого наблюдаемые вблизи поверхности дна электрические поля имеют отрицательный знак. Отметим, что теория этого метода весьма сложна и пока до конца не разработана, в связи с чем основные методические выводы делаются на основе лабораторных экспериментальных данных. В морских условиях, когда измерения выполняются в проводящей среде — морской воде — трудности при интерпретации данных возрастают. Тем не менее, метод ЕП (при соответствующей методике обработки измерений, рассмотренной ниже) показал себя исключительно эффективным способом обнаружения рудных тел. Пример выявления

местоположения рудных тел в рудном поле Зенит-Виктория приведен на рис. 2, б.

Данный метод в простейшем варианте применяется ПМГРЭ. Однако возможности его при этом используются далеко не полностью. Из получаемых данных об измерении ЕП может быть извлечена более обширная информация, чем простая фиксация возможного наличия рудного тела. Для этого необходимо использование корректных методик полевых наблюдений, их обработки и интерпретации. Остановимся на некоторых элементах этих методик.

Во-первых, измерения электрического потенциала должны выполняться по регулярной сети профилей, обеспечивающей выявление рудных тел интересующих исследователя размеров, т.е. межпрофильные расстояния не должны превышать половины предполагаемого размера искомого тела. Во-вторых, полученные в процессе съемки первичные данные не пригодны для построения корректных карт в изолиниях естественного потенциала из-за относительного характера измерений, существования дрейфа нуля и других погрешностей, присущих методу. Поэтому на основе анализа имеющихся данных предлагается достаточно простая методика уравнивания профилей и выделения полезного сигнала (аномалий потенциала) на фоне помех. Она состоит в следующем.

Для каждого профиля определяется линия тренда, к которой как нулевой приводятся измеренные значения. Тренд может выражаться (в соответствии с характером данных и выбором интерпретатора) линейной $y=ax+b$ или чаще всего полиномиальной зависимостью преимущественно второго порядка вида $y=ax^2+bx+c$. Здесь y — значение уровня относимости, x — координата точки измерения на профиле. Коэффициенты a , b , c определяются путем решения систем соответствующих уравнений методом наименьших квадратов. При этом количество уравнений в системах весьма велико и равно числу измерений на профиле. Методика решения таких уравнений давно и подробно разработана, начиная с основополагающих работ Гаусса, и содержится в ряде стандартных пакетов программ (например, *Excel*).

Далее уровни относимости каждого из профилей с использованием связующих секущих профилей приводятся к единому (нулевому) уровню съемки, чем осуществляется взаимная увязка наблюдений. Отклонения измеренных параметров от полученного нулевого уровня (местного нормального поля), собственно, и представляют собой аномалии ЕП. Обработка данных по такой методике при применяемой измерительной аппаратуре

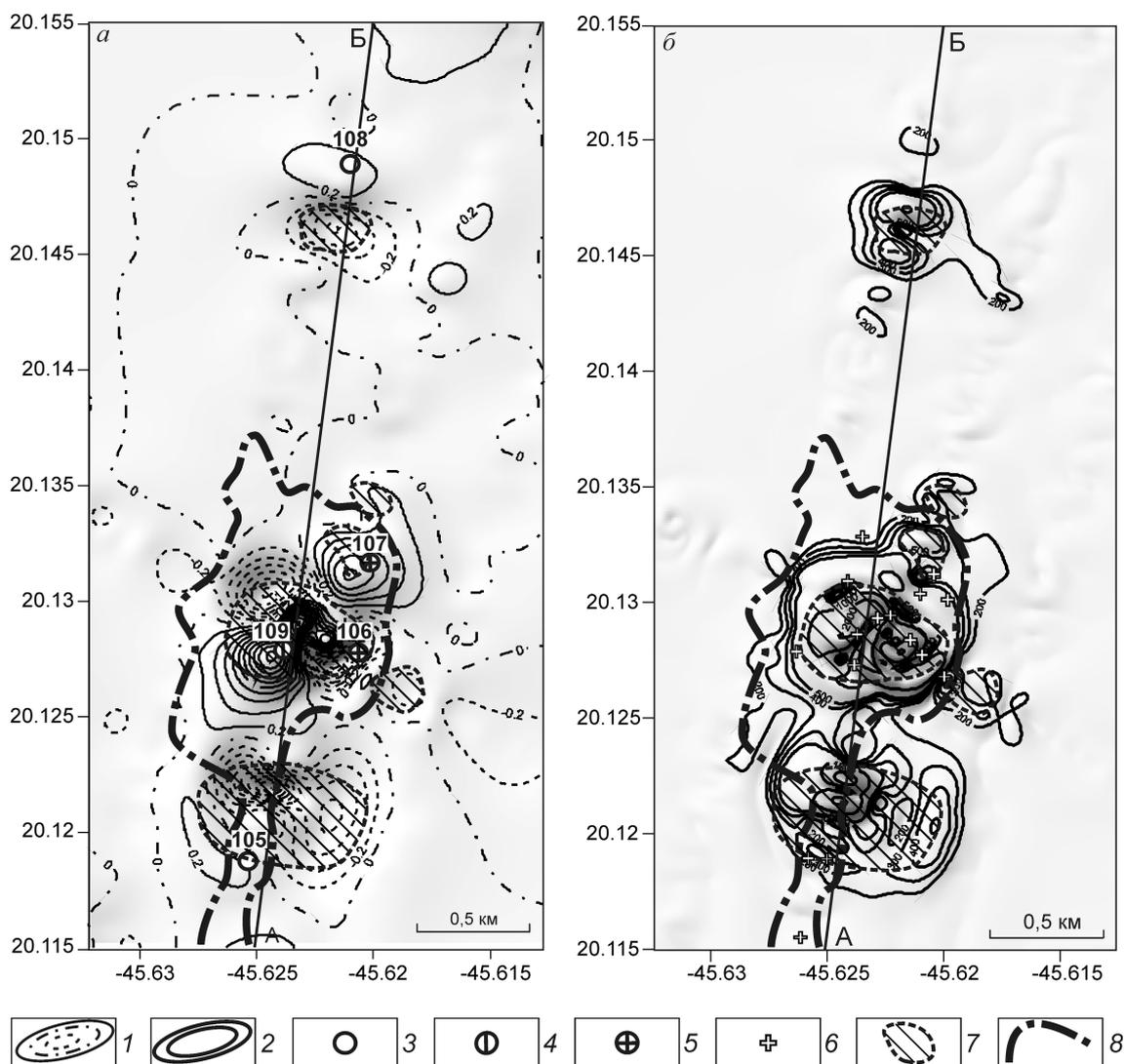


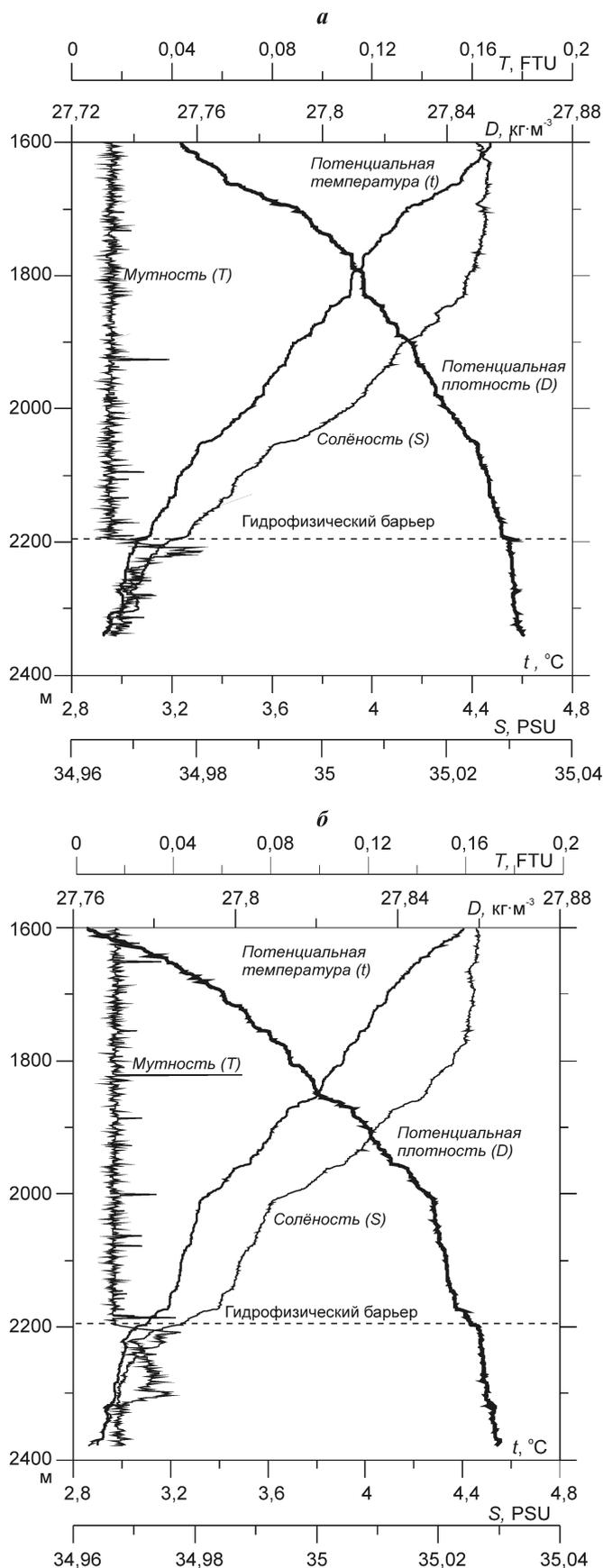
Рис. 3. Аномалии естественного электрического потенциала ΔU (а) и полного горизонтального градиента электрического потенциала dU (б) в рудном поле Зенит-Виктория:

данные ЕП: 1 — изолинии естественного электрического потенциала ΔU с сечением 0,2 мВ, 2 — изолинии полного горизонтального градиента электрического потенциала dU с сечением 200 мВ/км и более; станции гидрофизического зондирования: 3 — без увеличения мутности в придонном слое, 4 — с незначительным увеличением мутности в придонном слое, 5 — со значительным увеличением мутности в придонном слое; 6 — станции телевизионных грейферов с образцами рудных пород и минералами-индикаторами гидротермальной деятельности; 7 — площади рудных тел по электроразведочным данным; 8 — предполагаемый контур рудного тела по данным геологической съемки (визуальных наблюдений телевизионной камерой и результатам пробоотбора)

позволяет уверенно выявлять аномалии ЕП полной амплитудой порядка 3–5 мВ при среднеквадратической погрешности съемки $\pm 0,1$ мВ. Последнее дает возможность строить карты изолиний ЕП с сечением 0,2 мВ. Построенная с использованием такой методики карта аномалий ЕП в пределах рудного поля Зенит-Виктория приведена на рис. 3, а.

Из представленной на рис. 3, а карты видно, что аномалии естественного электрического поля

не имеют четких границ, огибающих рудное тело, и выражаются как отрицательными, так и положительными значениями. Между тем, как упоминалось ранее, в соответствии с теоретическими предпосылками, установленными для наземной съемки, к сформировавшимся сульфидным объектам должны быть приурочены, как правило, отрицательные аномалии ЕП. Учитывая это, отметим, что природа выявленных положительных аномалий



пока не достаточно ясна. Интерес в этом смысле представляют результаты гидрофизического зондирования, выполненного на данном участке в 33-м рейсе НИС «Профессор Логачёв» (расположение станций зондирования см. рис. 3, а). Показано, что на станциях, расположенных в пределах группы положительных аномалий ЕП, в придонном слое, ограниченном сверху своеобразным гидрофизическим барьером, выражающимся заметными скачками температуры, солёности и плотности, отмечается повышенная мутность воды. Особенно ярко это выражено на станциях 106 и 107 (рис. 4) и более слабо на станции 109. Данный факт свидетельствует о проявлении в пределах крупного центрального рудного тела своеобразных процессов гидротермальной активности. Бурного излияния гидротерм с построением труб и других построек не происходит. По-видимому, здесь гидротермальные флюиды просачиваются через вмещающие породы, в том числе и через осадки, с образованием источников типа сипов. Такие фильтрационные процессы теоретически могут быть источниками положительных аномалий ЕП [8].

Таким образом, обнаруженные методом ЕП сульфидные рудные тела с помощью гидрофизического зондирования водной толщи могут быть предварительно рассортированы на активные и неактивные, гидротермальная деятельность в которых прекратилась. Это имеет большое практическое значение, поскольку активные гидротермальные источники представляют научный интерес, но не перспективны для промышленной разработки в связи с наличием вблизи них уникальных биосистем, нарушение функционирования которых недопустимо.

Итак, аномалии ЕП индицируют наличие рудных тел, однако не дают определенного представления об их контурах. Между тем, исходя из общих свойств потенциальных электромагнитных полей, следует, что границам тел-источников поля (вернее, их наиболее массивным частям — «ядрам») соответствуют максимумы аномалий модуля полного горизонтального градиента наблюдаемых аномалий. Поэтому для выделения высокочастотного полезного сигнала и

Рис. 4. Вертикальные профили гидрофизического зондирования на станциях 106 (а) и 107 (б), расположение которых показано на рис. 3, а

эффективного определения положения контура аномалий ЕП весьма перспективно использование метода градиентной фильтрации (модификация метода Корделл-Граух, распространенного в гравиразведке и магниторазведке). Вычисляется полный горизонтальный градиент потенциальных полей, а затем по его максимальным значениям выделяются границы источников аномалий. В случае поля электрического потенциала U модуль его полного горизонтального градиента определяется выражением:

$$dU = \left[\pm \left[(dU/dx)^2 + (dU/dy)^2 \right]^{1/2} \right],$$

где dU/dx — первая производная поля по широте, dU/dy — первая производная поля по долготе.

Пример результатов обработки данных съемки ЕП по такой методике, выполненной на рудном поле Зенит-Виктория, приведен на рис. 3, б. Видно, что аномалии полного горизонтального градиента естественного электрического поля имеют четкие границы, с большой долей вероятности совпадающие с контурами рудных тел в плане. Это подтверждается данными донного пробоотбора, из которых следует, что образцы, отобранные в пределах выделенных контуров грейферами с телевизионным контролем, представлены рудными породами или содержат минералы-индикаторы гидротермальной деятельности. Эти контуры, нанесенные на карты аномалий ЕП и их градиентов (см. рис. 3), дают представление об их взаимоотношении с данными аномалиями. На основе полученных электроразведочных данных можно утверждать, что рудное поле Зенит-Виктория, кроме рудного тела, хорошо изученного фототелевизионными методами, методами пробоотбора и показанного как результат геологической съемки на рис. 3, содержит еще ряд рудных тел, которые ждут своего изучения.

Таким образом, задача обнаружения и оконтуривания глубоководных сульфидных рудных тел в плане решается методом ЕП весьма эффективно. Однако совершенно неудовлетворительно в настоящее время обстоят дела с установлением пространственного, трехмерного контура рудных тел, что приводит во многом к спекулятивным определениям их объема и, как следствие, к весьма приблизительным, можно даже сказать произвольным, оценкам их ресурсного потенциала. Это связано с тем, что донный пробоотбор, фототелевизионная съемка, электроразведочный метод ЕП не позволяют определять глубину залегания нижних кромок рудных тел, а геофизические методы, дают возможность в принципе решать эту задачу (например, электроразведка методом ВЭЗ [1]), пока не нашли практического применения в отечественных исследованиях океана ввиду своей сложности и малой производительности. К тому же наиболее мощный

и достоверный метод оценки внутренней структуры, конфигурации и состава рудного тела — глубоководное специализированное бурение — в морской практике не используется, поскольку работоспособное и эффективное оборудование для этих целей в нашей стране пока не создано.

В принципе, решение такой задачи возможно двумя различными способами: 1) путем косвенной оценки формы и размеров рудного тела по аналогии с моделями древних колчеданных месторождений суши; 2) прямым определением формы рудного тела с помощью геофизических методов, в частности придонной высокоточной магнитометрии. Приближенная оценка формы рудного тела первым способом основана на результатах сравнительного анализа глубоководных и наземных колчеданных месторождений [9].

Так, сульфидные рудные тела, обнаруженные в пределах Срединно-Атлантического хребта, относятся преимущественно к кипрскому типу колчеданных месторождений и могут считаться аналогами хорошо изученных однотипных объектов суши. В рамках традиционной классификации они связываются с однородной базальтовой формацией натриевой серии, характерной для эвгеосинклиналей (офиолитовых геосинклиналей) [2, 3, 5]. Рассматриваемый тип месторождений колчеданного семейства получил название от принятых за эталон медно-кобальто-колчеданных объектов о. Кипр, ассоциирующихся с офиолитами — реликтами древней океанической коры. Месторождения этого типа считаются по большей части мелкими, иногда средними, но являются довольно многочисленными. Для эффективного прогноза и поисков весьма полезно использовать параметрические показатели их главных элементов — линейные размеры геологических тел, размер и интенсивность метасоматических ореолов, а также геохимические и геофизические аномалии, фиксирующие рудные тела и разные части окорудного пространства [4].

Обобщенные характеристики параметрических моделей месторождений разных типов позволяют выявить корреляцию максимальных и минимальных линейных размеров рудных тел с параметрами рудовмещающего пространства. На рис. 5, а такие обобщенные характеристики отображены графически применительно к месторождениям кипрского типа. При этом учтены линейные и площадные параметры рудных тел и рудовмещающих частей геологического пространства. Очевидно, что эти характеристики необходимо учитывать при прогнозных и оценочных построениях. Полученные таким образом зависимости и статистически достоверные корреляционные связи между основными коли-

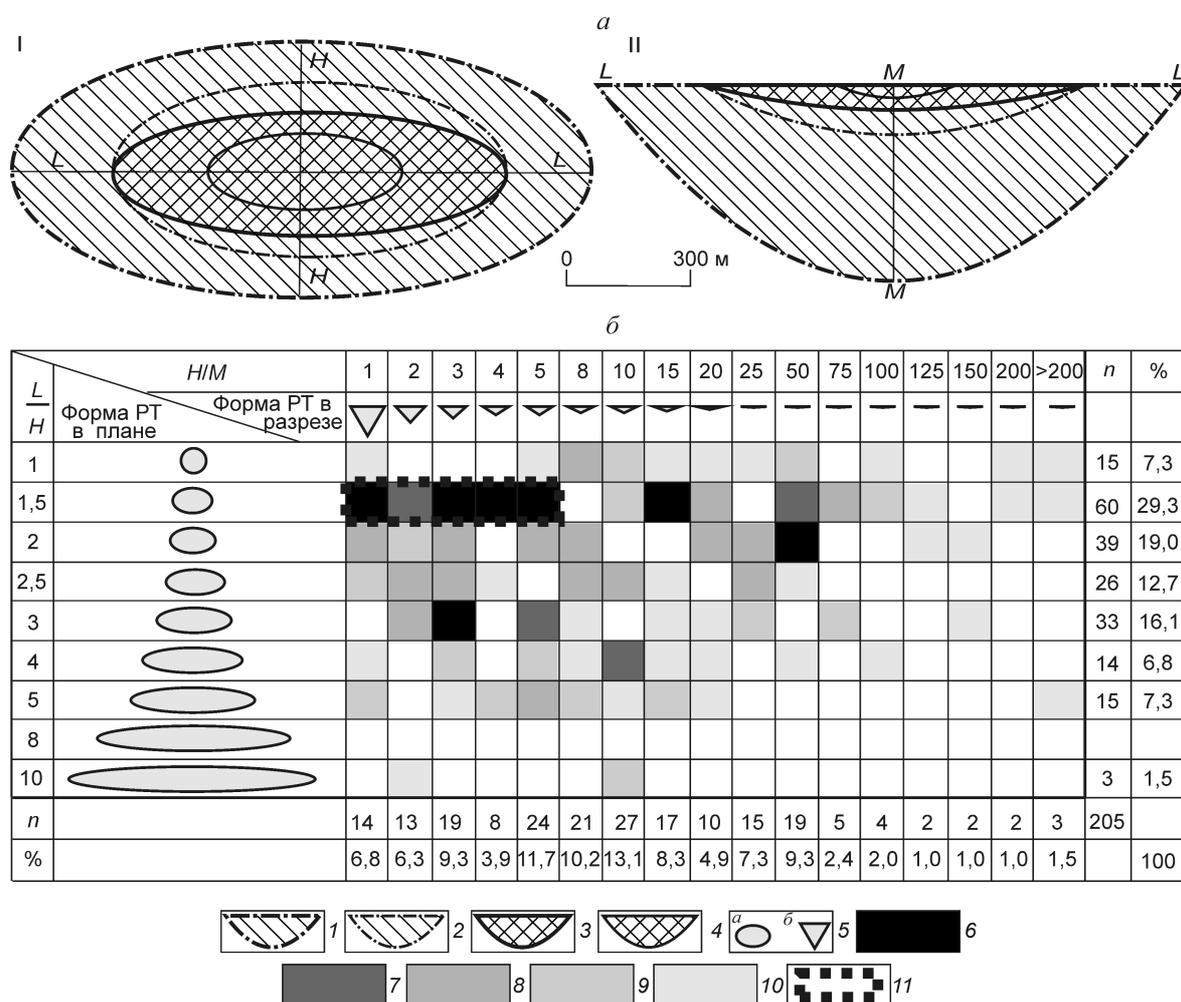


Рис. 5. Параметрическая модель колчеданного месторождения кипрского типа (а) в плане (I) и продольном разрезе (II), поля распределения 205 рудных тел (РТ) месторождений колчеданного семейства по соотношениям осей рудных тел (б), по [7] с упрощениями:

контуры месторождения совместно с рудовмещающим пространством: 1 — максимальные, 2 — минимальные; контуры рудного тела: 3 — максимальные, 4 — минимальные; 5 — обобщенные контуры рудных тел (а — в плане, б — в разрезе); число рудных объектов в выборке: 6 — пять и более, 7 — четыре, 8 — три, 9 — два, 10 — один; 11 — выборка наиболее часто встречающихся форм рудных тел (~12% от общего числа)

ественными характеристиками околорудного и рудовмещающего пространства позволяют уже на ранних стадиях геологоразведочных работ, в том числе и морских, приблизительно определить размеры вероятных рудных тел [4].

Геометризация рудных тел [7] (см. рис. 5, а) дает возможность анализировать соотношения их линейных параметров по трем взаимно перпендикулярным осям (продольной L — длине, поперечной H — ширине и мощности M) в различных сочетаниях. Выбранные параметры определяются независимо от пространственной ориентировки рудных тел, чем обеспечиваются необходимые сопоставимость и воспроизводимость построений. Форма за-

лежи характеризуется отношениями: L/H — в плане, H/M — в вертикальном поперечном сечении, L/M — в продольном. Для каждого типа месторождений в работе [6] определены классы значений L/H и соответствующие им поля значений H/M в координатах $L/H - H/M$, а также частота встречаемости рудных тел в каждом классе названных соотношений. Результаты такой обработки в сводном виде для всей выборки приведены на рис. 5, б. По соотношениям L/H и H/M выделяется несколько морфометрических классов колчеданных месторождений, в каждом из которых определена доля объектов рассматриваемых типов. Так, для месторождений кипрского и уральского типов наиболее характерны

морфометрические отношения $L/H=1,5$, по величине H/M эти месторождения расположены в диапазоне 1–5, что отмечено зубчатой рамкой на рис. 5, б. Анализ рассмотренных моделей позволяет предполагать, что колчеданные рудные тела осевой зоны Срединно-Атлантического хребта, принадлежащие к колчеданным месторождениям кипрского типа, имеют близкую к изометричной форму в плане и конусообразную объемную с соотношением параметров $H/M=1-5$ и $L/H=1,5$.

Исходя из сказанного можно предположительно судить, например, о пространственных размерах трех основных рудных тел поля Зенит-Виктория по профилю АБ (см. рис. 3), представленных на рис. 6, а. Корни этих тел, вероятно, имеют глубину залегания от 1–2 км (максимальные значения) до 200–400 м (минимальные). Во всяком случае, эти величины существенно больше тех (первые десятки метров), которые обычно используются при подсчете ресурсного потенциала наблюдаемых с поверхности дна рудных тел. Подчеркнем, что такая обобщенная оценка формы рудных тел и, соответственно, их объема является сугубо ориентировочной. Она может использоваться лишь для приближенной оценки этих параметров рудных тел, в связи с чем задача оценки рудной массы глубоководных колчеданных месторождений в настоящее время не имеет окончательного корректного решения.

Второй способ — определение формы рудных тел с помощью геофизических методов — более приемлем. Самым эффективным из них представляется метод придонной высокоточной магнитометрии (предпочтительно в градиентометрической модификации) благодаря его мобильности и высокой теоретической проработке. Если рудные тела создают доступные для измерений с помощью современной аппаратуры магнитные аномалии, то может быть решена обратная задача магнитометрии — определение по виду аномальной кривой формы аномального тела (например, методом аппроксимационного подбора). Для обоснования этого положения необходимо оценить величины магнитных аномалий от ожидаемых рудных тел. Данную проблему можно решить с помощью вычисления аномального эффекта от тел заданной формы с известными магнитными свойствами. Некоторые результаты такой оценки приведены на рис. 6, б, где показаны аномалии магнитного поля, вызываемые конусообразными рудными телами с размерами, примерно соответствующими наиболее вероятным из рассмотренных выше. В рассматриваемом случае магнитные свойства рудных тел и вмещающих пород определялись путем измерения магнитной восприимчивости χ в нескольких сотнях

образцов рудных и вмещающих пород, поднятых в рейсах НИС «Профессор Логачёв» в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта. Выполненные измерения показали, что средние значения χ руды ($0,2 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ) и основных вмещающих пород — базальтов ($3,74 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ) — существенно различаются (т.е. искомые рудные тела практически не магнитны на фоне сильно намагниченных вмещающих пород). Следовательно, на границах рудных тел наблюдаются высокие контрасты намагниченности, что приводит к генерации значительных магнитных аномалий, достигающих десятков и сотен нанотесла (см. рис. 6, б). Во всяком случае, даже тела меньших размеров, чем те, что использованы в модельных расчетах, могут вызывать аномалии, достаточные по величине для их измерения современной магнитометрической аппаратурой, имеющей погрешность порядка сотых и десятых долей нанотесла.

Несомненно, что магнитные аномалии от колчеданных рудных тел весьма сложно выделить на фоне интенсивных аномалий, образуемых другими донными источниками магматической природы (базальты, перидотиты и проч.). Поэтому магнитометрический метод необходимо применять в комплексе с электроразведкой методом ЕП, который уверенно и практически однозначно выявляет присутствие именно колчеданных руд, и потому с его помощью можно разбраковывать магнитные аномалии, выделяя непосредственно нас интересующие, соответствующие именно колчеданным рудным телам.

Таким образом, на данном этапе поисков и разведки ГПС необходимо создание эффективного комплекса геофизической глубоководной буксируемой придонной аппаратуры, совмещающей сейсмоакустические, электроразведочные (методом ЕП) и магнитометрические измерения. Принципиальной трудности создание такой аппаратуры при современных технологиях не составляет. Отметим, что приведенные предложения касаются лишь самых предварительных соображений по совершенствованию методики исследования ГПС. Тем не менее, предлагаемый аппаратно-методический комплекс на современном этапе представляется наиболее эффективным для поисков и разведки ГПС.

Основные выводы проделанной работы следующие:

выполняемые в настоящее время отечественные оценки прогнозных ресурсов изучаемых рудных полей в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта весьма приближительны. Это связано с тем, что переход от поисковой стадии работ к поисково-оценочной сдерживается отсутствием в арсенале отечественных исследователей технических

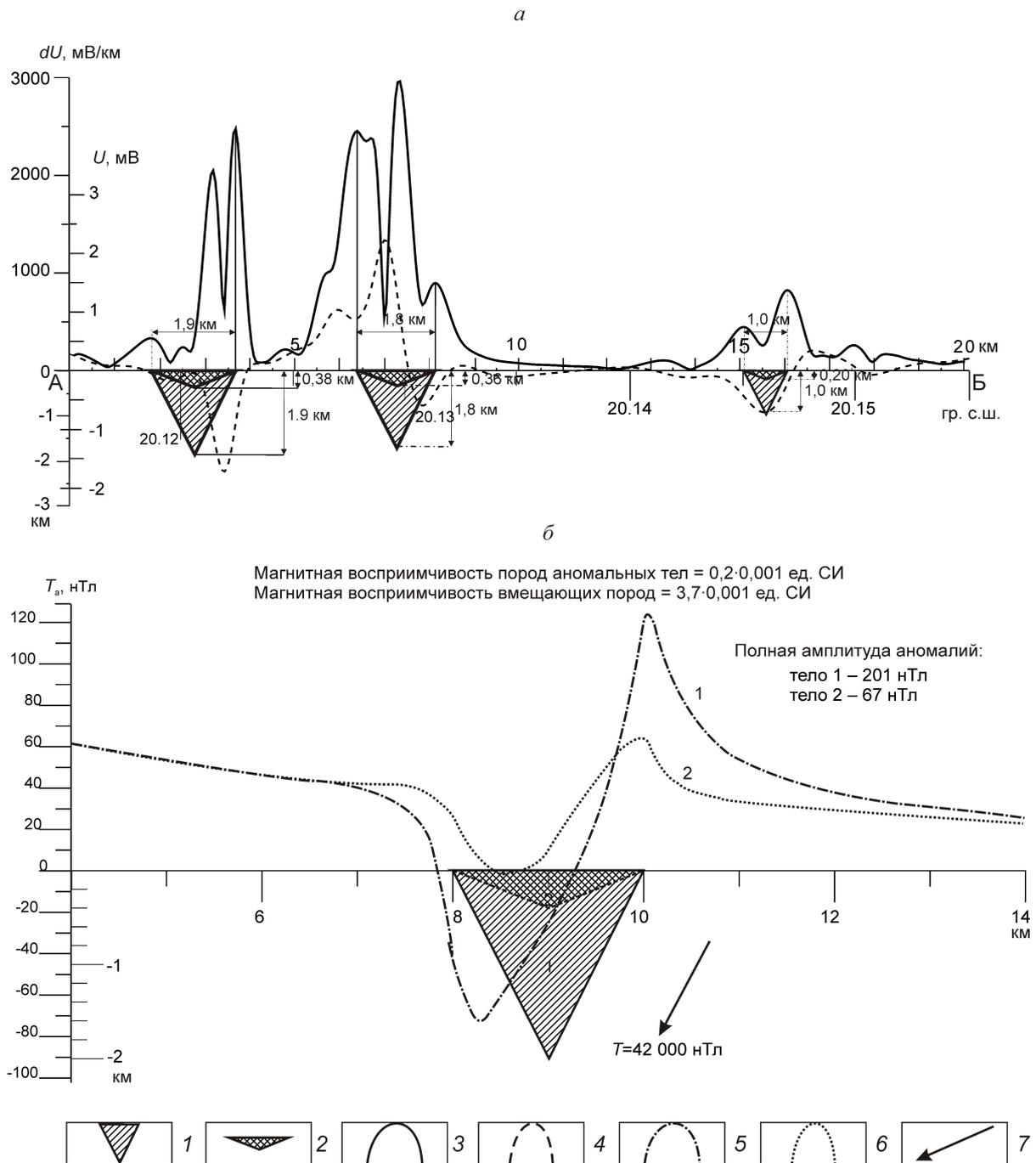


Рис. 6. Аномалии естественного электрического потенциала, его горизонтального градиента по профилю АБ (см. рис. 3) с вероятными размерами генерирующих их рудных тел (*a*) и модельные значения аномального магнитного поля от рудных тел вероятных размеров (*б*):

распространение вероятных рудных тел на глубину: 1 — максимальное, 2 — минимальное; 3 — график полного горизонтального градиента естественного электрического потенциала; 4 — график естественного электрического потенциала; графики модельного аномального магнитного поля от рудных тел: 5 — максимального, 6 — минимального размеров; 7 — направление вектора полного магнитного поля Земли в районе наблюдений

средств вскрытия рудных объектов бурением и надежных геофизических методов достоверной оценки глубины распространения оруденения;

для поисково-оценочных работ необходимо создание комплекса глубоководной геофизической аппаратуры в составе сейсмоакустической эхолотной и сонарной съемок, электроразведочной съемки методом естественного электрического поля и магнитометрической съемки методом дифференциальной магнитометрии;

на первом этапе целесообразна постановка тематических научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в целях создания эскизного проекта и опытных образцов комплекса глубоководной геофизической аппаратуры и разработки методики его применения для поисков и разведки ГПС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Использование ВЭЗ для пространственного картирования и оценки прогнозных тел ГПС / С.И.Андреев, Е.Д.Лисицын, Л.Ф.Московская и др. // Разведка и охрана недр. 2005. № 1. С. 44–47.*
2. *Колчеданные месторождения мира / Под ред. В.И.Смирнова. – М.: Недра, 1979.*
3. *Кривцов А.И. Модели субмаринного рудонакопления // Металлогения современных и древних океанов. – М., 1992. С. 5–13.*
4. *Кривцов А.И. Морфометрические характеристики рудных тел месторождений колчеданного семейства // Геология рудных месторождений. 1988. № 4. С. 58–69.*
5. *Кривцов А.И. Обстановки и условия древнего и современного колчеданообразования // Геология рудных месторождений. 1987. № 3. С. 3–17.*
6. *Кривцов А.И., Гераков А.Н. Методические основы оптимизации, оценки и разведки меднорудных месторождений по модельным морфометрическим характеристикам. – М.: ЦНИГРИ, 1989.*
7. *Месторождения колчеданного семейства. Сер. «Модели месторождений благородных и цветных металлов» / А.И.Кривцов, О.В.Минина, А.Г.Волчков и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002.*
8. *Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. – Л.: Недра, 1980.*
9. *Углов Б.Д. Геолого-геофизическое районирование дна Мирового океана для металлогенического анализа // Отечественная геология. 2006. № 2. С. 42–51.*

УДК 553.08:549.731.11, 18

© А.Н.Юричев, 2013

АКЦЕССОРНЫЕ ШПИНЕЛИДЫ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ: ИНДИКАТОРЫ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ

А.Н.Юричев (Томский государственный университет)

Приведены особенности акцессорных шпинелидов из ультрамафитов различной формационной принадлежности. Представлены тренды эволюции химического состава, химическая зональность и ее разновидности, расплавные включения в зернах. Показаны примеры использования данных особенностей при реконструкции условий и геодинамических режимов формирования вмещающих их объектов.

