

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



1/2010

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И.Ф.МИГАЧЕВ

Зам. главного редактора А.И.КРИВЦОВ
Зам. главного редактора Н.И.НАЗАРОВА

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



УЧРЕДИТЕЛЬ

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

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

Москва ЦНИГРИ 2010

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

Сдано в набор 08.02.10 г.
Подписано в печать 18.02.10 г.
Тираж 400 экз.

Формат 30×42 1/2
Бумага листовая
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ЦНИГРИ
Телефон: 315-28-47
Факс: 313-43-47
E-mail: tsnigri@tsnigri.ru
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2010

Семидесятипятилетие Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ)	5	Seventy-fifth anniversary of Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals (TsNIGRI)	
<i>Арифулов Ч.Х.</i> Золотоносность черносланцевых толщ и обстановки формирования рудных тел	10	<i>Arifulov Ch. Kh.</i> Gold potential of the black shale sequences and formative environments of ore bodies	
<i>Беневольский Б.И., Мызенкова Л.Ф.</i> Мировые тенденции развития геологоразведочных работ на цветные и благородные металлы	22	<i>Benevol'sky B.I., Myzenkova L.F.</i> Exploration for base and precious metals: the world trends.	
<i>Галямов А.Л.</i> Золотоносные осадочные комплексы складчатого обрамления Сибирской платформы	28	<i>Galyamov A.L.</i> Gold-bearing sedimentary sequences of the folded framework of Siberian Platform	
<i>Голубев Ю.К., Прусакова Н.А., Ю.Ю.Голубева</i> Кепинские кимберлиты, Архангельская область	38	<i>Golubev Yu.K., Prusakova N.A., Golubeva Yu.Yu.</i> Kimberlites from Kepino area, Arkhangelsk oblast	
<i>Граханов С.А., Сулейманов А.М., Голубев Ю.К.</i> Пирокласты северо-востока Сибирской платформы как источник россыпных алмазов	45	<i>Grakhanov S.A., Suleimanov A.M., Golubev Yu.K.</i> Pyroclastics of the NE part of Siberian Platform as a bedrock source of placer diamonds	
<i>Звездов В.С., Минина О.В.</i> Рудно-магматические системы вулканоплутонических поясов Востока России	48	<i>Zvezdov V.S., Minina O.V.</i> Ore-magmatic systems of volcano-plutonic belts in Eastern Russia	
<i>Иванов А.И.</i> Латерально-вертикальная рудно-металлогеническая зональность как основа районирования Байкало-Патомской рудной провинции	60	<i>Ivanov A.I.</i> Lateral and vertical ore-metallogenic zonality as a basis of regionalization of the Baikal-Patoma ore province	
<i>Кривцов А.И.</i> Методические основы прогнозно-металлогенических построений	69	<i>Krivtsov A.I.</i> Methodologic principles of predictive metallogenic studies	
<i>Кряжев С.Г.</i> Минералого-геохимические методы поисков стратонидных золоторудных месторождений	74	<i>Kryazhev S.G.</i> Mineralogical-and-geochemical exploration methods for strata-bound gold deposits	
<i>Ручкин Г.В., Конкин В.Д.</i> Свинцово-цинковые месторождения Востока России	82	<i>Ruchkin G.V., Konkin V.D.</i> Pb-Zn deposits of Eastern Russia	
<i>Седельникова Г.В., Романчук А.И.</i> Инновационные технологии обогащения руд благородных и цветных металлов	92	<i>Sedel'nikova G.V., Romanchuk A.I.</i> Ores of noble and precious metals: Innovative processing technologies	
<i>Седельникова Г.В., Мандругин А.В.</i> Новые методы и методики анализа минерального сырья благородных металлов	100	<i>Sedel'nikova G.V., Mandrugin A.V.</i> Precious metal ores and minerals: New assay techniques and methods	

Углов Б.Д.

Геология и металлогения Мирового океана —
вклад ЦНИГРИ

104

Uglov B.D.

TsNIGRI studies of geology and metallogeny of
the World Ocean

Страницы истории

*Вартанян С.С., Волчков А.Г., Кочнев-Перву-
хов В.И., Новиков В.П.*
ЦНИГРИ на Аляске

118

*Vartanyan S.S., Volchkov A.G., Kochnev-Pervu-
khov V.I., Novikov V.P.*

TsNIGRI in Alaska

Арифуров Ч.Х.

Золотоносность Кызылкумов — вклад ЦНИГРИ

124

Arifulov Ch. Kh.

TsNIGRI and Kyzylkum gold

Pages of history

СЕМИДЕСЯТИПЯТИЛЕТНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО ИНСТИТУТА ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ (ЦНИГРИ)

ЦНИГРИ основан в марте 1935 г. на правах отдела в составе треста «Золоторазведка», а с 1 января 1936 г. выделен в самостоятельную хозяйственную единицу — НИГРИ-Золото — в качестве базовой научной организации по обеспечению страны золотодобычей. В процессе развития НИГРИ-Золото преобразовался в специализированный комплексный научно-исследовательский геологоразведочный институт по широкому спектру проблем геологии, прогноза, поисков, оценки, разведки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов, геофизических методов и аппаратуры, техники и технологий горноразведочных и буровых работ, технологий обогащения и методов анализа руд. Комплексные исследования проводились во всех союзных республиках. Научно-производственные базы института (филиалы, экспедиции, отделения и партии) располагались в городах: Москва, Чита, Тула, Баку, Мирный, Семипалатинск, Заравшан, Архангельск, Магадан.

В разные годы институтом руководили Н.Н.Горностаев (03.1935–03.1936), Ю.К.Краукле (03.1936–04.1938), О.А.Дубровский (07.1938–09.1940), Г.К.Славин (09.1940–03.1944), Я.Н.Спиваков (03.1944–03.1951), Е.А.Савари (03.1951–12.1964; 06.1971–05.1972), И.С.Рожков (12.1964–06.1971), П.Ф.Иванкин (05.1972–12.1980), В.А.Нарсеев (12.1980–12.1988). Директором ЦНИГРИ с января 1989 г. и по настоящее время является И.Ф.Мигачев.

В 1972 г. постановлением ГКНТ СССР институт был определен головной организацией Мингео СССР. К 50-летию ЦНИГРИ в нем трудились около 3000 сотрудников, 70% из них — в региональных подразделениях. К этому времени в институте сформировались и эффективно развивались научные школы, созданные трудом выдающихся исследователей, пользующихся высоким авторитетом геологического сообщества России, стран ближнего и дальнего зарубежья:

Прикладная металлогения, модели рудообразующих систем и месторождений: Д.И.Горжевский, А.И.Кривцов, Н.К.Курбанов, И.Ф.Мигачев, Г.В.Ручкин, Н.А.Фогельман, С.Д.Шер, Л.И.Яковлев.

Прогноз, поиски и оценка месторождений благородных и цветных металлов: М.Б.Бородаевская, Н.И.Бородаевский, С.С.Вартанян, Г.П.Волярович, М.Н.Годлевский, П.Ф.Иванкин, С.А.Кашин, М.М.Константинов, В.А.Нарсеев, Ю.М.Щепотьев.

Прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов: В.И.Ваганов, Н.Н.Зинчук, Ф.В.Каминский, Б.И.Прокопчук, И.С.Рожков, В.С.Трофимов, Е.В.Францессон.

Экзогенная золотоносность: Ю.П.Казакевич, С.Г.Мирчинк, Н.М.Риндзюнская, Е.Я.Синюгина, И.Б.Флеров, Т.П.Шевцов.

Методика разведки, подсчет запасов и геолого-экономическая оценка месторождений: А.П.Божинский, В.Н.Иванов, П.Л.Каллистов, М.П.Просняков, И.З.Самонов, В.В.Стефанович.

Генетическая и прикладная минералогия: П.С.Бернштейн, Л.А.Николаева, Н.В.Петровская, Г.С.Румянцев.

Аналитические исследования пород и руд, обогащение и переработка минерального сырья: А.И.Берлинский, В.И.Зеленов, Н.Г.Клименко, А.И.Никулин, Е.А.Савари, Г.В.Седелникова.

Создание геофизических методов и аппаратуры: В.И.Векслер, Е.М.Ершов, А.Д.Петровский, А.Ф.Постельников, В.И.Пятницкий, В.И.Седова.

Техника и технология геологоразведочных и буровых работ, охрана труда: И.Н.Засухин, Б.П.Макаров, В.М.Минаков, В.П.Кренделев, В.А.Сипягин, Ю.Т.Смирнов.

В 1991 г. ЦНИГРИ был передан в ведение Госкомгеологии РСФСР, а в 1998 г. — в систему Министерства природных ресурсов Российской Федерации; с 2004 г. включен в состав организаций, подведомственных Федеральному агентству по недропользованию Министерства природных ресурсов России.

Научными школами интенсивно развивались опережающие научные исследования в сфере фундаментальных знаний об условиях образования и закономерностях размещения месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Созданы научные основы, методы, технологии и технические средства для проведения геологоразведочных работ и оценки месторождений. Разработаны модели рудообразующих систем, модели месторождений алмазов, благородных и цветных металлов, комплексного использования минерального сырья и др. Созданы методические руководства по оценке прогнозных ресурсов золота, серебра, МПГ, никеля, меди, свинца и цинка. В последние годы вышли в свет 50 монографических изданий научно-методической и прикладной направленности.

Геолого-генетические разработки реализованы в системе «прогноз—поиски—оценка» и прогрессивных технологиях геологоразведочных работ — прогнозно-поисковые комплексы (ППК), обеспечивающие выполнение требований к результатам геологоразведочных работ по стадиям (А.И.Кривцов, В.А.Нарсеев, И.Ф.Мигачев и др.).

За последние 30 лет в России и СНГ выявлено и изучено более 460 месторождений золота, из них при участии сотрудников ЦНИГРИ — 360, месторождений меди соответственно из 307 — 257, свинца и цинка из 151 — 103, серебра из 64 — 52.

С 2000 г. начато создание актуализированной системы управления развитием минерально-сырьевой базы — долгосрочные прогнозы минерально-сырьевого обеспечения экономики, основы национальной минерально-сырьевой безопасности, программно-целевые системы воспроизводства минерально-сырьевой базы, методы и методики оценки и переоценки прогнозных ресурсов (Б.И.Беневольский, С.С.Вартанян, В.И.Кочнев-Первухов, А.И.Кривцов, И.Ф.Мигачев и др.).

В ЦНИГРИ (организация-координатор) в 2004 г. была разработана «Долгосрочная государственная программа изучения недр и воспроизводства минеральной сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья (2005–2010 гг. и до 2020 года)». По заданиям этой программы институт координирует деятельность отраслевых научных и производственных организаций по воспроизводству минерально-сырьевой базы 37 видов твердых полезных ископаемых, осуществляет научно-методическое обеспечение федеральных геологоразведочных работ и мониторинг недропользования. При этом рабочими группами института реализуются ранее созданные и новые методические подходы научного опережения геологоразведочных работ (Б.И.Беневольский, А.Г.Волчков, В.С.Звездов, И.А.Карпенко, С.Г.Кряжев, А.И.Романчук, С.Ф.Стружков и др.).

Институт выполняет работы по переоценке прогнозных ресурсов, геолого-экономической оценке месторождений стратегического значения, стоимостной оценке запасов и ресурсов, оценке состояния и прогнозу производства и потребления минерального сырья на ближнюю и дальнюю перспективы, обоснованию эффективных направлений геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые, обеспечивающие формирование годовых планов геологоразведочных работ Роснедра и сопрохождение лицензионного недропользования.

По госзаказам и в инициативном порядке ЦНИГРИ разрабатывает инновационные технологии (в том числе нанотехнологии) для повышения полноты извлечения и использования высоколиквидного минерального сырья, осуществляет прогноз и поиски месторождений новых и нетрадиционных типов, включая рудные скопления дна Мирового океана.

Разработки института обеспечивают реализацию «Основ государственной политики в области минерального сырья и недропользования» (2003). На основе созданной системы управления воспроизводством минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых осуществляется формирование информационных ресурсов для реализации ряда функций Минприроды России и Роснедра в части обеспечения национальной минерально-сырьевой безопасности России.

Результаты работ ЦНИГРИ получили высокое общественное признание. Работы «Экзогенная золотоносность и платиноносность Российской Федерации — комплект карт» (2001) и «Научное обоснование, создание и реализация системы прогноза и воспроизводства минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов Российской Федерации» (2007) были удостоены премий Правительства Российской Федерации; книга «Национальная минерально-сырьевая безопасность» отмечена премией им. А. Н. Косыгина и дипломом Российского геологического общества (2001).

За последние 10 лет лауреатами премий Правительства России стали 15 сотрудников ЦНИГРИ (из них пятеро — дважды), 11 сотрудникам присвоено звание «Почетный разведчик недр», трое сотрудников были награждены орденами России.