Ключевые слова: ультрамафиты, мафиты, шпинелиды, химизм, эволюция составов, геотермометры, геодинамика.

Юричев Алексей Николаевич, juratur@sibmail.com

ACCESSORY SPINELIDES FROM ULTRAMAFICS: INDICATORS OF CONDITIONS OF FORMATION

A.N.Yurichev

The paper presents the features of the accessory spinels from ultramafics of different formational affiliation. The trends of evolution of the chemical composition, chemical zoning and its variants, melt inclusions in grains are shown. The examples of use these features for reconstruction conditions and geodynamic modes of formation of their-bearing objects are presented.

Key words: ultramafics, mafics, spinelides, chemistry, evolution of compositions, geothermometrics, geodynamics.

Ультрамафитовые и мафит-ультрамафитовые комплексы, являющиеся потенциальными источниками рудных и нерудных полезных ископаемых — Au, ЭПГ, Ni, Cu, Cr, асбеста, драгоценных и поделочных камней, в последние несколько десятилетий приобрели значимую индикаторную роль при реконструкции геодинамических режимов образования литосферы Земли [2, 17, 20]. Однако породы, слагающие данные комплексы, нестабильны в коровых условиях и почти всегда подвержены воздействию различных метаморфических и метасоматических процессов. Восстанавливать их природу приходится по реликтовым парагенезисам или полностью измененным породам. Наиболее информативными петрологическими индикаторами служат акцессорные минералы, в частности шпинелиды. Их состав характеризуется широким изоморфизмом и чувствительно реагирует на изменение физико-химических параметров эволюционирующего магматического расплава и различные метаморфические преобразования уже раскристаллизовавшихся пород.

Шпинелиды — наиболее распространенные типоморфные минералы ультраосновных пород, содержатся в количестве 0,1–2%, нередко образуют вкрапленность до 10% в дунитах. Размер и форма их выделений весьма разнообразны. В препаратах и макроскопически наблюдаются выделения от пылевидных включений в силикатах (0,001 мм) до крупных зерен (до 25 мм) и их разнообразных агрегатов. Форма и цвет зерен также весьма разнообразны.

Так, ксеноморфные зерна, окрашенные в светлые тона от желто-зеленых до бурых, встречаются только в первичных лерцолитах и гарцбургитах. Изометрично-округлые просвечивающие красным цветом зерна характерны для высокоглиноземистых хромовых руд. Хорошо ограненные кристаллики шпинелидов октаэдрического габитуса, обычно черные, непросвечивающие, встречаются во вторичных метасоматических породах — дунитах, жильных пироксенитах, высокохромистых хромовых рудах [4]. Корродированные зерна и скелетные кристаллики, замещаемые серпентинами и хлоритами, типоморфны для метаморфитов по ультрамафитам и мафитам.

В настоящее время перспективными направлениями в исследовании акцессорных хромшпинелидов считаются изучение особенностей их химического состава, химической зональности и расплавных включений (сульфидных и силикатных) в зернах, использование хромшпинелидов, находящихся в тесной ассоциации с зернами оливина, в качестве геотермометров (например, оливин-шпинелиевые геотермометры Е.Д.Джексона [19] и Дж.Фабри [18]) и индикаторов геодинамической обстановки.

Состав и свойства шпинелидов ранее интенсивно изучались [3, 4, 6–11, 13, 15–17]. Выявлены широкая их изменчивость и типоморфизм, большая чувствительность и емкость реакции на изменения минералообразующей среды. Состав шпинелидов находится в прямой зависимости от состава вмещающих пород и степени их метаморфизма. Изучение

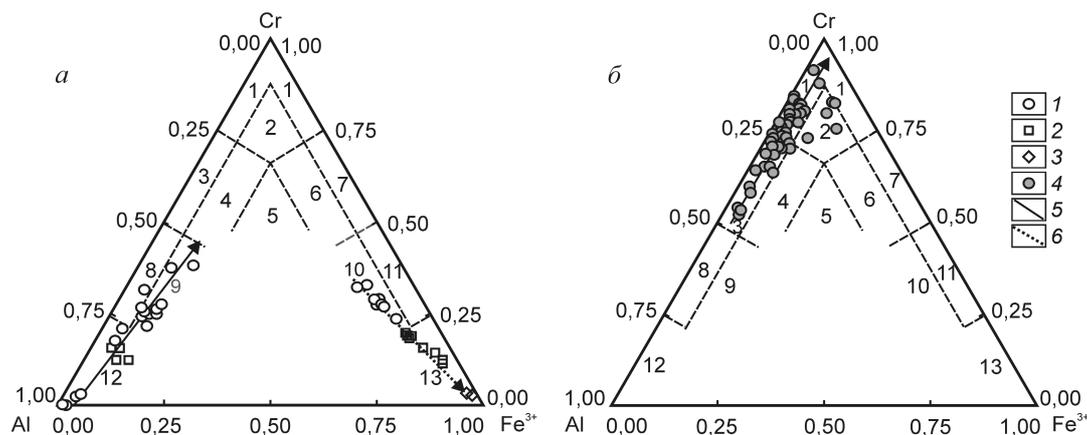


Рис. 1. Составы шпинелидов в породах талажинского комплекса (а) и Агардагского массива (б) на классификационной диаграмме Н.В.Павлова [7]:

породы талажинского комплекса: 1 — плагиодуниты, 2 — троктолиты, 3 — оливковые габбро; 4 — ультрамафиты (дуниты, гарцбургиты) Агардагского массива; шпинелиды: 1 — хромит, 2 — субферрихромит, 3 — алюмохромит, 4 — субферриалюмохромит, 5 — ферриалюмохромит, 6 — субалюмоферрихромит, 7 — феррихромит, 8 — хромпикотит, 9 — субферрихромпикотит, 10 — субалюмохроммагнетит, 11 — хроммагнетит, 12 — пикотит, 13 — магнетит; тренды изменчивости состава шпинелей: 5 — тренд эволюции состава на этапе становления массива (магматический) и дифференциации в верхней мантии (для офиолитовых комплексов), 6 — тренд метаморфического преобразования в коровых условиях

данных зависимостей дает ценную информацию о генезисе хромитовых месторождений, ультраосновных и основных пород, их формаций. На состав шпинелидов, их структурные особенности влияют термодинамические условия кристаллизации — температура, давление, Eh и рН среды, что позволяет использовать их в качестве индикаторов среды минералообразования.

Исследование автором аксессуарных шпинелидов из ультрамафитовых и мафит-ультрамафитовых комплексов Восточного Саяна [12, 13] показало, что в ходе преобразования их химического состава от ранних генераций к поздним отчетливо прослеживаются два эволюционных тренда. Первоначальный тренд состава шпинелидов (магматический) имеет вид Al, Mg→Cr и определяет преобразование шпинелидов на этапе становления массивов. Более поздний тренд (метаморфический) Al, Mg, Cr→Fe⁺³ обусловлен процессами корового метаморфизма, проявившегося в интенсивном равномерном уменьшении содержаний Cr и полном выносе подвижных компонентов (Al и Mg) из шпинелей в силикатные минералы (хлорит, серпентин). В образцах это подтверждается наличием «свежей» хлоритовой рубашки вокруг зерен шпинелей. При высоких степенях метаморфического преобразования из шпинелидов практически полностью выносятся Cr.

Подобные тренды в качестве примера показаны для шпинелидов из расслоенной серии пород талажинского плагиодунит-троктолит-анортозит-габбро-

вого комплекса (рис. 1, а). Для аксессуарных хромшпинелидов из ультрамафитов офиолитовых комплексов на примере Калнинского (Западный Саян) и Агардагского (Республика Тыва) [14] массивов (см. рис. 1, б), а также с использованием литературных источников [4, 8] подтверждается соответствие первичного тренда Al, Mg→Cr преобразованию химического состава шпинелидов в верхнемантийных условиях. При этом направление данного тренда бу-

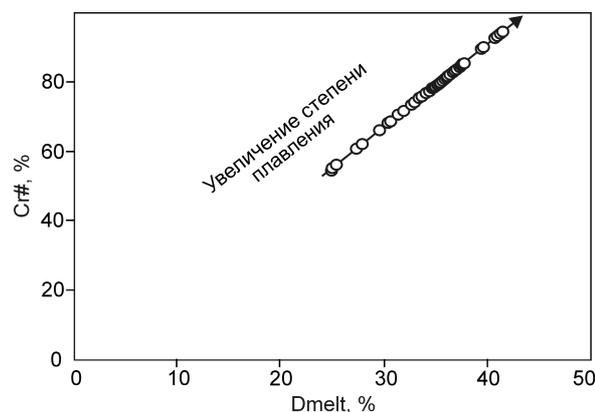


Рис. 2. График зависимости параметра хромистости Cr# хромшпинелидов от степени частичного плавления Dmelt для Агардагского ультрамафитового массива, по экспериментальным данным [3]:

$$Cr\#[Cr/(Cr+Al)] \cdot 100\%, Dmelt=0,426 \cdot Cr\#+1,538$$

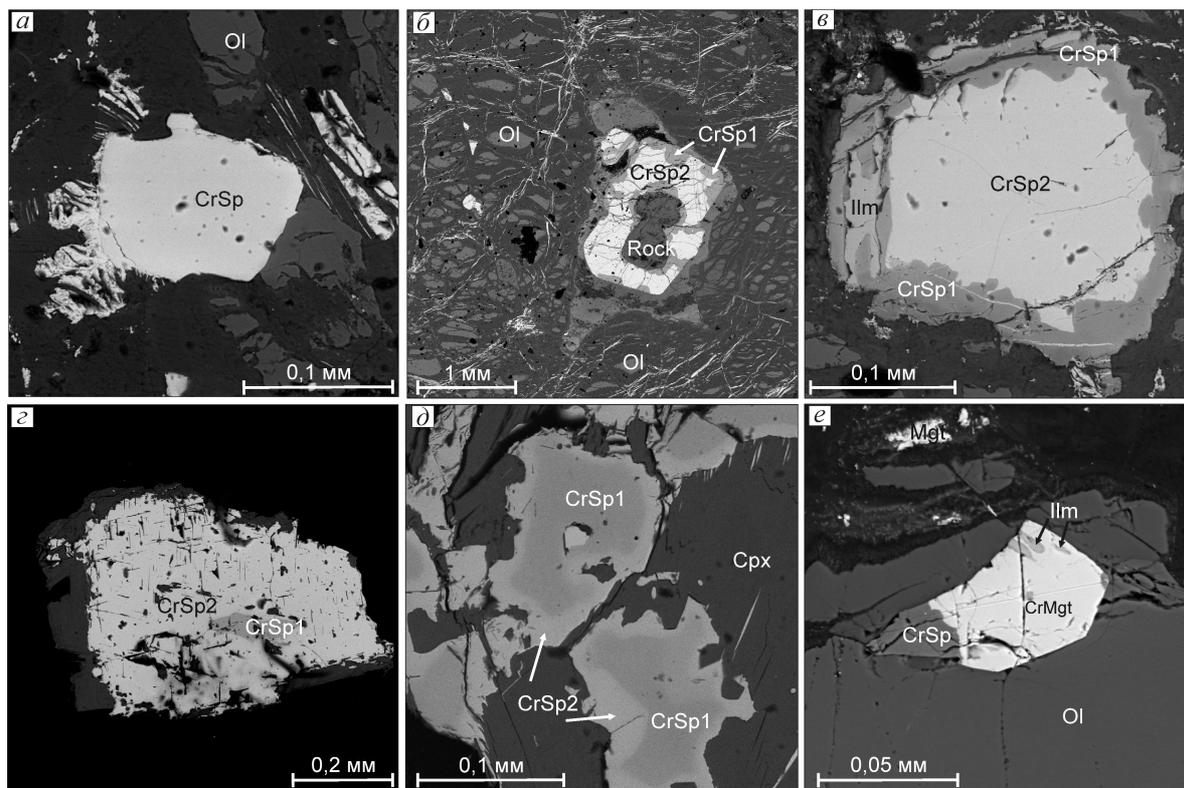


Рис. 3. Акцессорные шпинелиды из различных ультрамафитовых и мафит-ультрамафитовых комплексов Восточного Саяна:

a — идиоморфное зерно хромшпинели (кулибинский перидотит-пироксенит-габбровый комплекс); зональность в зернах хромшпинелей: *б, в* — магматическая, «обратная» (талажинский плагиодунит-троктолит-анортозит-габбровый комплекс), *г-д* — метаморфическая «прямая» (реститовый идарский дунит-гарцбургитовый комплекс), *е* — метаморфическая «преобразования» (кингашский дунит-верлит-пикритовый комплекс); CrSp — хромшпинель, CrMgt — хромистый магнетит, Mgt — магнетит, Ilm — ильменит, Ol — оливин, Crx — клинопироксен, Rock — породообразующий силикатный минерал

дет совпадать с направлением увеличения степени рестирования вмещающих их пород. Применение результатов экспериментальных данных [3] в настоящее время позволяет определять степень частичного плавления мантийного субстрата при формировании ультрамафитов. Так, согласно расчетам и графическим построениям (рис. 2), ультрамафиты Агардагского массива формировались при значительной вариации степени частичного плавления мантийного источника (25–41%).

Часть зерен шпинелидов в процессе эволюции их состава приобретают зональное строение, доказываемое с помощью микрозондирования. В одном зерне можно наблюдать хромшпинелид исходного состава, а также преобразованную фазу (рис. 3). В отдельных зернах отмечается несколько фаз преобразования. На основе изучения зональных разностей хромшпинелидов исследуемых комплексов выявлены три типа геохимической зональности со

следующими вариациями состава от центра к краю зерен:

1-й тип — «прямая» (см. рис. 3, *г-д*), уменьшение Mg# (магнезиальность, $Mg/(Mg+Fe^{2+})$), содержания MgO, Al_2O_3 при увеличении Cr# (хромистость, $Cr/(Cr+Al)$), $Fe^{3+\#}$ (степень окисления железа, $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Cr+Al)$), содержания TiO_2 и FeO_{tot} (железо общее), NiO и CoO. Данная зональность имеет метаморфический генезис и, по-видимому, образовывалась в условиях умеренных температур путем выноса подвижных компонентов из шпинелей в силикатные минералы (хлорит, серпентин) без изменения первичного габитуса зерен;

2-й тип — «преобразования» (см. рис. 3, *е*), частный случай «прямой» зональности, обусловлен возрастанием степени прогрессивного метаморфизма, полной или частичной перекристаллизацией исходных шпинелидов с нарушением исходного габитуса зерен;

3-й тип — «обратная» (см. рис. 3, б–в), увеличение Mg#, содержаний MgO, Al₂O₃ и Cr₂O₃ при уменьшении Cr#, Fe³⁺#, содержаний TiO₂ и FeO_{tot}. Данная зональность, очевидно, формируется в результате взаимодействия кумулюсных шпинелидов с интеркумулюсными силикатными минералами при становлении массивов. Однако такая зональность может иметь и метаморфическую природу и объясняется развитием процесса замещения по трещинке от центра зерна к периферии.

В процессе кристаллизации в высокотемпературных магматических условиях шпинелиды способны захватывать порции родоначального расплава, по которым можно судить о составе первичных силикатных и, в случае ликвации магмы, сульфидных расплавов [1]. Например, с производными пикритовых магм связаны многие месторождения меди, никеля и платиноидов (Джинчуан, Николандия, Монткалм, Кингаш и др.).

В качестве включений в шпинелидах могут присутствовать силикатные минералы (оливин, пироксены, роговая обманка или продукты их замещения) (см. рис. 3, б), сульфиды (чаще по составу соответствующие пентландиту), а также структуры распада в виде пластинок ильменита (см. рис. 3, в, е). Присутствие сульфидных включений в шпинелидах позволяет предполагать наличие равновесного с силикатной жидкостью сульфидного расплава, а одновременное присутствие сульфидных и силикатных включений указывает на процесс ликвации магмы на раннемагматическом этапе и, следовательно, существование сульфидной жидкости, которая после кристаллизации могла образовать рудную залежь.

Отдельного внимания при изучении химического состава шпинелидов заслуживают содержания в них Ni и Zn. Так, сравнительно невысокие содержания NiO в хромшпинелидах, с одной стороны, могут свидетельствовать об их кристаллизации из обедненной никелем магмы, что, возможно, связано с удалением сульфидной жидкости в процессе ликвации магмы. С другой стороны, содержание NiO в хромшпинелидах значительно понижается в результате взаимодействия и переуравновешивания с железоникелевыми магматическими сульфидами во время остывания и кристаллизации благодаря переходу никеля из хромшпинелида в сульфид [16]. Более высокие концентрации NiO в поздних генерациях шпинелидов можно объяснить вхождением части NiO в их состав в процессе серпентинизации оливина.

Согласно многочисленным данным [4, 8, 9, 13], содержание ZnO в хромшпинелидах из концентрически-зональных и альпинотипных ультрамафитовых массивов независимо от составов ми-

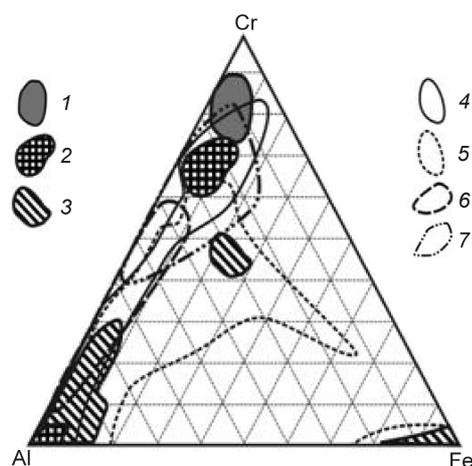


Рис. 4. Составы аксессуарных шпинелей из различных геодинамических обстановок, по данным работы [17]:

максимумы плотности значений: 1 — включения в алмазах, 2 — ксенолиты из кимберлитов, 3 — ксенолиты ультрамафитов из базальтов; границы полей: 4 — ксенолиты из кимберлитов, 5 — ксенолиты ультрамафитов из базальтов, 6 — ультрамафиты срединно-океанических хребтов, 7 — ультрамафиты глубоководных желобов

нералов варьирует в основном в пределах от 0 до 0,25 мас. %, лишь изредка достигая 0,75–0,8 мас. %. Это почти совпадает с оценками хромшпинелидов на максимально первичное (фоновое) содержание в них Zn. Как известно из литературы [5], практически все случаи сверхфонового обогащения хромшпинелидов ZnO, начиная с уровня 1 мас. %, так или иначе, обуславливаются эпигенетическими (метасоматическими, гидротермальными) преобразованиями.

Содержанию малых элементов-примесей в шпинелидах ранее уделялось незаслуженно мало внимания. Вместе с тем, высокие содержания V, Mn, Ti в хромшпинелидах сказываются положительно на экономической оценке рудного сырья при его комплексном использовании. Элементы-примеси важны при выявлении формационной принадлежности шпинелидов и ультрамафитов. Так, сарановские хромшпинелиды (Сарановское месторождение, Средний Урал) отличаются от альпинотипных низким содержанием Zn (в десять раз меньше) и повышенным содержанием Ti (в 3 раза выше). Хромшпинелиды платиноносных массивов отличаются от альпинотипных (сходного макросостава) концентрацией микропримесей. Например, в нижнетагильских хромшпинелидах по сравнению с полярноуральскими в 2–4 раза меньше V, Mn и Zn, но в 1,5–2 раза больше Ti [4].

В последнее десятилетие особенности химического состава шпинелидов позволяют использовать

их, наряду с другими петрологическими методами, при моделировании геодинамической обстановки становления исследуемых объектов [15, 20–21]. Так, исследования составов аксессуарных шпинелидов из ультрамафитов различных геодинамических обстановок мира [9, 17] позволили вынести на треугольную диаграмму Н.В.Павлова [7] несколько полей составов шпинелидов для конкретных геодинамических обстановок (рис. 4).

Таким образом, в настоящее время подтверждается возможность использования шпинелидов в качестве индикаторов формационной принадлежности и оценки потенциальной рудоносности вмещающих их объектов, а также при анализе термодинамических условий и геодинамической обстановки образования исследуемых объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бенедюк Ю.П.* Геохимия и эволюция состава хромшпинелидов ультрабазитов центральной части Восточного Саяна: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – Иркутск, 2013.
2. *Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А.* Глубинная геодинамика. – Новосибирск: СО РАН, 2001.
3. *Леснов Ф.П., Подлипский М.Ю., Поляков Г.В., Палесский С.В.* Геохимия аксессуарных хромшпинелидов из пород Эргакского хромитоносного гипербазитового массива и условия его формирования (Западный Саян) // ДАН. 2008. № 5. С. 660–664.
4. *Макиев А.В.* Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. – СПб.: Наука, 1992.
5. *Мурзин В.В.* Золотое оруденение в ультрамафитах Урала // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Мат-лы III Международной конференции. Екатеринбург, 2009. Т. 2. С. 61–64.
6. *Округин А.В.* Значение типоморфизма хромшпинелидов для прогнозирования коренных источников россыпной платины восточной части Сибирской платформы // Отечественная геология. 2005. № 5. С. 3–10.
7. *Павлов Н.В.* Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Тр. ГИН РАН. 1949. Вып. 103. С. 3–38.
8. *Перевозчиков Б.В., Плотников А.В., Макиев Т.Т.* Природа вариаций состава рудной и аксессуарной хромшпинели ультрабазитового массива Сыум-Кеу (Полярный Урал) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 4. С. 32–39.
9. *Савельев Д.Е.* Хромитоносность гипербазитовых массивов Южного Урала: Автореф. дис... д-ра. геол.-минер. наук. – Пермь, 2012.
10. *Савельев Д.Е., Сначев В.И.* Бедновкрапленные хромовые руды Южного Урала и перспективы их практического использования // Руды и металлы. 2012. № 2. С. 36–40.
11. *Савельев Д.Е., Федосеев В.Б.* Сегрегационный механизм формирования тел хромититов в ультрабазитовых складчатых поясах // Руды и металлы. 2011. № 3. С. 35–42.
12. *Юричев А.Н.* Мафит-ультрамафитовый магматизм Канской глыбы и его рудный потенциал, Северо-Запад Восточного Саяна // Руды и металлы. 2013. № 3. С. 11–20.
13. *Юричев А.Н., Чернышов А.И.* Эволюция составов шпинелиевой минерализации из различных формационных типов мафит-ультрамафитовых комплексов Канской глыбы (Восточный Саян) // Отечественная геология. 2012. № 2. С. 42–50.
14. *Юричев А.Н., Чернышов А.И., Кульков А.С.* Рудная минерализация Агардагского ультрамафитового массива (Республика Тыва) // Изв. ТПУ. 2013. Т. 323. № 1. С. 130–136.
15. *Aswad K.J.A., Aziz N.R.H., Koyi H.A.* Cr-spinel compositions in serpentinites and their implications for the tectonik history of the Zagros Suture Zone, Kurdistan Region, Iraq // Geological magazine. 2011. Vol. 148. P. 802–818.
16. *Barnes S.J., Kunilov V.Y.* Spinel and Mg ilmenites from the Norilsk 1 and Talnakh intrusions and other mafic rocks of the Siberian Flood Basalt Province // Econ. Geol. 2000. Vol. 95. P. 1701–1717.
17. *Barnes S.J., Roeder P.L.* The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // J. of petrology. 2001. Vol. 42. № 12. P. 2279–2302.
18. *Fabries J.* Spinel-olivine Geothermometry in Peridotites from Ultramafic Complexes // Contrib. Miner. and Petrol. 1979. Vol. 69. № 4. P. 329–336.
19. *Jackson E.D.* Chemical variation in coexisting chromite and olivine in chromitite zones of the Snillwater complex // Magmatic are Deposits. A. Symposium Mon. 4 // Econ. Geol. 1969.
20. *Pearce J.A.* Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search fo Archean oceanic crust // Lithos. 2008. Vol. 100. № 1–4. P. 14–48.
21. *Power M.R., Pirrie D., Andersen J.C., Wheeler P.D.* Testing the validity of chrome spinel chemistry as a provenance and petrogenetic indicator // Geology. 2000. Vol. 28. P. 1027–1030.

УДК 553.81

© Е.О.Егорова, В.П.Афанасьев, Д.А.Самданов, 2013

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

Е.О.Егорова, В.П.Афанасьев, Д.А.Самданов (Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН)

Изучены изменения ассоциации индикаторных минералов кимберлитов по мере удаления от коренного источника. Особое внимание уделено дальности транспортировки индикаторных минералов, характеру падения их концентрации и зависимости механического износа от расстояния переноса в аллювиальных обстановках. Полученные результаты позволяют оптимизировать работы по поиску новых алмазных месторождений шлиховым методом.

Ключевые слова: индикаторные минералы кимберлитов (ИМК), кимберлиты, транспортировка ИМК, пироп, оливин.

Егорова Екатерина Олеговна, hyperborean@bk.ru, Афанасьев Валентин Петрович, avp-diamond@mail.ru, Самданов Дмитрий Александрович, dimany_88@mail.ru

TRANSPORTATION REGULARITIES OF INDICATOR MINERALS IN THE FORMATION OF MECHANICAL DISPERSION HALOS

E.O.Egorova, V.P.Afanasiev, D.A.Samdanov

The article is devoted to the study of association changes of kimberlite indicator minerals with increasing of the distance from the kimberlite field. Special attention was paid to the transportation distance of indicate minerals, laws of their concentration fall and dependence of mechanical wear from the transport distance in alluvial environments. The obtained results allow us to optimize the field works and to find new diamond deposits by schlich method.

Ключевые слова: kimberlite indicator minerals, kimberlite, transportation of kimberlite indicate minerals, pyrope, olivine.

На основе измерения гидравлической скорости (гидравлической крупности) основных индикаторных минералов кимберлитов — пиропов, пикроильменитов, хромитов, а также алмазов разработана теоретическая модель транспортировки ИМК [3]. Но для верификации этой модели требуется проверка на природных объектах, в частности изучение современного потока рассеяния от кимберлитового тела на достаточно большое расстояние. Трудность такой проверки связана с тем, что ореолы ИМК как на Сибирской платформе, так и в мире в большинстве случаев гетерогенные (смесь ИМК из разных коренных источников и разных литодинамических типов ореолов) и гетерохронные (смесь минералов разных периодов эрозии кимберлитов), что является следствием переотложенного характера ореолов [2]. Поэтому крайне сложно подобрать «чистый» ореол (поток рассеяния ИМК), который достоверно представлял бы моногенный, монокронный поток рассеяния от одиночного кимберлитового тела или группы сближенных кимберлитовых тел.

Опыт наших работ на Сибирской платформе позволил в качестве эталонного объекта для выяснения закономерностей транспортировки ИМК выбрать Верхнемунское кимберлитовое поле (рис. 1). Оно представлено компактной группой эроди-

руемых в настоящее время кимберлитовых тел, расположенных в бассейне р. Улах-Муна — притока р. Муна. Эту группу можно рассматривать как единый источник ИМК с отсчетом потока рассеяния от нижней по течению трубки Поисковая. Поток рассеяния протягивается по руслу р. Улах-Муна, далее по руслу р. Муна на неопределенное расстояние (ранее нами он прослежен на 110 км [4]). На дневной поверхности здесь обнажены кембрийские терригенно-карбонатные породы, вмещающие кимберлиты. На них фрагментарно сохранились юрские терригенные отложения, которые ранее занимали значительно большие площади, но к настоящему времени практически эродированы. Юрские отложения содержали комплекс ИМК из среднепалеозойских кимберлитов (пиропы, пикроильмениты, хромиты, редко оливины, хромдиопсиды и алмазы), которые в настоящее время сброшены в современную гидросеть, в том числе реки Улах-Муна и Муна, т.е. реально поток рассеяния по этим рекам также гетерогенный и гетерохронный. Но большинство переотложенных минералов имеют «признаки древности» (гипергенная коррозия, связанная со среднепалеозойской корой выветривания, докоровый и послекоровый механический износ), по которым можно отличить их от продуктов современного размыва кимберлитов [6].

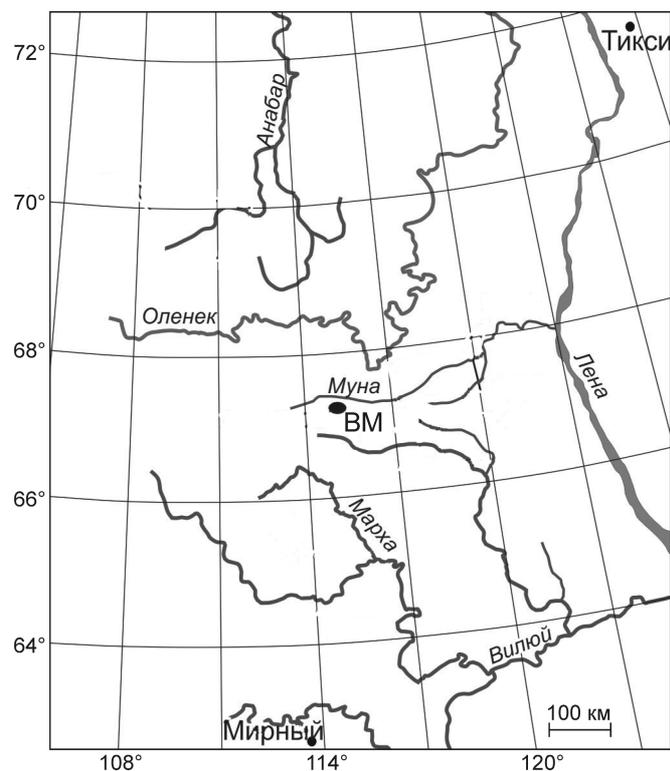


Рис. 1. Схема расположения Верхнемунского кимберлитового поля:

ВМ — Верхнемуское кимберлитовое поле

К сожалению, абсолютно надежно отличить переотложенные минералы от минералов прямого сноса затруднительно. Кроме того, вдоль потока рассеяния могут существовать неизвестные кимберлитовые тела, которые дадут подпитку «свежими» ИМК, что нарушит закономерное распределение ИМК в потоке рассеяния. Поэтому в данном случае используем уникальную особенность кимберлитов Верхнемунского поля — изобилие свежего (не серпентинизованного) оливина: именно оливин служит надежным индикатором современного размыва кимберлитов, поскольку из-за физико-химической неустойчивости он не сохраняется в древних ореолах по среднепалеозойской латеритной коре выветривания и отсутствует в переотложенном состоянии.