Уникальность и высокий уровень научно-методических разработок и их практическая направленность определяют перспективы развития института. Создана и постоянно совершенствуется система организации выполнения научно-исследовательских и геологоразведочных работ, включающая научное опережение, научно-методическое обеспечение и внедрение рациональных методов и технологий. Организационное и информационное сопровождение и обслуживание научно-исследовательских и геологоразведочных работ обеспечивает востребованность разработок института геологоразведочным производством. Этому в значительной степени способствуют накопленные информационные ресурсы, интеллектуальный потенциал и комплексный характер исследований, которые служат гарантией эффективной деятельности коллектива ЦНИГРИ.

Институт обладает уникальными информационными ресурсами: книги и журналы — 90 000, отчеты по НИОКР — 13 000, геологические карты — 100 000, литфонд музея — 4000 единиц. Институт является соучредителем журнала «Отечественная геология» и учредителем журнала «Руды и металлы».

Большое внимание ЦНИГРИ обращает на подготовку и воспроизводство научных кадров высшей квалификации через аспирантуру. С 1967 г. на диссертационных советах института защищено 280 диссертаций, из них 45 докторских и 235 кандидатских.

В настоящее время численность института — 400 человек, в том числе 21 доктор и 91 кандидат наук, 20 лауреатов премий Правительства Российской Федерации, Совмина и Мингео СССР, трое лауреатов премии им. А. Н. Косыгина, девять Заслуженных деятелей науки и Заслуженных геологов России, 24 Почетных разведчика недр, 72 Отличника разведки недр, 19 действительных членов и членов-корреспондентов общественных академий наук.

В последние годы ЦНИГРИ принял участие в 31 международной и 17 российских выставках, на которых его экспозиции отмечены 25 дипломами и 15 медалями. Результаты научных и прикладных исследований докладывались на десятках международных форумов, научно-практических конференций, совещаний, круглых столов, научных чтений.

Свой юбилей ЦНИГРИ встречает как комплексная научная организация, успешно разрабатывающая и решающая актуальные прикладные проблемы геологии и металлогении и обеспечивающая эффективное проведение и координацию геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые.

СТАРЕЙШИНЫ И РОВЕСНИКИ ЦНИГРИ

Ажгирей Раиса Михайловна —

ведущий инженер

Барышеев Александр Николаевич —

доктор геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник

Вихтер Борис Яковлевич —

кандидат геолого-минералогических
наук, старший научный сотрудник

Володин Роальд Николаевич —

кандидат геолого-минералогических
наук, старший научный сотрудник

Гаврилов Алексей Михайлович —

кандидат геолого-минералогических
наук, старший научный сотрудник

Гордеев Семен Григорьевич —

ведущий инженер

Гурин Владимир Федорович —

заместитель директора по общим во-
просам

Зорина Юна Георгиевна —

кандидат геолого-минералогических
наук, старший научный сотрудник

Исакович Ирина Зигмундовна —

кандидат геолого-минералогических
наук, научный сотрудник

Константиновский Александр Александрович —

доктор геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник

Кривцов Анатолий Иванович —

доктор геолого-минералогических наук,
заместитель директора по научной ра-
боте

Мызенкова Лариса Филипповна —

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Некрасова Алевтина Николаевна —

кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник

Николаева Лидия Александровна —

доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник

Никулин Александр Иванович —

кандидат технических наук, заведующий лабораторией

Новиков Вячеслав Петрович —

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник

Полывянный Игорь Яковлевич —

кандидат геолого-минералогических наук, ученый секретарь института (1981–2009 гг.)

Романов Вячеслав Иванович —

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник

Соловьев Анатолий Алексеевич —

заместитель председателя профкома (с 1968 г.)

Чекваидзе Виктор Борисович —

доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник

Яблокова Светлана Васильевна —

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник

Редколлегия поздравляет всех сотрудников института со славным юбилеем!

УДК 553.411:552.578.3

© Ч.Х.Ариффулов, 2010

ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩ И ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНЫХ ТЕЛ

Ч.Х.Ариффулов (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Первичное накопление золота в черных сланцах, обусловленное вулканогенно-осадочными и биогенно-хемогенными процессами, рассматривается как основной фактор локализации крупнообъемных золоторудных месторождений черносланцевого типа. Показаны обстановки образования золоторудных тел в связи с регенерационными процессами в зонах дислокаций и постгранитного метасоматоза на золоторудных объектах Центрально-Кызылкумской, Восточно-Казахстанской и Южно-Уральской провинций. При поисковых работах на золото в черносланцевых толщах рекомендуется выявление рудоносных литолого-стратиграфических уровней с рудно-конкреционными горизонтами и гидротермально-осадочными сульфидными образованиями.

Ключевые слова: черные сланцы, золотоносные сульфиды, арсенопирит-пиритовые руды, рудные конкреции.

Ариффулов Чингиз Хайдарович, arif_chin@yahoo.com

GOLD MINERALIZATION IN BLACK-SHALE COMPLEXES AND GEOLOGICAL SETTINGS OF FORMATION OF ORE BODIES

Ch.H.Arifulov

Primary concentration of gold in black shales which is connected with volcanogenic-sedimentary and biogenic-chemogenic processes is studied as one of the main factors of localization of large-scale gold deposits in black-shales. Geological settings of formation of ore bodies due to regeneration processes in zones of dislocation and post-granite metasomatism are shown by the examples of gold deposits in the Central-Kyzyl Kum, Eastern-Kazakhstani and South-Ural provinces. Significant importance in the prospecting works for gold in black-shale complexes is the finding of ore-bearing lithological structural levels which are contain ore-concretion horizons and hydrothermal sedimentary sulfides.

Key words: black shales, ore-bearing sulfide, arsenopyrite-pyrite ore, ore concretions.

Поиски золоторудных месторождений черносланцевого типа, несмотря на имеющиеся разработки прогнозно-поисковых моделей, по-прежнему остаются трудной задачей. Вместе с тем, расширение сырьевой базы на золото за счет открытия новых месторождений в черносланцевых толщах очень актуально. Территории, которые можно отнести к черносланцевым золотоносным провинциям, весьма значительны по масштабу. Это хорошо известные и в достаточной степени изученные территории Енисейского края, Ленского (Бодайбинского) района, Южного Урала, Верхоянья, Западной Чукотки, а также площади на Северном Урале, в Восточном Саяне и Североземельско-Таймырской провинции, изучение которых необходимо интенсифицировать. На стадии прогнозирования и проектирования поисковых работ отнесение тех или иных территорий к потенциально золотоносным черносланцевым рудным районам проводится на основе фиксации на прогнозируемой площади соб-

ственно черносланцевых формаций и наличия прямых признаков золотоносности, к которым относятся выявленные ранее проявления золота различных рудно-формационных типов, геохимические ореолы золота и сопутствующих элементов, минералогические (шлиховые) ореолы золота и ассоциирующих с ним рудных минералов и др.

Геолого-генетические аспекты условий формирования черносланцевых формаций и накопления в них повышенных концентраций Au, Ag, металлов платиновой группы, Cu, Zn, Pb и ряда других элементов достаточно широко освещены в литературе [4–6, 9, 14]. Практически во всех работах в том или ином виде рассматриваются три основных возможных механизма концентрирования золота в углеродистых осадках:

накопление тонкого кластогенного золота, поступающего с терригенным материалом и органическими остатками в бассейн седиментации в виде взвеси в речных водотоках, который откладывается

в подводных конусах выноса с образованием турбидитных фаций;

биогенно-хемогенное накопление золота в осадках, обогащенных органическим веществом, связанное с процессами метаболизма бактерий (сине-зеленые водоросли, железо-серные бактерии и другие прокариоты);

эксталяционно-осадочное накопление золота в сульфидных, оксидно-сульфидных и сульфатных горизонтах и постройках типа «черных» и «белых» курильщиков.

Некоторыми исследователями [14] предполагается также образование гидрогенного золота, связанного с процессами восстановления содержащихся в океанической воде его хлоридных комплексов под воздействием осадков, насыщенных органическими остатками в обстановке эвксинных бассейнов, но при условии периодического поступления насыщенной кислородом океанической воды. Сходный механизм формирования повышенных концентраций Au, Pt, PЗЭ и ряда других элементов, обусловленный орбитальными и сезонными изменениями климата, описан О.Л.Савельевой [11] для альб-сеноманских пелагических сапропелевых горючих сланцев Восточной Камчатки. В качестве причины накопления в осадках металлов и фактора, регулирующего периодичность аноксических событий и биопродуктивности фитопланктона, ею рассматриваются циклы вулканической активности.

Гидрогенный механизм концентрирования тяжелых металлов в углеродистых осадках не проходит без участия бактерий и поэтому может быть отнесен к биогенно-хемогенному накоплению золота.

В осадочных комплексах в составе сульфидных конкреций и в форме рассеянной вкрапленности широко распространены выделения фрамбоидального пирита, образование которого связывается с сульфидизированными остатками бактерий. Размеры фрамбоидов обычно варьируют от 20 до 60 мкм. От глобулярных метакolloидных форм пирита их отличает полигональное внутреннее строение, сходное с таковым современных бактерий.

Содержание сингенетичных сульфидов в углеродистых толщах обычно составляет ~1–2%, в отдельных горизонтах до 5–10%. Уровень золотонности этих сульфидов обычно не превышает первых граммов на 1 т, но их присутствие определяет высокую фоновую золотонность черносланцевых комплексов. Как правило, сингенетичные сульфиды характеризуются низкой мышьяковистостью и повышенными концентрациями Cu, Zn, Pb и других элементов полиметаллической ассоциации.

В статье Я.Е.Юдовича «Черные сланцы в рудогенезе золота: ресурс или барьер» [14] на основе

обобщения аналитической информации по фоновой золотонности черносланцевых комплексов различных провинций (Енисейской, Центрально-Кызылкумской, Колымской, Тимано-Уральской и др.) делается вывод о возможности существования повышенных и аномально высоких (>35 мг/т) концентраций золота в черносланцевых комплексах. Однако в ряде случаев (к примеру для Ленской и Енисейской провинций) автор ставит под сомнение достоверность отнесения высоких концентраций золота к сингенетичным рудным образованиям, поскольку они, по его мнению, характеризуют эпигенетические эндогенные рудообразующие процессы.

В этих выводах есть определенные противоречия. Так, если на той или иной территории определена высокая фоновая золотонность черносланцевых комплексов и она рассматривается в качестве их «ресурсного потенциала», то ее выявление при отсутствии рудных объектов означает, что в силу тех или иных причин этот потенциал не был реализован и, соответственно, данная территория малоперспективна для поисков. В то же время, если в черносланцевых отложениях не выявлены аномально высокие фоновые концентрации золота, но при этом установлены промышленные рудные тела и сопровождающие их геохимические ореолы, то именно это и может означать реализацию ресурсного потенциала черных сланцев при проявлении регенерационных процессов.

Рассмотрим условия формирования локальных высоких (промышленных) концентраций золота — рудных тел (залей), связанных с первичным (гидротермально-осадочным и биогенно-хемогенным) накоплением металла в черносланцевых отложениях. Признаки этих процессов в том или ином виде сохраняются в рудных телах, трансформированных в ходе их эпигенетического перерождения в зонах дислокационного метаморфизма и гидротермально-метасоматического преобразования.