С выбором оливина в качестве индикатора современной эрозии кимберлитов методика опробования руслового аллювия ориентирована на получение представительного количества этого минерала независимо от количества других ИМК. Остальные минералы использовались как дополнительный материал. В частности, в пиропе Верхнемунского поля широко развиты зачаточные структуры распада твердого раствора, отражающиеся в морфологии

сколов — своеобразной «гусиной коже» [6]. Но эта особенность не на всех зернах проявлена достаточно отчетливо, поэтому может быть использована как дополнительная. В пикроильменитах, присутствующих в незначительном количестве, хорошо развиты структуры распада твердого раствора, обуславливающие хорошую отдельность по пинакоиду [2], но и эта особенность используется как дополнительная.

Для изучения потока рассеяния ИМК кимберлитов Верхнемунского поля полевым отрядом ИГМ СО РАН было проведено специализированное шлиховое опробование от кимберлитового поля вниз по р. Муна на 150 км до устья р. Эгелиндэ — левого притока р. Муна.

Пробы отбирались по руслу р. Муна с интервалом 5–10 км и на крупных притоках за пределами долины р. Муна с интервалом ~1 км. Объем проб варьировал от 20 до 600 л в зависимости от качества материала и концентрации ИМК. Особое внимание уделялось оливинам как индикаторам прямого сноса с кимберлитов. Поэтому объем проб доводился до получения представительного количества оливина. Остальные минералы (пиропы и пикроильмениты) при таком условии были представлены в избытке.

Полученные шлиховые пробы обработаны в лаборатории по стандартной методике, предусматривающей отсадку тяжелой фракции в бромформе, ситовой анализ, выделение монофракций ИМК. Последние изучались визуально с помощью бинокулярного микроскопа и сканирующего электронного микроскопа на предмет «признаков древности» для разделения минералов прямого сноса и переотложенных и механического износа в процессе транспортировки. Особое внимание уделялось признакам механического износа на оливинах.

Реальные кривые распределения минералов по концентрации и гранулометрии имеют сложный зубчатый характер, отражающий неоднородность опробования, различный тип и качество «ловушек», поэтому пришлось прибегнуть к аппроксимации данных с помощью трендов. На графике видно, что по мере удаления от коренного источника концентрация оливина резко падает по закону, близкому к экспоненциальному (рис. 2). Отчетливо данная зависимость проявлена на примере зерен оливина класса крупности $(-1+0,5)$. Более крупные классы прослеживаются на незначительное расстояние, что не позволяет установить характер распределения.

Пироп распределяется иначе (рис. 3). Графики изменения его концентрации более пологие; не-

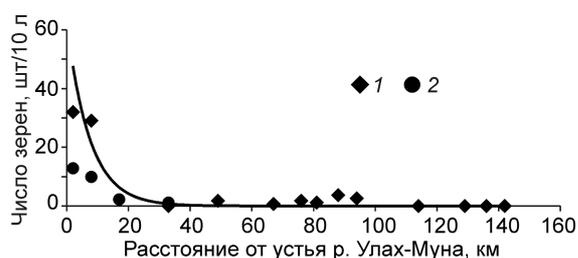


Рис. 2. Изменение концентрации оливина различных классов крупности по мере удаления от коренного источника:

гранулометрические классы зерен: 1 — $-1+0,5$, 2 — $-2+1$

смотря на то что изучаемые зерна крупнее, зерна класса $-2+1$ мм прослеживаются на все расстояние опробования. Следовательно, концентрация пиропов падает медленнее, чем концентрация оливина, хотя их плотность достаточно близка и, соответственно, гидравлические свойства также близки. Это связано с тем, что уже в 2 км ниже устья р. Улах-Муна в россыпи Аэродромная коса появляется большое количество ИМК и алмазов, не принадлежащих к Верхнемунскому полю. Это хорошо видно и по отличиям алмазов, и по пикроильмениту, который доминирует в россыпи при его незначительном количестве в трубках поля. Соответственно, появляется и дополнительное количество пиропов из неизвестных источников, чем и объясняются более низкие темпы снижения их концентрации. Максимальные темпы падения концентрации оливинов наблюдаются на первых 30–50 км (см. рис. 2). Крупные гранулометрические классы выпадают вблизи кимберлитового поля. Зерна класса $-1+0,5$ мм и менее прослежены на расстоянии >150 км.

Изучение механического износа оливинов по-

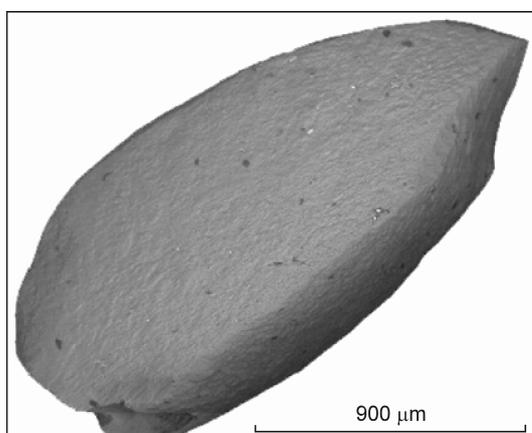


Рис. 4. Оливин из россыпи Аэродромная коса: проба МН-14/2, 2 км от устья р. Улах-Муна

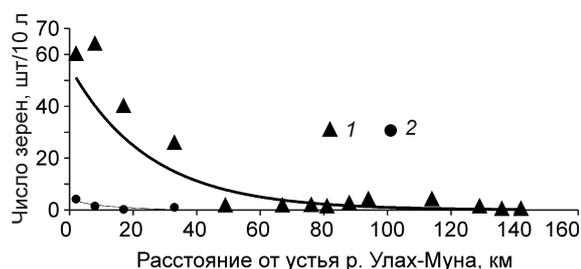


Рис. 3. Изменение концентрации пиропов различных классов крупности по мере удаления от коренного источника:

гранулометрические классы зерен: 1 — $-2+1$, 2 — $+2$

казало, что на зернах из россыпи Аэродромная коса вблизи кимберлитового поля износ не фиксируется (рис. 4), а на оливинах из пробы, взятой в районе впадения р. Эгелинде приблизительно в 150 км от устья р. Улах-Муна, видны лишь незначительные потертости на ребрах и вершинах (рис. 5).

Как отмечалось выше, ранее было найдено теоретическое решение задачи миграционных свойств ИМК, основанное на экспериментальном определении гидравлической скорости (гидравлической крупности) ИМК и алмазов [3]. Основные его выводы сводятся к следующему. В потоке рассеяния по мере удаления от коренного источника осуществляется гидравлическая дифференциация ИМК по гранулометрии (крупные гранулометрические классы выпадают вблизи коренного источника, мелкие транспортируются дальше) и плотности (более тяжелые, в первую очередь пикроильменит, концентрируются вблизи коренного источника, более легкие силикатные минералы транспортируются дальше). По мере удаления от коренного источника концентрация ИМК падает по экспоненциальному закону.

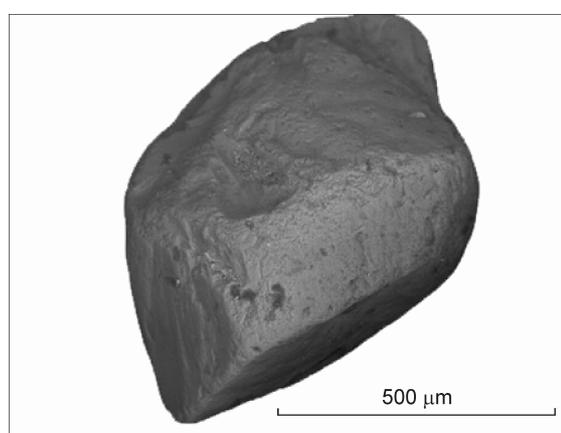


Рис. 5. Оливин из пробы МН-069: 136 км от устья р. Улах-Муна

Закономерности транспортировки описываются уравнением:

$$P = P_0 e^{-bx},$$

где P_0 — исходная концентрация минералов в коренном источнике; P — их концентрации после переноса на расстояние x ; b — коэффициент инертности, показывающий вероятность отставания единичной частицы или комплекса частиц данной размерности на элементарном отрезке пути.

Это выражение по форме соответствует уравнению диффузии, а по сути описывает множество природных процессов, сопровождающихся рассеиванием той или иной субстанции.

Результаты опробования, проведенного по современному потоку рассеяния ИМК Верхнемунского поля, согласуются с теоретическим решением как по части гидравлической дифференциации по гранулометрии, так и по падению концентрации по мере удаления от источника. Хотя закономерности транспортировки рассмотрены главным образом по оливину, эти результаты можно экстраполировать на другие минералы с учетом их миграционной способности.

График падения концентрации оливина как наиболее достоверного индикатора прямого сноса с Верхнемунского кимберлитового поля имеет экспоненциальный характер (см. рис. 2). Концентрация пиропы падает значительно медленнее (см. рис. 3), что обусловлено, вероятно, привнесением пиропов из других источников, в первую очередь, из ранее существовавших на данной площади древних осадочных коллекторов ИМК.

Оливины Верхнемунского кимберлитового поля прослежены на расстояние ~150 км и, бесспорно, могут быть прослежены дальше при повышенных объемах опробования (см. рис. 2). Ясно, что по мере удаления от коренных источников объемы опробования, необходимые для достижения представительного количества минералов прямого сноса, должны экспоненциально возрастать в связи с экспоненциальным падением их концентрации.

В литературе имеются сведения о низкой миграционной способности оливина Верхнемунского поля. Так, в работе [1] констатируется со ссылкой на В.В.Грицика, что оливин не разносится за пределы кимберлитовой трубки на расстояние >6 км. По-видимому, это объясняется тем, что В.В.Грицик проводил опробование стандартными шлиховыми пробами малого объема и не улавливал оливины далее 6 км в силу статистических причин, но не по причине низкой миграционной способности или механической неустойчивости оливина.

Существует еще один важный аспект количества и дальности транспортировки ИМК — геомор-

фологический. Проведенные нами реконструкции показали, что русло р. Муна находится в зоне средней и сильной расчлененности рельефа. Это обеспечивает высокую гидравлическую активность и транспортирующую способность реки [7]. Но уже к югу от Муно-Тюнгского водораздела на Мархатюнгском междуречье рельеф становится слабо расчлененным, транспортирующая сила водотоков резко падает. Это приводит к тому, что в русловом аллювии присутствуют только ИМК, переотложенные из юрских отложений, и не удается найти минералы прямого сноса с кимберлитов, хотя по комплексу минералогических признаков неизвестные кимберлитовые поля на данной территории имеются. О дальности прямого переноса ИМК можно судить на основании такого примера. В устье руч. Атырджак, притока р. Тюнг, непосредственно в месте их слияния нами обнаружена карстовая депрессия с ураганным содержанием «древних» ИМК, т.е. с признаками износа и гипергенной коррозии, свидетельствующими об их переотложенном характере [6]. При этом как в руч. Атырджак выше депрессии, так и в русле р. Тюнг выше устья ручья ИМК полностью отсутствуют. Поэтому карстовую депрессию можно рассматривать в качестве локального источника ИМК, размываемого в настоящее время р. Тюнг. Прослеживание разноса ИМК вниз от депрессии в русле р. Тюнг показало, что уже через 1,5 км ИМК перестают улавливаться стандартными шлиховыми пробами (20 л). Для сравнения: по р. Муна это расстояние составляет первые десятки километров. Следовательно, дальность и количество переносимых ИМК, как и в целом условия шлихового опробования, определяются также геоморфологическим фактором (методика его использования описана в работе [6]).

Следующий важный результат: на расстоянии ~150 км транспортировки в современном аллювии в условиях активного гидродинамического режима на оливинах появились лишь очень слабые признаки механического износа. Поэтому бессмысленно связывать степень износа минералов с дальностью транспортировки в аллювиальных условиях. Как отмечалось нами ранее, степень износа зависит не от дальности транспортировки, а от литодинамических условий формирования ореолов [5]. Зерна песчаной размерности в аллювиальных платформенных обстановках переносятся практически без износа на любое расстояние, на котором их можно проследить. Это подтверждается экспериментальными данными Ф.Х.Кюнена, показавшего, что потеря массы в среднезернистом кварцевом песке при переносе на 200 тыс. км составит 1% [8, 9].

Итак, изучение современного потока рассеяния ИМК Верхнемунского поля подтверждает теоретическую модель транспортировки ИМК.

ИМК в современном потоке рассеяния прослежены на расстояние до 150 км и могут быть обнаружены далее при повышенных объемах опробования ($л \cdot м^3$). По мере удаления от коренного источника концентрация ИМК уменьшается по экспоненте, соответственно нужно увеличивать объемы опробования для получения определенного количества ИМК. Опробование одинаковыми объемами (шлих, мелкообъемная проба, керновая проба) позволяет выделить ограниченный фрагмент ореола, приближенный к коренному источнику; масштабы выделенного фрагмента будут зависеть от объема проб.

По мере удаления от коренного источника за счет гидравлической сортировки шлиховая ассоциация обедняется крупными гранулометрическими классами и тяжелыми ИМК (главным образом пикроильменитом).

На расстоянии 150 км транспортировки в русловом аллювии ИМК не приобретают заметных признаков износа. Нельзя ставить степень износа в зависимость от дальности транспортировки; степень и формы износа зависят от условий износа [2, 5].

Возможность эрозии кимберлитов и дальность транспортировки ИМК в платформенных условиях определяются современной геоморфологической обстановкой. Оптимальной является средняя степень расчлененности рельефа, обеспечивающая формирование развитых современных потоков рассеяния и возможность выхода по ним на коренные источники.

Данные выводы можно распространить на ореолы ИМК в древних коллекторах с учетом того, что древние продуктивные отложения континентального генезиса представлены, как правило, фациями ближнего переноса и фиксируют стадию затухания эрозионных процессов; улавливание ИМК пробами малого объема (керновые пробы) свидетельствует о наличии кимберлитовых тел в

ближних окрестностях (сотни метров – первые километры), но ни о каком сверхдальнем переносе ИМК говорить не приходится.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алмазные месторождения Якутии* / А.П.Бобриевич, М.Н.Бондаренко, М.А.Гневушев и др. – М.: Госгеолтехиздат, 1959.
2. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.* Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2010.
3. *Афанасьев В.П., Бабенко В.В.* Миграционные свойства кимберлитовых минералов // ДАН СССР. 1988. Т. 303. № 3. С. 714–718.
4. *Афанасьев В.П., Варламов В.А., Гаранин В.К.* Зависимость износа кимберлитовых минералов от условий и дальности транспортировки // Геология и геофизика. 1984. № 10. С. 119–125.
5. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н.* Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 3. С. 281–288.
6. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.* Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. – Новосибирск: СО РАН, 2001.
7. *Поиски месторождений алмазов: роль рельефа в формировании поисковых обстановок* / В.П.Афанасьев, Д.А.Самданов, И.Д.Зольников и др. // Отечественная геология. 2012. № 3. С. 25–30.
8. *Kuening Ph.H.* Experimental abrasion of sand grains // Intern. Geol. Congr: Report of the Twenty-First Ses. Norden. 8 Submarine Geology. Copenhagen, 1960.
9. *Kuening Ph.H.* Experimental abrasion on sand // Amer. J. Sci. 1959. 257.

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.411 (571.61)

© А.В.Мельников, В.А.Степанов, 2013

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ОКТЯБРЬСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА ПРИАМУРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

А.В.Мельников (Институт геологии и природопользования ДВО РАН), В.А.Степанов (Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН)

Проанализированы материалы по геолого-структурной позиции и золотоносности Октябрьского рудно-россыпного узла Приамурской провинции. Рудно-россыпному узлу отвечает слабо эродированное интрузивно-купольное поднятие. Установлено, что в центральной части узла развито золотое оруденение кварцево-жильной, скарновой и золото-ртутной (карлинский тип) формаций, на периферии — золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой. Выделены четыре группы россыпей, отличающихся по запасам, содержанию, типоморфным особенностям самородного золота и ассоциации его с другими рудными минералами. В приядерной части рудно-россыпного узла прогнозируется золотое оруденение золото-ртутной (карлинский тип), а также скарновой и золото-сульфидно-кварцевой формаций, на периферии — золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой. Значительный интерес могут представлять техногенные отвалы отработанных россыпей.

Ключевые слова: рудно-россыпной узел, интрузивно-купольное поднятие, золотое оруденение, россыпь.

Мельников Антон Владимирович, anton_amur@mail.ru, Степанов Виталий Алексеевич, vitstepanov@yandex.ru

GEOLOGICAL-STRUCTURAL FEATURES AND GOLDFIELDS OKTYABRSKY ORE-PLACER NODE AMUR PROVINCE

A.V.Melnikov, V.A.Stepanov

Analysis of the materials on geological and structural position and gold Oktyabrsky ore-placer node of the Amur province. Ore-placer node responds poorly erosion intrusiv-domed elevation. It is established, that in the Central part of the site developed gold mineralization of quartz vein, scarn and gold-mercury (karlin type) formations, on the periphery of the gold-quartz and gold-sulfide-quartz. Identifies four groups of different stocks, content, tipomorphic peculiarities of native gold and association of it with other ore minerals. In central part of the ore-placer node is projected gold mineralization gold-mercury (karlin tipe), as well as scarn and gold-sulfide-quartz formations, on the periphery — vein gold-sulfide-quartz and gold-quartz. Considerable interest may be of technogenic dumps of waste placers.

Key words: ore-placer node, intrusive-domed elevation, gold mineralization, placer.

Октябрьский рудно-россыпной узел расположен на восточном фланге Северо-Буреинской металлогенической зоны Приамурской золотоносной провинции [5]. В нем находятся уникальные по богатству россыпи, из которых добыто более 73,5 т Au, а также небольшие рудопроявления золота. Авторами проведена оценка перспектив Октябрьского рудно-россыпного узла на рудное золото с учетом новых данных о его структуре, закономерностях размещения золотого оруденения и россыпей, а также типоморфных особенностях самородного золота.

Геологическое строение и структура Октябрьского узла. Стратифицированные образования в пределах узла развиты ограниченно (рис. 1). Среди них преобладают рифейские метапесчаники,

содержащие прослои серицит-кварцевых и актинолит-кварцевых сланцев, а также линзы мраморизованных известняков. Эти породы слагают останцы кровли и крупные ксенолиты среди интрузивных образований в центральной и юго-западной частях узла. На южной и юго-восточной окраинах узла присутствуют силурийские песчаники, кварциты и гравелиты мамынской свиты. В восточной части узла откартированы небольшие поля нижнедевонских отложений полуночкинской толщи и средневерхнедевонских орловской свиты. Они представлены морскими терригенно-карбонатными осадками (песчаники, алевролиты, аргиллиты с прослоями известняков, реже туффитов). К северо-западу от границ узла отмечается небольшой блок, сложенный архейскими гнейсами, кристаллическими

сланцами и амфиболитами. По периферии узла расположены впадины, заполненные рыхлыми плиоцен-неоплейстоценовыми осадками белогорской свиты (пески, супесь, суглинки, глины с прослоями галечников и гравелитов). В долинах крупных рек присутствуют рыхлые аллювиальные отложения квартера.

Широко распространены интрузивные образования палеозойского, пермско-триасового и раннемелового возрастов. Крупные интрузии, приуроченные главным образом к центральной части узла, сложены гранитами, лейкогранитами и субщелочными гранитами октябрьского комплекса ордовика, а также тырмо-буреинского комплекса среднего – позднего карбона. На периферии узла развиты интрузии гранит-порфиров, гранитов, гранодиоритов и диоритов буриндинского комплекса раннемелового возраста. Небольшая интрузия субщелочных лейкогранитов и лейкогранитов позднепермского – раннетриасового возраста отмечается на его юго-западной окраине.

В геолого-структурном плане Октябрьскому узлу отвечает интрузивно-купольное поднятие. Оно хорошо дешифрируется на аэрофотоснимках, выражено в геофизических и геохимических полях. При дешифрировании выделяется ряд концентрических и радиальных разломов, которые делят территорию узла на кольцевые и секторные блоки. В магнитном поле Октябрьскому узлу отвечает ровное поле ΔT от -200 до 100 нТл. Небольшие положительные аномалии до 200 нТл и более располагаются вдоль восточной окраины узла [2]. По геохимическим данным узел выделяется по потокам рассеяния Au, Ag и Cu. Потоки рассеяния указывают на перспективы выявления золотого оруденения золото-кварцевого, золото-полиметаллического, золото-скарнового, серебро-полиметаллического и медно-молибден-порфирового типов.

Октябрьский рудно-россыпной узел слабо эродирован. На это указывают крупные провесы кровли из рифейских карбонатно-сланцевых толщ в приядерной части интрузивно-купольной структуры. На периферии структуры останцы кровли из рифейских толщ местами сохраняются в юго-западном блоке, в юго-восточном блоке они сложены девонскими терригенно-карбонатными породами, а в северном, наиболее эродированном, отсутствуют.

Наиболее богатые россыпи и большинство рудопоявлений золота тяготеют к центральной части узла, ограниченной внутренним концентрическим разломом, остальные располагаются на периферии юго-западного и юго-восточного секторных блоков. В северном секторном блоке известны единичные мелкие россыпи золота.

Известные рудопоявления золота представлены золото-кварцевыми, золото-сульфидно-кварцевыми жилами и жильно-прожилковыми зонами, золотосодержащими скарнами и золото-сульфидными залежами (карлинский тип). В центральной приядерной части узла располагаются рудопоявления Лиственная Сопка, Верхнемаристое, Известковая Сопка, Верхнеширокинское и Сухое. На периферии узла рудопоявления золота выявлены в юго-западном (рудопоявления Весеннее, Ултучинское) и юго-восточном (Галенитовое, Горы Левоу, Инкан) секторных блоках.

Приядерный блок. Рудопоявление Лиственная Сопка представлено палеозойскими лейкократовыми гранитами, прорванными раннемеловыми дайками диоритовых порфиров. Гидротермальные изменения вмещающих пород проявлены в виде окварцевания и сульфидизации. Кварц-карбонатные жилы мощностью до 1 м субширотного простирания с северо-восточным падением под углами $70-85^\circ$ прослежены на 150–300 м. По данным пробирного анализа содержание Au 1,2–66 г/т (среднее 4,8 г/т). На западном склоне горы в палеозойских гранитах вскрыты кварц-пиритовые жилы мощностью 0,05–0,3 м с содержанием Au 0,5–12 г/т.

Рудопоявление Верхнемаристое сложено позднепалеозойскими катаклазированными и окварцованными гранитами и гранодиоритами, прорванными раннемеловыми дайками гранодиорит- и гранит-порфиров, диоритовых порфиров и риолитов. Канавами вскрыта крутонаклонная жила гребчатого кварца близширотного простирания протяженностью 150 м, мощностью 0,3–3 м. Содержание Au до 1–9,2 г/т, в среднем 6 г/т.

Рудопоявление Известковая Сопка локализовано в рифейских терригенно-карбонатных отложениях, прорванных позднепалеозойскими гранитами, а также раннемеловыми дайками гранит-порфиров и гранодиорит-порфиров буриндинского комплекса. Здесь выявлено золотое оруденение трех типов: в кварц-карбонатных жилах и кварцево-жильных зонах, скарновых залежах и зонах пирит-арсенопиритовой минерализации. Одна из кварцево-жильных зон на северном склоне сопки Известковая прослежена канавами на 180 м. Содержание Au 0,77–9,2 г/т (среднее 2,9 г/т) на мощность 0,8 м. Максимальное содержание Au в карбонат-кварцевой жиле достигает 7204 г/т при среднем 6,2 г/т [2]. Скарновые залежи приурочены к контакту мраморизованных доломитов и перекрывающих их кварцево-сланцевых сланцев (рис. 2). Они прослеживаются на расстояние ~2 км и представлены протяженными (40–70 м) линзами мощностью 4–7 м. Скарны состоят из эпидота, доломита, кварца,

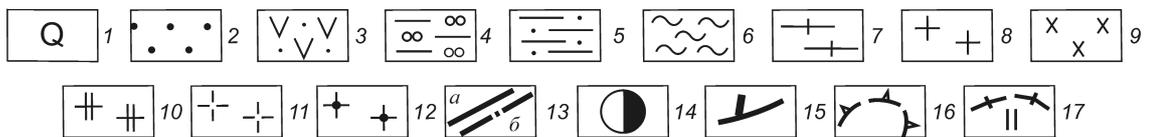
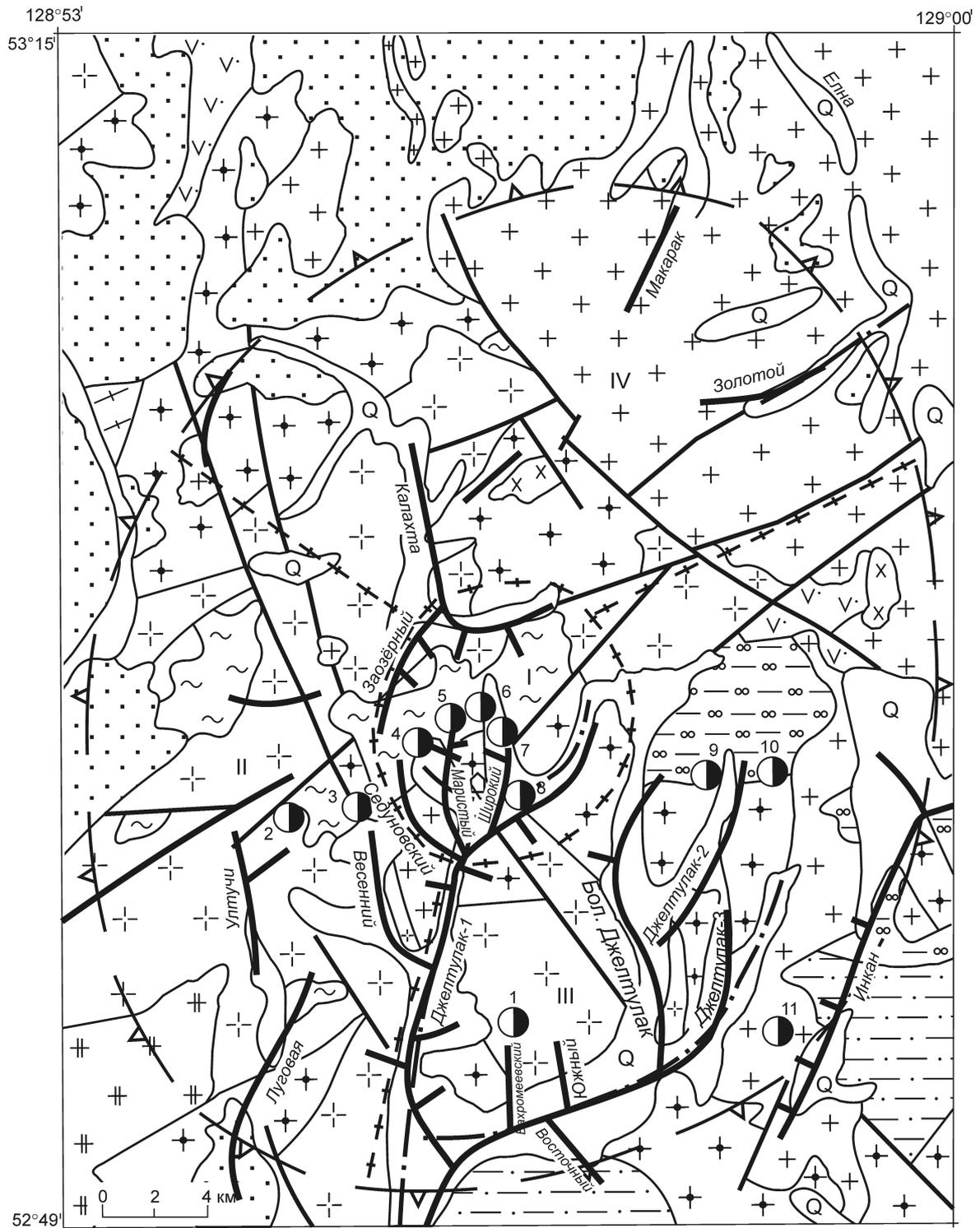


Рис. 1. Геологическое строение, рудопроявления и россыпи золота Октябрьского рудно-россыпного узла:

1 — аллювиальные отложения четвертичного периода (пески, галечники, валунники, гравий, суглинки, алевролиты); 2 — миоцен-неоплейстоценовые глинистые пески, супеси, суглинки, глины, лигниты, каолинизированные пески; 3 — нижнемеловые конгломераты, туфопесчаники, алевролиты, туфоалевролиты, андезиты; 4 — силурийские песчаники, туфопесчаники, алевролиты, туфоалевролиты, аргиллиты, гравелиты, конгломераты, туффиты, туфы дацитов, трахириодацитов, риодацитов, базальтов; 5 — девонские песчаники, туфопесчаники с прослоями алевролитов, аргиллитов, пепловых туфов, туффитов, конгломератов, туфоалевролитов, известняков; 6 — рифейские метапесчаники, прослои серицит-кварцевых и актинолит-хлоритовых сланцев, линзы мраморизованных известняков; 7 — архейские гнейсы, амфиболиты, кристаллические сланцы, мраморы, кварциты; раннемеловые интрузии буриндинского комплекса: 8 — граниты, плагиограниты, гранит-порфиры, гранодиориты, 9 — диориты, кварцевые диориты; 10 — позднепермско-раннетриасовые субщелочные лейкограниты, лейкограниты харинского комплекса; 11 — средне-позднекаменноугольные граниты, лейкограниты, субщелочные граниты тырмо-буреинского комплекса; 12 — ордовикские граниты, лейкограниты, субщелочные граниты октябрьского комплекса; 13 — тектонические нарушения (а — достоверные, б — скрытые под аллювием); 14 — рудопроявления золота (1 — Вахромеевское, 2 — Ултучи 3 — Весеннее, 4 — Лиственная Сопка, 5 — Верхнемаристое, 6 — Известковая Сопка, 7 — Верхнеширокинское, 8 — Сухое, 9 — Галенинское, 10 — Горы Левои, 11 — Инкан); 15 — россыпи золота; 16 — контур Октябрьского золотоносного узла; 17 — контуры приадресного и секторных блоков (I — приадресный, II — юго-западный, III — юго-восточный, IV — северный)

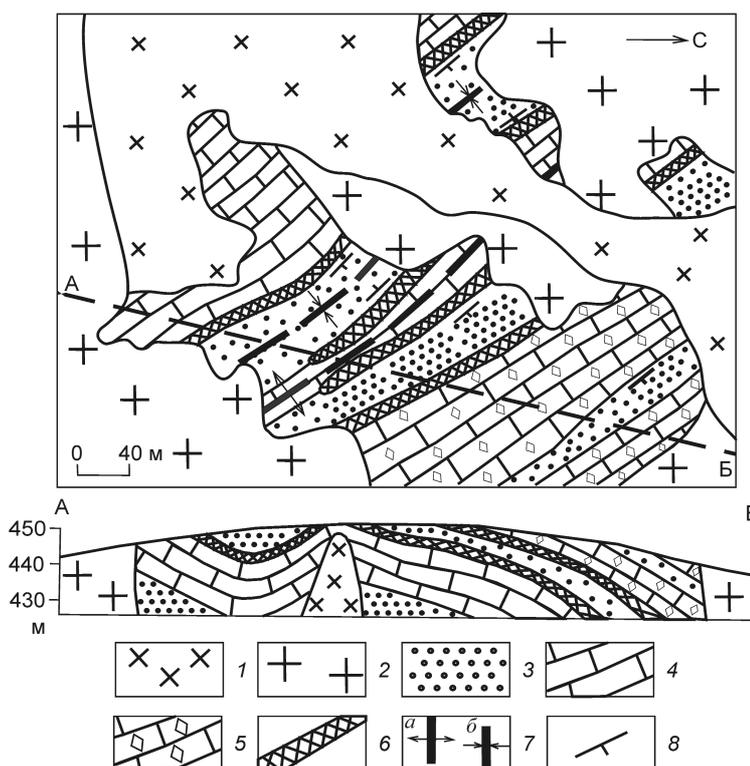
хлорита, актинолита, пироксена и серпентина с существенной примесью пирротина, магнетита, пирита. В низах скарновых залежей нередко проявлена полиметаллическая минерализация (сфалерит, галенит). Содержание Au в среднем составляет 2–3 г/т. Минерализованные зоны рассланцевания и брекчирования доломитов с вкрапленностью пирита и арсенопирита залегают относительно скарновых залежей выше по разрезу. Среди тонко рассеянных рудных минералов преобладают пирит и арсенопирит, отмечаются золото, галенит, халькопирит, сфалерит, киноварь. Содержания Au варьируют в пределах 0,1–2,5 г/т. Этот тип золотого оруденения параллелизуется с карлинским [1].