Формирование золотонных черносланцевых комплексов связывается большинством исследователей с обстановками окраинно-континентальных бассейнов, которые на коллизионной стадии преобразуются в складчатые системы с вулканоплутоническими поясами, что определяет преобразование осадочных структурно-вещественных комплексов и появление полиформационных рудных образований. В настоящее время при обсуждении генетических аспектов золотонности черносланцевых формаций многообразие факторов концентрирования золота является доминирующей точкой зрения. Она детально рассматривается в работах Н.П.Ермолаева с соавторами [6, 9] и четко сформулирована в статье А.А.Сидорова и И.Н.Томсона [12]. Ав-

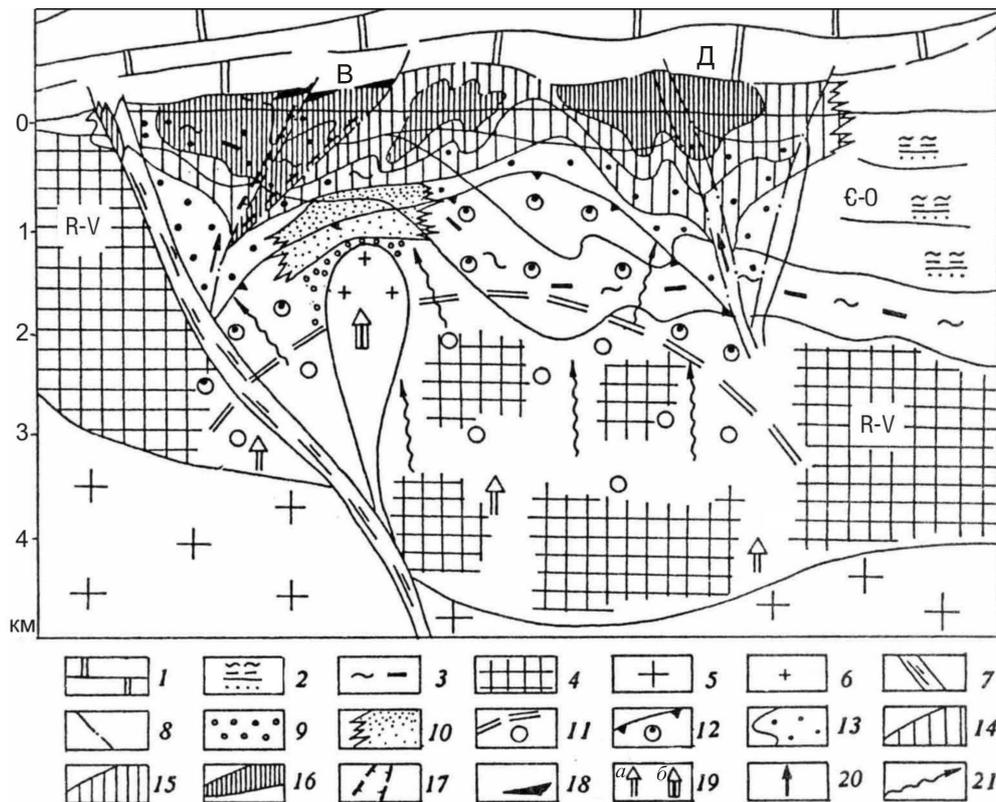


Рис. 1. Обстановка локализации золото-сульфидных и золото-серебро-сульфоантимонитовых рудных залежей в Даугызтауском рудном поле (продольная проекция зоны Даугызтауского разлома):

1 — надрудные известняки и доломиты девона; 2 — сланцево-алевролитово-песчаниковые ритмопачки рудовмещающей бесапанской свиты; 3 — сульфидоносная углеродисто-алевролитово-сланцевая пачка бесапанской свиты; 4 — вулканогенно-кремнисто-терригенный комплекс основания, тасказганская свита; 5 — скрытые гранитоидные интрузии, провис кровли массива по геофизическим данным; 6 — гранитоидный шток на площади месторождения Высоковольтное, установленный по геофизическим данным, сопровождающийся локальными ореолами пирротинизации по данным глубокого бурения; 7 — разломы глубокого заложения (Джасаульская зона смятия); 8 — диагональные рудо локализирующие разломы (Д — Даугызтауское месторождение, В — Высоковольтное месторождение); 9 — предполагаемые зоны контактовых изменений (биотитовые роговики); 10 — ореолы пирротинизации в контактовой зоне штока гранитоидов; 11 — область сосуществования гетерофазного флюида (водно-солевая жидкость+водный газ, по И.Д.Рябчикову, 1975); 12 — область конденсации газовой фазы и экстрагирования металлов из вмещающих пород; 13 — ореол кварц-серицитовых метасоматитов — зона выщелачивания; зоны осаждения минеральных ассоциаций с последовательным совмещением: 14 — арсенопирит-пиритовой, 15 — арсенопирит-пиритовой и сфалерит-блеклорудной, 16 — арсенопирит-пиритовой, сфалерит-блеклорудной и серебро-сульфоантимонитовой (буланжерит-антимонитовой — Даугызтауское месторождение, диафорит-миаргиритовой — Высоковольтное месторождение); 17 — зоны развития позднерудной ртутно-золото-теллуридной минерализации; 18 — подэкранная позиция карбонатно-киноварной минерализации на флангах рудного района (рудопроявление Джалгызтау); 19 — направление тепловых потоков, связанных со скрытым гранитным батолитом (а) и гранитным штоком (б); 20 — направление движения инфильтрационных трещинных гидротермальных потоков; 21 — направления диффузионно-инфильтрационного движения поровых растворов

торы подчеркивают, что «в настоящее время представляется очевидной возможность совмещения концепций эндогенной и экзогенно-биогенной природы углеродистого вещества в черносланцевых толщах, а также осадочного и флюидно-гидротермального генезиса золотых, урановых и многих других рудных месторождений». При этом ведущая роль при формировании металлоносных углеродисто-терригенных формаций отдается живому веществу гидросферы, а именно планктоногенной био-

массе океана, объем которой изменяется в зависимости от циклов активизации рифтогенеза и дегазации мантии.

Сближение осадочно-эпигенетической и гидротермально-плутоногенной точек зрения на генезис черносланцевых месторождений отмечалось нами при рассмотрении регенерированных месторождений кызылкумского типа [2].

Регенерационные процессы, сопровождающиеся растворением и переотложением рудного веще-

ства, широко проявлены на всех золоторудных полях черносланцевого типа и связаны с трансформациями первичных осадочных или вулканогенно-осадочных золотосодержащих сульфидных минеральных комплексов в ходе многоэтапных дислокационных и гидротермально-метасоматических процессов динамотермального метаморфизма и интрузивного магматизма. Эти процессы широко известны и оцениваются многими исследователями как факторы многоступенчатого концентрирования рудного вещества.

Длительность многоэтапной трансформации руд золота в пределах рудоносных терригенных комплексов соответствует времени формирования складчатого пояса, которое может варьировать от десятков до нескольких сотен миллионов лет. В целом многоэтапная складчатость, динамотермальный метаморфизм, магматическая активизация и сопряженные с ними гидротермально-метасоматические процессы, сопровождающиеся изменениями физико-химического состояния рудоносной формации, приводят к последовательному переорождению сингенетических золотосодержащих минеральных ассоциаций и образованию золото-сульфидных, золото-полисульфидно-кварцевых, золото-кварцевых, золото-серебро-сульфосольно-кварцевых и золото-сурьмяно-ртутных руд. Их пространственное совмещение в длительно развивавшихся рудолокализирующих структурах, в объеме рудоносной формации, могло приводить к формированию крупнообъемного оруденения с различными типами зональных соотношений разновозрастных минеральных комплексов и геохимических ореолов. Причем крупнообъемные рудные тела, представляющие собой дислоцированные горизонты с переотложенной прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализацией, в так называемых амагматических рудных полях по латерали могут сменяться золото-сульфидно-кварцевыми штокверковыми телами, локализованными на том же стратиграфическом уровне, но в обстановке проявления магматической активности на уровне рудолокализации. Примером этому служит уникальная по своим металлогеническим характеристикам Центрально-Кызылкумская золотосодержащая провинция, изучением золоторудных объектов которой занимались многие научно-исследовательские группы ЦНИГРИ. Автор в 1971–1992 гг. проводил литолого-структурный и минералого-геохимический анализ золоторудных объектов Амантай-Даугызтауского и Мурунтауского рудных районов.

Ранее на примере Даугызтауского и Мурунтауского месторождений [2] нами рассмотрены различия регенерационных гидротермальных систем при

формировании крупнообъемных рудных тел (залежей, штокверков), проявленных в пределах одного рудоносного литолого-стратиграфического уровня — бесапанской свите, сложенной кембро-ордовикскими флишоидными углеродисто-терригенными отложениями. Выделены даугызтауский (рис. 1) в глубоких (3–5 км) провисах кровли скрытых гранитоидных плутонов и мурунтауский (рис. 2) над скрытыми апикальными выступами гранитоидов, сопровождающихся поясами внутриминерализационных даек пестрого состава (диоритов, плагио-гранит-порфилов, граносиенитов, сферолит-порфилов и др.), типы золотой минерализации.

По данным изучения газово-жидких включений при сходном температурном диапазоне (500–200°C) регенерационных процессов в первом случае (над провисами кровли скрытых плутонов) отмечаются признаки окисления и гетерогенизации восстановленных флюидов при температурах ниже 400°C после отложения ранних золотосодержащих сульфидов (арсенопирит-пиритовая ассоциация); процессы гетерогенизации (вскипания) и выделения CO₂ выражены неярко и сопровождаются отложением прожилков с позднерудными ассоциациями — золото-сфалерит-блеклорудной и золото-серебро-сульфоантимонитовой. Избыточное флюидное давление в рудообразующей системе Даугызтауского рудного поля по данным анализа углекислотно-водных газово-жидких включений ранних генераций (начало гетерогенизации) составляет ~500 бар, в центре месторождения — 1600, на флангах — 1100 бар.

Для минерализации мурунтауского типа гетерогенизация флюидов, окисление и активное выделение CO₂ отмечаются при $T > 450^\circ\text{C}$. Это приводило к образованию прожилково-жильного золото-шеелит-арсенопирит-кварцевого минерального комплекса. Дальнейшее активное вскипание растворов и выделение CO₂ определяет отложение позднерудного жильного золото-полисульфидно-кварцевого минерального комплекса. Избыточное флюидное давление в Мурунтауской рудообразующей гидротермальной системе по данным изучения газово-жидких включений составляет ~600 бар, 1400 бар в центре и 800 бар на флангах (участок Восточный Бесапан). Абсолютные значения давлений в Мурунтауской системе заметно ниже, чем в Даугызтауской. Это объясняется большей открытостью (разгерметизацией) системы, что обуславливает раннее вскипание и окисление флюидов.

Многоэтапные деформационные процессы [13] формируют сложнопостроенный мегаштокверк, включающий крупнообъемные рудные тела (шток-

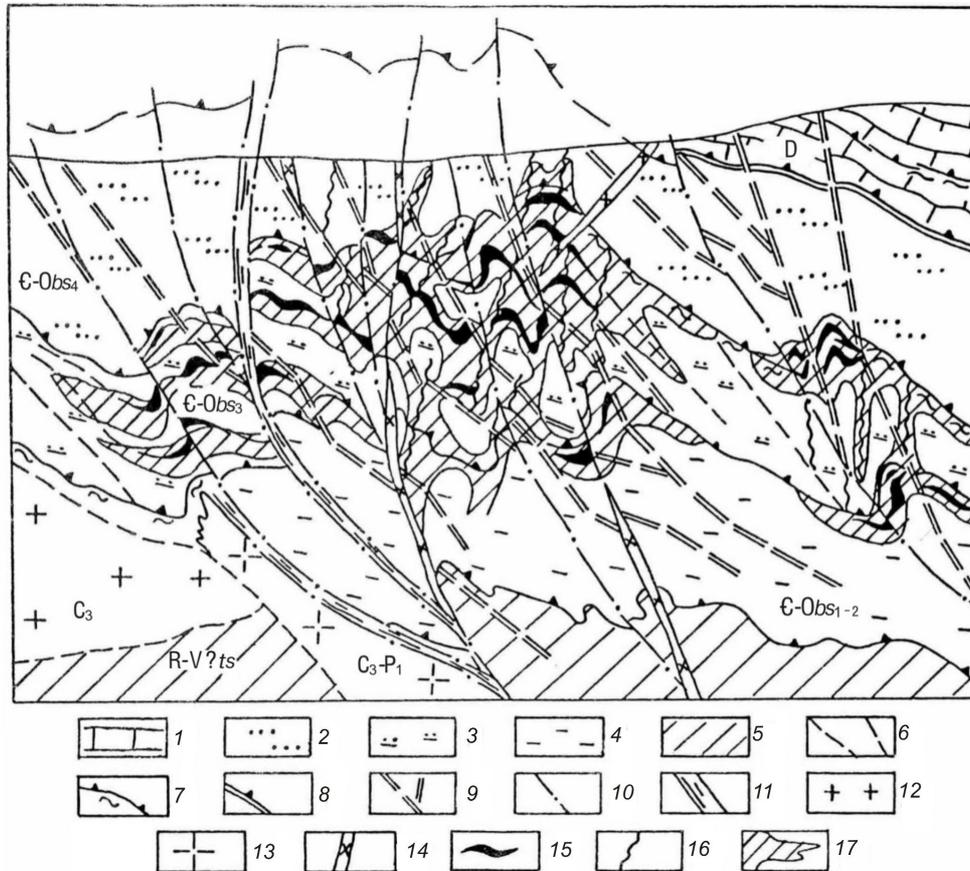


Рис. 2. Обстановка локализации Мурунтауского золото-кварцевого мегаштокверка:

1 — надрудные известняки и доломиты; 2 — флишеидная алевролит-песчаниковая толща верхней подсвиты беспанской свиты; 3 — фациально неоднородная сульфидоносная толща углистых и кремнистых сланцев, алевролитов и песчаников подсвиты «пестрый беспан»; 4 — алевролит-песчаниково-сланцевая толща нижней части разреза беспанской свиты; 5 — вулканогенно-кремнисто-терригенный подрудный комплекс, тасказганская свита; 6 — ориентировка сланцеватости пород, связанная с ранним этапом дислокаций; 7 — субслойные внутриформационные зоны надвигов; 8 — надвиговая зона в основании девонского карбонатного яруса; 9 — ранние взбросо-сдвиги, сопряженные с этапом формирования флогопит-полевошпат-кварцевых метасоматитов; 10 — крутопадающие сбросо-сдвиги, сопряженные с внедрением даек и формированием внутрирудных альбит-кварцевых метасоматитов; 11 — зоны углеродистых милонитов и катаклазитов; 12 — орогенные интрузии гранит-гранодиоритовой формации; 13 — интрузии лейкогранитов; 14 — дайки сиенит-диоритовых порфиритов; 15 — золотоносные субогласные кварцевые жилы (с шеелитом и ранним арсенопиритом) первого этапа, сопряженные с флогопит-полевошпат-кварцевыми метасоматитами; 16 — крутопадающие золотоносные кварцевые и арсенопирит-кварцевые жилы второго этапа, сопряженные с альбит-кварцевыми метасоматитами; 17 — схематический контур золото-кварцевого мегаштокверка

верки) 1, 2, 3, 4 (Мютенбайская группа залежей). Установлены следующие этапы:

формирование надвиговых зон с синкинематическими кварцевыми жилами;

образование правосторонних взбросо-сдвигов с золото-шеелит-кварцевыми прожилково-жильными системами в ореолах зональных флогопит-полевошпат-кварцевых метасоматитов;

внедрение даек и проявление левосторонних сбросо-сдвигов с золото-арсенопирит-полисульфидно-кварцевыми и кварц-турмалиновыми жильно-прожилковыми системами в ореолах серицит-альбит-кварцевых метасоматитов;

развитие крутопадающих зон углеродистых катаклазитов и брекчий с серебро-сульфоантимонитовой минерализацией (в зоне Южного разлома).