Рудопроявление Верхнеширокинское приурочено к скарновой залежи эпидот-магнетит-пирит-пирротинового состава, вскрытой шурфом и двумя скважинами в головке богатой россыпи руч. Широкий в полотно гидравлического разреза в мраморизованных известняках,

вблизи выходов порфиридных биотитовых гранитов. Мощность залежи 6,2–6,4 м. Содержание Au достигает 12 г/т. На правом борту верховьев руч. Широкий канавой 317, рудным шурфом 1 и скважинами колонкового бурения прослежена зона дробленых окварцованных и сульфидизированных известняков (карлинский тип золотого оруденения). В лимонитовых скоплениях на друзовидном кварце встречаются дендритовидные зерна золота размером до 3 мм. С поверхности и до глубины 4,5 м среднее содержание Au составило 5,5 г/т на мощность 0,6 м. На глубине от 45 до 65 м скважиной

Рис. 2. Рудопроявление Известковая Сопка, по [1]:

1 — раннемеловые интрузии и дайки гранит-порфиров, гранодиорит-порфиров; 2 — позднепалеозойские интрузии биотит-роговообманковых гранитов; 3 — венд-кембрийские кварцевослюдистые сланцы, полевошпат-кварцевые песчаники; 4 — венд-кембрийские мраморизованные доломиты; 5 — золото-пирит-арсенопиритовые руды карлинского типа; 6 — золото-пирротин-магнетитовые скарноиды; 7 — осевые линии складок (а — антиклиналь, б — синклиналь); 8 — элементы залегания пород



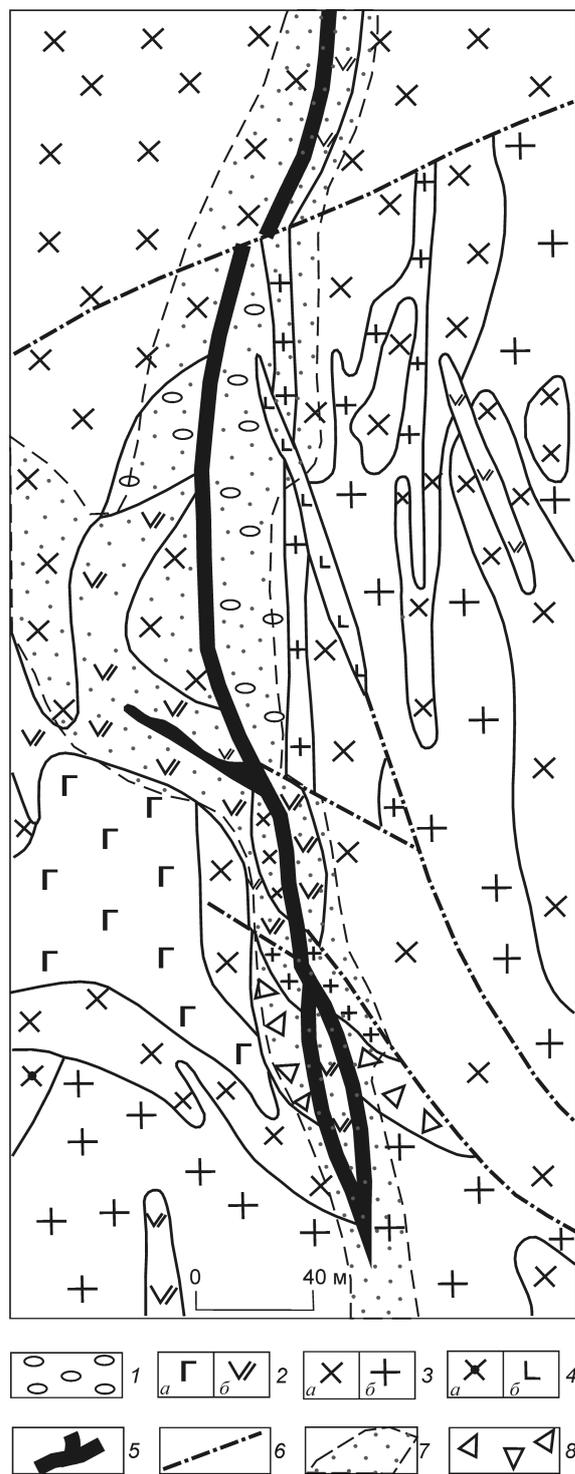


Рис. 3. Геологическое строение Инканского рудопроявления:

1 — силурийские песчаники; 2–4 — раннемеловые интрузии: (2а — габбро, 2б — диабазы, 3а — диориты, 3б — граниты, 4а — гранодиорит-порфиры, 4б — спессартиты); 5 — золотоносные кварцевые жилы; 6 — разломы; 7 — гидротермально измененные породы; 8 — эруптивные брекчии

пересечен блок дробленых и сульфидизированных известняков. Содержание Au в керне скважин от 2,8 до 280 г/т, среднее 55,6 г/т. В 1995 г. в отвалах канавы 317 обнаружены глыбы брекчированных известняков, по внешнему виду напоминающих руды Воронцовского месторождения на Урале. Содержание Au достигает 2,2–3,1 г/т. Тонкое золото 811–893 пробы ассоциирует с арсенопиритом, пиритом и киноварью [6].

Рудопроявление Сухое расположено в окварцованных, карбонатизированных и пиритизированных гранитах. Золотое оруденение представлено кварцевыми и кварц-карбонатными жилами мощностью до 1 м. По данным пробирного анализа содержание Au 5–67 г/т. Рудные минералы — пирит, самородное золото.

Юго-западный секторный блок. На рудопроявлении Весеннее в палеозойских окварцованных гранитах поисковыми работами установлена сульфидно-кварцевая жила мощностью 0,1–0,2 м, содержащая мелкое, зеленоватое, ассоциирующее с пиритом, галенитом и киноварью золото 800–850 пробы. Содержание Au 1,2–9,4 г/т, в среднем 4,5 г/т. Оруденение относится к золото-сульфидно-кварцевой формации.

На Ултучинском рудопроявлении рудоносные тела локализованы среди березитизированных, аргиллизированных и окварцованных палеозойских лейкократовых гранитов. Канавами вскрыты и прослежены на 200–250 м кварцевые жилы субмеридиональной ориентировки мощностью 0,5–7 м. Содержание в них Au 0,05–3,1 г/т, в околорудных метасоматитах 1–30 г/т. В рудных телах содержание Ag 0,5–5,17 г/т, As 0,05–1%.

Юго-восточный секторный блок. Рудопроявление Галенитовое представлено кварцевыми жилами и прожилками, приуроченными к контактам сложноветвящихся даек диоритовых порфиров. Протяженность жил достигает 25–35 м, мощность 0,02–0,2 м. В кварце рассеяна вкрапленность галенита и пирита. Содержание Au в жилах по данным пробирного анализа составляет от «следов» до 57 г/т.

Рудопроявление Горы Лево́й приурочено к окварцованной дайке фельзит-порфиров, залегающей в девонских песчано-глинистых сланцах. Тонкие кварцевые прожилки лестничного типа ориентированы почти вкrest простирания дайки. Их мощность достигает 10 см. Кварц содержит вкрапленность пирита, галенита, арсенопирита, барита и самородного золота. Содержание Au в бороздовых пробах до 13 г/т. В отдельных кварцевых прожилках Au содержится в количестве до 76 г/т.

Рудопроявление Инкан расположено в массиве раннемеловых гранодиоритов и кварцевых монцо-

нитов. При геологической съемке м-ба 1:50 000 в 1980 г. были выявлены свалы золотоносного кварца с содержанием Au до 30 г/т (среднее по 168 пробам — Au 4,9 г/т, Ag 373,5 г/т). Кроме того, канавами вскрыта и прослежена в северо-западном направлении на 450 м кварцевая жила с сульфидами (пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, блеклая руда, аргентит). По свалам она прослежена на 900 м, мощность жилы 2,9 м. Среднее содержание Au 2,6, Ag 103,4 г/т, Pb 0,57, Zn 0,12, Cu 0,02, Sb 0,066, As 0,18, Mo 0,0009%. В 1983–1984 гг. при поисковых работах жила 1 была прослежена на 500 м четырьмя буровыми профилями мелких картировочных скважин (рис. 3). Среднее содержание Au в жиле 3,7 г/т, Ag 122,7 г/т на мощность 3,6 м. Подсчитанные прогнозные ресурсы по части жилы с подвеской на глубину в 100 м и мощность 3,7 м составили (т): Au 2, Ag 58, Pb 2663, Zn 700, Cu 156, As 1354, Sb 377.

Россыпи золота. В связи со слабой эродированностью узла россыпи золота находятся как в приядерной его части, так и на периферии (таблица). Выделены четыре группы россыпей, развитых в приядерной части узла, юго-восточном, юго-западном и северном секторных блоках. Наиболее богатые россыпи, давшие суммарно 79,2% добытого золота, находятся в приядерной части узла. Из россыпей юго-восточного секторного блока добыто 13,1% металла, юго-западного — 6,2%, а северного — 1,5%. Уменьшение добычи золота из россыпей от центра узла к его периферии хорошо видно на примере следующих россыпей: Желтулак-1 — 13 т, Большой Желтулак — 4 т, Желтулак-2 — 3,4 т, Желтулак-3 — 1,4 т, Инкан — 0,6 т (запасы).

В целом по узлу преобладает золото средней пробы (850–900‰), которая иногда уменьшается до 720‰. Существенных различий в пробе золота россыпей из центральной части узла и его периферии не наблюдается. По данным Г.И.Неронского, проба золота в пределах Октябрьского узла колеблется в пределах 810–960‰ с максимумами встречаемости 880–910‰ [4]. Среди основных элементов-примесей в золоте, кроме преобладающего серебра, отмечаются Hg (до 0,5%), Sb (до 0,1%), Sn (до 0,1%), в меньших количествах — Cu, Pb, Te, Pt, Pd [4].

Крупность золота и степень его окатанности закономерно изменяются при переходе от россыпей приядерной части узла к его периферии. Для россыпей приядерной части характерно золото средней крупности и крупное до самородков массой до 1600 г, иногда до 5 кг. Форма его таблитчатая, комковидная и дендритовидная. Часто золото присутствует в сростках с кварцем. Окатанность его преимущественно слабая. В шлихах среди минералов-спутников золота нередко отмечаются весовые

количества пирита, галенита и киновари. Установлена значительная золотоносность киновари. По данным атомно-абсорбционного анализа содержание Au в киновари, отобранной из россыпи р. Большой Желтулак, 5–140 г/т, Ag 33–185,7 г/т [6]. Это свидетельствует о генетической связи золотой и ртутной минерализации узла и вероятности обнаружения оруденения золото-ртутной формации (карлинский тип).

В периферической части узла золото в россыпях преимущественно мелкое 0,2–0,6 мм и очень мелкое >0,2 мм. Самородков почти нет. Форма его чаще лепешковидная, пластинчатая, чешуйчатая, реже комковидная и дендритовидная. Окатанность зерен значительная. Сростки с кварцем наблюдаются редко. Среди ассоциирующих с золотом рудных минералов часто отмечаются шеелит, вольфрамит, касситерит. В россыпи руч. Вахромеевский обнаружены мелкие обломки грейзенизированных пород с вкрапленностью вольфрамита. Это может указывать на наличие в периферической части узла оруденения не только золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой, но и золото-редкометальной формаций.

Итак, наблюдается определенная закономерность в размещении формационных типов золотого оруденения. В приядерной части узла располагается оруденение золото-кварцевой, золото-скарновой и золото-ртутной (карлинский тип) формаций. На периферии, в пределах юго-западного и юго-восточного блоков, оно представлено главным образом золото-кварцевыми, золото-сульфидно-кварцевыми жилами и прожилковыми зонами, развитыми как в разнообразных гранитоидах, так и в раннемеловых дайках кислого состава.

Наибольшие перспективы выявления месторождений рудного золота связываются нами с приядерной частью рудного узла. Учитывая известный эмпирический коэффициент отношения россыпного золота к рудному, равный 1:10, здесь можно ожидать выявление крупных месторождений рудного золота. В районе рудопроявления Сопка Известковая нами прогнозируется выявление золотого оруденения карлинского типа в рифейских (?) известняках и доломитах. Кроме того, весьма вероятно обнаружение промышленных концентраций золота в скарнах и золото-кварцевых жилах. В связи с тем, что в рудах всех типов нередко наблюдаются ураганные содержания Au (>100 г/т), необходимо при поисках и разведке применять крупнообъемное опробование.

В пределах периферии юго-западного и юго-восточного секторных блоков известны небольшие рудопроявления золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций. Здесь можно рассчи-

Характеристика россыпей золота Октябрьского рудно-россыпного узла (всего добыто 73, 48 т Au)

| Название россыпи | Добыча Au, т* | Проба, % | Самородное золото | | Степень окатанности | Ассоциирующие минералы |
|---|---------------|---------------|-------------------|---|---|---|
| | | | Размер, мм | Форма | | |
| <i>Центральная придерная часть узла</i> | | | | | | |
| Седуновский | 9,5 | 900 (875–930) | 0,3–1,0 | Лепешковидное, пластинчатое. Самородки до 1600 г | Неокатанное и слабо окатанное | Магнетит, сперрилит |
| Маристый | 16,8 | 875 (850–900) | 0,3–4,0 | Пластинчатое, чешуйчатое, сростки с кварцем. Самородки до 500 г | От неокатанного до хорошо окатанного | Магнетит, ильменит, пирит, сидерит |
| Широкий | 15,2 | 865 (830–892) | 0,15–2,5 | Таблитчатое, комковидное и губчатое, часто в сростках с кварцем. Самородки до 400 г | Слабо и полуокатанное | Магнетит, ильменит, сперрилит |
| Заозерный | 0,7 | 840 (720–890) | 0,52–0,78 | Плоские зерна разнообразных форм | Окатанность незначительная | Ильменит, магнетит, |
| Желтулак-1 | 13,0 | 875 (863–890) | 0,4–3,5 | Лепешковидное, комковидное, пластинчатое, реже палочко- и дендритовидное | Слабо окатанное, окатанное, неокатанное | Ильменит, сфен, гранат, пирит, галенит, магнетит, киноварь, сперрилит |
| Калахта | 2,7 | 875 (860–893) | 0,4–1,2 | Таблитчатое, ноздреватое, комковидное и дендритовидное. Самородки 3–5 г | Слабо и полуокатанное | Ильменит, магнетит, сфен |
| <i>Юго-западный секторный блок</i> | | | | | | |
| Весенний | 3,3 | 830 | 0,3–1,2 | Лепешковидное, реже дендритовидное и крочковатое | Окатанное | Гранат, касситерит, киноварь, вольфрамит, шеелит, сперрилит |
| Улучи | 0,6 | 872 (823–903) | 0,2–0,4 | Комковидное | Окатанное и слабо окатанное | Ильменит, хромит, гранат |
| Луговая | 0,6 | 907 | 0,2–0,6 | Лепешковидное, пластинчатое, чешуйчатое | Хорошо окатанное | Ильменит, хромит, гранат |
| <i>Юго-восточный секторный блок</i> | | | | | | |
| Большой Желтулак | 4,0 | 888 | 0,2–0,6 | Тонкопластинчатое, чешуйчатое. Самородки до 109 г | Окатанное | Ильменит, сфен, пирит, магнетит, касситерит |
| Желтулак-2 | 3,4 | 890 (880–902) | 0,2–0,6 | Округлое, пластинчатое, лепешковидное | Степень окатанности разная | Магнетит, ильменит, |
| Желтулак -3 | 1,4 | 880 (870–930) | 0,4–3,5 | Лепешковидное, комковидное, пластинчатое, реже палочко- и дендритовидное | Слабо окатанное, окатанное, неокатанное | Ильменит, магнетит, сфен, пирит |
| Вахромьевский | 0,73 | 804 (797–840) | 0,098–0,66 | Комковидное, часто в сростках с кварцем | Слабо окатанное и неокатанное | Магнетит, ильменит, сфен |
| Южный | 0,45 | 809 | 0,2–0,6 | Пластинчатое | Окатанное | Магнетит, пирит, сфен, ильменит |
| Инкан | Запасы 0,6 | 865–940 | 0,3–1,2 | Пластинчатое, комковидное | Умеренно окатанное | Ильменит, сфен, магнетит |
| <i>Северный секторный блок</i> | | | | | | |
| Золотой | 0,6 | 875 | 0,2–1,2 | Комковидное, палочковидное, крочковатое, сростки с кварцем | Окатанное и слабо окатанное | Магнетит, ильменит, шпронгон, гематит, касситерит, шеелит |
| Макарак | 0,5 | 888 | 0,15–0,6 | Комковидное, лепешковидное, крочковатое, сростки с кварцем | Слабо окатанное | Магнетит, сперрилит |

тывать на выявление других подобных объектов, а также золото-редкометалльного оруденения. Наиболее перспективно рудопроявление Инкан, прогнозные ресурсы которого оцениваются по категории P_2 в 5,5 т Au. Северный секторный блок наименее перспективен, в его пределах вероятно обнаружение мелких объектов золото-кварцевой формации.

Россыпные месторождения узла в основном отработаны, имеются небольшие запасы по рекам Большой Желтулак, Желтулак-1 и Инкан. На месте отработки россыпей остались техногенные отвалы, представляющие значительный интерес для переработки с извлечением тонкого, дисперсного и связанного в других минералах золота. Потери свободного золота, по данным В.Г.Моисеенко [3], изменяются от 30,5 (драги) до 51% (промприборы старательских артелей). Поэтому можно предположить, что в отвалах (техногенных россыпях) содержатся десятки тонн золота, которое можно извлечь с помощью новейших технологий.

Детальный анализ геолого-структурного строения и золотоносности Октябрьского рудно-россыпного узла позволяет сделать следующие выводы:

рудно-россыпному узлу отвечает слабо эродированное интрузивно-купольное поднятие. Оно хорошо дешифрируется на аэрофотоматериалах, выражено в геофизических и геохимических полях; выделены четыре группы россыпей, располагающихся в приядерной части узла и на его периферии в юго-западном, юго-восточном и северном секторных блоках. Россыпи отличаются по запасам, содержанию, типоморфным особенностям самородного золота и ассоциации его с другими рудными минералами;

в центральной части узла развито золотое оруденение золото-кварцевой, скарновой и золото-ртут-

ной (карлинский тип) формаций, на периферии — золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой;

на рудное золото перспективна, в первую очередь, приядерная часть рудного узла. Здесь прогнозируется золотое оруденение золото-ртутной (карлинский тип), а также скарновой и золото-кварцевой формаций. На периферии узла возможно выявление месторождений золото-сульфидно-кварцевой, золото-кварцевой и золото-редкометалльной формаций;

значительный интерес представляют техногенные отвалы отработанных россыпей, в которых могут содержаться десятки тонн золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Громаковский И.Ю., Степанов В.А.* Золотое оруденение в карбонатных толщах Октябрьского района Приамурья // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 1. С. 84–89.
2. *Зубков В.Ф.* Геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Лист N-52-XXVII. Объяснительная записка. – М.: Недра, 1972.
3. *Моисеенко В.Г.* Особенности формирования полигенных россыпей золота и методы их оценки. – Хабаровск: Магеллан, 1997.
4. *Неронский Г.И.* Типоморфизм золота месторождений Приамурья. – Благовещенск: АмурКНИИ ДВО РАН, 1998.
5. *Приамурская золоторудная провинция / В.А.Степанов, А.В.Мельников, А.С.Вах и др.* – Благовещенск: АмГУ, НИГТЦ, 2008.
6. *Степанов В.А.* Геология золота, серебра и ртути. Ч. 2. Золото и ртуть Приамурской провинции. – Владивосток: Дальнаука, 2000.

УДК 551.411 (571.55)

© Б.Н.Абрамов, 2013

ГРАНИТОИДЫ МЕЗОЗОЙСКИХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ: УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Б.Н.Абрамов (ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН)

Рассмотрены условия формирования и геохимические особенности гранитов амуджикано-шахтаминского комплекса (J_{2-3}), развитых в пределах Андрушкинского, Ключевского, Карийского и Верхне-Алиинского мезозойских золоторудных месторождений. С дайками второго этапа данного комплекса парагенетически связано золотое оруденение. Установлено, что граниты Андрушкинского месторождения соответствуют гранитам ильменитовой серии, а Карийского и Ключевского — магнетитовой.

Ключевые слова: граниты амуджикано-шахтаминского комплекса, золотое оруденение.

Абрамов Баир Намжилевич, b_abramov@mail.ru

GRANITOIDS OF THE MESOZOIC GOLD DEPOSITS FROM EAST TRANSBAIKALIA: CONDITIONS OF FORMATION, GEOCHEMICAL FEATURES

B.N.Abramov

Conditions of formation and geochemical features of granites of the amudzhikansky-shahtaminsky complex (J_{2-3}), which developed in the ore fields of the Andrushkinsky, Kluchevsky, Kariyskiy and Verkhne-Aliinsky mesozoic gold deposits are considered. Gold mineralization is paragenetically connected with a dikes of the second phase of this complex. It is established, that granites of the Andrushkinsky deposit correspond to granites of the ilmenite series, granites of the Kariyskiy and Kluchevsky deposits correspond to granites of the magnetite series.

Key words: granites of amudzhikansky-shahtaminsky complex, gold mineralization.

В Восточном Забайкалье мезозойские золоторудные месторождения имеют тесную парагенетическую связь с интрузиями амуджикано-шахтаминского комплекса (J_{2-3}). Они отмечаются в бассейнах рек Шилка, Газимур, Нерча, Онон. Интрузии этого комплекса широко распространены в пределах Дарасунского, Балейского, Дельмачикского, Ключевского, Карийского, Средне-Голготайского, Андрушкинского, Верхне-Алиинского и Илинского золоторудных месторождений. Пространственно месторождения тяготеют к Монголо-Охотской сутуре [1, 2, 5, 9, 12–14] (рис. 1). Образование интрузий амуджикано-шахтаминского комплекса связано со средне-позднеюрскими коллизионными процессами в результате столкновения Сибирского и Монголо-Китайского континентов [6].

Интрузии амуджикано-шахтаминского комплекса образуют штоки, лакколиты площадью до нескольких сотен квадратных километров. Наиболее часто встречаются двух-, трехфазные массивы. Породы первой фазы представлены кварцевыми монцититами, диоритами, габбро-диоритами, второй — гранодиоритами, гранитами, кварцевыми сиенитами, третьей — гранодиоритами, крупнозернистыми порфиroidными гранитами. Породы дайковой серии подразделяются на две группы. Дайки первой ранней группы сложены кварцевыми порфирами, гранит-порфирами, сиенит-порфирами. С ними связано сопутствующее молибденовое и медно-

молибденовое оруденение. Дайки второй группы более поздние (дайки второго этапа), образованы гибридными порфирами, лампрофирами, грорудитами, с которыми парагенетически связано золотое оруденение. Абсолютный возраст интрузий амуджикано-шахтаминского комплекса по разным источникам колеблется в интервале 180–111 млн. лет [9, 8, 12, 19]. В тот же период происходило формирование золотого оруденения [5, 6].

Установлено, что потенциальная рудоносность гранитов определяется возможностями концентрирования рудных элементов в остаточных магматических очагах, условиями дегазации на различных этапах кристаллизационной дифференциации магм [16], окислительно-восстановительными обстановками их образования [18], размерами и глубиной формирования интрузивных образований, геохимическим типом магм и тектоническими обстановками в периоды формирования интрузий [14].

Мезозойские золоторудные месторождения Восточного Забайкалья имеют много сходных черт в геологическом строении. Так, в пределах рудных полей развиты зоны кварцево-турмалиновой минерализации, отмечаются флюидно-эксплозивные образования, гранитоидные штоки амуджикано-шахтаминского комплекса с сопутствующим дайковым комплексом пород. При этом отмечается следующая относительно выдержанная последовательность формирования даек: гранит-порфиры → кварцевые

порфиры → диоритовые порфириты → гибридные порфириты + лампрофиры. Золотое оруденение по времени образования наиболее близко к гибридным порфиритам и лампрофирам и имеет с ними парагенетическую связь [2, 5, 9]. В его формировании основная рудогенерирующая роль принадлежит магмам гранитоидного состава [14].

Рассмотрим петрохимические и геохимические особенности магматических очагов, продуцирующих золотое оруденение, на примере гранитоидов амуджикано-шахтаминского комплекса, развитых на площадях Андриюшкинского, Верхне-Алиинского, Карийского и Ключевского золоторудных месторождений.

Андриюшкинское золоторудное месторождение находится в юго-восточной части Балейского рудного узла в бассейне р. Верхний Голготай. На площади месторождения развиты архейские, палеозойские (ундинский комплекс) и мезозойские (амуджикано-шахтаминский комплекс) гранитоиды, в северной его части — юрские вулканогенные отложения шадоронской серии. Структурная позиция месторождения определяется зоной глубинных разломов северо-восточного и северо-западного простираний, трассируемых полосой интрузий, дайками разного состава и сульфидно-кварц-турмалиновыми жилами.

По характеру минерализации выделяются две зоны северо-восточного простирания — Северная и Южная. В Северной развиты сульфидно-кварц-турмалиновые жилы, сопровождающиеся зонами вкрапленной минерализации. Мощность жил 0,5–2 м, протяженность до 100 м. В Южной полосе жилы того же состава более редкие короткие (30–50 м) и маломощные (20–30 см). В центральной части Южной зоны выявлена группа жил, сложенных крупнозернистым кварцем с золото-висмут-кварцевой продуктивной ассоциацией. Здесь выделены следующие минеральные ассоциации — квар-

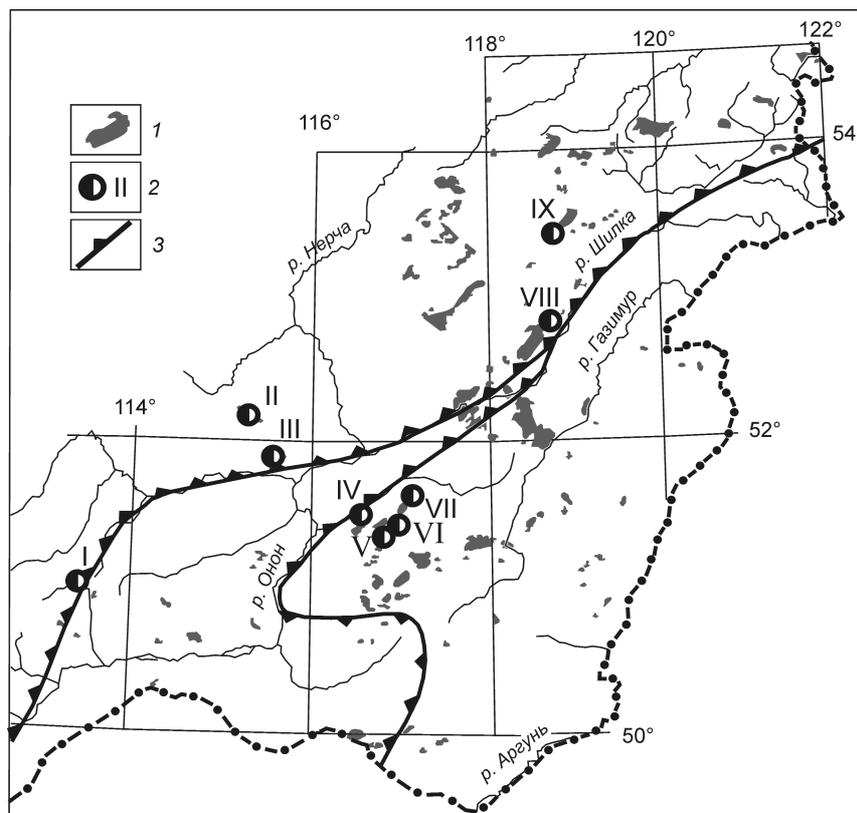


Рис. 1. Схема размещения интрузий амуджикано-шахтаминского комплекса и мезозойских золоторудных месторождений Восточного Забайкалья, с использованием данных работы [7]:

1 — интрузии амуджикано-шахтаминского комплекса; 2 — мезозойские золоторудные месторождения (I — Илинское, II — Дарасунское, III — Дельмачикское, IV — Балейское, V — Средне-Голготайское, VI — Андриюшкинское, VII — Верхне-Алиинское, VIII — Карийское, IX — Ключевское); 3 — Монголо-Охотская сутура

цевая (мелкозернистый кварц), турмалин-кварцевая, кварцевая (крупнозернистый кварц с молибденитом), кварцевая (мелкозернистый гранулированный кварц), арсенопирит-кварцевая, золото-тетрадимит-висмутин-кварцевая.

Интрузии амуджикано-шахтаминского комплекса представлены штоками гранитоидов, монцитов, дайковая серия — гранит-порфирами, диоритовыми порфиритами, лампрофирами. Золотое оруденение парагенетически связано с дайками гранит-порфиров и лампрофиров. Скарнообразование и образование эндогенного оруденения происходило на заключительных стадиях формирования интрузий амуджикано-шахтаминского комплекса.

Промышленное золотое оруденение приурочено к восточной части Южной зоны, где под покровом вулканогенно-осадочных отложений шадоронской серии развиты кварц-актинолитовые жилы с интенсивно проявленной золото-висмут-козалит-кварцевой минерализацией. Мощность

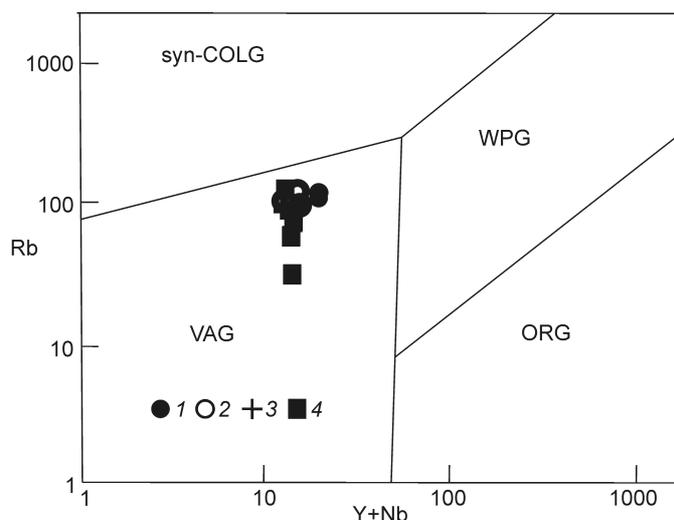


Рис. 2. Дискриминационная диаграмма Rb — Y+Nb для гранитоидов, по [10]:

граниты: syn-COLG — коллизионные, WPG — внутриплитные, VAG — островодужные, ORG — океанских хребтов; граниты амуджикано-шахтаминского комплекса в пределах месторождений: 1 — Андриюшкинского, 2 — Верхне-Алиинского, 3 — Ключевского, 4 — Карийского

жил достигает 0,6 м, зон вкрапленной минерализации — до 2 м. На выделенной продуктивной площади широко проявлены зоны скарнов. В рудоносных жилах содержание Au достигает 119 г/т, характерна тесная ассоциация золота с висмутином, козалитом и тетрадимитом.

В центральной, северной и северо-восточной частях Андриюшкинского месторождения развиты взрывные брекчии. Вмещают их архейские и палеозойские граниты, диориты, амфиболиты. Размер обломочного материала брекчий колеблется от 1–2 мм до 10 см. В составе обломков преобладают граниты, реже встречаются амфиболиты, диориты.

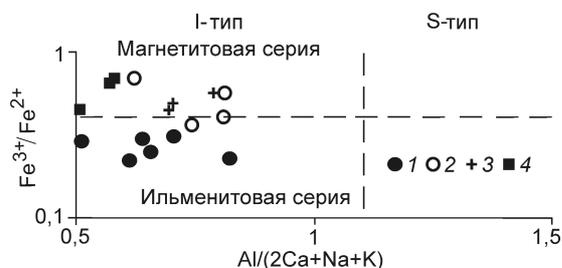


Рис. 3. Диаграмма Fe^{3+}/Fe^{2+} — $Al/(2Ca+Na+K)$ для гранитов амуджикано-шахтаминского комплекса золоторудных месторождений Восточного Забайкалья, по [15]:

усл. обозн. см. рис. 2

Цемент брекчий имеет кварц-полевошпатовый, кварц-турмалиновый состав.