К юго-востоку от Мурунтауского мегаштокверка, по латерали беспанского рудоносного литолого-стратиграфического уровня, в ореолах мало контрастных флогопит-полевошпат-кварцевых метасоматитов локализованы залежи прожилково-вкрапленных руд рудопроявления Триада. Сингенетичная сульфидная минерализация в пределах Мурунтауского рудного поля отличается высокой степенью перекристаллизации с образованием субслойной пирит-пирротиновой или пирротиновой

вкрапленности с ориентировкой уплощенных кристаллов и сростков по сланцеватости пород. Реликтовые фрамбоидальные и глобулярные формы сульфидов не характерны. На флангах рудного поля (месторождение Восточный Бесаян, шахтный горизонт) в составе рудных тел нами были установлены пирротин-кремнистые линзовидные прослои, представляющие собой сильно преобразованные первичные сульфидно-силицистые осадки в составе терригенных отложений.

С даугызтауским типом регенерационных процессов связано формирование крутопадающих залежей прожилково-вкрапленных арсенопирит-пиритовых руд в зонах углеродистых катаклазитов, рассекающих горизонты углеродистых алевролитов и песчаников с сингенетичной пиритовой вкрапленностью. Сингенетичные сульфиды, в том числе фрамбоидальные, глобулярные и микроконкреционные образования, отличаются хорошей сохранностью. Установлены различные стадии их перекристаллизации и реакционного замещения новообразованным мышьяковистым золотоносным пиритом. Отложение арсенопирит-пиритовой ассоциации сопряжено с неконтрастными кварц-серпичит-анкеритовыми (березитоидными) метасоматическими изменениями, сопровождающимися привнесением K , S и CO_2 . Новообразованному пириту свойственны пентагондодекаэдрические и более сложные комбинационные габитусные формы и тонкое зональное строение, выявляющееся при протравливании. Зональность кристаллов связана с неоднородностью распределения изоморфной примеси мышьяка, концентрации которого (по данным микрорентгеноспектральных определений) в различных зонах роста меняются в основном в пределах 1-6%. Золотоносность пирита варьирует в диапазоне первых десятков грамм на 1 т, в среднем ~40 г/т. Реликтовые сингенетичные сульфиды Даугызтауского месторождения низкомышьяковистые, их золотоносность не превышает 1-2 г/т.

Изложенные факты могли бы свидетельствовать в пользу концепции постгранитного гидротермально-метасоматического генезиса золотого оруденения Центрально-Кызылкумской провинции. При этом роль углеродисто-терригенных отложений бесаянской свиты могла быть сведена к литолого-стратиграфическому контролю оруденения, т.е. к реализации регионального физико-химического барьера, регулирующего окислительно-восстановительные реакции в области рудоотложения. Однако с учетом данных по другим рудным полям Центрально-Кызылкумской провинции с объектами, локализованными в черносланцевых отложениях бесаянской свиты, а именно по Сарыбатыр-

скому и Амантайтаускому месторождениям, можно утверждать, что высокая золотоносность данного литолого-стратиграфического уровня определяется его первоначальной сингенетичной золотоносностью, связанной с биогенно-хемогенным и гидротермально-осадочным процессами.

Сарыбатырское месторождение (среднее по масштабам), расположенное в юго-западной периферии Амантай-Даугызтауского рудного района, локализовано в низах разреза бесаянской свиты с тонким флишоидным переслаиванием углеродисто-кремнистых сланцев, алевропелитов и песчаников. При картировании шахтного горизонта и буровых профилей нами установлено, что существенная часть выявленных золоторудных залежей представлена интенсивно дислоцированными и углефицированными алевропелитами, милонитизированная масса которых была насыщена (до 10% объема) деформированными пиритовыми конкрециями размером до нескольких сантиметров. Интенсивные деформации пород не сопровождались метасоматическими изменениями. Вместе с тем, в отдельных участках дислоцированного конкреционного горизонта отмечены крупные (до нескольких десятков сантиметров) линзовидно-гнездово-прожилковые обособления ангидрита (с интенсивным замещением гипсом по периферии агрегатов). По характеру деформаций и цементации агрегатами ангидрита пиритовых скоплений эти образования можно считать продуктами деформационной перекристаллизации углеродистых глинисто-ангидрит-сульфидных осадков. Подобные осадки для углеродисто-терригенных отложений бесаянской свиты не типичны (вероятно, вследствие их плохой сохранности); их можно считать признаком накопления золотоносных сульфидно-сульфатных рассолов в локальных впадинах «бесаянского» палеобассейна.

Амантайтауское месторождение расположено в северо-восточной части рудного района и локализовано в мощной зоне диагональных разломов северо-восточного простирания, прослеживающихся от месторождений Сарыбатырское и Даугызтауское на юго-западе до Мурунтауского в северо-восточной части Центрально-Кызылкумской субпровинции. Зона разломов отражает крупную конседиментационную структуру основания «бесаянского» палеобассейна и играет роль рудоконцентрирующей структуры с дискретным распределением вдоль нее рудных полей — Сарыбатырского, Высоковольтно-Даугызтауского, Амантайтауского и Мурунтауского.

В пределах Амантайтауского месторождения развиты нижние части разреза бесаянской свиты, представленные углеродистыми алевролитами,

вулканомиктовыми алевропесчаниками, углеродистыми пелитами. Установлены также маломощные горизонты и линзы осадочно-хемогенных карбонатных пород и апобазальтовых хлоритолитов, с которыми ассоциируют линзы массивных пирититов (серно-колчеданных руд). Появление в бесапанских углеродисто-терригенных отложениях (характеризующихся повышенной кремнистостью) карбонатных линз — достаточно редкое явление. Они были установлены нами на шахтном горизонте месторождения Мютенбай и в юго-западной части Мурунтауского карьера, а на северо-восточном фланге Даугызтауского месторождения откартированы крупные линзы известковистых песчаников.

В хлоритолитах Амантайтауского месторождения присутствуют реликты порфировых вкрапленников плагиоклаза и оливина. Горизонт хлоритовых сланцев, вмещающий линзы массивных сульфидов, содержит обильную (до 10%) вкрапленность фрамбоидального, глобулярного и хлопьевидного пирита. Мощность сульфидных линз колеблется от 10–20 см до первых метров, их длина по простиранию достигает 10–15 м. Линзы приурочены к одному литолого-стратиграфическому уровню и слагают крупное золоторудное тело (залежь 8). В разрезе углеродисто-терригенных пород горизонт с телами массивных сульфидов имеет мощность ~30 м. Массивные сульфиды катаклазированы, но сохранность глобулярно-метаколлоидных структур достаточно хорошая [1]. Наряду с массивными пирититами, на месторождении установлены рудные ритмиты с признаками перемыва и постдиагенетическими деформациями (рис. 3*). В составе массивных пиритовых агрегатов выявлена минеральная примесь арсенопирита, кобальтина и тонкого самородного золота. В единичных случаях развиты массивные сульфидные агрегаты бурнонит-халькопирит-пиритового состава, что подчеркивает генетическую близость этих образований с медно-колчеданной минерализацией.

Золотоносность массивных сульфидов (от 60 до 200 г/т) заметно выше, чем более поздних сульфидных новообразований, связанных с зонами

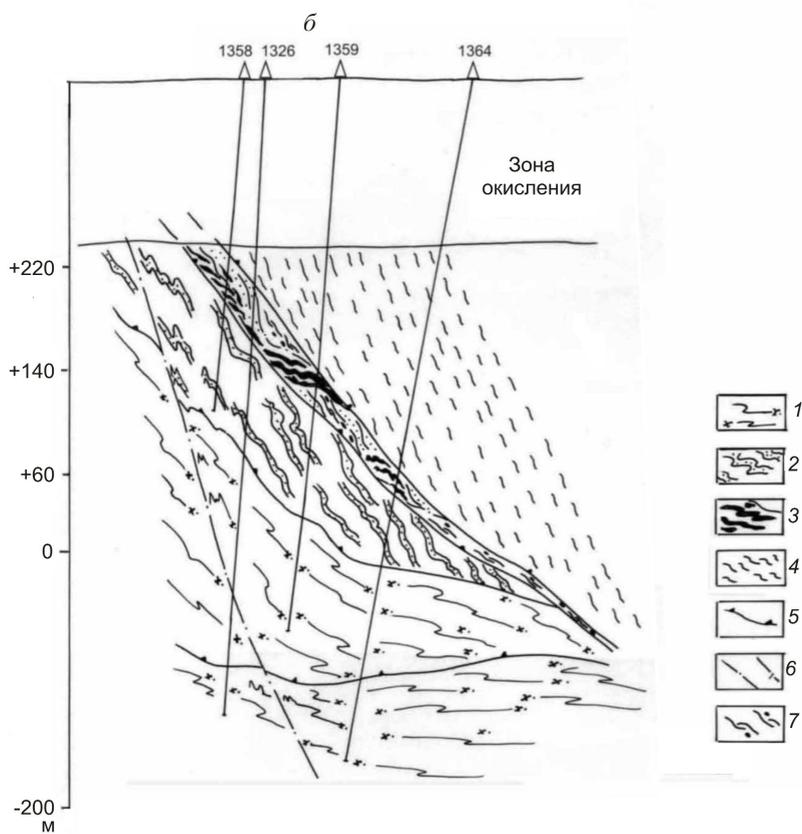
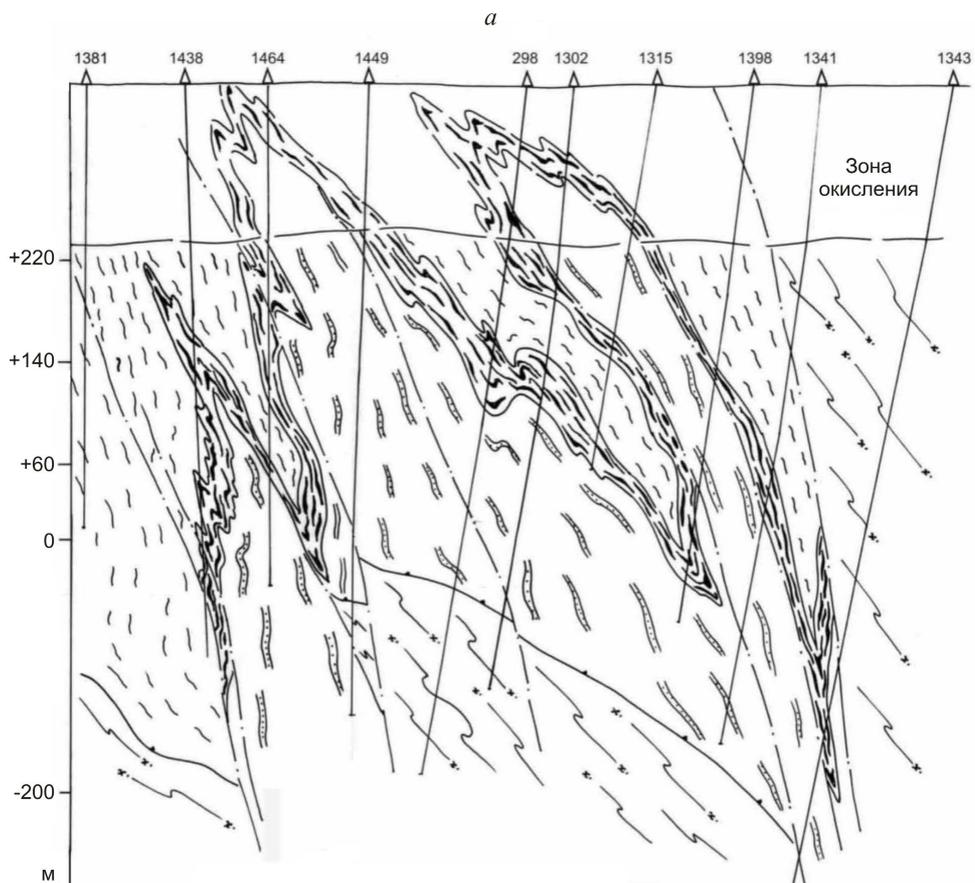
углеродистых милонитов и метасоматитами [1]. Микроскопические исследования показывают, что изометричные сферические, аллотриоморфные, интестициальные выделения золота размером от первых до 30 мкм содержатся в матрице глобулярно-метаколлоидных агрегатов пирита. Размер и морфология золотин меняются в зависимости от интенсивности перекристаллизации пиритовой матрицы, что коррелирует с изменением состава золота. По данным микрорентгеноспектрального анализа золото отличается весьма высокой пробой, но при этом обладает высокими содержаниями ртути. Максимальное содержание ртути в мелких, наименее перекристаллизованных золотилах составляет 6% и постепенно снижается до десятых долей процента по мере укрупнения золотин.