Верхне-Алиинское золоторудное месторождение располагается в 30 км восточнее г. Балей. Вмещающие породы сложены многофазными интрузиями амуджикано-шахтаминского комплекса (J_{2-3}). Первая фаза образована перидотитами, габброидами, монцонитами, вторая — гранитоидами, третья — гранодиорит-порфирами, сиенитами. Переходы между разновидностями пород постепенные. Образование золотого оруденения связывается с заключительными стадиями формирования интрузий амуджикано-шахтаминского комплекса. Основное золотое оруденение приурочено к выходам монцонитов. Дайковый комплекс — гранодиорит-порфиры, диоритовые порфириты, лампрофиры. Дайки дорудные с наложенной сульфидной и кварцево-карбонатной минерализацией.

На месторождении выделены Западная, Восточная и Широтная рудные зоны. Рудные тела в них сложены золото-сульфидно-кварцевыми жилами и прожилково-вкрапленными зонами. Основные рудные минералы — арсенопирит, пирит, пирротин, менее распространены халькопирит, галенит, сфалерит, блеклая руда, марказит, антимонит.

Ключевское золоторудное месторождение размещается в 40 км юго-западнее железнодорожной станции Могоча. Большая часть его площади сложена средне-позднеюрскими гранитоидами амананского комплекса, позднеюрскими штоками гранодиорит-порфиров и гранит-порфиров амуджикано-шахтаминского комплекса и дайковым комплексом пород. В породах амуджикано-шахтаминского комплекса встречаются конусообразные тела взрывных брекчий. Наличие обломков «древних» брекчий в «ранних» брекчиях указывает на несколько стадий их образования. Некоторые взрывные брекчии сульфидизированы и характеризуются повышенными концентрациями золота.

С дайками амуджикано-шахтаминского комплекса парагенетически связано золотое оруденение. Отмечается следующая последовательность образования даек и их соотношение с золотым оруденением: гранодиорит-порфиры → диоритовые порфириты → рудная стадия → гибридные порфириты + лампрофиры → ортоклазиты.

Месторождение представлено штокверковым типом оруденения. Рудная минерализация подразделяется на несколько стадий: молибденит-кварцевая с калишпатизацией, сульфидно-кварц-турмалиновая с калишпатизацией, кварц-турмалин-суль-

фидная с альбитизацией, сульфидно-пиритовая полиметаллическая, карбонатная с халцедоном [11]. Начало рудной стадии характеризуется интенсивной площадной турмалинизацией, в том числе образованием турмалиновых брекчий и турмалиновых тел. В рудных телах среднее содержание Au от 1 до 2,9 г/т.

Карийское золоторудное месторождение находится в 49 км юго-восточнее железнодорожной станции Урюм. В его пределах развиты раннепротерозойские интрузивные образования (гранитоиды, габброиды), прорванные мезозойскими гранитоидами амананского комплекса, дайки амуджикано-шахтаминского комплекса, являющиеся производными Кара-Чачинского гранитоидного массива, расположенного южнее.

Образование золотого оруденения связывается с процессами формирования интрузий амуджикано-шахтаминского комплекса. На месторождении выделен ряд рудных участков с разными рудными ассоциациями: Амурская дайка, Новинка, Сульфидный, Дмитриевский. Выделяются золотоносные руды трех минеральных типов: кварц-актинолит-магнетитовые, кварц-турмалин-арсенопиритовые, кварц-турмалин-пиритовые. Первый тип преобладает на участке Новинка, второй — на участке Сульфидный.

В районе месторождения выявлена такая последовательность формирования даек амуджикано-шахтаминского комплекса и золотого оруденения: гибридные порфиры → грорудиты + золотое оруденение → лампрофиры. Дайки лампрофиров встречаются редко. Основная их масса сложена плагиоклазом и роговой обманкой. Дайки гибридных порфиров широко распространены. Их основная масса представлена плагиоклазом, роговой обманкой, биотитом и кварцем. Вкрапленники образованы калиевым полевым шпатом, кварцем, роговой обманкой, биотитом и плагиоклазом. Размер вкрапленников калиевого полевого шпата достигает 10 см.

На участке Амурская дайка гибридные порфиры являются рудовмещающими. В них отмечаются тонкие кварцевые, кварц-актинолитовые прожилки с включениями золота размером до 5 мм. В рудах содержание Au достигает 52 г/т. В некоторых дайках гибридных порфиров присутствуют кварц-пиритовые прожилки с содержаниями Au до 5 г/т.

Рис. 5. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в гранитах амуджикано-шахтаминского комплекса на золоторудных месторождениях Восточного Забайкалья:

поля значений редкоземельных элементов в гранитах золоторудных месторождений: 1 — Андрушкинского, 2 — Верхне-Алиинского, 3 — Карийского, Ключевского; остальные усл. обозн. см. рис. 2

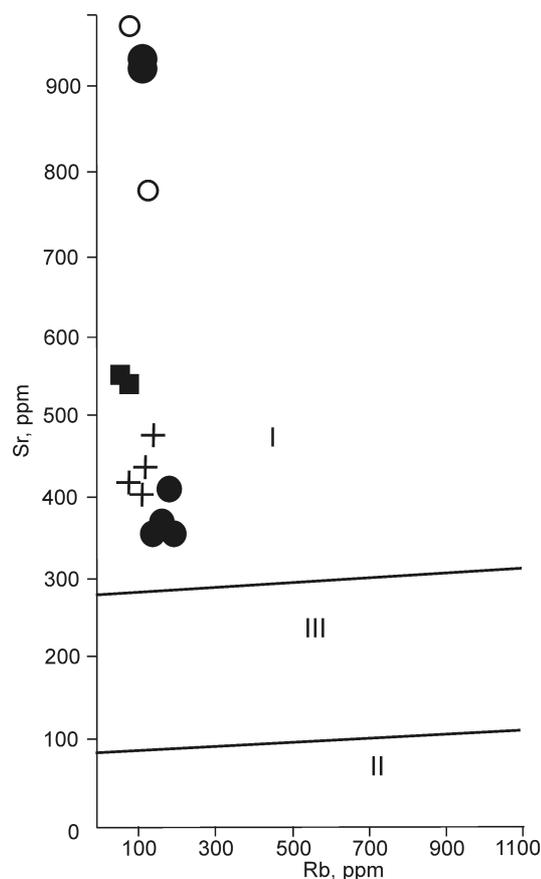
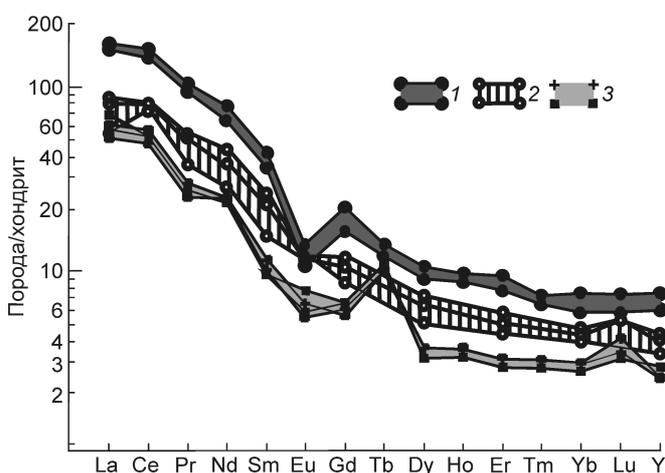


Рис. 4. Диаграмма Sr — Rb для гранитов амуджикано-шахтаминского комплекса золоторудных месторождений Восточного Забайкалья, по [17]:

поля составов источника. I — мантийного, II — корового, III — смешанного; остальные усл. обозн. см. рис. 2

ных порфиров присутствуют кварц-пиритовые прожилки с содержаниями Au до 5 г/т.

Дайки грорудитов внутрирудные. Выделены две возрастные группы грорудитов: ранние (зеленые) с



Содержания петрогенных компонентов (мас. %) и элементов-примесей в гранитоидах амуджикано-шахтаминского комплекса в пределах мезозойских золоторудных месторождений Восточного Забайкалья, г/т

| Компоненты | Андрюшкинское | | Ключевское | | Карийское | | | Верхне-Алиинское | | |
|------------------------------------|---------------|--------|------------|-------|-----------|--------|--------|------------------|--------|--------|
| | | | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 69,00 | 69,00 | 67,80 | 67,30 | 69,10 | 69,00 | 72,0 | 71,00 | 69,60 | 70,50 |
| TiO ₂ | 0,62 | 0,61 | 0,35 | 0,33 | 0,27 | 0,42 | 0,35 | 0,28 | 0,32 | 0,32 |
| Al ₂ O ₃ | 14,40 | 14,00 | 15,00 | 14,70 | 15,60 | 14,80 | 13,3 | 15,10 | 15,50 | 15,60 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,64 | 0,78 | 1,28 | 1,23 | 0,86 | 1,16 | 1,01 | 0,77 | 0,74 | 0,69 |
| FeO | 2,16 | 1,84 | 1,68 | 1,56 | 1,37 | 2,11 | 1,68 | 1,33 | 1,48 | 1,52 |
| MnO | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| MgO | 1,66 | 1,49 | 1,40 | 1,06 | 1,18 | 2,23 | 1,90 | 0,57 | 0,89 | 0,80 |
| CaO | 2,09 | 1,83 | 2,68 | 2,49 | 0,92 | 1,83 | 1,56 | 0,92 | 1,02 | 1,02 |
| Na ₂ O | 3,39 | 3,88 | 4,53 | 4,19 | 3,86 | 4,39 | 4,00 | 4,54 | 4,86 | 4,75 |
| K ₂ O | 4,55 | 4,58 | 3,57 | 4,10 | 6,15 | 3,20 | 3,18 | 3,98 | 3,92 | 4,00 |
| P ₂ O ₅ | 0,17 | 0,17 | 0,13 | 0,13 | 0,11 | 0,16 | 0,12 | 0,17 | 0,17 | 0,16 |
| ППП | 1,08 | 1,06 | 1,25 | 2,36 | 0,65 | 0,85 | 0,73 | 0,79 | 0,74 | 0,90 |
| Сумма | 99,79 | 99,28 | 99,70 | 99,48 | 100,11 | 100,21 | 99,87 | 99,49 | 99,28 | 100,3 |
| Zn | 40 | 33 | 75 | 27 | 79 | 52 | 58 | 79 | 52 | 35 |
| As | 110 | 100 | 39 | 99 | 81 | 140 | 56 | 400 | 220 | 105 |
| Pb | 65 | 61 | 35 | 21 | 30 | 15 | 17 | 27 | 36 | 19 |
| Rb | 190 | 200 | 64 | 80 | 160 | 119 | 105 | 127 | 110 | 109 |
| Sr | 410 | 360 | 560 | 550 | 480 | 434 | 410 | 780 | 920 | 940 |
| Zr | 280 | 280 | 110 | 110 | 88 | 130 | 114 | 160 | 145 | 150 |
| Nb | 18 | 16 | 6,4 | 5,5 | 8,3 | 6,9 | 7,4 | 12 | 6,4 | 7 |
| Sn | 4,4 | 8,1 | - | - | 2,1 | 2,3 | 1,8 | 1,8 | - | 1,8 |
| Sb | 3,1 | 5,4 | 4 | 12 | 4 | - | - | - | - | - |
| Ba | 660 | 580 | 800 | 1130 | 1500 | 240 | 250 | 800 | 1000 | 1030 |
| Au | - | - | 0,01 | 0,25 | - | - | - | - | - | 0,01 |
| La | 41,80 | 40,30 | 13,50 | 17,00 | 13,2 | 21,1 | 20,7 | 27,7 | 28,3 | 29,0 |
| Ce | 103,0 | 95,60 | 33,60 | 32,70 | 46,0 | 51,4 | 49,4 | 66,2 | 71,6 | 74,0 |
| Pr | 10,00 | 8,80 | 2,50 | 2,60 | 3,5 | 5,4 | 4,9 | 6,3 | 6,8 | 7,0 |
| Nd | 37,00 | 31,50 | 10,90 | 11,10 | 12,7 | 21,1 | 17,9 | 21,5 | 22,3 | 22,8 |
| Sm | 6,40 | 5,40 | 1,60 | 1,70 | 2,6 | 4,0 | 3,2 | 3,94 | 4,2 | 4,2 |
| Eu | 0,81 | 0,64 | 0,33 | 0,38 | 0,73 | 0,78 | 0,66 | 0,84 | 1,01 | 1,03 |
| Gd | 4,30 | 3,40 | 1,26 | 1,18 | 1,8 | 2,6 | 2,2 | 2,15 | 2,4 | 2,45 |
| Tb | 0,52 | 0,47 | 0,38 | 0,39 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| Dy | 2,70 | 2,30 | 0,91 | 0,90 | 1,3 | 1,9 | 1,6 | 1,7 | 1,5 | 1,6 |
| Ho | 0,53 | 0,48 | 0,20 | 0,20 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| Er | 1,50 | 1,26 | 0,51 | 0,50 | 0,75 | 1,0 | 0,84 | 0,8 | 0,7 | 0,75 |
| Tm | 0,18 | 0,17 | 0,08 | 0,09 | <0,3 | <0,3 | <0,3 | <0,3 | <0,3 | <0,3 |
| Yb | 1,30 | 1,00 | 0,51 | 0,51 | 0,70 | 0,94 | 0,80 | 0,8 | 0,67 | 0,69 |
| Lu | 0,18 | 0,15 | 0,09 | 0,10 | <0,15 | 0,16 | 0,14 | 0,17 | <0,15 | <0,15 |
| Y | 16,30 | 13,30 | 5,60 | 5,60 | 7,3 | 9,7 | 8,9 | 9,0 | 8,1 | 8,1 |
| Ba/Rb | 3,47 | 2,90 | 12,50 | 14,13 | 9,38 | 2,02 | 2,38 | 6,29 | 9,09 | 9,45 |
| Fe ³⁺ /Fe ²⁺ | 0,30 | 0,42 | 0,76 | 0,79 | 0,63 | 0,55 | 0,60 | 0,58 | 0,50 | 0,45 |
| Eu/Eu* | 0,47 | 0,53 | 0,71 | 0,82 | 1,03 | 0,74 | 0,76 | 0,88 | 0,97 | 0,98 |
| Eu/Sm | 0,13 | 0,12 | 0,21 | 0,22 | 0,28 | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,24 | 0,24 |
| ΣTR+Y | 226,52 | 204,77 | 78,87 | 83,48 | 72,66 | 112,40 | 104,72 | 138,39 | 148,57 | 152,97 |

Примечание. Анализы выполнены в Аналитическом центре Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ): силикатные — В.А.Ивановой, О.В.Корсун, Б.Б.Лыгденовой, Л.В.Митрофановой стандартным методом; рудные и редкие элементы определены Б.Ж.Жалсараевым РФА методом, редкоземельные — Л.А.Левантуевой, Т.И.Казанцевой методом ASP-AES.

наложенной кварц-актинолит-магнетитовой минерализацией и поздние (бурые) с секущими кварц-актинолит-магнетитовыми прожилками [12]. Основная масса гронорудитов сложена кварцем (до 89%), поле-

вым шпатом (7–15%), а также эгирином и амфиболом. Мощность даек колеблется от нескольких до 20 см. Абсолютный возраст даек гронорудитов по данным Rb-Sr метода составляет 153 млн. лет [12].

Геохимические особенности гранитоидов амуджикано-шахтаминского комплекса указывают на образование их в островодужной обстановке (рис. 2). По условиям формирования С.Ишихара выделил гранитоиды магнетитовой и ильменитовой серий [18]. Эти отличия обусловлены глубинными условиями формирования магматических расплавов и режимами их кристаллизации. Установлена четкая связь между месторождениями золота и полиметаллов с гранитами магнетитовой серии, а оловорудных месторождений — с гранитами ильменитовой [3]. Выявлено, что граниты магнетитовой серии кристаллизовались в условиях закрытой системы, гранитоиды ильменитовой — в условиях открытой системы [3]. Отношение Fe_2O_3/FeO в гранитах магнетитовой серии $>0,5$, в гранитах ильменитовой — $<0,5$ [15].

На диаграмме $Fe^{3+}/Fe^{2+} - Al/(2Ca+Na+K)$ граниты Андрюшкинского месторождения соответствуют гранитам ильменитовой серии, Карийского и Ключевского — гранитам магнетитовой серии, граниты Верхне-Алиинского месторождения занимают промежуточное положение между этими сериями (рис. 3). По геохимическим особенностям рассматриваемые граниты соответствуют гранитам I-типа, источниками которых являются магматические породы.

По отношениям Ba/Rb граниты амуджикано-шахтаминского комплекса соответствуют гранитам андезитового (среднее значение составляет 5,5, по [16]) и латитового (Ba/Rb 14,0) типов, являющихся дифференциатами базальтовой магмы (таблица). На диаграмме $Sr - Rb$ граниты данного комплекса попадают в поле мантийного источника [14], что подтверждает их формирование из первичной базальтовой магмы (рис. 4).

Для оценки степени дифференциации магматических очагов интрузивных образований были рассчитаны отношения Eu/Eu^* в гранитах рассматриваемых золоторудных месторождений. Наибольшей степенью дифференциации магматического очага характеризуются граниты Андрюшкинского месторождения (Eu/Eu^* 0,47–0,53), граниты остальных месторождений, соответствующие гранитам магнетитовой серии, отличаются незначительной степенью дифференциации магматического очага или отсутствием такового (рис. 5; см. таблицу).

Для оценки глубин формирования рудоносных магматических очагов использованы отношения Eu/Sm в трактовке С.Ф.Винокурова [4]. Так, $Eu/Sm=0,2$ отвечает границе верхней континентальной коры [4]. Значения Eu/Sm Андрюшкинского месторождения соответствуют формированию магматических очагов в верхней континен-

тальной коре, других месторождений — в нижней континентальной коре (см. таблицу).

Распределение редкоземельных элементов в гранитах золоторудных месторождений показывает, что наибольшими значениями европиевого минимума характеризуются граниты ильменитовой серии (Eu/Eu^* 0,47–0,53), минимальными или отсутствием такового (Eu/Eu^* 0,71–1,01) — граниты магнетитовой серии. При этом наибольшие концентрации $\Sigma TR+Y$ присущи гранитам ильменитовой серии ($\Sigma TR+Y$ 204,77–226,52), наименьшие — гранитам магнетитовой ($\Sigma TR+Y$ 72,66–112,40) (см. таблицу, рис. 5).

Таким образом, формирование интрузий амуджикано-шахтаминского комплекса происходило в островодужной обстановке. В пределах золоторудных месторождений отмечается относительно выдержанная последовательность формирования даек амуджикано-шахтаминского комплекса: гранит-порфиры → кварцевые порфиры → диоритовые порфириты → гибридные порфириты + лампрофиры. При этом наблюдается тесная парагенетическая связь золотого оруденения с дайками второго этапа — гибридными порфирами, лампрофирами, грорудитами. По данным отношений Ba/Rb , в трактовке Л.В.Таусона [16], первичными источниками гранитов амуджикано-шахтаминского комплекса были магмы латитового и андезитового составов. Мантийный источник этих гранитов подтверждается отношениями Rb/Sr .

По условиям формирования среди рассматриваемых гранитоидов выделяются граниты магнетитовой и ильменитовой серий. Так, граниты Андрюшкинского месторождения соответствуют гранитам ильменитовой серии, граниты Ключевского и Карийского — гранитам магнетитовой серии. Граниты Верхне-Алиинского месторождения занимают промежуточное положение. Эти отличия отражаются в геохимическом составе изучаемых гранитоидов. Граниты ильменитовой серии в отличие от гранитов магнетитовой имеют четкий европиевый минимум (Eu/Eu^* 0,47–0,53). Они сформировались в верхней континентальной коре (Eu/Sm 0,12–0,13), граниты магнетитовой серии — в нижней ($Eu/Sm >0,2$). Граниты ильменитовой серии Андрюшкинского месторождения, в отличие от гранитов магнетитовой серии Ключевского и Карийского месторождений, характеризуются наличием четкого европиевого минимума (Eu/Eu^* 0,47–0,53).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Б.Н.* Условия формирования, минералого-геохимические особенности пород и руд Средне-

- Голготайского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 3. С. 79–82.
2. *Бородаевская М.Б.* Некоторые особенности петрогенезиса формации малых интрузий послеверхнеюрского возраста в одном из районов Восточного Забайкалья // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1956. № 6. С. 70–91.
 3. *Валуй Г.А., Моисеенко В.Г., Срижкова А.А., Москаленко Е.Ю.* Генетические аспекты магнетитовых и ильменитовых гранитоидов (на примере Сихотэ-Алиня) // ДАН. 2005. Т. 405. № 4. С. 507–510.
 4. *Винокуров С.Ф.* Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их геохимическое значение // ДАН. 1996. Т. 346. С. 792–795.
 5. *Возрастные рубежи формирования золотого оруденения Восточного Забайкалья* / А.С.Борисенко, С.М.Жмодик, Е.А.Наумов и др. // Мат-лы конференции «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований». М., 2010. Т. 1. С. 82–83.
 6. *Геодинамика западной части Монголо-Охотского пояса и тектоническая позиция рудных проявлений золота в Забайкалье* / Ю.А.Зорин, В.Г.Беличенко, И.Г.Рутштейн и др. // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 11. С. 104–112.
 7. *Геологическая карта Читинской области м-ба 1:500 000* / Ред. И.Г.Рутштейн. – Чита: ПГО «Читагеология», 1992.
 8. *Геохронология фанерозойского активизационного магматизма Северо-Восточного Забайкалья* / А.Г.Рублев, Г.В.Александров, С.В.Александрова и др. // Советская геология. 1985. № 10. С. 81–92.
 9. *Данилеяну С.Е., Ляхов Ю.В.* Об относительном возрасте лампрофиров и оруденения Дарасунского месторождения (Восточное Забайкалье) // Изв. вузов. Геология и разведка. 1975. № 5. С. 94–103.
 10. *Интерпретация геохимических данных: Учебное пособие* / Под ред. Е.В.Склярова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001.
 11. *Криволицкая Н.А.* Парагенетические ассоциации минералов и условия образования руд Ключевского месторождения золота (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. 1997. № 4. С. 344–361.
 12. *Литвинов В.Л., Соломин Ю.С.* Эгиринсодержащие дайковые породы некоторых золоторудных месторождений Восточного Забайкалья, их генезис и отношение к оруденению // Изв. вузов. Геология и разведка. 1973. № 6. С. 56–53.
 13. *Особенности зональности оруденения в некоторых рудных узлах Восточного Забайкалья* / Р.М.Константинов, И.Н.Томсон, С.В.Чеглоков и др. // Геология рудных месторождений. 1967. № 3. С. 41–53.
 14. *Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А.* Золотосодержащие рудно-магматические системы Забайкалья. – Новосибирск: Гео, 2006.
 15. *Стриха В.Е.* Раннеюрские гранитоиды Чагойянского и Шимановского массивов Мамынского блока Амурского супертеррейна (Верхнее Приамурье) // Тихоокеанская геология. 2005. Т. 24. С. 66–82.
 16. *Таусон Л.В.* Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. – М.: Наука, 1977.
 17. *Щелочные элементы и стронций в рудоносных (Sn, W, Ta) дифференцированных магматических ассоциациях* / М.Г.Руб, Н.Г.Гладков, В.А.Павлов и др. // ДАН СССР. 1983. Т. 268. С. 1463–1466.
 18. *Ishihara S.* The magnetite-series and ilmenite-series granitoid rocks // Mining. Geol. 1977. Vol. 27. P. 293–305.
 19. *Rb-Sr возраст щелочных гранитов Карийского рудного узла (Восточное Забайкалье)* / Г.С.Плюснин, А.М.Спиридонов, К.А.Литвинцев и др. // ДАН СССР. 1988. Т. 307. № 4. С. 967–971.

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



УДК 553.3.041:553.411 (575.14)

© Ш.Р.Касимова, 2013

ЗОЛОТОНОСНОСТЬ КАРАТАУСКОЙ ЗОНЫ СМЯТИЯ, УЗБЕКИСТАН

Ш.Р.Касимова (ГП «НИИМП» Госкомгеологии РУз, г. Ташкент)

Рассматриваются перспективы золотоносности Каратауской зоны смятия (горы Южный Нуратау). В зоне развиты проявления с золото-кварцевым и золото-сульфидно-кварцевым оруденением, более 40 объектов на 80 км². По результатам изучения факторов локализации золотого оруденения в зоне и за ее пределами выделены пять локальных перспективных участков с различной достоверностью прогноза и вероятностью обнаружения новых золоторудных тел.

Ключевые слова: золотоносность, зона смятия, перспективные участки, достоверность прогноза.

Касимова Шахзодахон Рамизидиновна, shahzoda_kasimova@yahoo.com

GOLD-BEARING SHEAR ZONE OF KARATAU, OZBEKISTAN

Sh.R.Kasimova

The article discusses the perspective of gold-bearing shear zone of Karatau (South Nurata). This zone consists of gold-quartz and gold-quartz-sulfide mineralization with high density — more than 40 objects in 80 km². In the issue of study of the factors of localization of gold mineralization in this area and beyond have been allocated five local prospects with varying reliability prediction and probability of finding new gold-ore bodies.

Key words: gold-bearing, shear zone, prospects, reliability prediction.

Горы Южный Нуратау сложены интенсивно дислоцированными образованиями двух стратифицированных комплексов пород — верхнесилур-нижнекембрий-вендским вулканогенно-кремнисто-карбонатно-терригенным и верхнесилур-среднекаменноугольным терригенно-карбонатным, а также магматическими образованиями шуракского диорит-гранодиорит-гранит-лейкогранитового комплекса (P₁).

Золотоносность в пределах Каратауской рудной зоны представлена золото-кварцевым и золото-сульфидно-кварцевым оруденением с высокой плотностью размещения рудных объектов — более 40 на 80 км² по всей протяженности зоны (рис. 1).

Общая складчатая структура зоны смятия имеет вид усложненной синформы с осью в приводораздельной части хребта Южный Нуратау. В районе Сармичского рудного поля образует сложнопостроенную антиклиналь с широким развитием изоклиналильной складчатости. Здесь толща пород смята в серию достаточно крупных симметричных складок. Основная разрывная структура региона — система регионального многошовного Каратауского разлома с ведущей ролью продольных субширотных нарушений типа надвигов, взбросов, зон смятия и т.д. [1].

Зона смятия представлена протяженными (от десятков до сотен километров) узкими полосами

сложноскладчатых, расланцованных при динамометаморфизме и ороговикованных при контактовом метаморфизме пород. Она приурочена к зоне глубинного разлома на стыке блоков, имеющих разное геологическое развитие. Для зоны смятия характерна повышенная проницаемость земной коры для магм и высокотемпературных эманаций, поднимающихся со значительных глубин [3].

Сармичское рудное поле (взятое за эталон при исследованиях) расположено в центральной части Каратауской рудной зоны, на южном крыле антиклинальной складки, в надынтрुзивной зоне не вскрытого эрозией гранитоидного плутона. Здесь субширотный отрезок зоны смятия пересекается секущими разломами северо-восточного простирания [1]. Породы сложены E-O карбонатно-терригенным флишем, дайковыми образованиями сармичского диабаз-диорит-гранитового комплекса (S₁) и штокообразными телами нижнепермского каратауского адамеллит-гранитового комплекса. Осадочная часть разреза представлена слюдястыми и углисто-глинистыми сланцами, алевролитами, песчаниками и черными доломитистыми известняками. Вмещающие золотое оруденение породы сжаты в узкие изоклиналильные складки запад – северо-западного простирания. Главные элементы разрывной тектоники — продольные разрывные нару-

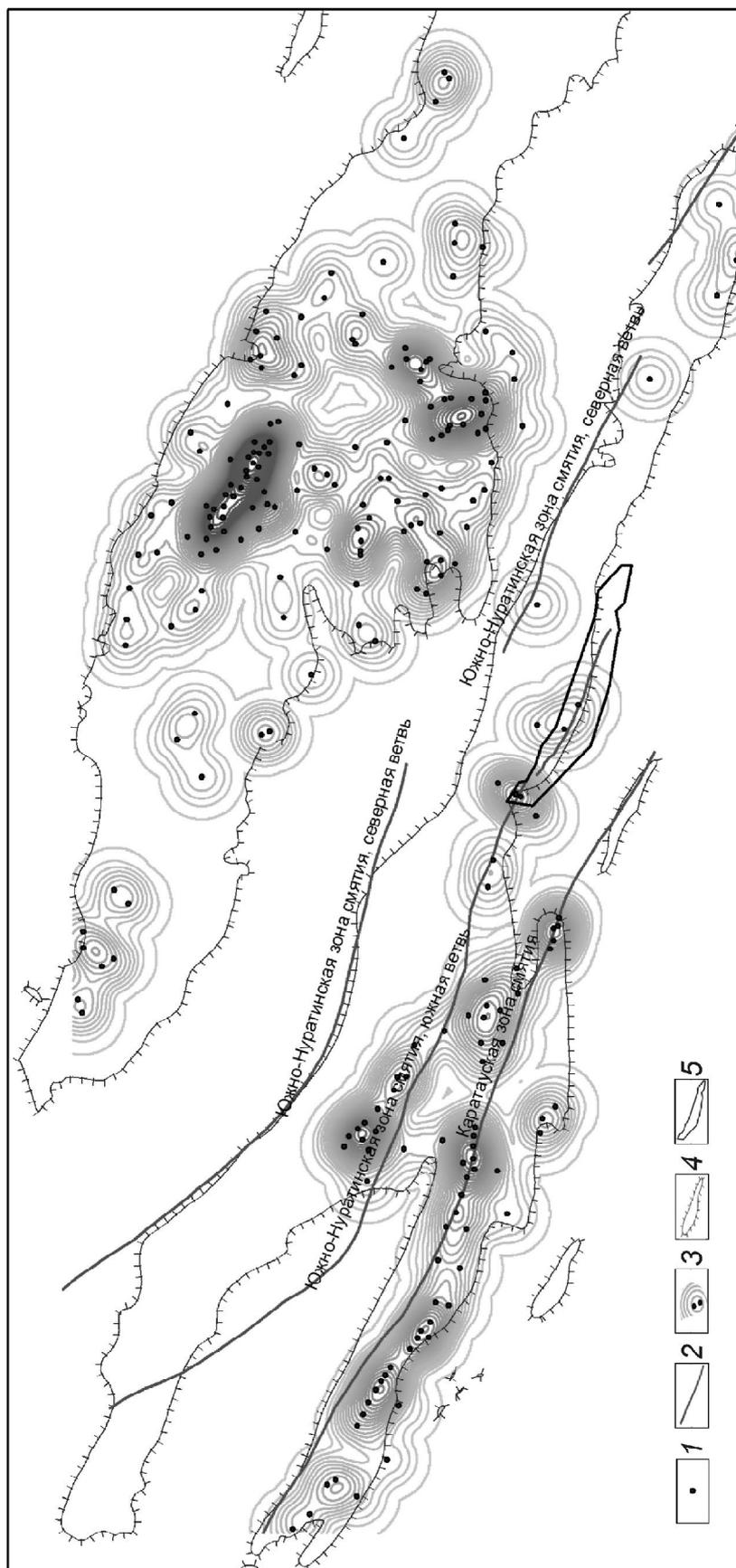


Рис. 1. Плотность размещения золоторудных объектов в Южно-Нуратинском регионе:

1 — золоторудные объекты; 2 — зоны смятия Южно-Нуратинских гор, по С.М. Колосковой, 2005 г.; 3 — изолинии плотностей размещения золоторудных объектов на единицу площади; 4 — выходы палеозойского фундамента; 5 — контур Саракчинской площади

шения — Сармичский и Субаши-Сармичский разломы. Сармичский разлом выполнен зонами дробления, рассланцевания и окварцевания [7].

В Каратауской зоне смятия выделены Нуратау-Лятобандская и Койташ-Зааминская структурно-формационные подзоны с вулканогенно-осадочно-терригенными комплексами пород, шуракский интрузивный комплекс, многочисленные дайки кислого и основного составов, разломы и брекчиево-жилые образования [2]. Кроме того, выявлен ряд тектонических элементов (кольцевые компенсационные прогибы, локальные куполообразные поднятия фундамента, линейaments и др.). Особенно богата точками золотой минерализации центральная часть рассматриваемой территории, сложенная породами каракушской и джазбулакской свит.

При создании дистанционной основы м-ба 1:200 000 использованы аналоговые космофото-снимки (народнохозяйственный спутник) видимого диапазона и композитное изображение Ландсат ТМ в видимом и ИК-диапазонах. Осуществлено площадное визуальное дешифрирование с перекрытием поисковой площади и выделением площадных, линейных и точечных космогеологических объектов. Для обнаженных домезозойских структурно-вещественных комплексов применялся контрастно-аналоговый метод дешифрирования, для площади развития платформенного чехла — ландшафтно-индикационный (А.К.Глух, 2000).

По данным дешифрирования выделены линейные, дуговые, кольцевые структуры, зоны региональной трещиноватости, грабеноограничивающие разломы, клиновидные блоки, образованные веерной системой разломов, т.е. отражен структурный фон для размещения оруденения. На пересечении продольных и поперечных разломов образуются узлы, благоприятные для локализации оруденения. Наибольшая концентрация рудопроявлений эндогенного генезиса приурочена к разломам меридионального и субмеридионального простираний и к низким и умеренным значениям поля плотности тектонической нарушенности. По данным дешифрирования для поисковых работ была выделена Сартакчинская перспективная площадь, где Зармитанской экспедицией проводились геологоразведочные работы. Полевые, лабораторные и камеральные исследования на этой площади и прилегающих территориях выполнены согласно «Инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений» (1983 г.) с учетом методических рекомендаций (1974, 1986 гг.) и опыта работ группы геохимических методов поисков эндогенного оруденения ИМР.

Геохимические пробы из горных выработок отбирались с шагом опробования 3–7 м. При этом применялся метод пунктирной борозды, который заключался в отборе по всей линии интервала опробования через равные промежутки 8–10 сколов пород (до 3–4 см в поперечнике каждый), не затронутых процессами выветривания. Отобранные кусочки объединялись в одну пробу с общей массой до 0,3 кг. Процесс сопровождался геологической документацией с характеристикой литологического состава пород интервала опробования, особенностей элементов залегания коренных пород, проявлений и степени интенсивности гипо-, гипергенной минерализации, гидротермально-метасоматических изменений, а также состава и мощности перекрывающих отложений. Отбор геохимических проб из керна буровых скважин также производился методом пунктирной борозды, но с более сгущенным шагом опробования 1–8 м.

Литохимические пробы обрабатывались в дробильном цехе Зармитанской ПГРЭ, ИМР и АО «Аналит-Сервис» по общепринятой схеме. Золото определялось спектрохимическим и атомно-абсорбционными методами с чувствительностью анализов соответственно 0,005 г/т (АО «Аналит-Сервис») и 0,05 г/т (ИМР). По данным спектрального анализа результатов геохимического опробования канав Сартакчинской площади создана локальная база данных, состоящая из 3800 проб на 26 химических элементов.

Данная база была обработана на компьютере по программе «Кластер» [8]. Выявлен геохимический фон, минимально-аномальные значения и другие статистические параметры для каждого химического элемента. Исследовано поведение химических элементов при различных содержаниях Au (0,005–0,01–0,15–1 условных единиц) в выборках из наиболее перспективных участков площади; осуществлен корреляционный анализ связей химических элементов и намечена возможная формационная принадлежность геохимических аномалий; выделены перспективные для локализации золотого оруденения позиции. Так, на Сартакчинской площади по геохимическим данным выделяется Маулян-Бешбулакское аномальное поле северо-западного простирания длиной 10 км при ширине 1–1,5 км. По данным дешифрирования оно расположено в пределах меридиональной зоны трещиноватости шириной ~5 км.

В эпицентре Сартакчинской площади располагается рудопроявление Маулян, а в восточной части — рудопроявление Бешбулак. На восточной окраине площади точки золотой минерализации практически отсутствуют, в северо-западной части



Рис. 2. Схематическая структурно-геологическая карта Сартакчинской площади гор Южный Нурата, по Г.Е.Завьялову, М.М.Пирназарову, И.О.Хамроеву и др.:

1 — контур выходов докембрийских пород; 2 — дарасайская свита, темно-серые полосчатые слюдясто-карбонат-полевошпат-кварцевые кристаллические сланцы, карбонатные песчаники, известняки, конгломераты, 200 м; 3 — актауская свита, полосчатые мраморы с прослоями черных мраморов, афанитовых мраморов с серицит-кварцевыми наждакообразными образованиями, >850 м; 4 — джазбулакская свита, алевролиты, песчаники с линзовидными прослоями гравелистых пород, сланцев, 150 м; 5 — накуртская свита, сланцы углеродисто-глинистые, часто кремнистые алевропесчаники (в основании — горизонт кремнистых пород), 170 м; 6 — бадамчалинская свита, зеленовато-голубовато-серые известково-глинисто-кремнистые сланцы, фидлитовидные алевропесчаники, тонкие прослои известняков, 130 м; 7 — калсаринская свита, известняки, мергели, аргиллиты, известковистые песчаники; 8 — караташская свита, переслаивание песчаников, алевролитов, сланцев, 450 м; 9 — каракушская свита, артиллиты, желваки и стяжения кремней; 10 — гачинский субкомплекс, мелко-среднезернистые двуслюдяные, иногда меланократовые граниты с гранатом; 12 — разнотерристые биогитовые, амфибол-биогитовые граниты, адамеллиты; 13 — дайки кислого (a) и основного (б) состава; 14 — разломы; 15 — жилы и линзовидные тела кварца; 16 — брек-чи с цементом и прожилками кварца; 17 — точки золоторудной минерализации; 18 — кольцевые компенсационные прогибы; 19 — локальные куполообразные поднятия; 20 — линейменты (предполагаемые разломы); 21 — рудопроявления золота, тантала и ниобия; 22 — контур Сартакчинской площади

**Средние содержания химических элементов в фоновых участках и первичных ореолах
золотого оруденения Сартакчинской площади**

| Химические элементы | Местный фон | Общая выборка (3800 проб) | Содержания Au, у.е | | | Интенсивность, егф* | | |
|---------------------|-------------|---------------------------|--------------------|----------------|-------------|---------------------|-----------|----------|
| | | | <0,01 (2961) | 0,02–0,1 (619) | >0,15 (220) | Au <0,01 | Все пробы | Au >0,15 |
| Au**) | 0,003 | 0,056 | 0,004 | 0,045 | 0,796 | 1,3 | 18,7 | 265,3 |
| Ag | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 2,0 | 2,1 | 3,3 |
| Sb | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 2,0 | 1,9 | 2,0 |
| As | 1 | 5,1 | 5,0 | 10,1 | 12,9 | 5,0 | 5,1 | 12,9 |
| Cu | 1 | 5,4 | 5,8 | 6,3 | 5,9 | 5,7 | 5,4 | 5,9 |
| Pb | 0,8 | 2,2 | 1,9 | 3,4 | 5,0 | 2,4 | 2,8 | 6,3 |
| Zn | 2 | 9,1 | 9,4 | 10,3 | 11,4 | 4,6 | 4,5 | 5,7 |
| Cd | 0,07 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,19 | 1,5 | 1,6 | 2,7 |
| Mo | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 1,4 | 1,7 |
| W | 0,2 | 0,39 | 0,44 | 0,91 | 1,09 | 2,1 | 1,9 | 5,5 |
| Sn | 0,2 | 0,41 | 0,41 | 0,46 | 0,44 | 2,1 | 2,1 | 2,2 |
| Be | 0,07 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 2,1 | 1,9 | 2 |
| P | 25 | 39,2 | 40,2 | 41,9 | 39,4 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| Co | 0,8 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,8 |
| Mn | 30 | 45,9 | 46,9 | 47,5 | 47,9 | 1,5 | 1,6 | 1,6 |
| Cr | 3 | 7,8 | 8,3 | 8,2 | 8,7 | 2,8 | 2,6 | 2,9 |
| Ni | 2 | 4,8 | 4,8 | 5,0 | 5,4 | 2,4 | 2,4 | 2,7 |
| V | 5 | 11,1 | 13,8 | 12,6 | 10,9 | 2,8 | 2,2 | 2,2 |
| Ge | 0,07 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,13 | 1,5 | 1,6 | 2,0 |
| Ga | 0,4 | 0,97 | 0,93 | 3,36 | 0,88 | 2,4 | 2,4 | 2,2 |
| Nb | 0,7 | 1,17 | 0,87 | 1,51 | 1,41 | 1,2 | 1,7 | 2,1 |

*Единица геохимического фона.

**Содержания Au приведены в у.е, содержания остальных химических элементов — $n \cdot 10^{-3}\%$.

отмечается ряд разрозненных точек в отложениях караташской свиты, окаймляющих северные склоны гор Пистали [6].

Рудопоявление Маулян размещается на южных склонах горы Актау (Южный Каратау), сложенной нижнесилурийскими алевролитами, слюдяно-глинистыми сланцами и песчаниками накрутской свиты. Южный разлом, контролирующий оруденение, представляет собой многошовную зону с мощностью отдельных швов до 20 м. В дислоцированной зоне развиты графитизация, лимонитизация пород, сопровождаемые кварцевыми жилами и прожилками. Мощность отдельных жил 1–2 м, протяженность 10–100 м. Рудопоявление Бешбулак находится в 3 км юго-восточнее от рудопоявления Маулян. На площади вторичного ореола рассеяния золота обнаружены два нарушения северо-западного простирания.

Сартакчинская перспективная площадь хребта Южный Нуратау характеризуется специфическими особенностями геологического строения (рис. 2). Площади окolorудных изменений на перспективных участках сопровождаются первичными орео-

лами химических элементов. Элементный состав и, соответственно, зональность первичного ореола зависят от интенсивности проявления рудных элементов, определяемой по отношению среднего содержания элемента в ореоле к фоновой выборке (таблица).

Анализ материалов по общей выборке геохимического опробования площади говорит о специализации на Au, Cu, As, Zn. Интенсивность проявления этих элементов составляет 4,5–18,7 единиц геохимического фона, что указывает на вероятность обнаружения на Сартакчинской площади аномалий, представляющих практический интерес при поисках золото-сульфидного оруденения. Кроме того, повышен геохимический фон Pb, Ag, Sb, W, Sn, Be, Ga, Nb. Но из-за разрозненности и невысокой интенсивности концентраций при работах подобного масштаба самостоятельного практического интереса они не представляют.

Результаты проведенного анализа по Южно-Нуратинским горам выявили полигенный характер золотоносности площади, вызванной первичной геохимической специализацией рудовмещающих

пород на золото. Наиболее продуктивным представляется последний этап эндогенного рудогенеза.

В районе Сартакчинской перспективной площади и прилегающих территорий установлены четыре кольцевые структуры (Себистанская, Уйшумская, Пачирская, Ямбагинская) с диаметрами 10–12 км. Они тяготеют преимущественно к слабо обнаженным площадям или к платформенному чехлу на южных склонах хребта Южный Нуратау. На их сводах фиксируются и отражены на дистанционной основе м-ба 1:200 000 грабенообразующие (рудолокализирующие) разломы.

Кольцевые структуры отражают фокус тепловых и других эндогенных процессов, обуславливают (как и их дуговые элементы) распределение магматических масс интрузий, а меридиональные рудоконтролирующие зоны — пути движения и распределения флюидопотоков. Золоторудные пояса расположены на сводах (в грабенах) кольцевых структур преимущественно в пределах меридиональных рудоконцентрирующих зон (зон региональной трещиноватости), что является подтверждением их рудоконтролирующего характера. Это объединяет названные структуры по их роли в локализации оруденения.

Для выделения перспективных участков применен аддитивный (путем сложения значений элементов) коэффициент зональности. Для усиления информативности выбранные элементы (Au, Ag, As, W) были предварительно нормированы по соответствующим фоновым значениям. Состав элементов сбалансирован по индикационным геохимическим особенностям в соответствии с задачами опережающих специализированных поисковых работ. Золото и мышьяк — общепризнанные индикаторы среднерудных частей золоторудных объектов, серебро и вольфрам в большинстве случаев занимают верхнерудные и нижнерудные уровни. Анализ распределения рассматриваемого аддитивного коэффициента выполнен путем обработки результатов геохимического опробования канав, проведенного Зармитанской ППРЭ.

Анализ пространственного распределения значений коэффициента свидетельствует о достаточной поисковой информативности показателя $Au+Ag+As+W$. По его значениям высокой контрастности (от 6 до 20 единиц), наряду с ранее известными золотыми рудопроявлениями Маулян и Бешбулак, выделены новые локальные участки для поисков. Среди них при дальнейшей обработке материалов особое внимание уделено локальным концентрическим аномалиям на правом берегу Джазмансая, Кайрагачсая, Ташлаксая и Битаусая, линейно-концентрической аномалии близширотного

простираения, окаймляющей южные пределы рудопроявлений Маулян и Бешбулак.

Анализируя поисковые предпосылки, базирующиеся на структурно-тектонических факторах, основными для региона следует признать глубинные и длительно функционирующие разломы [5]. Их развитие способствовало тепломассопереносу в верхние слои литосферы, обуславливало динамометаморфизм пород, гранитоидный магматизм и сопутствующий контактовый метаморфизм и как следствие — послемагматический рудогенез (W, Mo, Cu, Sn, Nb, Ta, Au). Становление разломов сопровождается проявлением и гидротермального рудогенеза, продуктивность которого определяется золотом. Непосредственно Маулян-Бешбулакское золото-геохимическое поле контролируется зоной смятия вдоль подобного разлома. Ее юго-восточное продолжение, возможно, перекрыто послепалеозойскими образованиями и трассируется под чехлом южнее месторождения ниобия Сартакчи [4].

В качестве наиболее благоприятных для выявления промышленного золотого оруденения выделяется Маулян-Бешбулакское аномальное поле протяженностью ~10 км при ширине от 1 до 1,5 км. Оно имеет северо-западное простираение, субогласное направлению простираения пород и систем межформационных разломов. Это направление, по всей вероятности, совпадает с простираением рудовыводящей глубинной структуры. По данным дешифрирования материалов дистанционных съемок поле расположено в пределах меридиональной зоны трещиноватости шириной ~5 км.

Вся Сартакчинская площадь разбита на блоки северо-восточными, северо-западными и субширотными структурными элементами. В их центральных частях (Маулян, Куюксай, Бешбулаксай) размещаются известные рудопроявления и концентрация оруденения достигает максимума. Анализ экстенсивности размещения последней позволяет предполагать наличие слабо проявленной рудораспределяющей разрывной структуры субширотного простираения.

Для целенаправленного осуществления дальнейших геологоразведочных работ на этой площади и за ее пределами выделены пять локальных перспективных участков с различной достоверностью прогноза и вероятностью обнаружения новых золоторудных тел (рис. 3).

Участок 1 площадью ~1,8 км, вытянутый в север – северо-западном направлении, расположен на юго-западном окончании гор Пистали в среднем течении рек Джазмансай – Учкарасай. Северо-восточная граница площади в районе Джазмансая ограничивается дайкой кислого состава. Здесь уча-

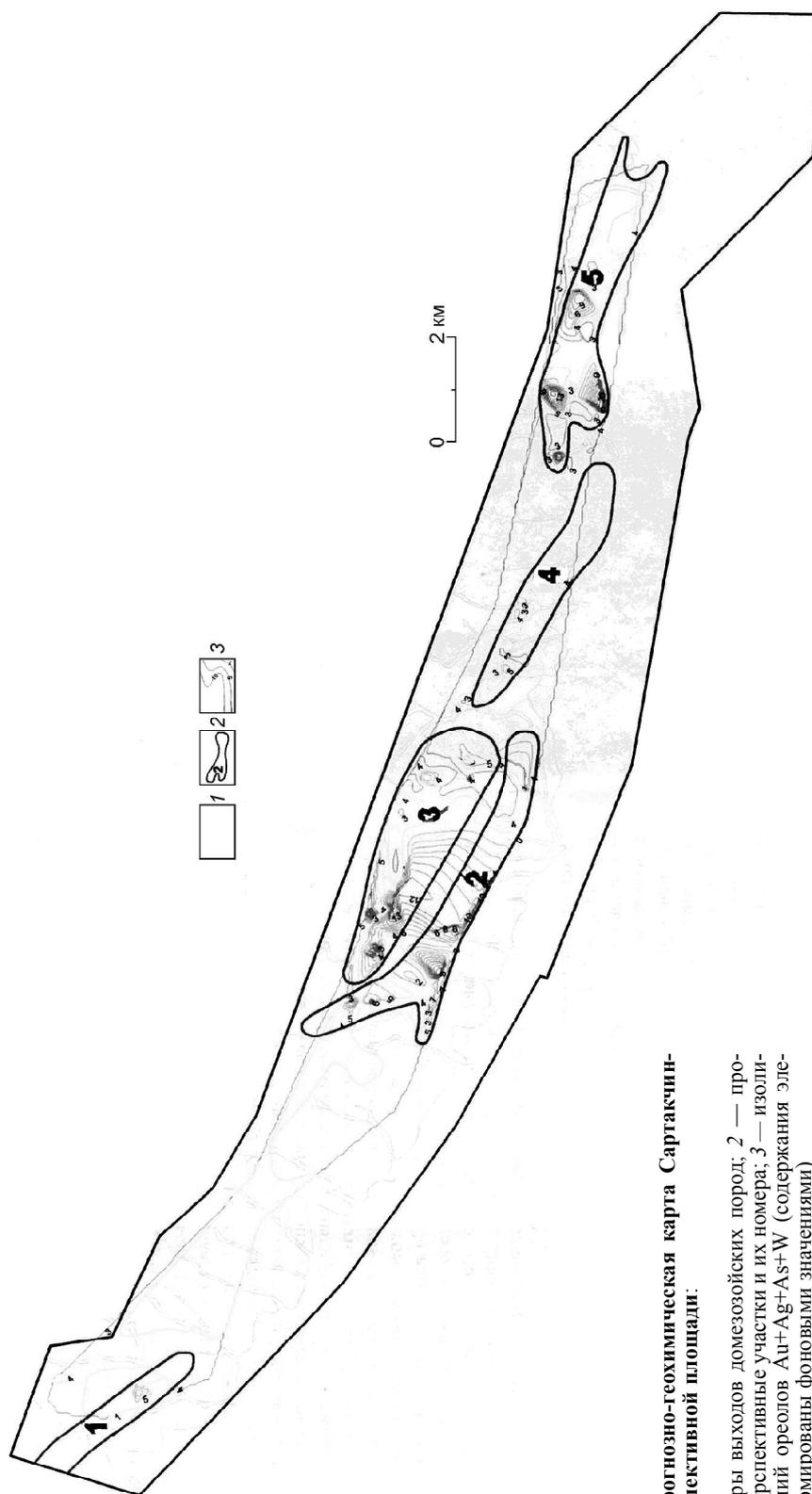


Рис. 3. Прогнозно-геохимическая карта Сартакчинской перспективной площади.

1 — контуры выходов домезозойских пород; 2 — прогнозные перспективные участки и их номера; 3 — изолинии значений ореолов Au+Ag+As+W (содержания элементов нормированы фоновыми значениями)

сток сложен отложениями караташской свиты с отдельными жилами и линзообразными телами. В отношении золотоносности наиболее перспективной на обнаружение в его пределах скрытого оруденения представляется территория вдоль правого притока р. Джазмансай, где отмечаются локальные с высокими значениями узловой плотности геохимические аномалии Au и Ag.

Участок 2 площадью ~4,9 км находится в центральной части поисковой площади в междуречье Карагачсай – Лянгарсай. Сложен отложениями джазбулакской и накрутской свит. В пределах распространения джазбулакской свиты известны многочисленные точки золоторудной минерализации, жилы и линзовидные кварцевые тела, пространственно тяготеющие к зонам пересечения линеаментов северо-восточного простирания с северо-северо-западными. В краевых юго-восточных и северо-западных частях участка развиты богатые вторичные литохимические ореолы Au и As.

Участок 3 площадью ~5,9 км² расположен в центральной части Сартакчинской площади в среднем течении р. Куюксай, его притоков и на правобережье р. Лянгарсай. Среди рассматриваемых участков его территория наиболее насыщена рудопроявлениями (Маулян, Бешбулак) и точками золоторудной минерализации. В его геологическом строении участвуют отложения накрутской и частично джазбулакской

свит, имеющие близширотные контакты тектонического происхождения, осложняющиеся сетью разломов северо-восточного и северо-западного простираний. На участке выявлены многочисленные вторичные литохимические ореолы Au и As. Отобранные шлихи избилуют самородным золотом и киноварью.

Участок 4 площадью 3,5 км охватывает юго-восточную оконечность Маулян-Бешбулакской площади в районе правобережья р. Аксай и протягивается до пос. Андак. Он преимущественно сложен отложениями джазбулакской свиты, залегание пород осложнено, по-видимому, зонами линейментов северо-западного и северо-восточного простираний. Для поисков золотого оруденения наиболее перспективна северо-западная часть участка, где отмечаются первичные ореолы рудных элементов, высокая плотность вторичных аномалий Au и As, повышенное количество золота в шлихах.

Участок 5 площадью ~5,2 км расположен в среднем течении рек Кудуксай – Ташлаксай – Битаусай. В его пределах развиты преимущественно отложения бадамчалинской свиты. Северо-западная граница участка проходит по южному контакту дайки кислого состава. Перспективы золотоносности обосновываются результатами опережающих специализированных работ. Здесь, кроме первичных ореолов Au, As, Ag, Cu, W и других элементов, а также четырех обособленных аддитивных аномалий, предыдущими поисковыми и геолого-съёмочными работами признаки золотого оруденения не отмечались.

Постановка глубинных поисков для выявления скрытого золотого оруденения рекомендуется на участке 1 (на правобережье р. Джазмансай). Расшировку перспектив участка 5, где ранее не были обнаружены признаки золотоносности, целесообразно сочетать с детальными структурными и биостратиграфическими исследованиями.

Итак, в районе Сартакчинской перспективной площади и прилегающих территорий выявлены четыре кольцевые структуры (Себистанская, Уйшумская, Пачирская, Ямбагинская) с диаметрами 10–12 км.

Анализ материалов по общей выборке геохимического опробования площади показывает ее

специализацию на Au, Cu, As и Zn. Среди них наиболее показательны ореолы Au, развитые главным образом в центральной и северо-западной частях Маулян-Бешбулакской площади. Вторым по значимости геохимическим поисковым индикатором является мышьяк. Наиболее значительные ореолы As прослеживаются на рудопоявлении Маулян. Первичные ореолы Cu и Zn на изучаемой площади также широко распространены. Их пространственные взаимоотношения с ореолами скрытого золотого оруденения в большинстве неоднозначны и требуют дополнительного изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бертман Э.Д.* Золоторудные формации жильных месторождений. – Ташкент: Фан, 1990.
2. *Бухарин А.К., Масленникова И.А., Пятков А.К.* Домезозойские структурно-формационные зоны Западного Тянь-Шаня. – Ташкент: Фан, 1985.
3. *Геологический словарь* / Отв. ред. К.А.Паффенгольц. – Москва: Недра, 1973. Т. 1.
4. *Григорьян С.В., Морозов В.И.* Вторичные литохимические ореолы при поисках скрытого оруденения. – М.: Наука, 1985.
5. *Иванкин П.Ф., Назарова Н.И.* Методика изучения рудоносных структур в терригенных толщах. – М.: Недра, 1988.
6. *Пирназаров М.М., Казакбаева С.М., Завьялов Г.Е.* Некоторые черты металлогении гор Южный Нурагу с позиций геохимической эволюции золото-редкометальных рудно-магматических систем // Современные проблемы металлогении. Мат-лы научной конференции, посвященной 90-летию академика Х.М.Абдуллаева. Ташкент, 2002. С. 73–76.
7. *Рудные месторождения Узбекистана* / Отв. ред. И.М.Голованов. – Ташкент: Гидроингео, 2001.
8. *Усманов Ф.А.* Прогнозирование рудных месторождений: Современное состояние, проблемы, перспективы // Основные проблемы геологии и развития минерально-сырьевой базы Республики Узбекистан. Мат-лы научной конференции. Ташкент, 1997. С. 14–26.

НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ

УДК 549.061.3

© И.А.Августинчик, С.В.Яблокова, Т.П.Кузнецова, 2013

ПО СЛЕДАМ ЕВРОПЕЙСКОЙ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ (ЕМС2012): ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

И.А.Августинчик, С.В.Яблокова, Т.П.Кузнецова (ФГУП «ЦНИГРИ»)

Августинчик Игорь Александрович, Яблокова Светлана Васильевна, Кузнецова Татьяна Петровна,
tsnigri@tsnigri.ru

FOLLOWING THE EUROPEAN MINERALOGICAL CONFERENCE: APPLIED ASPECTS

I.A.Augustinchik, S.V.Yablokova, T.P.Kuznetsova

В начале сентября 2012 г. в университете И.В.Гете во Франкфурте-на-Майне была проведена Европейская минералогическая конференция (ЕМС2012) под девизом «Планета Земля от ядра до поверхности». Она стала совместным мероприятием европейских минералогических обществ Германии (DMG), Великобритании и Ирландии (MinSoc), Финляндии (MinSocFin), Австрии (ÖMG), Польши (PTMin), России (ВМО), Испании (SEM), Франции (SFMC), Италии (SIMP), Швейцарии (SSMP). От ВМО в состав оргкомитета конференции вошел зав. кафедрой кристаллографии СПбГУ профессор С.В.Кривовичев. Конференция, проведенная в дополнение к национальным встречам минералогов в 2012 г., была не первым (Кембридж, 2007; Эдинбург, 2009), но самым крупным событием, объединившим европейские минералогические общества. Она, как полагают обозреватели в кратком отчете о результатах работы конференции в журнале «Elements», явилась новым этапом в календаре международных минералогических конференций [3].

820 делегатов приняли участие в работе 33 научных секций, охвативших практически все аспекты современных минералогических знаний «от ядра до поверхности» Земли. Обсуждались материалы по планетарному веществу, мантийной петрологии и геохимии, магматизму и вулканологии, метаморфизму, прикладной минералогии, физике минералов, минералогической кристаллографии, минеральным месторождениям и сырьевым ресурсам, геохимии поверхностных процессов, геохронологии, биогеохимии, передовым аналитическим методам, археометрии, безопасности и сохранности минеральных объектов. Секциями руководили международные группы ученых, что, безусловно, способствовало усилению значимости конференции.

На выставках демонстрировались новейшие аппаратные разработки главных европейских фирм — *Bruker, Thermo, The Analytical X-ray Company, Renishaw, Munster Isotope Research Center (MIRC), Cameca, JEOL* и др., позволяющие получать более надежные данные при теоретических, экспериментальных и практических исследованиях. Были организованы экскурсии в геологический парк Эйфель и по долине р. Рейн.

Взаимодействие компаний по производству аналитической аппаратуры и инструментария, ми-нералогов и промышленных спонсоров оказалось весьма полезным. Оно проявилось со всей очевидностью в высоком качестве устных и постерных презентаций. Большинство принимавших участие минералогических обществ и фирм провело бизнес-встречи и выставки, а редакционные советы журналов «*Mineralogical Magazine*» и «*European Journal of Mineralogy*» — встречи по редакционной политике этих изданий. Возможности контактов с фирмами и обществами можно найти в буклете ЕМС2012 [1]. Ряд деловых встреч были организованы Международной минералогической ассоциацией (IMA) и Европейским минералогическим союзом (EMU). Первым вице-президентом IMA был избран российский делегат, зав. кафедрой кристаллографии СПбГУ проф. С.В.Кривовичев [2]. Следует отметить блестящую организационную и техническую работу оргкомитета конференции во главе с Gerhard Brey и Heidi Höfer. По мнению обозревателей конференции, итоги ее работы показали высокую перспективность международных научных встреч, в том числе на европейском уровне, которые являются залогом дальнейшего развития минералогии. Избранный на конференции оргкомитет принял решение о проведении следующей Европейской

минералогической конференции в Италии в 2016 г. Все материалы конференции опубликованы в электронной форме и доступны на ее официальном сайте [1].

На конференции были заслушаны 730 устных и стендовых докладов и лекций, в том числе 70 из России (ИГЕМ, ГЕОХИ РАН, ИГМ (г. Новосибирск), ИГА БМ (г. Якутск), СО РАН, ЦНИГРИ, МГУ, СПбГУ и др.). Каждый стендовый доклад сопровождался двухминутным устным изложением и демонстрацией слайдов с целью привлечь более широкое внимание аудитории к сути затрагиваемых вопросов. От ЦНИГРИ материалы были представлены И.А.Августинчиком, Т.И.Колесниковой, Т.П.Кузнецовой, Л.А.Николаевой, Г.К.Хачатрян, Т.И.Щербаковой, С.В.Яблоковой.

Основное направление работы конференции — рассмотрение результатов фундаментальных теоретических, экспериментальных и практических минералогических исследований последних лет, касающихся эволюции разнообразных планетарных процессов. Это нашло отражение в пленарных заседаниях, включавших доклады «Алмазы вечны, но где они образуются?» (*T.Stachel, J.Harris*), по мониторингу эволюции мантии на основе данных по новым изотопным системам (*T.Elliot*), лекции об образовании ядра и мантии по метеоритным (уреилиты) данным (*H.Downes*), «Пути не выбраны» по проблеме удаления ядерных отходов (*R.Ewing*), «Экспериментальная петрология перидотитов, базальтов и С, Н, О — окно в верхнюю мантию Земли» (*D.Green*), «Пластичное поведение глубинных минералов Земли при высоких давлениях» (*S.Merkel*), «Новый механизм роста континентальной коры по данным изучения алмазосодержащих гранулитовых — гранат-перидотитовых комплексов» (*P.O'Brien*).

Наиболее насыщенными, важными для практики материалами были доклады по минеральным месторождениям и сырьевым ресурсам (секция 8), передовым аналитическим методам (секция 12), в которых рассмотрены особенности вещественного состава руд и закономерности их концентрирования, позволяющие глубже понять процессы формирования месторождений, смоделировать их численно или экспериментально и использовать выявленные закономерности в практике прогноза, поисков и оценки полезных ископаемых. Так, на заседании, посвященном рудным поясам Европы, рассмотрены вопросы геодинамических обстановок и строения магматических комплексов, с которыми связано формирование Cu-Au-Mo месторождений Малого Кавказа, Карпато-Паннонского региона, центральной и южной частей Балканского полуострова (Сербия, Косово,

Греция), необычного колчеданного месторождения Las Cruces (Южная Испания) с наложенной современной минерализацией эпитеpmального типа.

Материалы секции по магматическим месторождениям в мафит-ультрамафитах (Ni-Cu, ЭПГ и другая благороднометалльная минерализация) отражают результаты исследований ЭПГ оруденения на месторождениях и рудопроявлениях различных типов в странах Европы, Азии, Африки, Центральной и Южной Америки. Объекты исследований — ЭПГ минерализация и оруденение традиционных месторождений и проявлений расслоенных комплексов (Two River, восточная часть Бушвельдского комплекса, ЮАР; Альто Кондото, Колумбия), новых проявлений платиноносности высокомагнетизальных габброидов района Цагаан-Шувуут, Монголия (*А.Вишнеvский и др.*), орогенных офиолитовых хромитоносных комплексов урало-аляскинского типа Viravira (Колумбия), Светлоторского и Нижнетагильского комплексов (Урал), ЭПГ россыпей района Новосельцы (Болгария), платформенных щелочно-базит-ультрабазитовых комплексов (Унст, Великобритания; Гули, Россия) и связанных с ними Au-ЭПГ россыпей, платиноносных никелевых кор выветривания, платиноносных медно-порфировых комплексов и полиметаллических месторождений. Рассматривались также вопросы образования близповерхностных проявлений золота в Кемпендэйской дислокации (Виллойская синеклиза), первичных источников золота куранахского типа.

Наиболее интересными в прикладном отношении представляются результаты по необычной ЭПГ сульфидной минерализации в хромититах LG-6 Бушвельдского комплекса (*E.Kotzé*), а также по месторождению Two River, Восточный лимб Бушвельдского комплекса (*J.Beukes*), способствующие пониманию роли хромититов и сульфидов как носителей и аккумуляторов ЭПГ оруденения и совершенствованию металлургической переработки этих типов руд. Важны также результаты картирования слабо минерализованных контактово-метасоматических пород на руднике Nkomati (интрузивный комплекс Witkomst, юго-восточный фланг Бушвельдского комплекса), позволяющие использовать эти данные для минимизации разубоживания руд при добыче (*C.Guenther*). Полезную информацию содержат доклады о повышенных уровнях попутной ЭПГ минерализации (до 3 г/т) в Ni-латеритах по ультрамафитам массива Loma Peguera (Доминиканская Республика) (*T.Aiglsperger*) и о самородках ЭПГ и Au близ Уктусского комплекса аляскинского типа (Урал) (*F.Zaccarini et al.*).