Определения изотопного состава сульфидной серы в образцах массивных пирититов (12 определений) показали, что значения $\delta^{34}\text{S}$ находятся в диапазоне от $-0,2\text{‰}$ до $+3,3\text{‰}$, что, наряду с геологическими данными, предполагает их экзгальциционно-осадочное образование. Условия образования и захоронения высокзолотоносных сульфидных осадков в углеродисто-терригенных отложениях иллюстрируют приведенные геологические разрезы северной части Амантайтауского месторождения (рудная залежь 8). Как видно из разреза (рис. 4), основание локальной рудоносной структуры имеет блоковое строение и сложено вулканомиктовыми метапесчаниками с серицит-хлоритовым цементом, рудоносные флишоидные терригенные отложения с горизонтом золотоносных массивных сульфидов интенсивно дислоцированы и по пологой зоне срыва перекрываются мощным горизонтом (до 80 м) углеродистых пелитов. Можно предполагать, что наличие троговых структур в основании рудоносного горизонта отражает положение флюидопроводящих зон, а срезание и перекрытие рудоносного горизонта углеродисто-глинистыми осадками связано с мощными мутьевыми потоками, запечатывающими локальную рудоносную впадину.

Рис. 4. Обстановка локализации рудоносных горизонтов с линзами золотоносных массивных пиритовых руд Амантайтауского месторождения (рудная залежь 8):

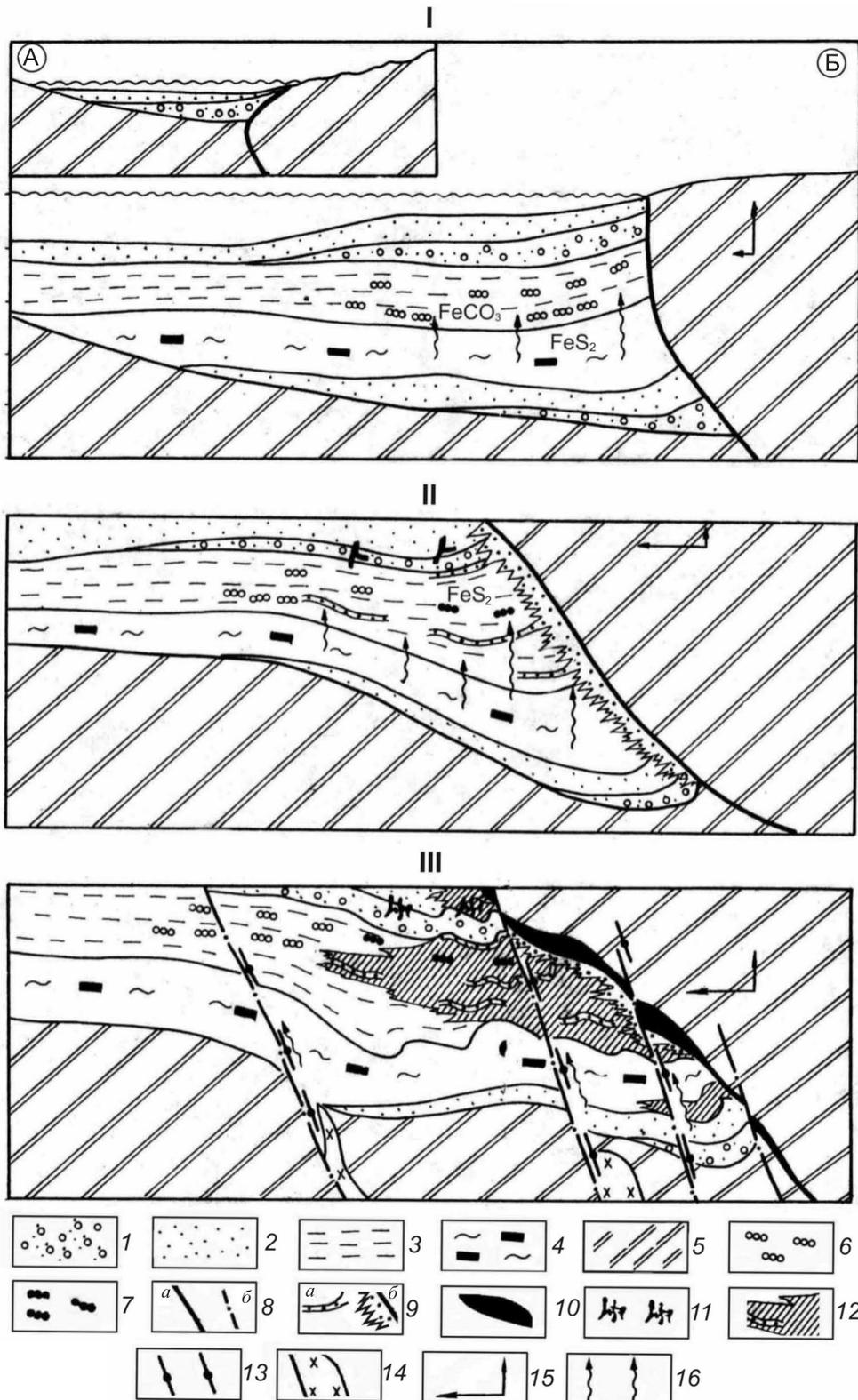
a — разведочная линия 134, *б* — разведочная линия 126; 1 — слюдисто-хлорит-кварцевые метапесчаники с кристаллизационной полосчатостью; 2 — пачка переслаиваний углеродистых алевролитов и песчаников; 3 — горизонт пиритосодержащих углеродистых алевролитов с линзами золотоносных массивных пирититов, апобазальтовых хлоритов и карбонатных пород; 4 — однородная пачка малосульфидных углеродистых сланцев; 5 — пологие зоны расслаивания; 6 — крутопадающие разломы; 7 — углеродистые милониты

* Цветные рисунки к данной и другим статьям см. на вкладке.



Подобные примеры относительно хорошей сохранности первичных биогенно-хемогенных и эксгалационно-осадочных высокозолотоносных от-

ложений достаточно редки. Из нашей практики сходные образования отмечались при изучении руд Кумторского, Бакырчикского, Каменского место-



рождений и золоторудных проявлений Айдырлинско-Синешиханского рудного района. Это подтверждает наше предположение о том, что основную роль при формировании крупнообъемных месторождений золота черносланцевого типа играют не столько повышенные фоновые концентрации золота в терригенных отложениях (ремобилизующиеся в зонах дислокаций и метасоматоза), сколько первичные изначально высокзолотоносные осадочные тела, связанные с биогенными и подводными гидротермальными процессами.

На Кумторском месторождении, руды которого изучались нами по сериям штучных образцов, отобранных их четырех технологических проб (КТ-8, 12, 15, 17), характеризующих его различные части, в составе рудных зон обнаружены признаки гидротермально-осадочного рудообразования. Технологическое опробование сопровождалось фотодокументацией. Здесь, наряду с золото-шешелит-кварцевыми рудами, сопряженными с ореолами гумбейтизации, отмечались будинированные линзовидные тела углеродисто-известковистых пелитов с тонкими (несколько миллиметров) рудными ритмами [1]. Нижние части ритмов представлены сростками кристаллов пирита. В центральных частях кристаллов по зонам роста в них сосредоточены обильные микровключения (5–10 мкм) золота, халькопирита, гематита, сфалерита, барита, кобальтина. Верхние части ритмов сложены сростками пирита с крупными выделениями халькопирита, гематита и самородного золота. В сульфидных концентратах, отобранных из пиритовых ритмов, среднее содержание Au 40–60 г/т.

Биогенно-хемогенные и эксгальционно-осадочные золотоносные образования в виде тонкослоистых вкрапленных арсенопирит-пиритовых руд и горизонтов с сидерит-пиритовыми конкрециями, содержащими фрагменты грубого растительного детрита, отмечались нами при картировании карьеров Бакырчикского месторождения. Генетические вопросы формирования руд бакырчикского типа в ка-

менноугольных рифтогенных грабенах рассматривались ранее [7, 8].

На приведенной схеме (рис. 5) показаны последовательное погружение основания грабена и перекрытие рудоносных отложений надвигающимся с севера тектоническим блоком. Регенерационные процессы завершаются формированием богатых золото-полисульфидно-кварцевых рудных тел с включениями обломков диоритовых даек. Температурный режим формирования жил по газово-жидким включениям (определения В.А.Ехиванова, Львовский ГУ) соответствует 450–150°C. Обогащение флюидов углекислотой и явления гетерогенизации отмечаются при температурах ниже 360°C. Давление в рудообразующей флюидной системе, определенное по углекислотно-водным включениям, в пределах Кызыловского грабена варьирует от 900 до 1500 бар, т.е. параметры и избыточное флюидное давление сопоставимы с параметрами Даугызтауской системы, что может быть вызвано достаточно глубоким погружением и полным перекрытием рудоносных отложений аллохтонным тектоническим блоком с севера. Высокое избыточное флюидное давление под экраном надвига приводит к формированию своеобразных углеродисто-глинистых тектонических клиньев, прорывающих поверхность надвига и внедряющихся в над-рудные грубослоистые песчаники на расстояние до 20 м. С повышенным флюидным давлением связано и широкое распространение здесь прожилково-гнездовых и просечковых обособлений «миграционных» шунгитов.

Наименее трансформированы первичные эксгальционно-осадочные золотоносные образования черносланцевого типа в Кировско-Кваркенском рудном районе [3, 10]. Рудоносные отложения выполняют раннекаменноугольный рифтогенный грабен, локализованный в западном борту Восточно-Уральского поднятия. Выявлен рудоносный литолого-стратиграфический уровень, представленный оползневыми углеродистыми гравитационно-микститовыми и

Рис. 5. Обстановка формирования прожилково-вкрапленных золото-сульфидных руд Бакырчикского месторождения:

этапы: I — первичного накопления рудного вещества (А — обстановка седиментации, Б — завершение седиментации и диагенез осадков), II — эллизионно-катагенетического преобразования осадков, III — регенерационных гидротермальных процессов); 1 — конгломераты; 2 — углеродистые полимиктовые песчаники; 3 — углеродистые алевропелиты; 4 — пиритсодержащие углеродистые алевропелиты с шунгит-антракосолитовыми прослоями; 5 — флюидный терригенный комплекс основания (серпуховские отложения); 6 — сидеритовые прослои и конкреции; 7 — участки пиритового замещения сидеритовых конкреций; 8 — разломы (а — зона Кызыловского надвига, б — крутопадающие разломы); 9 — золотосодержащая пиритовая вкрапленность (а — послойная, б — подэкранная залежи); 10 — залежи жильно-прожилковых золото-сульфидно-кварцевых руд в зоне надвига; 11 — скопления «миграционного» шунгита; 12 — залежи прожилково-вкрапленных арсенопирит-пиритовых руд; 13 — секущие золото-кварцевые жилы и прожилки; 14 — диоритовые дайки; 15 — направление движения мобильного блока; 16 — инфильтрация рудообразующих растворов на эллизионно-катагенетическом и последайковом этапах

отложениями лавинных зерновых и мутьевых потоков. Они подстилаются нижнетурнейскими туфотефроидами и вулканитами контрастной базальтриодацитово-формации повышенной щелочности. Наиболее детально изучена залежь Каменского месторождения, расположенная в 1,5 км к северу от залежи Кировского месторождения. Обе залежи локализованы на близком стратиграфическом уровне. К югу от Кировского месторождения находятся залежи Южно-Кировского и Белозерского рудопроявлений. В совокупности они слагают единое рудное поле, приуроченное к локальной конседиментационной впадине в пределах северной части Кировско-Крыклинского грабена. Верхние уровни залежей (до глубины 80–100 м) представлены золотоносной корой выветривания. Содержания Au варьируют в диапазоне 0,1–10 г/т, среднее содержание 3,08 г/т. Протяженность основной залежи достигает 1 км, а интервал с максимальными мощностями составляет около 500 м. Мощности залежей колеблются от 10 до 60 м.