Исследования экспериментальных систем с участием ЭПГ, Au, Ag, Pb, Sn, As, Sb, Bi, Se, Te поз-

воляют прогнозировать новые необычные виды минерализации на ЭПГ и Ni-Cu месторождениях и более полно понимать процессы формирования ЭПГ оруденения (*E.Makovicky, S.Karup-Møller*), в том числе с участием серебра (*A.Vymazalova et al.*), олова (*T.Евстигнеева, Н.Трубкин*).

Обобщенные мировые данные об эволюции минерального и химического составов ЭПГ и Ni-Cu сульфидных руд (*И.Августинчик*) показывают, что в процессе рудообразования происходят стадийное изменение состава и соотношений рудных компонентов расплава, более ранняя кристаллизация соединений Fe, Ni, Co, Cu вначале с S, а по истощении ее «бюджета» в системе — с As, Sb, Bi, Sn и другими лигандами, накопление в остаточных расплавах и растворах Se, Au, Ag, ЭПГ. Минералогические и химические соотношения между этими группами элементов могут служить показателями типа, закономерностей развития и масштаба рудообразующей системы вплоть до возможностей количественной оценки масштабов ее рудных объектов на ранних этапах поисково-разведочных работ.

На заседаниях по рудообразующим гидротермальным процессам обсуждались условия и механизмы формирования порфировых, колчеданно-полиметаллических, щелочных рудно-магматических систем с редкометальным оруденением на примерах месторождений Западных Карпат, Португалии, Чехии, Болгарии, Забайкалья (Россия), Тайваня, медных месторождений в песчаниках (Любин, Польша), золоторудных месторождений Узбекистана, Au-Ag руд рудного района Баньска-Штьявница (Словакия), глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС) района Малых Антильских островов (Доминика) и др. Приводились новые данные по геологоразведочным работам на золоторудную минерализацию орогенного типа в Греции (*C.Michael et al.*).

В докладах, посвященных конкретным месторождениям, использован обширный материал по минеральному и химическому составам руд, условиям рудообразования, соотношениям изотопов серы, кислорода, углерода, меди. Этот материал позволяет проводить сравнительный анализ месторождений цветных и благородных металлов при прогнозно-металлогенетических исследованиях.

На подсекции по дефицитным сырьевым материалам для Европы рассмотрены сообщения по циркон-пироксоловому редкометальному оруденению комплекса Гремяха-Вырмес (Россия) (*Н.Сорохтина и др.*), новому ЭПГ-Au-Ag типу оруденения в карбонатитах Верхнего Египта (*О.Kamel, E.Niazu*), данные по потенциальному источнику ГПС глубоководных гор вдоль Атлантической кон-

тинентальной окраины Испании (*F.Gonzalez et al.*), вопросы распределения металлов высоких технологий (Hf, Ti, Nb, Ta, Zr, Mo, V, P3Э) в океанских Fe-Mn конкрециях и корках и возможности их селективного извлечения (*A.Koschinsky et al.*), прикладные вопросы улучшения качества экстракции платины из окисленных ЭПГ руд комплекса Великая Дайка (Зимбабве) (*D.Mohwinkel, M.Bau*), распределения германия в обогащенном им сфалерите из Pb-Zn месторождений (*E.Henjes-Kunst et al.*), жильной Co-Ni минерализации района Сигерланд, Северо-Западная Германия (*A.Hellmann et al.*) и др.

Золоторудным месторождениям было посвящено незначительное количество докладов на секциях по минеральным месторождениям и сырьевым ресурсам (секция 8), а также передовым аналитическим методам (секция 12). Рассматривались в основном золотосодержащие проявления медно-порфирового типа Урала, Карпато-Паннонского региона, Малого Кавказа и др. В Карпато-Паннонском регионе, где известно большое количество скарновых и других золотосодержащих месторождений, связанных с медно-порфировыми системами, открытие месторождения Белый Верх способствовало значительному расширению перспектив других районов Карпат с аналогичными проявлениями неогенового вулканизма (*J.Lexa, P.Kodera*). Влияние изменяющейся геодинамической обстановки на формирование Cu-Au-Mo и Au-Ag руд изложено в двух докладах по Малому Кавказу (*R.Moritz, J.Mederer*). На Урале (*О.Плотинская и др.*) отмечается общая тенденция сложного эволюционного развития порфирового магматизма в пространстве (с запада на восток от Na до K-Na серий) и во времени (от D до C со сменой от Na через K-Na до K серий). С обеими тенденциями коррелируют уменьшение Cu/Mo и увеличение Mo/Re отношений в рудах. По Бугдаинскому золотоносному W-Mo порфировому месторождению (Восточное Забайкалье) (*В.Коваленкер*) детально рассмотрены Mo-W и Au минерализация, изотопный состав серы в сульфидах разных стадий, флюидные включения. Это позволило проследить эволюцию флюидного режима в ходе формирования кварц-молибденитовой и золото-полиметаллической стадий и показать генетическую сопряженность золотых руд с рудоносными W-Mo порфировыми штоками.

Интересный материал представлен по генезису рудного района Kassandra (Халкидики, Северная Греция). Происхождение месторождений этого района (Au, Ag, Cu, Pb-Zn), как и всего Сербо-Македонско-Родопского пояса, традиционно связывали с постколлизийным третичным вулканизмом. Детальные геохронологические данные (Re-Os

метод) по третичным интрузивам свидетельствуют скорее о генетической связи этих месторождений с близлежащим эксгумированным (вскрытым) Родопским метаморфическим комплексом, чем с постсубдукционными процессами (*A. Halin*). В двух докладах по Якутии (*А.Кашенкина, Ю.Глушкова, З.Никифорова*) на основании изучения самородного золота россыпей и сопоставления его с золотом известных коренных месторождений (Куранахское) предполагаемые коренные источники россыпей рассматриваются как перспективные объекты для поисков коренных проявлений соответствующих типов. Тонкодисперсному рассеянному золоту в медных рудах порфирирового проявления Wayin (Буркина-Фасо) в гранодиоритах и габброидах архейского зеленокаменного пояса окраины континентального бассейна посвящен доклад *R. Ramdohr и Т.Евстигнеевой*. Приводятся новые данные по геологоразведочным работам на золоторудную минерализацию орогенного типа в Греции (*C. Michael et al.*). Практические аспекты золотоносности приведены в докладе по типоморфизму самородного золота месторождений различных формационных типов (*Л.Николаева, С.Яблокова*). Мультипликативные модели самородного золота, в том числе геохимические его характеристики по основным рудно-формационным типам месторождений, позволяют прогнозировать эти типы на ранних стадиях геологоразведочных работ. В дополнение к ранее известным данным детальная минералогия золото-серебряных месторождений рассмотрена на примерах Румынии (*E. Latan*), Словакии (Баньска-Штявница) (*K. Berkh*), Средней Азии (Кураминское и др.) (*Р.Халматов, Р.Конев*). Необычно высокие Au-Ag концентрации установлены в РЗЭ-носных карбонатитах South El-Fayoum (Верхний Египет) (*A. Kamel*).

Ряд докладов касался месторождений свинца и цинка. Например, в докладе *Р.Анатасовой, Р.Василевой* по результатам изучения распределения микроэлементов в минералах теннантит-тетраэдритового ряда и сосуществующих сульфидах из гидротермальных месторождений Центральных Родоп в очередной раз подчеркивается важность этих сульфоселей как петрогенетического индикатора обстановок гидротермального рудообразования. В докладе *Т.Кузнецовой* о минеральных парагенезисах регенерированных руд Pb-Zn месторождений показано, что состав регенерированных руд в значительной мере определяется составом первичных рудных концентраций, поэтому их изучение имеет важное прикладное значение. Наличие прожилков регенерированных руд на поверхности или верхних горизонтах месторождений может говорить о богатых рудных

залежах на глубине, а цинковой шпинели (ганита) — показателя высокой степени метаморфизма руд — служить важным поисковым признаком для обнаружения промышленного Pb-Zn оруденения. Структурные и химические характеристики ганита — природной цинковой шпинели, присутствие которого характерно для регенерированных и высокометаморфизованных Pb-Zn руд, исследованы *V.D'Ippolito et al.* Изучение Ge, As, Fe, Pb, Cd, Tl, Cu и изотопного состава серы в обогащенных Ge сфалеритах Pb-Zn месторождений Drau Range в Австрии–Словении (Восточные Альпы) (*E. Henjes-Kunst et al.*) показало, что высокая германиеносность характерна для сфалеритов с соотношением Fe>Cd. При этом более железистые сфалериты отличаются более высоким содержанием ³⁴S, а богатые Fe и Ge в одних случаях имеют легкий, в других — тяжелый изотопный состав серы. Отсутствие корреляции Fe и Ge и изотопного состава серы в сфалеритах позволяет предполагать, что обогащение Ge может определяться его заимствованием из вмещающих пород.

Важное прикладное значение для металлогенических исследований имеют также доклады, посвященные изучению процессов метаморфизма руд и вмещающих пород. В докладе *И.Лиханова и др.* охарактеризованы тектоническая эволюция и связанный с ней метаморфизм структурно-вещественных комплексов Енисейского кряжа. Получены новые петрологические и геохронологические данные, позволяющие выделить основные этапы в истории докембрия Енисейского кряжа. Приводятся доказательства гренвиллского возраста орогенных событий в этом регионе.

Изучению реакций преобразования оксидов железа системы Fe–O при процессах метаморфизма руд полиметаллических месторождений посвящены доклады *A. Woodland et al. и А.Курносова и др.* *A. Woodland et al.* рассмотрели процессы распада магнетита при высоких температурах и давлениях по реакции диспропорционирования до фаз Fe₄O₅+Fe₂O₃, которые при декомпрессии снова рекомбинируют в магнетит, *А.Курнос* и другие исследовали поведение оксидов железа, частных компонентов полиметаллических руд, при экстремально высоких давлениях. Показано, что недавно обнаруженный при этих параметрах Fe₄O₅ играет важную роль в системе Fe–O при высоких параметрах и при снижении температуры претерпевает ряд превращений, не относящихся к процессам окисления–восстановления.

Структурные переходы в кремнеземе при экстремальных давлениях от CaCl₂-подобной фазы до постстишовитовых фаз со скрученными цепочками и пиритоподобными структурами, важные для по-

нимания процессов при высоких параметрах в низах коры и верхней мантии, описаны *J.Hreha et al.* В докладе *J.Kruhl et al.* показано, что в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма межзерновые границы выделений кварца частично открыты для миграции гидротермальных растворов благодаря наличию нанополостей переменной формы. Это следует учитывать при рассмотрении генезиса месторождений в метаморфических породах. В одном из докладов подчеркивалось, что создание баз термодинамических данных — важный инструмент в прогнозировании равновесий минеральных ассоциаций и их свойств. *E.Duesterhoeft et al.* разработана одномерная модель для расчета метаморфической плотности в зависимости от давления, температуры и химического состава пород. Показано, что фазовые переходы при метаморфизме в коре и мантии оказывают влияние на их плотностные характеристики.

Результаты изучения условий и закономерностей образования и поисковых критериев алмазосодержащего сырья представлены более чем в 20 докладах. Обзор достижений в понимании генезиса алмазов за последние 40 лет приведен в докладе *T.Stachel, J.Harris*. Показано, что основные источники алмазов — перидотитовые (2/3) и эклогитовые (1/3) области (фации) субкратонной мантии (глубины 140–200 км). Образование алмазов связывается с окислительно-восстановительными реакциями в присутствии расплава (эклогитовые и лерцолитовые алмазы) или в субсолидусных условиях в присутствии C–H–O флюидов (гарцбургитовые алмазы) с возрастными интервалами 3,5–3,2 (гарцбургитовые источники), 2,3–1,9 (лерцолитовые) и 2,9–0,6 млрд. лет до настоящего времени (эклогитовые). По данным о примесях водорода образование неовелирных волокнистых алмазов близко ко времени извержений кимберлитов (по крайней мере до мелового возраста). По отношению $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и содержания азота выделяют два типа генетических процессов в перидотитах (восстановление карбонатов и окисление метана), что в закрытой системе приводит к тренду снижения ^{13}C при уменьшении количества азота. Считается, что восстановление карбоната является важным процессом при образовании алмазов с облаковидными включениями и волокнистых алмазов неювелирного качества эклогитовой серии. Мировые базы данных по алмазам с включениями указывают на сдвиг в механизмах образования алмазов от метанового в гарцбургитах в архее до карбонатного для лерцолитовых, эклогитовых и волокнистых алмазов в протерозойско-фанерозойский период. Это объясняют снижением температуры мантии во времени в результате субдукции морских карбонатов в глубокую

мантию, начиная с протерозоя, что фиксирует фундаментальный сдвиг в глубинном цикле углерода от дегазации его из недр при вулканической активности к обратному вводу в земные недра.

Экспериментальные данные по плавлению кимберлита трубки Удачная (Якутия) свидетельствуют о важной роли воды в этом процессе, который зависит от содержания H_2O и давления в кимберлитовом расплаве, и в генерации водосодержащего оливина кимберлитов (*A.Сокол и др.*). Сделан вывод о том, что вода является триггером для генерации первичных кимберлитовых магм. Эксперименты по фугитивности кислорода, при которой углерод (графит или алмаз) сосуществует с карбонатными фазами и расплавами в синтетических эклогитах, позволяют улучшить понимание возможных окислительных равновесий с участием ферри/ферро- и углерод/карбонатсодержащих минералов при разработке окситермобарометра для эклогитовых пород при субдуцировании углерода обратно в мантию (*V.Stagno et al.*).

В докладе *S.Milani et al.* по данным рентгеновской дифракции выведено уравнение состояния чистого синтетического альмандин $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ до давления около 7 ГПа. Коэффициенты уравнения состояния, полученные путем адаптации к уравнению Birch-Murnaghan третьего порядка данных по давлению – объемам, оказались значительно ниже объемного коэффициента и гораздо выше первой производной от давления по сравнению с полученными ранее. Использование новых данных для расчета давления образования гипотетической пары алмаз–альмандин дает результат 6,7 ГПа, что ниже по сравнению с прежними данными 7,2 ГПа. Это приводит к различию в оценке глубины образования около 15 км и указывает на необходимость более высокой точности оценки параметров термического расширения и dK/dT . Экспериментальные данные по растворимости азота в оливине, клинопироксене и гранате в окислительных и восстановительных условиях (T 1000–1300°C, P 15–35 кбар) (*Y.Li et al.*) показывают, что после образования ядра восстановленная мантия (в отличие от более ранних оценок) могла вмещать значительное количество азота за счет вхождения в этих условиях NH_4^+ с радиусом, сходным с радиусом K^+ , в катионные позиции силикатов, что не характерно для устойчивого в окислительных условиях N_2 . Окисленная верхняя мантия могла выбрасывать азот в атмосферу при образовании Земли.

Методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (HRTEM) и электронной энергодисперсионной спектроскопии (EELS) установлено, что частицы наноалмазов из

углистого хондрита Orgueil состоят из алмазного ядра, покрытого участками углерода с sp^2 связью, возможно, с поверхностным преобразованием в фуллереноподобную структуру, и поэтому в межзвездном и околозвездном пространстве они могут быть не похожи на алмазы (*L.Garvie*).

Прикладные аспекты поисков кимберлитовых тел на площадях развития ледниковых отложений в пределах платформ рассмотрены в докладе по диагностике минералов-индикаторов кимберлитов в рыхлых отложениях с использованием метода ИК-Фурье спектроскопии (*Г.Хачатрян, Т.Щербакова, Т.Колесникова*). Показана возможность распознавания низкохромистых оранжево-красных кимберлитовых пиропов из ореолов рассеяния и идентично окрашенных метаморфических гранатов по различиям частотных характеристик полос поглощения ИК спектров. Возможности ИК-Фурье спектроскопии показаны также при изучении термической истории алмазов кимберлитов Мугова (кратон Зимбабве) по зональному повышению концентраций азота и его скоплений, водорода и степени ростовой деградации граней от ядра к краям зерен алмазов (*S.Kohn et al.*). Выявленные максимумы концентраций водорода в переходных зонах от ядер к краям зерен объясняются первичным ростом перидотитовых алмазов 3,2 млрд. лет назад (1160°C), увеличением мощности литосферы в результате субдукции, охлаждением и падением ее температуры 2,9 млрд. лет назад, ведущим к повторному росту алмазов 1,9 млрд. лет назад (1120°C), возможно, вызванному мобилизацией флюидов при внедрении Бушвельдского комплекса.

В одном из докладов делается попытка практического распознавания в районах Западного Средиземноморья (Восточные Альпы, Италия; о. Корсика, Франция; Мурсия и Альмерия, Испания) пород лампроитового семейства по результатам кристаллохимического изучения состава и свойств их флогопитов с высокими и изменчивыми количествами Ti, Ba, F. Отмечается вхождение в структуру флогопита Ti и F в результате анионных замещений OH^- на F^- и $(\text{VI})\text{M}^{2+} + 2(\text{OH})^-$ на $\text{VI}\text{Ti}^{4+} + 2\text{O}^{2-}$ (*G.Lepore et al.*). Подход может быть полезен при поисках лампроитов, определении их происхождения и условий кристаллизации.

Расшифровка генезиса алмазов из нескольких кимберлитовых трубок (Удачная, Нюрбинская) Якутии проведена по результатам изучения внутренней структуры (зональности и перерывов роста) алмазов, диагностики включений силикатов (граната, Mg-хромита, оливина, клино- и ортопироксена) и сульфидов в них и ксенолитах с использованием электронного микроскопа с катодолюминес-

центной приставкой, микрозондового определения составов силикатов и сульфидов включений (JXA-8800R), определения РЗЭ во включениях ионным микрозондом CAMECA IMS-4F (*З.Снециус и др.*). Сульфиды — наиболее частые включения в алмазах из кимберлитов и ксенолитов эклогитов. Температуры образования алмазов по минеральным парам (Fe-Mg обмен между гранатом и клинопироксеном или оливином) составили $1000\text{--}1250^\circ\text{C}$, давления — 40–60 кбар и соответствуют модельной геотерме. Различия состава элементов-примесей во включениях граната в алмазах из различных трубок обусловлены обогащением или обеднением краевых зон включений гранатов РЗЭ, Ce, Nb, Li в результате интенсивного метасоматического воздействия флюидов во время роста алмазов.

Данные по геохимии элементов-примесей включений в оливине и сосуществующих гранатах в алмазах из Akwatia (Гана) (*J.De Hoog, T.Stachel*) позволили отнести алмазы к лерцолитовому, гарцбургитовому парагенезисам, а в случае неизвестного парагенезиса определить его гарцбургитовый тип по субкальциевому типу гранатов и Ca/Al отношению ($<2,5$), содержаниям Na (<60 г/т) и Na/Al отношению ($<0,7$) в оливине включений. Высокоточные оценки температур образования оливинов Akwatia по концентрациям Ca и Al при грубой корреляции с термометрией по главным элементам представляются невозможными из-за локальных нарушений равновесия между сосуществующими зернами оливина и гранатов во включениях в алмазе. Соотношения между концентрациями Ti в лерцолитовых и гарцбургитовых оливинах и гранатах показывают, что они происходят из одной мантийной области, где алмазы росли в сильно деплетированной Ti, Ca, Na обстановке с высокими значениями $\text{St}\#$ в отличие от оливинов ксенолитов с более высокими и изменчивыми содержаниями Ti и более низкими $\text{St}\#$. Низкие содержания Na в лерцолитовых оливинах Akwatia (сходные с его содержаниями в сосуществующих клинопироксенах) по сравнению с оливинами ксенолитов указывают, что клинопироксен и оливин в мантийных ксенолитах модифицированы в результате метасоматоза, происшедшего после образования алмаза. Необычная картина высоких вариаций St и V в одиночных зернах оливина связывается с автоокислением из-за диффузионной потери водорода при подъеме магмы. Это свидетельствует о том, что древняя субконтинентальная мантия была не настолько бедна водой, как полагают в настоящее время.

Закономерности нарушения равновесия в ходе эволюции неизмененного зонального оливина макрокристов и фенокристов ассоциации пиропового

лерцолита из кимберлитов тр. Удачная и процесса кимберлитобразования в целом выявлены по составу и элементам-примесям Ti, Al, Cr, Ca, Mn, Ni, Zn включений оливина (Н.В.Соболев и др.). Характерные отличия изученных оливинов включений от всех оливинов перидотитов и алмазов и их сходство с оливинами дунитовых нодулей гренландских кимберлитов свидетельствуют об их принадлежности к высокобарической ассоциации пироповых лерцолитов, образовании и росте во время формирования и ранней эволюции кимберлитов.

Данные по минеральным включениям в гранатах верхнетриасовых алмазоносных туффигов (А.Биллер, Ф.Смелов) показали, что на северо-востоке Сибирской платформы в устье р. Лены в карнийском базальном горизонте мощностью 0,1–1 м верхнетриасовых вулканогенно-осадочных пород обнаружена уникальная ассоциация кристаллов алмаза (не выявленная в кимберлитовых трубках Якутии). В алмазах отмечаются наросты с легким изотопным составом углерода (V и VII разновидности по классификации Орлова), признаки механического истирания алмазов и гранатов отсутствуют, обильны включения. Гранаты альмандин-пиропового ряда оранжевого, красного и розово-пурпурного цветов. Включения (наиболее многочисленные в оранжевых гранатах эколитового парагенезиса и наименее многочисленные в красных; одиночные включения — в розово-пурпурных гранатах ультрамафического парагенезиса) представлены рутилом, апатитом, SiO₂, ильменитом, шриланкитом, кианитом, мэйджоритом. Оксидные включения (рутил, ильменит) обычно ориентированы в структуре граната и относятся к продуктам распада. Полагают, что рутил и ильменит возникли в результате распада первичного сверхтитанистого высокобарического граната, аналогичного высококремнистым мэйджоритовым гранатам, устойчивым в условиях образования алмаза. Шриланкит, как правило, образует включения в рутиле и ильмените, обогащен Nb и Ta. В одиночных гранатах включения рутила и ильменита обогащены Zr (0,27–5,35 мас. % ZrO₂). Сходные содержания ZrO₂ установлены в рутиле из полости в алмазе. Это может указывать на близкие условия кристаллизации гранатов и алмаза с легким изотопным составом углерода. Включения мэйджорита выявлены в полиминеральном включении с рутилом и шриланкитом. Для мэйджорита характерны высокие содержания TiO₂ (до 3,17 мас. %) и низкие — Na₂O (0,04 мас. %). Включения мэйджоритового граната позволяют дать предварительную оценку *PT*-условий его кристаллизации. На основании отношения формульных единиц Si и Al+Cr в

мэйджорите он образовался при давлении 14–18 ГПа, т.е. на глубинах 410–500 км, соответствующей переходной зоне.

Гранулиты гранитного состава из Саксонии ассоциируют с телами гранатовых перидотитов и содержат микроалмазы и коэсит. Они образовались в результате глубинной субдукции континентального материала с последующей быстрой эксгумацией вдоль каналов поддвига с захватом мантийных пластин. Андерплейтинг, последующее куполообразование и другие тектонические процессы привели к формированию фельзитовой кислой коры. Подобные процессы происходят в настоящее время в Гималайско-Тибетском регионе (P.O'Brien).

Данные по U-Pb возрастам и Lu-Hf изотопии цирконов в ксенолитах из высокометаморфизованных гнейсов осадочного генезиса, кимберлитов и карбонатитов области кимберлитового поля Gibeon (Rehoboth, Намибия) (T.Luchs et al.) получены методом лазерной абляции ICPMS. Возрастные спектры дают 65, 1100 и 1900 млн. лет для ксенолитов, 2,4, 2,7 и 2,9 млрд. лет для кимберлитовой основной массы и отражают продолжительную историю аккреции, рециклинга и смешивания корового материала и мантийных источников, а также генерацию молодой коры в ходе Намакванской и Пан-африканской орогений.

О субдукционном меланже как источнике агрегированных включений ферропериклаза в алмазах Sao Luiz (Бразилия) (H.Seitz et al.) свидетельствуют высокие содержания Li, гетерогенная Li-изотопия и состав элементов-примесей (Mg#, Cr, Ni, Mn, Na) протолитов включений, подвергшихся дегидратации и восстановительным реакциям в ходе и после глубинной субдукции в переходную зону и верхние части нижней мантии. Силикатные включения в образовавшихся алмазах и ферропериклазе имеют изменчивый состав с преобладанием обогащенных Ca высокобарических разностей.

Ксенокристы и магматические проявления свежих оливинов двух типов были изучены в кимберлитах из дамбы Kenilworth (материал рудника Big Hole, Кимберли) и слюдистых кимберлитах (из рудника Roberts Victor, 50 км от Кимберли) с определением главных и примесных элементов, Li-изотопии фракций ксенокристов, мегакристов и фенокристов (M.Sieber et al.). Они также говорят о сложной истории их образования, растворения и повторной кристаллизации оливина в ходе подъема магм.

Современные достижения минералогии, связанные с использованием новейшей аппаратуры и методов, отражены в материалах секций по прикладной минералогии (4), физике минералов (5), передовым аналитическим методам (12). Значи-

тельное количество докладов (секции 7, 12) посвящено изучению изотопов W, Mo, Ru, U и других элементов в метеоритах и ксенолитах для более глубокого понимания условий формирования Солнечной системы, литосферы и астеносферы Земли (*L.Fernandez, D.Cook, M.Fesher-Godde*), применению изотопного анализа для расшифровки генезиса месторождений.

Сера является одним из основных летучих элементов в магматических системах, поэтому многие исследователи рассматривают ее как важный геохимический индикатор развития флюидно-магматических систем. Пример комплексного использования этого метода при изучении изотопов серы (^{32}S , ^{34}S , ^{36}S , ^{38}S) и кислорода (^{18}O , ^{16}O) приведен в работе *A.Montinaro et al.* Показано, что состав атмосферных и океанических вод значительно изменялся на разных стадиях развития Земли, что необходимо учитывать при генетических исследованиях. В работе использованы данные по изотопному составу серы и кислорода в минералах из древнейших пород Земли зеленокаменного пояса Barberton (ЮАР), коматитов и толеитов района р. Комати. Экспериментальным исследованиям фракционирования изотопов серы между жидкостью и расплавом при различных температурах посвящен доклад *A.Friege et al.*

Экспериментальное изучение фракционирования изотопов меди ($^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$) в системе $\text{CuCl}-\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ при T 350, 400, 450°C и P от 140 до 400 бар (*K.Rempel et al.*) позволило расшифровать поведение элемента в рудообразующих флюидах. Показано, что в открытой системе движение пара из магматического источника приводит к охлаждению и конденсации капель жидкости с увеличенным содержанием тяжелого изотопа меди, а флюид, соответственно, будет обогащаться легким изотопом. Это означает, что гидротермальные растворы на меньших глубинах (в эпипермальных условиях) обеднены изотопом ^{65}Cu по сравнению с их глубинными аналогами. Совершенствование методов изотопного анализа, в частности применение методов вторичной ионной масс-спектрометрии, обусловило растущий интерес к изучению изотопов ^{33}S и ^{36}S .

Широкое использование методов спектроскопии природных материалов — Total Reflection X-ray Fluorescence (TXRF), Mössbauer Spectroscopy, Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) в сочетании с SEM, IR-Fourier Spectroscopy (FTIR) — позволяет получить новые оригинальные данные. Так, анализируя вытяжки из руд гидротермальных месторождений Шварцвальда методами ионной хроматографии (XRF) в сочетании с рентгеновской спектроскопией (TXRF), *S.Landenburger* установил

химический состав рудообразующих флюидов верхней коры, различающихся по степени солёности. Использование FTIR дает возможность изучить процессы диффузии воды и CO_2 в силикатных расплавах (*H.Marxer*), а также распознать минералы-индикаторы кимберлитов (*Г.Хачатрян и др.*).

Закономерности распределения REE наиболее полно приведены по данным плазменной спектроскопии (*L.Bayarjargal, Л.Николаева, С.Яблокова*). Применение данных электронной микроскопии позволяет решать разнообразные задачи в разных областях минералогии. Например, в результате изучения Pt-As системы с использованием HRTEM выяснено, что до образования устойчивых термодинамических фаз многие редкие соединения магматических систем могли формироваться на уровне кластеров (*H.Helmy*).

Диагностика дефектов роста и растворения кристаллов приводится по данным Atomic Force Microscopy (AFM) (*Н.Пискунова*).

Рассмотренные прикладные аспекты минералогических исследований отражают современное состояние минералогии как важной области геологических знаний. Она способна решать широкий круг геологических проблем, но, к сожалению, пока ей как области прикладных интересов уделяется недостаточное внимание.

В заключение отметим следующее:

конференция была проведена на современном научном, методическом и организационном уровнях. Произошел полезный обмен новой информацией в области минералогии природных процессов, полезных ископаемых и использования современной высокочувствительной аналитической аппаратуры для минералогических исследований;

важный аспект конференции — углубленное внимание к разработке планетарных вопросов формирования и развития Земли для расшифровки процессов рудогенеза;

тенденция к углубленному минералогическому и геохимическому изучению вещественного состава минерального сырья и продуктов его переработки диктуется необходимостью более полного комплексного его использования;

доклады российских исследователей выделялись на общеевропейском фоне прогнозно-поисково-оценочной направленностью, наличием моделей оруденения, а также материалов по вещественному составу минерального сырья для разработки эффективных способов извлечения полезных компонентов;

на конференции продемонстрирована высокая практическая результативность использования современной аналитической аппаратуры для реше-

ния задач более полного комплексного изучения и использования минерального сырья;

участие в конференции большого числа молодых специалистов и студентов из европейских стран со зрелыми, хорошо подготовленными докладами свидетельствует о высоком уровне подготовки кадров;

характерно недостаточное внимание европейских минералогов к наиболее актуальным вопросам освоения новых комплексных видов сырья твердых полезных ископаемых в черносланцевых

толщах осадочных бассейнов, широко развитых на территории континента и на Земном шаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *EMC2012* European Mineralogical Conference, 2–6 September Frankfurt/Main, Germany. – <http://emc2012.uni-frankfurt.de/>
2. *European Mineralogical Conference 2012*. – Кафедра кристаллографии СПбГУ.mht
3. *Murphy K., Treloar P., Nieto J.M.* European Mineralogical Conference 2012. Meeting Report // *Elements*, Dec. 2012.

ДИСКУССИИ

УДК 550.84:553.261

© С.А.Миляев, 2013

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ЭНДОГЕННОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

С.А.Миляев (ФГУП «ЦНИГРИ»)

Рассмотрены принципы прогнозной оценки золоторудных объектов по данным анализа эндогенной зональности месторождений.

Ключевые слова: первичные ореолы, геохимическая зональность, коэффициенты подобия.

Миляев Сергей Анатольевич, sermil52@yandex.ru

GEOCHEMICAL CRITERIA OF GOLD DEPOSITS ESTIMATION ON THE BASIS OF ENDOGENOUS ZONING

S.A.Milyaev

Prognostic assessment principles for gold deposits were reviewed to the assistance of similitude coefficients on the basis of endogenous zoning ore deposits.

Key words: primary haloes, geochemical zoning, similitude coefficients.

Основная задача исследования эндогенной геохимической зональности рудных месторождений — обоснование прогноза оруденения на глубину. Количественными характеристиками зональности в любой точке служат геохимические показатели v — безразмерные величины отношений между содержаниями типоморфных химических элементов, однонаправленно изменяющихся вдоль заданного направления. Геохимические показатели, характеризующие зональность эталонных месторождений, служат для оценки отдельных рудных пересечений объектов того же генетического типа. Это могут быть рудные интервалы, установленные при опробовании керна поисковых скважин, подземных горных выработок и канав, или вторичные ореолы рассеяния рудопоявлений, обнаруженные поисковыми съемками. В последнем случае задача состоит в оценке уровня их эрозионного среза.

Для прогнозной оценки изучаемых объектов на ранней стадии поисково-разведочных работ привлекается принцип подобия, являющийся развитием метода аналогий применительно к рудным месторождениям. В основе этого метода лежит предположение, что явления или объекты, сходные в известных отношениях, могут быть близкими и в иных ранее не отмеченных отношениях. Обоснование и последовательное развитие принципа подобия применительно к полезным ископаемым принадлежат А.П.Соловьеву, сформулировавшему его в 1968 г. [4]. Генетически однотипные месторождения различной крупности являются геометрическими и геохимическими фигурами подобия.