Первичные руды — вкрапленные и прожилково-вкрапленные арсенопирит-пиритовые с послойным распределением рудных минералов. Участками проявлены страгоидные аргиллизитовые и джаспероидные изменения. Уровень золотоносности с интенсивностью метасоматических изменений не коррелирует; высокая золотоносность характерна для мощных песчаных горизонтов с арсенопирит-пиритовой вкрапленностью. Однако степень сульфидности, варьирующая от 3 до 10%, не является определяющей для уровня золотоносности. На объектах Кировско-Кваркенского района проявлена ярко выраженная слоистая неоднородность как в уровне сульфидности, так и в распределении золота. В рудных интервалах скважин содержания Au меняются от первых до 10 г/т и более, в однородных по составу штуфных пробах — от 5 до 30 г/т и более. В арсенопирит-пиритовых концентратах содержания Au от 10 г до 100 г/т, иногда достигают 400 г/т и более. Минералогические исследования показали, что золото представлено обильными ультратонкими микровключениями (от 0,5 до 15 мкм) в кристаллах арсенопирита и пирита, а также в цементе алевропитов, иногда без видимой связи с сульфидами. Кристаллы пирита и арсенопирита, несмотря на отчетливый идиоморфизм, характеризуются пористым ситовидно-ячеистым внутренним строением, в котором просматривается реликтовая глобулярная структура. Достаточно часто в составе кристаллов пирита и арсенопирита отмечаются включения фрамбоидального пирита. Обычно он в виде колониальных скоплений сосредоточен в прослоях с остатками углефицированного растительного детрита. В ред-

ких случаях в ассоциации с биотурбированным растительным и ракушечным детритом фиксируются комочки тонкозернистых гематит-мельниквит-пиритовых скоплений, на которые нарастают кристаллы ситовидного пирита с микровключениями золота, что позволяет предполагать возможность присутствия (сохранности) первичных золотосодержащих железо-окисно-сульфидных илистых осадков.

Определения изотопного состава серы сульфидов в различных литологических разностях пород выявили резкую неоднородность слоевой и латеральной изменчивости значений $\delta^{34}\text{S}$ в диапазоне от -28 до +25‰, что говорит как о высокой биопродуктивности, так и о процессах активного взаимодействия углеродисто-сульфидных осадков с океанической водой. Особняком стоит группа высокозолотоносных пиритов, которые отличаются околонулевыми значениями $\delta^{34}\text{S}$ с вариацией в диапазоне от -2 до +4‰, что не противоречит представлению об их гидротермально-осадочном происхождении.

Области разгрузки палеогидротерм и формирование металлоносных известковисто-кремнисто-сульфидных коллоидных осадков, преобразующихся в процессе диагенеза в конкреционные горизонты, выявлены нами в южной части Айдырлинско-Синешиханского рудного района (Павловский участок). Конкреционные образования размером 5–40 см имеют сферическую или уплощенную лепешковидную форму (рис. 6*). Как правило, они обладают зональным строением; центральные части иногда сложены обломками выщелоченных и гематитизированных вулканических пород, внешние или центральные зоны обогащены сростками кристаллов копьевидного арсенопирита, реже пиритом. Количество сульфидов от объема конкреций составляет до 20%. Размеры кристаллов арсенопирита варьируют от нескольких миллиметров до 1,5–2 см. В более мелкозернистых агрегатах пирит-арсенопиритового состава отмечается примесь халькопирита, теннантита, вюртцита. Основная матрица сложена перекристаллизованным (бластез) агрегатом относительно крупных (0,5–2 мм) оолитов и сферолитов кварцевого, хлорит-кварцевого, хлоритового и карбонатного составов, которые сцементированы тонкозернистым серицит-карбонат-кварц-хлоритовым агрегатом с тонкой вкрапленностью арсенопирита, пирита, лейкоксена и гематита. Карбонатные оолиты содержат обильную пылевидную вкрапленность гематита.

Судя по минеральному составу, отложение металлоносных илов и формирование диагенетических рудных конкреций происходило на окислительном барьере в обстановке малоглубинного палеогидротермального поля. Последнее подтвержда-

ется перекрыванием рудоносного конкреционного горизонта углеродистыми песчано-глинистыми осадками, насыщенными грубообломочным растительным детритом. Конкреционные образования залегают на грубообломочных туфах и тефроидах. В этих отложениях И.В.Арсентьевой найдена ругоза (?), расположенная в тефре между хлорит-кремнисто-карбонатными конкрециями с вкрапленниками арсенипирита. Золотоносность данного горизонта невысока; он выделяется в геохимических ореолах с содержаниями Au 0,1 г/т; средняя золотоносность конкреционных образований по данным пробирного анализа составляет 1,2 г/т, а сульфидных зон в конкрециях по данным атомно-абсорбционного анализа — 9,4 г/т.

Изотопный состав серы арсенипирита, извлеченного из конкреций, отличается повышенными значениями $\delta^{34}\text{S}$ от +5,4 до +7,1‰, что может говорить об обменных реакциях поствулканических терм с океанической водой. Сульфидоносные горизонты в углеродистых пелитах, перекрывающих нижний рудно-конкреционный уровень, характеризуются вариацией $\delta^{34}\text{S}$ от -10,3 до +14,2‰ с преобладающими значениями $\delta^{34}\text{S}$ в диапазоне от -2 до +0,5 ‰, что является признаком проявления гидротермально-осадочных процессов и на более верхних уровнях рудоносного разреза.

Распространение подобных конкреционных горизонтов — прямой признак рудоносных литолого-стратиграфических уровней, что необходимо использовать при проведении поисковых работ на золото в черносланцевых провинциях.

При прогнозировании и анализе потенциальной золотоносности черносланцевых провинций следует учитывать, что формирование крупнообъемных месторождений данного типа возможно только при наличии высоких сингенетических (вулканогенно-осадочных и биогенно-хемогенных) концентраций золота в осадочных образованиях. При эпигенетических преобразованиях (дислокационном метаморфизме, гранитизации и сопряженных метасоматических изменениях) они трансформируются в рудные тела с новообразованными минеральными комплексами — золото-сульфидным, золото-сульфидно-кварцевым, золото-серебро-полисульфидным и др. При этом рудно-формационные и морфоструктурные характеристики рудных тел (залежей, жил, штоковерков) определяются параметрами рудорегенерирующих гидротермальных систем и особенностями геологического строения месторождений и рудопроявлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ариффулов Ч.Х.* «Черносланцевые» месторождения золота различных геологических обстановок // Руды и металлы. 2005. № 2. С. 9–19.
2. *Ариффулов Ч.Х., Романов В.И., Вишневская Н.А.* Регенерированные золоторудные месторождения «кызылкумского» типа // Руды и металлы. 1994. № 3–5. С. 46–56.
3. *Арсентьева И.В.* Геологическая обстановка формирования и признаки золотоносности нижнекаменноугольных черносланцевых отложений Восточного Оренбуржья // Разведка и охрана недр. 2009. № 12. С. 10–18.
4. *Бадалов С.Т.* Геохимические особенности поведения золота в разнообразных рудообразующих системах // Горный вестник Узбекистана. 2005. № 4 (23). С. 8–15.
5. *Буряк В.А.* Метаморфогенно-гидротермальный тип золотого оруденения // Геология рудных месторождений. 1975. Т. 17. № 2. С. 37–46.
6. *Ермолаев Н.П., Созинов Н.А.* Стратиформное рудообразование в черных сланцах. — М.: Наука, 1986.
7. *Золоторудные месторождения «черносланцевого» типа на Южном Урале и закономерности их размещения / Ч.Х.Ариффулов, Д.В.Плугин, В.Г.Черноярлов и др. // Отечественная геология. 2006. № 1. С. 13–22.*
8. *Курбанов Н.К., Ариффулов Ч.Х., Кучеревский П.Г.* Геолого-генетические модели золоторудных месторождений углеродисто-терригенных комплексов. Атлас. — М.: ЦНИГРИ, 1994.
9. *Механизмы концентрирования благородных металлов в терригенно-углеродистых отложениях / Н.П.Ермолаев, Н.А.Созинов, Р.П.Котина и др. — М.: Научный Мир, 1999.*
10. *Перспективы выявления промышленных золото-сульфидных руд в углеродисто-терригенных комплексах Восточно-Уральского поднятия / Ч.Х.Ариффулов, И.В.Арсентьева, А.В.Ожерельева и др. // Новые методы геологического изучения, добычи и переработки руд цветных и благородных металлов. Челябинск, 2006. С. 24–27.*
11. *Савельева О.Л.* Ритмичность осадконакопления и следы аноксических событий в меловых (альб-сеноманских) отложениях Восточной Камчатки: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — М., 2009.
12. *Сидоров А.А., Томсон И.Н.* Рудоносность черносланцевых толщ: сближение альтернативных концепций // Вестн. РАН. 2000. Т. 70. № 8. С. 719–724.
13. *Структурные критерии прогнозирования вкрапленно-прожилкового оруденения на рудных полях Средней Азии / Ч.Х.Ариффулов, Д.Г.Ажгирей, С.А.Светлов и др. // Тр. ЦНИГРИ. М., 1983. Вып. 173. С. 5–12.*
14. *Юдович Я.Э.* Черные сланцы в рудогенезе золота: ресурс или барьер? // Минеральное сырье Урала. Сыктывкар, 2009. № 6 (25). С. 3–11.

УДК 550.812.1:553.41/48

© Б.И.Беневольский, Л.Ф.Мызенкова, 2010

СОВРЕМЕННЫЕ МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ЦВЕТНЫЕ И БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Б.И.Беневольский, Л.Ф.Мызенкова (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Мировые расходы на геологоразведочные работы (ГРР) на цветные и благородные металлы в последнее десятилетие прошлого и в начале нового века характеризуются выраженной цикличностью. Цены на металлы являются ключевым фактором воздействия расходов на ГРР. По оценкам Metals Economics Group, в 2008 г. эти расходы достигли самого высокого уровня, превысив максимум прошлого цикла (1997 г.) в 2,5 раза. В связи с глобальной экономической рецессией по итогам 2009 г. ожидается снижение затрат на 40%.

Ключевые слова: мир, расходы на геологоразведку, цены, золото, цветные металлы.

Беневольский Борис Игоревич, Мызенкова Лариса Филипповна, kms@tsnigri.ru

MODERN WORLD TRENDS OF PROSPECTING FOR BASE AND PRECIOUS METALS

B.I.Benevolsky, L.F.Myzenkova

During the last decade of the 20th century and early in this century, worldwide costs of exploration for base and precious metals are characterized by distinct cycles. Metal prices have the greatest impact on exploration expenditures. Metals Economics Group (MEG) estimated that these expenditures recorded an all-time high (US\$13.2 billion) in 2008 which exceeded the previous cycle (1997) high 2.5 times.

Key words: world, exploration expenditures, prices, gold, base metals.

В научных работах ЦНИГРИ неоднократно анализировались тенденции развития мировой минерально-сырьевой базы благородных, цветных металлов и алмазов при разработке стратегии обеспечения ими отечественной экономики. Оценки ученых института по глобализации и сбалансированному развитию мирового минерально-сырьевого сектора нашли отражение в серии монографий — «Минерально-сырьевая база благородных и цветных металлов к 2025 г. Мир и Россия» (1998 г.), «Мировая минерально-сырьевая база благородных и цветных металлов 1970–2000–2025 гг.» (2003 г.), «Минерально-сырьевая база начала XXI века — мир и Россия» (2008 г.), а также в научных и публицистических статьях. В условиях глубокого мирового экономического кризиса анализ тенденций развития геологоразведочных работ особенно актуален.

В XX в. резко возросшие темпы индустриализации вызвали адекватный рост потребления промышленного минерального сырья. Эта тенденция продолжается и сейчас. С 1991 г. мировое потребление меди возросло в 1,7, никеля в 1,4, цинка в

2,1, свинца в 1,5 раза. В связи с этим необходимость увеличения рудничного производства определила создание обеспеченной запасами минерально-сырьевой базы (МСБ) для устойчивой работы горнодобывающего сектора экономики. Растущий спрос в условиях истощающейся МСБ привел к внедрению инновационных технологий разработки труднодоступных месторождений с относительно низкими содержаниями полезных компонентов на основе совершенствования способов добычи и технологий переработки руд, что делает рентабельной их отработку. Показательно, что в начале XIX в. среднее содержание Cu в добываемой руде было ~10%, тогда как в настоящее время оно <1% (в ведущих странах-производителях меди Чили и США в 2006 г. 0,85 и 0,33% соответственно). Содержание Au в запасах ЮАР за последние 30 лет снизилось в три раза — до 4 г/т [1–3].

Ускоренное воспроизводство запасов для обеспечения будущей добычи при возрастающем спросе потребовало от геологоразведки повышения эффективности работ, что определило рост расходов

на ГРП. Группа Metals Economics Group (MEG) проводит исследования затрат на ГРП на основе данных, представляемых компаниями-респондентами (около 2000 в 2008 г.), о бюджетах на геологоразведку цветных, благородных металлов, алмазов (на них приходится до >90% расходов) и других полезных ископаемых. Анализ бюджетов компаний, действующих в различных регионах мира, позволяет MEG с большой достоверностью оценивать общие мировые расходы на ГРП.

В последнее десятилетие прошлого и начале нового века развитие геологоразведочных работ на цветные и благородные металлы характеризуется ярко выраженной цикличностью. Мировые инвестиции в геологоразведочные работы на цветные и благородные металлы в 90-е годы устойчиво росли, достигнув максимального значения (5,2 млрд. дол) в 1997 г., увеличившись с начала десятилетия более чем в два раза. После пяти лет их спада в 2002 г. (1,9 млрд. дол) был отмечен 12-летний минимум. В новом цикле эти расходы достигли самого высокого уровня. Они составили 13,2 млрд. дол в 2008 г. и превысили максимум прошлого цикла (1997 г.) в 2,5 раза (рис. 1).

Конъюнктура рынка различных видов минерального сырья, соотношение спроса и предложения, динамика цен — определяющие факторы динамики расходов на ГРП. Беспрецедентный рост спроса на большинство сырьевых товаров в последние годы, поддерживаемый развитием экономики Китая и Индии, вызвал рост цен до наивысших уровней. Важный фактор повышения цен — увеличение производственных издержек, которые, в свою очередь, зависят от трудо- и энергозатрат, растущих цен на сопутствующие материалы, усложняющихся горно-геологических условий разработки месторождений.

Цикличность изменения расходов на ГРП обычно демонстрирует несколько запоздалую их реакцию на конъюнктуру рынка. Характер динамики расходов в последние 20 лет позволяет относить их к интегральным показателям состояния мировой экономики. Так, кризисы 1997 и 2008 гг. четко иллюстрирует рис. 1. Исходя из динамики расходов в ближайшие годы ожидается очередной их спад.

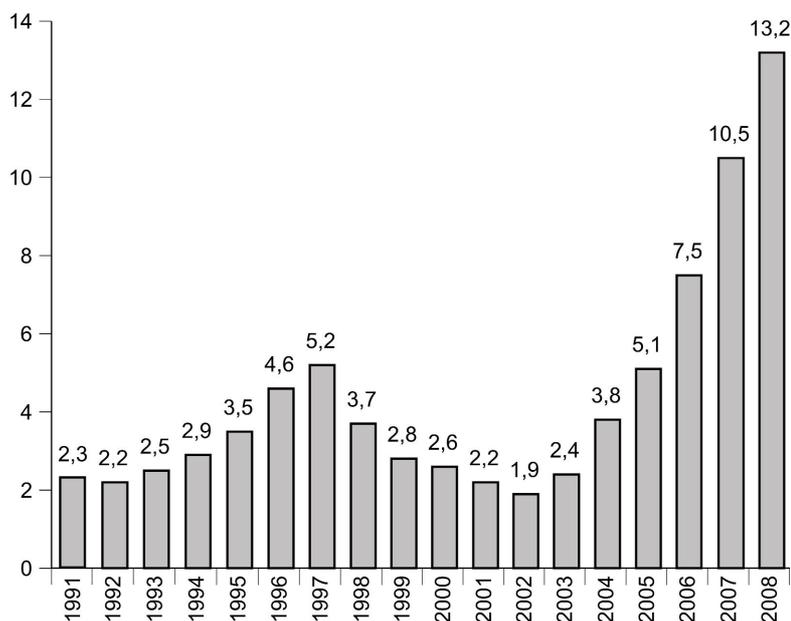


Рис. 1. Расходы на ГРП по твердым полезным ископаемым в мире в 1991–2008 гг., млрд. дол

Затраты на ГРП устойчиво возрастали в период 1991–1997 гг. Азиатский финансовый кризис, начавшийся в конце 1997 г., серьезно повлиял на экономику большинства регионов. Многие годы спрос этого развивающегося региона поддерживал цены на сырьевые товары, но к началу 1998 г. цены на цветные металлы достигали самых низких уровней за 10 лет. Цены на золото после роста в начале 90-х годов снизились в 2001 г. до минимального уровня 8,71 дол./г. Медь в 2001–2002 гг. стоила <1600 дол./т. Падение цен на металлы, осложнение кредитных возможностей для развития горного бизнеса в связи с кризисным состоянием фондовых рынков, снижение интереса и возможностей инвесторов привели к резкому уменьшению мировых расходов на ГРП — на 29% в 1998 г. и на 24% в 1999 г. Снижение продолжилось вплоть до 2003 г., хотя темпы его уменьшались [1–5, 9, 10].

В геологическом и экономическом планах пятилетний период 1998–2002 гг. характеризуется замедлением новых открытий, отсутствием разработок крупномасштабных проектов, ускорением процессов консолидации горной отрасли и сокращением бюджетов компаний.

Оживление экономики после кризисных явлений конца 90-х годов, рост цен с 2002 г. на золото и большинство сырьевых товаров обеспечили рост денежных потоков от производства. Например, при повышении в 2004 г. цен на медь на 10% мировое

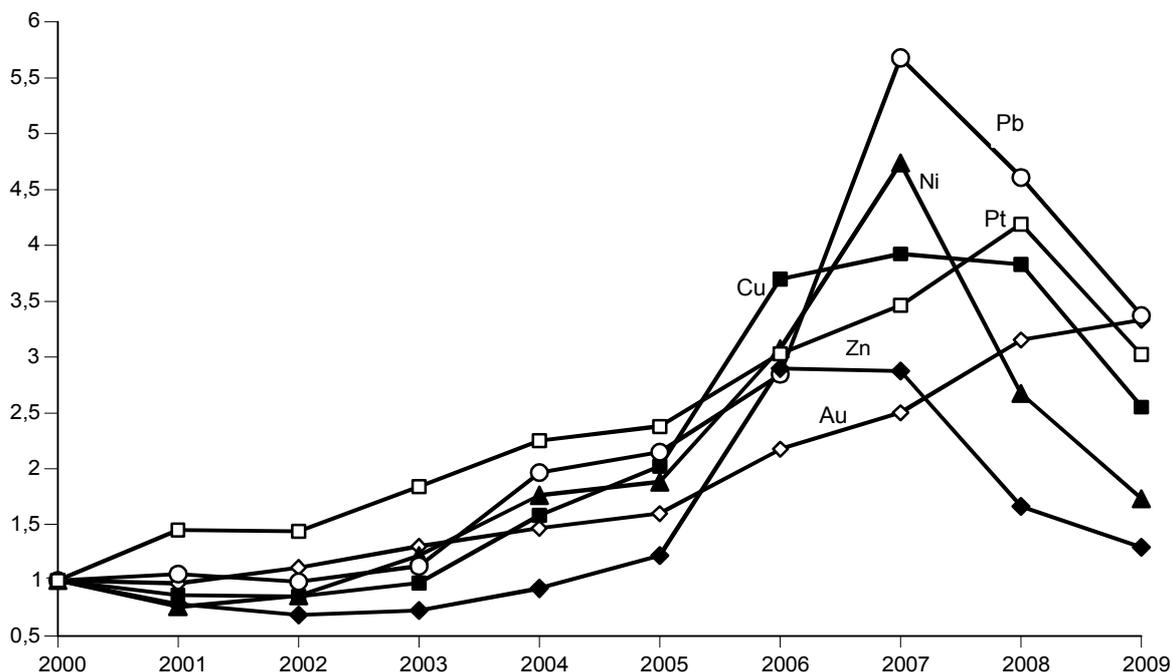


Рис. 2. Динамика мировых цен на цветные и благородные металлы в 2000–2009 гг., усл. ед.:

2009 г. — по данным за девять месяцев

производство этого металла возросло на 62% (в Перу на 25%, Чили на 10%). Высокие цены на металлы с 2005 г. отразились на увеличении инвестиций в геологоразведочные работы.

С 2002 г. формируется устойчивая тенденция роста мировых цен на все металлы. За пятилетний период среднегодовые цены возросли в 2007 г. в несколько раз (на медь в 4,5, никель в 5,5, цинк в 4,3, свинец в 5, благородные металлы в 2,8–3,5 раза) и достигали исторических максимумов — Ni 54 200, Pb 3980, Zn 3815 (в 2007 г.), Cu 8880 дол/т, Au 1011, Ag 20,5, Pt 2180 дол/унц. (в 2008 г.) (рис. 2).

В 2006–2007 гг. горная отрасль при продолжающемся буме расходов на ГРП существовала в условиях стесненности рынков минерального сырья, обусловленной предыдущими недостаточными объемами ГРП и подготовкой рудничных мощностей. В связи с этим в 2008 г. расходы компаний на разведку увеличились сразу на 26% по сравнению с предыдущим годом [8].

В геологоразведочных работах участвуют различные группы компаний. На рис. 3 представлено долевое участие компаний в суммарных расходах на ГРП в 1999–2008 гг. Ежегодный размер чистого дохода крупной компании от добычи металлов более 500 млн. дол. Она достаточно обеспечена финансовыми ресурсами для самостоятельной разработки крупного месторождения. Доход средней

компании не менее 50 млн. дол. Юниорная компания занимается исключительно геологоразведкой, имеет ограниченные, менее 50 млн. дол, доходы, финансирует геологоразведку за счет привлекаемых финансовых средств отдельных инвесторов, выпуска акций, а в последние годы за счет предоставления капитала крупными горными компаниями. Юниорные компании, как правило, ведут разведку минерального сырья, пользующегося спросом в настоящее время, могут быстро менять направления работ как относительно сырья, так и регионов, в связи с чем имеют преимущества в гибкости геологического производства и большей готовности к риску. Большинство работ ранней стадии в Северной Америке и Австралии давно выполняют юниорные компании. В 2005–2007 гг. только в Канаде работало более 600 таких компаний. В этом отношении правовое поле недропользования в России существенно отстает от ведущих горнодобывающих стран. Государственные компании зарубежных стран полностью контролируются администрацией и осуществляют свою деятельность в социально-экономических интересах страны в целом, региона или города [7, 8].

В различные периоды тренда расходов на ГРП активность групп компаний обуславливается главным образом доступностью финансирования и конъюнктурой мирового рынка. В периоды сниже-

ния расходов инвесторы вкладывают капитал в устойчивые крупные горнорудные компании с перспективными объектами для поисков и разведки. Инвестиции в ГРП имеют высокую степень риска, особенно на начальных стадиях работ. Процессы консолидации путем слияния и поглощения компаний, приобретения активов, прошедших стадию первоначальных оценок, предполагают возможность роста капитализации с меньшими рисками вложений в геологоразведочные работы.

В 1998–2002 гг. снижение мировых расходов на ГРП было связано со значительным, в два раза, сокращением бюджетов крупных компаний, уменьшением финансирования юниорных компаний (до 25% от общемировых в 2001 г.), меньшим числом открытий, задержкой крупномасштабных проектов и негативным воздействием консолидации компаний на мировые расходы на ГРП (см. рис. 3). По данным MEG [1, 5], консолидация крупных компаний отрицательно повлияла на бюджеты ГРП в 1997–2004 гг. В этот период отрасль покинули 55 крупных горных и геологоразведочных компаний, что фактически более чем на полмиллиарда долларов уменьшило мировые инвестиции на ГРП. Значительные доли бюджетов консолидируемых компаний исчезли после их приобретения, в то время как бюджеты покупателей остались на прежнем уровне или сократились, несмотря на расширение портфеля проектов ГРП.