Месторождения, относящиеся к одной рудной формации, отличаясь по своим объемам и запасам полезного ископаемого, характеризуются близкой формой с устойчивыми отношениями между линейными размерами залежей. Естественно, что этот признак проявлен лишь в известных пределах, а именно при условии, что проводимая аналогия между однотипными месторождениями учитывает своеобразие каждого из сопоставляемых объектов. Отношения между содержаниями элементов в значительной степени обусловлены характером зональности объекта и закономерно изменяются в зависимости от геометрии рудного тела. Вместе с тем для геометрически одноименных точек рудного тела (например, для центров двух залежей) эти отношения будут величиной относительно постоянной.

Оценка уровней оруденения по данным изучения геохимической зональности проводится с помощью графиков $v=f(z)$ в метрах или в условной метрике, при которой полная вертикальная протяженность рудного тела в контуре первичного ореола основного ценного элемента принимается за 1,0. Верхняя выклинка ореола обозначается $z=0,0$, начало промышленного оруденения $z=0,2$, его середина $z=0,5$, окончание $z=0,8$, нижняя выклинка подрудного ореола $z=1,0$ [7]. Для обозначения границ первичного ореола основного элемента вкрест простиранья объекта по латерали может быть принята та же метрика. Допустимо обозначать внешнюю (фронтальную) границу первичного ореола $x=0,0$, а центр рудной залежи $x=0,5$.

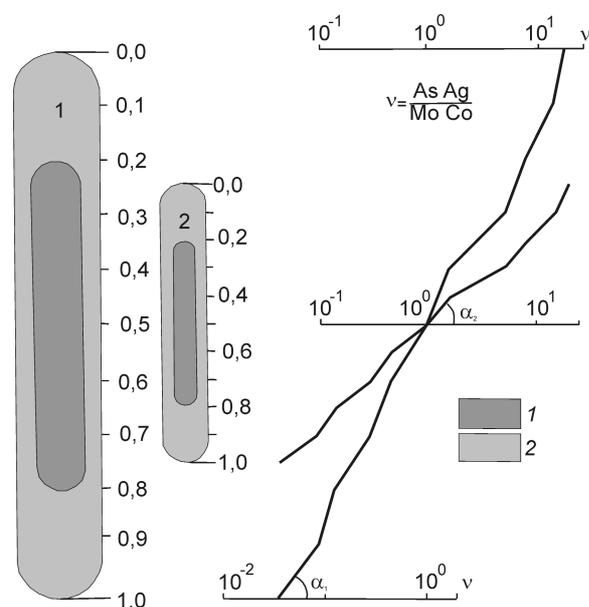


Рис. 1. Графики геохимических показателей зональности для генетически однотипных месторождений различной крупности, по А.П.Соловову, А.А.Матвееву, с упрощением:

1 — рудное тело; 2 — первичный ореол основного рудного элемента

Важнейшим следствием принципа подобия для методики геохимических поисков является то, что для генетически однотипных объектов различных классов крупности численные значения конкретного геохимического показателя зональности v будут одинаковыми в интервале $0 \leq z \leq 1,0$. При этом графики $v=f(z)$, построенные в полулогарифмическом масштабе, будут характеризоваться различными углами наклона α . Объектам большей крупности свойствен более крутой наклон графиков показателей зональности (слабоконтрастная вертикальная зональность), более мелким — пологий угол наклона графика v (контрастная вертикальная зональность). На рис. 1 приведены графики изменения геохимического показателя v для двух однотипных объектов, различающихся по классу крупности [1]. В этом случае отношение тангенсов соответствующих углов α_1 и α_2 , образованных осредненными графиками v с осью абсцисс, $\chi = \text{tg}\alpha_1 / \text{tg}\alpha_2$ [5] будут определять соотношение между размерами двух сравниваемых объектов через коэффициент подобия (χ). При отсутствии принципиальных геохимических отличий между двумя объектами устанавливаются следующие соотношения между их полной вертикальной протяженностью $H_1 = \chi H_2$.

Определить полную протяженность рудного интервала оцениваемого объекта можно также по

формуле [2] $H_{\text{полн}} = \lg(v_{0,2}/v_{0,8}) a \cdot b \cdot \text{tg}\alpha$. Здесь $v_{0,2}$ и $v_{0,8}$ — численные значения геохимического показателя v соответственно для начала ($z=0,2$) и конца ($z=0,8$) интервала промышленных руд; α — угол наклона графика v ; a — линейный масштаб по оси глубин; b — модуль логарифмического масштаба. Допустимость подстановки в формулу значений $v_{0,2}$ и $v_{0,8}$, взятых по любым, в том числе разным месторождениям при условии их однотипности, вытекает из принципа подобия, согласно которому данный геохимический показатель зональности v при одинаковых значениях z для всех генетически однотипных месторождений имеет одинаковую величину.

Установление реальной протяженности рудного интервала на глубину требует учета уровня его аномального пересечения, определяемого по показателям зональности в метрике эталонного (модельного) месторождения по формуле [6] $H = (0,8 - Z_H) / 0,6 \cdot \chi \cdot H_{\text{полн.эт}}$, где Z_H — вертикальный уровень оцениваемого объекта в условной метрике.

Автор рассматривает вопросы количественной оценки протяженности оруденения и определения положения интервалов убогой минерализации относительно уровней с промышленными содержаниями золота на примере анализа геохимической зональности Васильковского месторождения в Северном Казахстане. Эталонное месторождение представлено золото-сульфидно-кварцевым штокверком в зоне контакта палингенных интрузий — порфиробластовых (калишпатизированных) гранодиоритов и часто перемежающихся пород габбро-диоритового состава, относящихся к зерендинскому интрузивному комплексу (O_2-S_1). Контакт осложнен узлом пересечения разноориентированных тектонических зон — Донгульгашской северо-западного простирания и Васильковской северо-восточного.

Рудные тела (зоны) имеют форму линейных и овальных в плане штокверков с вертикальным падением. Околорудные метасоматические ореолы характеризуются лиственит-березитовыми преобразованиями рудовмещающих пород. Во внешней зоне ореола наблюдается частичное замещение темноцветных минералов (биотита, амфибола, пироксена) хлоритом и карбонатом. В промежуточной количестве новообразований возрастает до 40–60%. В центральной (рудолокализирующей) метасоматиты занимают 80–100% объема пород, 30% из которых состоят из карбоната, кварца, серицита или кварца с серицитом [8]. По вертикали зоны березитизации весьма устойчивы и прослеживаются без существенных изменений минерального состава на глубину 500–600 м и более. Изучение хи-

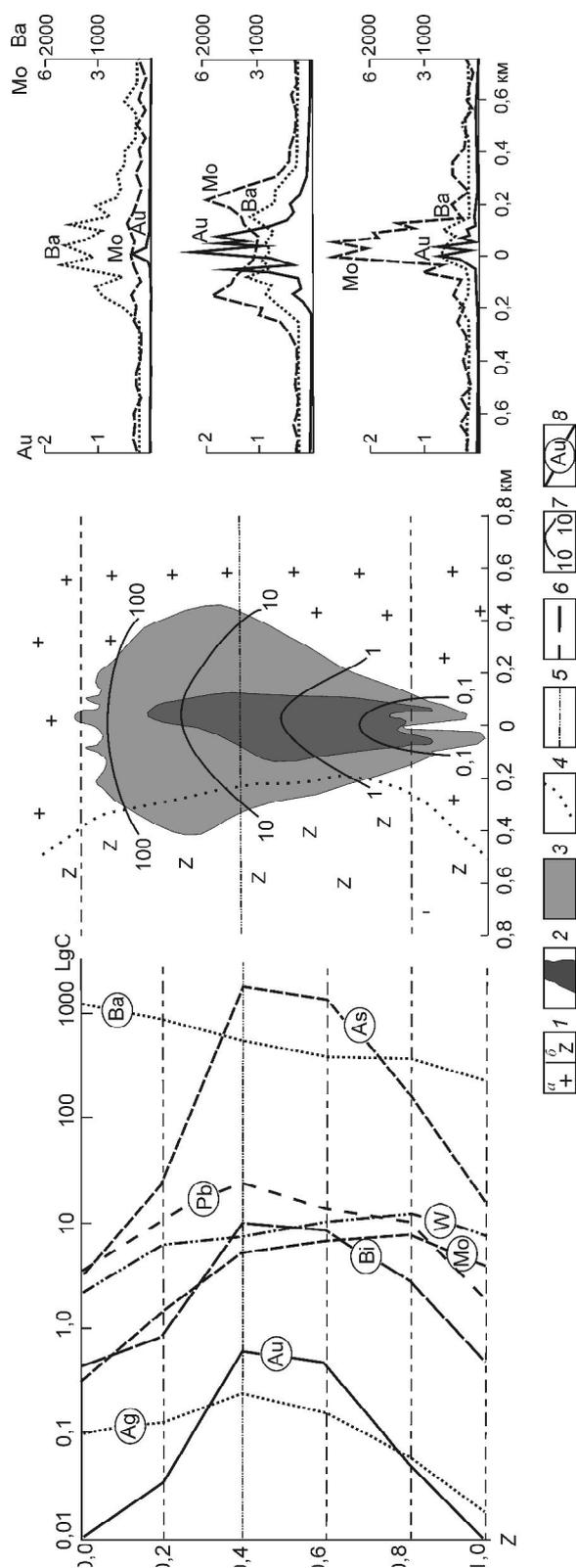


Рис. 2. Геохимическая модель Васильковского золото-полисульфидно-кварцевого месторождения.

1 — интрузивные породы (а — кислото, б — основного и среднего составов); 2 — рудная залежь; 3 — первичный ореол Au; 4 — контакт интрузивных пород различного состава; 5 — современный эрозионный срез; 6 — уровни (горизонты) рудной залежи; 7 — изолинии геохимического показателя $v = \text{Ba} \cdot \text{Ag} / \text{Mo} \cdot \text{W}$; 8 — графики средних содержаний рудных элементов, г/т

мизма метасоматических преобразований свидетельствует о выносе из пород Na, Mg, Fe и привносе K, S. Переотложение вынесенных компонентов на выклинках рудоносных структур по вертикали определяет развитие в надрудном пространстве двух зон осаждения (снизу вверх) — хлоритовой и хлорит-альбитовой, распространяющихся выше кромки рудной залежи на расстояние 600–800 м [9]. Среди рудных минералов доминируют арсенопирит и пирит, в подчиненном количестве присутствуют самородный висмут, висмутин, марказит, халькопирит, пирротин, галенит и др. Золото тяготеет к кварц-арсенопиритовым прожилкам, ассоциирует с висмутовой минерализацией и выделяется главным образом в свободном виде [9]. Первичные геохимические ореолы представлены аномальными полями: Au, As, Bi, Ag, Cu, Hg, Pb, Sb, Ba, Mo, W, Zn, Sn, Co, V, Mn.

В основу построения метрической модели положены результаты эмиссионного спектрального анализа и атомно-абсорбционного на Au и Hg в виде средних содержаний типоморфных элементов в погоризонтных рудных сечениях по объектам Васильковского рудного поля (Основная залежь Васильковского месторождения, зоны Параллельная, Перспективная, участки Промежуточный, Дальний).

С помощью программы «Нью-2» [7] были отобраны восемь химических элементов и проанализировано несколько композиций для шести уровней золото-полисульфидно-кварцевого оруденения. В результате выявлена вертикальная и латеральная зональность эталона, положенная в основу модели. Геохимическая модель крупного золото-полисульфидно-кварцевого месторождения представлена в полном контуре его первичных ореолов, что для кру-

топадающих объектов отвечает интервалу от надрудного до подрудного горизонта. Согласно модели, полная вертикальная протяженность рудной залежи (до начала процесса эрозии) составляла ~1200 м. Изменения содержаний основных рудных элементов (Au, Bi, As) по вертикали отражают интервал промышленных руд, ограниченный верхней и нижней выклинками (рис. 2). Содержания сопутствующих элементов по падению рудной залежи изменяются иначе. Так, содержания Ва непрерывно убывают с глубиной, а W, Mo, наоборот, возрастают. В поперечных сечениях на уровне рудных интервалов отмечается латеральная зональность, выраженная максимальными содержаниями Au, As, Bi в пределах рудной залежи, а Ва, Mo, W за ее границами (см. рис. 2). Полученная модель характеризуется вертикальным рядом отложения элементов (снизу вверх): W, Mo, Au, Bi, As, Ag, Pb, Ва. Поперечная (латеральная) зональность представлена рядом (от флангов к центру): Mo, W, Ва, Ag, Pb, Bi, Au, As.

Графически геохимическая зональность модели Васильковского месторождения отображена (см. рис. 2) с помощью показателя $v = \text{Ва} \cdot \text{Ag} / \text{Mo} \cdot \text{W}$, монотонно убывающего с глубиной (>1000 раз) от значений >100 в надрудной части рудной зоны до <0,1 в подрудной. Особенностью поведения геохимического показателя является выполаживание изолиний значений по восстанию рудной залежи. Наиболее контрастно геохимическая зональность проявлена в пределах центральной части рудной зоны, менее контрастно — в промежуточной и внешней зонах ореола. Это находит отражение в значениях коэффициента подобия χ , которые изменяются в зависимости от поперечного (латерального) положения аномального пересечения. Таким образом, при геохимической оценке объектов штокверкового типа большую роль играет латеральное положение аномального сечения [3].

Для экспрессной оценки расположения геохимической аномалии относительно рудной залежи по программе «Нью-3» [7] получены уравнения многомерной регрессии, отражающие геохимическую зональность модели в вертикальном (Z) и латеральном (X) направлениях:

$$Z = 0,46 \lg \text{Mo} + 0,41 \lg \text{W} - 0,36 \lg \text{Pb} - 0,31 \lg \text{Ва} - 0,20 \lg \text{Ag} + 0,91,$$

$$X = 0,56 \lg \text{As} + 0,13 \lg \text{Bi} - 0,35 \lg \text{W} - 0,24 \lg \text{Mo} - 0,10 \lg \text{Ва} - 0,29.$$

Приведенные выражения позволяют определять пространственное положение рудной аномалии с минимальной случайной погрешностью. В этом случае χ определяется при наличии минимум двух сечений оцениваемого объекта, по которым могут быть получены координаты X_1, Z_1 — для пер-

вого сечения и X_2, Z_2 — для второго. Приняв за единицу геохимические параметры модели, оценку χ можно получить по формуле

$$\chi = l \cdot m / a \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2},$$

где l — расстояние между двумя сечениями оцениваемой аномалии, м; m — модуль масштаба условной метрики; a — линейный масштаб модели, м; $X_{1,2}, Z_{1,2}$ — координаты соответственно по латерали (X) и вертикали (Z) первого и второго сечений аномалии.

Возможность привлечения коэффициента подобия для прогнозной оценки золоторудных объектов рассмотрена на примере двух участков Васильковского рудного поля — Шункурколь и Сопряженная зона. Участок Шункурколь расположен в южной части рудного поля. В профиле структурно-поисковых скважин 16, 17, 18 была вскрыта серия линзо- и жилообразных тел хлоритизированных пород габбро-диоритового комплекса (аналогичного рудовмещающим образованиям Васильковского месторождения), а также кварц-альбитовых и хлорит-кварц-альбитовых метасоматитов мощностью от 1–2 до 10–15 м. Данный набор метасоматических продуктов полностью отвечает, согласно модели эталона золото-сульфидно-кварцевого оруденения, надрудному уровню рудоносных структур. Околорудная метасоматическая аномалия сопровождалась ореолами прожилков серого рудного кварца, пирита, флюорита, типичных для околорудного ореола прожилковой минерализации. Первичные ореолы рудных элементов ни в одной из указанных скважин не были зафиксированы. Для вскрытия рудовмещающих лиственит-березитов была пробурена скв. 8. Установлено наличие на глубинах 650–850 м серии маломощных (3–5 м) зон выщелачивания васильковского типа. В результате сплошного опробования керна секциями 2–5 м были выявлены первичные геохимические ореолы Au, As, Ва, V. В скв. 23, заданной для вскрытия зон изменения на нижележащих горизонтах, выявлены мощный раздвиг лиственито-березитов на глубинах 700–1100 м и наличие многочисленных интервалов с содержаниями Au 0,2–0,7 г/т [10]. На основе разработанных критериев было оценено положение обнаруженных аномалий в метрике модели Васильковского месторождения. Получилось, что скв. 8 фиксирует внешнюю часть первичного ореола золота ($\chi=0,14$) и соответствует по вертикали надрудному уровню рудной залежи ($z=0,11$). Скв. 23 вскрывает фланг рудной залежи ($\chi=0,20$) на отметке ее верхнерудного уровня ($z=0,26$). Для оценки полной вертикальной протяженности аномалии рассчитан коэффициент подобия (χ):

$$\chi = 170\text{м} - 0,1/200\text{м} \sqrt{(0,14 - 0,20)^2 + (0,11 - 0,26)^2} = 0,53.$$

С учетом вертикальной протяженности модели (1200 м) полный размах оруденения на участке Шункурколь может составлять >600 м. В целом участок считается весьма перспективным на обнаружение скрытого месторождения золото-полисульфидно-кварцевого типа [9,10].

Прогнозная оценка золотого оруденения на глущину по геохимическим данным рассмотрена на примере участка Сопряженная зона, расположенного в 300 м к северо-западу от Васильковского месторождения. В разряд перспективных участков отнесен благодаря выявлению в его пределах по данным картировочного бурения комплексных геохимических аномалий, некоторые из которых характеризовались промышленными содержаниями Au. Было определено положение уровней аномальных пересечений и оценен коэффициент подобия, средняя величина которого по данным 12 определений составила $\chi=0,17 \cdot 1,15^{\pm 1}$. Следовательно, полная вертикальная протяженность золото-полисульфидно-кварцевого оруденения до момента начала его эрозии равнялась 200 м. Средний уровень эрозионного среза участка по геохимическим данным оценен в метрике модели как среднерудный ($Z_H=0,53$). С учетом уровня эрозионного среза вертикальный размах оруденения составляет порядка 90–100 м. По данным полевого картирования околорудных метасоматических и минералогических ореолов этот участок был оценен как потенциально мелкое месторождение [9].

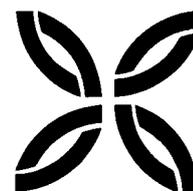
Результаты прогнозных оценок с помощью коэффициента подобия на основе геохимической зональности месторождений свидетельствуют о реальности этого параметра [1, 6]. На ранних стадиях геологического и геохимического изучения рудопроявлений к прогнозной оценке может привлекаться коэффициент подобия, определяемый по

значениям отношений между основными характеристиками оцениваемых и эталонных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Матвеев А.А., Соловов А.П.* Геохимические поиски месторождений полезных ископаемых. – М.: КДУ, 2011.
2. *Миляев С.А.* Литохимические поиски полиметаллических месторождений. – М.: Недра, 1988.
3. *Миляев С.А., Чекваидзе В.Б., Исакович И.З.* Количественная модель минералого-геохимических ореолов Васильковского золоторудного месторождения // Отечественная геология. 1994. № 7. С. 36–42.
4. *Соловов А.П.* Современное состояние и перспективы развития геохимических методов поисков рудных месторождений // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геол. 1978. № 2. С. 3–28.
5. *Соловов А.П., Миляев С.А.* Оценка генетически однотипных месторождений по ν, M // Состояние и задачи геохимических поисков рудных месторождений в Казахстане. Алма-Ата, 1981. С. 213–219.
6. *Соловов А.П., Матвеев А.А., Миляев С.А., Чепкасова Т.В.* Оценка прогнозных ресурсов на основе принципа подобия // Геохимические методы и научно-технический прогресс в геологическом изучении недр. М., 1989. С. 5–19.
7. *Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых /А.П.Соловов, А.Я.Архипов, В.А.Бугров и др.* – М.: Недра, 1990.
8. *Чекваидзе В.Б.* Поисковая минералого-геохимическая модель штокверкового золото-сульфидно-кварцевого оруденения // Советская геология. 1987. № 1. С. 121–126.
9. *Чекваидзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З.* Комплексная петрографо-минералого-геохимическая методика поисков золоторудных месторождений. – М.: Бородино-Е, 2004.
10. *Чекваидзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З.* Варианты применения комплексной петрографо-минералого-геохимической методики при поисках золоторудных месторождений // Руды и металлы. 2008. № 4. С. 45–57.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



18 ноября 2013 г. исполнилось 80 лет **Александру Петровичу Лихачеву**, доктору геолого-минералогических наук, ведущему научному сотруднику ЦНИГРИ, известному ученому в области геологии, прогноза и поисков платино-медно-никелевых и платиновых месторождений и технологии переработки минеральных материалов.

Трудовой стаж А.П.Лихачева 65 лет. В 1950–1958 гг. он работал в Киргизии рабочим буровой бригады, геофизиком-наблюдателем, коллектором, занимался поисками урановых месторождений и геологической съемкой, участвовал в открытии уран-ториевого месторождения Чангет. В 1959–1962 гг. работал на Норильском горно-металлургическом комбинате инженером, геологом, исполнял обязанности главного геолога рудника Угольный ручей. Участвовал в поисках, разведке и промышленной добыче медно-никелевых руд. С 1962 г. по настоящее время трудится в ЦНИГРИ, в 1965 г. защитил кандидатскую, в 1980 г. докторскую диссертации. Изучал геологию платино-медно-никелевых и платиновых месторождений и процессы формирующего их мафит-ультрамафитового магматизма. Создал геолого-генетическую классификацию магматических формаций и связанных с ними месторождений, концепцию развития магматизма и благоприятных обстановок образования месторождений. Разрабатывал и внедрял методические основы и методики прогноза, поисков и оценки месторождений никеля, кобальта, платиноидов. Выделил новые перспективные площади и дал характеристику открытой на основе сделанного прогноза новой платиновой Меймеча-Котуйской провинции. С 1980 г. — главный куратор Министерства геологии СССР по никелю, кобальту, металлам платиновой группы.



В 1986–1990 гг. в Гинцветмете на базе теоретических и экспериментальных разработок предложил ряд принципиально новых высокоэффективных технологий переработки руд и промпродуктов цветной металлургии, провел работы по созданию укрупненных установок непрерывного действия, получил данные для проектирования промышленных аппаратов.

В ЦНИГРИ им разрабатываются геолого-генетические модели рудообразующих систем норильского типа, обосновываются роль сейсмогравитационного фактора в образовании платиновых руд и расслоенности рудоносных комплексов, принципиальные положения об определяющей роли воды в формировании и эволюции Земли, а также петролого-металлогенической интерпретации глубинных геофизических профилей. В последние годы исследуются возможности использования глубинных геофизических данных в прогнозно-металлогенических целях. В результате выявлена общая закономерность размещения золоторудных и других месторождений, позволяющая сокращать поисковые площади на золото, алмазы, нефть, газ.

А.П.Лихачевым опубликовано более 200 научных работ.

Поздравляем Александра Петровича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, отличного настроения, дальнейших творческих успехов.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

СПИСОК СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «РУДЫ И МЕТАЛЛЫ» В 2013 ГОДУ

Недропользование

Мигачев И.Ф., Михайлов Б.К., Беневольский Б.И., Волчков А.Г., Воронаев В.И., Шишкин М.А.

Проект «Положения о порядке проведения геолого-разведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые)». № 4. С. 5.

Чернышов Н.М.

Сульфидные платиноидно-медно-кобальт-никелевые месторождения Новохоперского рудного района и проблемы их комплексного освоения в условиях жестких экологических ограничений. № 6. С. 5.

Прикладная металлогения

Алексеев Я.В.

Моделирование сбалансированности развития минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых на основе геохимического металлогенического потенциала недр. № 3. С. 21.

Баранников А.Г.

Рудоносность заполненного мезозойского карста на Урале: проблемы изучения. № 4. С. 23.

Вялов В.И., Балахонова А.С., Гамов М.И., Попов Ю.В., Наставкин А.В.

Минералого-геохимические особенности черных сланцев Прибалтики в связи с их комплексной металлоносностью. № 6. С. 14.

Глухов А.Н., Тюкова Е.Э.

Перспективы расширения минерально-сырьевой базы меди Магаданской области. № 5. С. 21.

Гребенкин Н.А.

Особенности и последовательность формирования гидротермально-метасоматических урановых концентраций Чарского района. № 1. С. 39.

Иволга Е.Г.

Особенности строения литосферы золоторудных районов юга Дальнего Востока России и Северо-Восточного Китая. № 1. С. 14.

Константинов М.М.

Рудные столбы золоторудных месторождений. № 4. С. 5.

Митрофанов Н.П.

Формационно-генетические и промышленные

типы вольфрамовых месторождений России. № 5. С. 5.

Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д.

Перспективы алмазности юго-восточного сектора Сибирской платформы по материалам дистанционного зондирования. № 2. С. 13.

Сначёв В.И., Сначёв А.В.

Рудоносность углеродистых отложений Уралтауской мегазоны, Южный Урал. № 1. С. 33.

Сначёв А.В., Сначёв В.И.

Закономерности размещения золоторудных проявлений в углеродистых отложениях Ларинского купола, Южный Урал. № 4. С. 18.

Степанов В.А.

Перспективы золотоносности Приамурской провинции. № 1. С. 25.

Чернышов А.И., Коробейников А.Ф., Юричев А.Н.

Рений в ультрамафитовых комплексах Сибири. № 2. С. 5.

Шкодзинский В.С.

Генезис кимберлитов и алмаза, модель горячей аккреции Земли. № 3. С. 5.

Эйриш Л.В.

Эволюция золоторудных систем Дальнего Востока России. № 1. С. 6.

Юричев А.Н.

Мафит-ультрамафитовый магматизм Канской глыбы и его рудный потенциал, северо-запад Восточного Саяна. № 3. С. 13.

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений

Егорова Е.О., Афанасьев В.П., Самданов Д.А.

Закономерности транспортировки индикаторных минералов при формировании механических ореолов рассеяния. № 6. С. 35.

Игнатов П.А., Новиков К.В., Шмонов А.М., Разумов А.Н., Килижсков О.К.

Возможности локального прогноза кимберлитов и их кустов по косвенным признакам при поисках на закрытых территориях на примере Накынского поля Якутии. № 5. С. 34.

Миляев С.А., Чекваидзе В.Б., Кряжев С.Г.
Соотношения вторичных ореолов рассеяния и ионо-потенциметрических аномалий на золоторудных месторождениях. № 2. С. 18.

Савельев Д.Е.

Происхождение нодулярных текстур на примере хромититов восточной части массива Средний Крака, Южный Урал. № 5. С. 41.

Углов Б.Д.

Об определении формы рудных тел глубоководных сульфидных месторождений для оценки их ресурсного потенциала. № 6. С. 19.

Юричев А.Н.

Акцессорные шпинелиды из ультрамафитов: индикаторы условий формирования. № 6. С. 30.

Строение рудных месторождений

Абрамов Б.Н.

Петрохимические и геохимические особенности интрузивных и флюидно-эксплозивных образований золоторудного проявления Куденица-Норина, Восточное Забайкалье. № 3. С. 41.

Абрамов Б.Н.

Гранитоиды мезозойских золоторудных месторождений Восточного Забайкалья: условия формирования, геохимические особенности. № 6. С. 48.

Бучко Ир.В., Бучко И.В.

Геологическое строение серебро-полиметаллического месторождения Могол, Пристановой пояс. № 3. С. 34.

Гребенникова А.А.

Типоморфизм самородного золота Право-Соолийского рудно-россыпного узла (Хабаровский край) как показатель связи в системе россыпь – коренной источник. № 1. С. 60.

Гусейнов Г.С.

Типоморфные особенности самородного золота Кедабекского золото-медноколчеданного месторождения, Азербайджан. № 2. С. 57.

Егоров К.Н., Мельников А.И.

Структурно-вещественная эволюция системы кимберлитовых тел трубки Удачная. № 1. С. 53.

Знаменский С.Е., Мичурин С.В., Анкушева Н.Н.

Происхождение рудообразующих флюидов Орлов-

ского месторождения золота, Южный Урал. № 4. С. 52.

Зубова Т.П., Агибалов О.А., Иванов Н.М., Краснов А.Н., Кондратьев А.В., Черемисина Е.А., Шатилова Л.В., Щегольков Ю.В., Филиппов В.П.

Строение и вещественный состав золотоносных кор химического выветривания Кедровско-Ивдельского рудно-россыпного узла, восточный склон Северного Урала. № 4. С. 37.

Конеев Р.И., Халматов Р.А.

Некоторые аспекты минералогии, геохимии и генезиса руд месторождений золота Узбекистана. № 2. С. 31.

Кулешевич Л.В., Лавров О.Б., Дмитриева А.В.

Типоморфные минеральные ассоциации руд докембрийского месторождения золота Таловейс, Карелия. № 4. С. 30.

Кунгурова В.Е., Трухин Ю.П., Кононов В.В.

Некоторые особенности механизма формирования прибрежно-морских золотоносных россыпей Юго-Западной Камчатки. № 5. С. 50.

Мельников А.В., Степанов В.А.

Геолого-структурные особенности и золотоносность Октябрьского рудно-россыпного узла Приамурской провинции. № 6. С. 40.

Остапенко Л.А., Щегольков Ю.В., Дзуреченская С.С.

Состав поверхности рудных минералов по данным электронной оже-спектроскопии и его влияние на обогатимость окисленных серебро-сурьмяных руд месторождений Асгат и Кимпиче. № 2. С. 46.

Рыжов О.Б.

О замещении кальцита кварцем на близповерхностных золото-серебряных месторождениях Магаданской области. № 2. С. 38.

Степанов В.А., Бельченко Е.Л., Доброшевский К.Н., Гвоздев В.И.

Малиновское золоторудное месторождение, Приморский край. № 3. С. 26.

Чернова А.Д., Шатагин Н.Н.

Некоторые геохимические особенности руд золоторудного месторождения Кекура, Чукотский автономный округ. № 4. С. 47.

Шкодзинский В.С.

Происхождение россыпей с округлыми алмазами. № 1. С. 47.

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

Касьмова Ш.Р.

Золотоносность Каратауской зоны смятия, Узбекистан. № 6. С. 55.

Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ

Гамов М.И., Наставкин А.В., Труфанов А.В., Левченко С.В.

Редкометальный потенциал углей, отходов их обогащения и сжигания. № 5. С. 65.

Мухтар А.А., Каткеева Г.Л., Макашев А.С., Бектурганов Н.С., Шерембаева Р.Т.

Обогащение бурожелезняковых руд Аятского месторождения. № 1. С. 71.

Романчук А.И., Жарков В.В., Богомоллов В.А.

Оценка методов определения содержания Au в рудах с крупным золотом. № 4. С. 61.

Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е., Коваленко Е.Г.

Изменение технологических свойств алмазов в условиях переработки вторично измененных кимберлитов. № 3. С. 48.

Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Островская Г.Х., Махрачев А.Ф., Ковальчук О.Е.

Модифицирование свойств и экспериментальная апробация водонефтяных эмульсий в качестве реагентов-собирателей для процесса пенной сепарации алмазосодержащего сырья. № 5. С. 58.

Дискуссии

Бояджиев С.Д., Матвеев А.А., Миляев С.А.

Оценка прогнозных ресурсов Pb, Zn, Cu и Au Болгарии по геохимическим данным. № 3. С. 55.

Иванов Е.И., Кузнецов Г.П., Ваганов В.И., Щербаклова Т.Е., Колесникова Т.И.

Туффизиты Башкирии — вещественный состав и проблемы генезиса. № 2. С. 61.

Миляев С.А.

Геохимические критерии прогнозной оценки золоторудных объектов по данным анализа эндогенной зональности. № 6. С. 72.

Силин И.И.

Количественная оценка прогнозных ресурсов по результатам геохимического опробования. № 3. С. 65.

Фомин Ю.М.

Развитие Земли и кимберлитовый магматизм. № 1. С. 74.

Зарубежный опыт

Крутилин В.Н., Титов В.И., Мааша Л., Зухер М.

Проявления минерализации золота в Центральном Джебилете, Марокко. № 5. С. 72.

Новости, информация

Августинчик И.А., Яблокова С.В., Кузнецова Т.П.

По следам Европейской минералогической конференции (ЕМС2012): прикладные аспекты. № 6. С. 63.

Материалы XXXIV сессии Международного геологического конгресса. № 2. С. 73; № 3. С. 77; № 4. С. 69.

Поздравляем с юбилеем

А.Л.Галямова, А.А.Черемисина (№ 2), И.Ф.Мигачева (№ 3), А.И.Донца, В.Б.Чекваидзе (№ 4), Н.Г.Кудрявцеву (№ 5), А.П.Лихачева (№ 6)