В годы наименьших объемов ГРП стоимость приобретения активов крупных золотых и цветных компаний составила от 14 (2001 г.) до рекордных 42 млрд. дол (2005 г.), что значительно превысило объемы мировых ГРП в эти годы. Так, в 2001 г. *Barrick Gold Corp.* стала второй крупнейшей в мире золотодобывающей компанией после приобретения компании *Homestake Mining*. В 2002 г. компания *Newmont Mining Corp.*, купив австралийскую *Normandy Mining*, вышла на первое место среди мировых производителей золота. В 2004 г. *AngloGold Ltd.* поглотила *Ashanti Goldfields* и увеличила свои запасы золота на 500 т. К наибо-

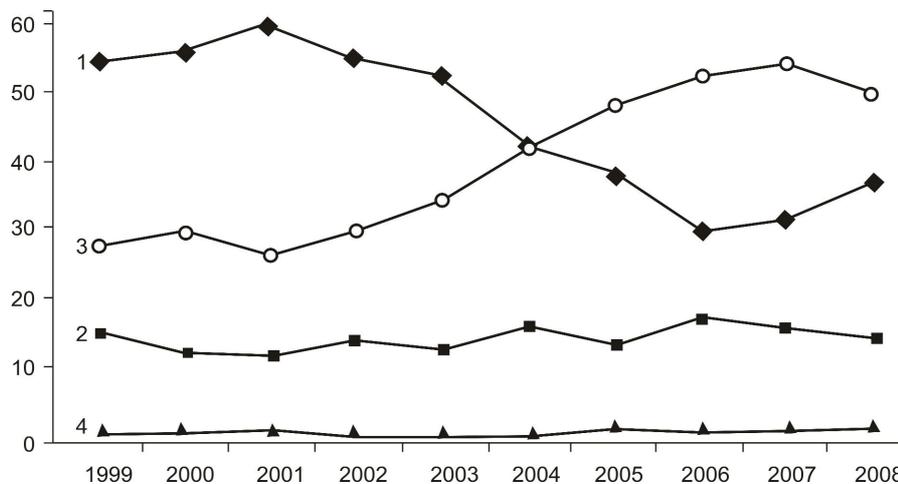


Рис. 3. Расходы на ГРП для различных типов компаний в 1999–2008 гг., % от суммарных расходов:

1 — крупные, 2 — средние, 3 — юниорные, 4 — государственные

лее крупным сделкам в 2005 г. относится приобретение *BHP Billiton* компании *WMC Resources*, консолидация *Noranda* и *Falconbridge*, приобретение компанией *Inco* консолидированной *Falconbridge*, компанией *Barrick* — одного из крупнейших производителей золота *Placer Dome*.

По мере развития процессов консолидации доступный фонд приобретений снижается, стоимостные оценки проявляют тенденцию к росту. Требования более крупных компаний к размерам приемлемых для поглощения проектов сокращают возможности приобретения, следствием чего является рост конкуренции на рынке сырьевых объектов.

Начиная с 2003 г. на увеличение мировых расходов на ГРП наиболее значительное воздействие оказал рост бюджетов юниорных компаний, что связано с подорожанием золота с конца 2001 г. из-за ослабления доллара и соответствующим ростом интереса инвесторов к золотым активам. В 2004 г. объем затрат юниорных компаний впервые превзошел суммарный бюджет крупных компаний. Этому способствовал также продолжающийся с 2002 г. подъем цен на сырьевые товары, обеспечивший возрастание денежных потоков от производства [5–8].

В 2006 г. бюджет «юниоров» впервые составил >50% общих мировых затрат на ГРП, превысив на 2 млрд. дол инвестиции крупных компаний, все еще испытывающих инерционный спад объемов ГРП (см. рис. 3). Таким образом, именно юниорный сектор стал движущей силой активизации ГРП в 2006–2007 гг.

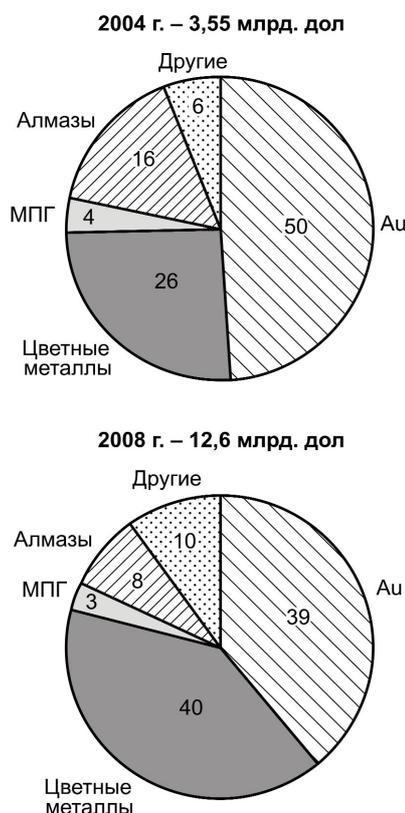


Рис. 4. Распределение суммарных расходов компаний на ГРП для различных металлов в 2004 г. и 2008 г., %

В 2008 г. после пяти лет быстрого роста расходов юниорных компаний (среднегодовой ~55%) они увеличились по сравнению с 2007 г. на 16% (до 6,1 млрд. дол.). Некоторое замедление динамики развития «юниоров» (<50% общих объемов ГРП) сопровождалось увеличением финансирования ГРП крупными компаниями (см. рис. 3) [5–8].

Обвал фондового рынка и падение цен на сырьевые товары в конце 2008 г. существенно снизили возможности доступа юниорных компаний к капиталу на ближайшее время, поскольку зависимость от заемного финансирования делает их достаточно уязвимыми.

В мировых расходах на ГРП в 90-е годы основную роль играло золото. Доля затрат на золотые проекты возросла с 18% в 1990 г. до максимальной 65% в 1997 г. и составила около 2,7 млрд. дол. В последующие годы доля затрат снизилась до 42,5% в 2001 г., 39% в 2008 г., исключение составил лишь 2004 г. — 50% (рис. 4) [1, 2].

Однако при сокращении доли мировых расходов на разведку золота их объем в денежном выражении постоянно превышал расходы на цветные металлы. За десятилетний период (1997–2007 гг.)

расходы на золото увеличились до 4,9 млрд. дол. При этом их доля в стоимости добытого в мире золота не превышает 7,6%. Рекордно возросшие мировые затраты на ГРП по золоту в 2006–2008 гг. сопоставимы с суммарными предшествующего десятилетнего периода (около 30 млрд. дол.). Причины такого скачка затрат — отсутствие новых открытий и проектов при снижении объемов добычи золота в 2004–2008 гг., а также проблемы действующих рудников, связанные со снижением качества руд, ростом производственных издержек в ряде стран Латинской Америки, ЮАР и др.

Долевое отношение всех затрат ГРП на цветные металлы в течение последних десяти лет сохраняло обратную зависимость к расходам на золото. Затраты на цветные металлы возросли с 30% в 1997 г. до 40% в 2008 г., что демонстрирует стабильность как в процентном, так и в абсолютном исчислении (0,6–5 млрд. дол. в 2003–2008 гг.). Среднегодовые цены на медь, никель и цинк в этот период также возросли до рекордного уровня в 2007 г.

К успехам в 2007–2008 гг. можно отнести открытие компаниями *BHP Billiton* в Чили крупного участка медно-порфирового месторождения (по предварительным оценкам, до 1000 млн. т) по проекту *Pampa Escondida* в пределах действующего рудника, *Anglo American* — крупной новой зоны по никелевому проекту *Barro Alto*. В рамках программ оценки ресурсов, реализованных несколькими компаниями, оконтурено месторождение *La Colosa* в Колумбии. Оценены ресурсы (22 млн. т *Cu*, 1773 т *Au*) по медно-порфировому проекту *Pebble* (США). Подтверждены суммарные ресурсы по проекту *Reko Diq* в Пакистане (1182 т *Au* и 21 млн. т *Cu*).

Более десяти лет затраты на медь составляли не менее 50% от суммарных расходов на цветные металлы, увеличиваясь в отдельные годы до 59%. В 2007 г. расходы геологоразведки на медь превысили 2 млрд. дол. и приблизились к 3 млрд. дол. в 2008 г. Расходы компаний на разведку меди, никеля, цинка в 2008 г. составили более 40% и впервые превысили долю расходов на золото.

Периоды стагнации и снижения цен на цветные и благородные металлы в конце 90-х – начале 2000-х годов привели к снижению активности геологоразведки и сокращению на нее расходов до минимальных значений (2002 г.). В 2003–2008 гг. произошел беспрецедентный рост объемов ГРП (до 13,2 млрд. дол.), что обусловлено стремительным повышением цен на мировом рынке и сокращением рисков для финансирования деятельности юниорных компаний.

После пикового роста цен на цветные металлы в 2007 г. до максимальных уровней, в 2008 г. сред-

негодные цены на благородные металлы (Au, Pt и Ag) продолжали подниматься (на 26, 21 и 14% соответственно). Цены на цветные металлы приобрели тенденцию снижения: на Cu — 2, Ni — 77, Zn — 73, Pb — 23%. Цены всегда служат ключевым фактором финансирования геологоразведочных работ, поскольку затраты, как правило, определяются по остаточному принципу, удовлетворяя, в первую очередь, производственные и прибыльные интересы компаний.

Современный кредитный кризис, обвал фондовых рынков, экономический хаос и резкое падение цен на цветные металлы, по-видимому, могут привести к снижению объемов ГРП. Судя по динамике прежнего цикла расходов на ГРП, спад может продолжаться в течение нескольких лет. Перспективы мирового спроса на цветные металлы в условиях рецессии неблагоприятны, как и цен. Исключение составляют благородные металлы как способ защиты (тезаврации) накоплений физическими лицами и банками.

Согласно последним оценкам MEG, в 2009 г. ожидается снижение мировых расходов на ГРП на 40% — до 8,4 млрд. дол. Существенный спад прогнозируется для всех видов минерального сырья, на всех стадиях работ и во всех регионах [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Crawson Ph.* The availability of minerals // MJ. 2008. Nov. 21. P. 17–19.
2. *Crawson Ph.* Exploration trends and patterns // MJ. 2008. Nov. 28. P. 17–19.
3. *Crawson Ph.* Sizing up the industry // MJ. 2008. Oct. 24. P. 18–20.
4. *Goulden J.* Worldwide exploration budgets continue to rise: a 2004 review // MJ. Special Publication. 2005. Febr. P. 12–14.
5. *Goulden J.* Worldwide exploration trends – 2005 // MJ. Special Report from MEG. 2006. Febr. P. 8–10.
6. *Goulden J.* World exploration trends // M. J. Special Publication. 2007. Febr. P. 2–5.
7. *Goulden J.* World exploration trends // Special Report from Metals Economics Group for the PDAC — International Convention. 2008. P. 1–5.
8. *Goulden J.* Exploration record // MJ. Special Publication — PDAC. 2009. Febr. P. 9–12.
9. *Mining Engineering.* 2000. May. Vol. 52. N 5. P. 41–48.
10. *Mining Engineering.* 2000. Dec. Vol. 52. N 12. P. 14.
11. *Mining Journal.* 2008. Dec. 19/26. P. 10.
12. *Mining Journal.* 2009. October 2. P. 9.

УДК 553.411:552.578.3 (571.1/.5)

© А.Л.Галямов, 2010

ЗОЛОТОНОСНЫЕ ОСАДОЧНЫЕ КОМПЛЕКСЫ СКЛАДЧАТОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ*

А.Л.Галямов (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Рассмотрена золотоносность терригенных комплексов обрамления Сибирской платформы в связи с их формированием в условиях континентальной окраины и последующей эволюцией геологической структуры, оценена роль региональных и локальных рудоконтролирующих факторов в размещении золоторудных месторождений, проанализированы общие вопросы их прогнозирования в этих толщах.

Ключевые слова: черносланцевые формации, континентальная окраина, рудоконтролирующие факторы, прогнозирование.

Галямов Андрей Львович, a-galyamov@yandex.ru

GOLD-BEARING SEDIMENTARY FORMATIONS OF SIBERIAN PLATFORM FOLDED MARGIN

A.L.Galyamov

The common features of gold mineralization in sedimentary rocks of Siberian Platform margin are considered in relation to their formation within continental margin and under superimposed evolution of geological structure. The role of regional and local ore control is shown and the forecasting problem of gold deposit in the black shale is touched as well.

Key words: black shale, continental margin, ore control, forecasting.

Крупнейшие золоторудные месторождения приурочены к терригенным черносланцевым толщам, сформированным в условиях континентальных окраин (Сухой Лог, Наталка — Россия, Мурунтау — Узбекистан, Карлин — США). Металлоносность черных сланцев выявлена в Европе, Южной Америке, на Южном Урале и Северном Кавказе в России. Золоторудные месторождения на обширных территориях, сложенных черносланцевыми толщами от нижнепротерозойского до мезозойского возраста, в складчатом обрамлении Сибирской платформы (Верхоянье, Восточные Саяны, Енисейский кряж, Байкальская горная область) на протяжении последних 100 лет являются крупнейшей составной частью минерально-сырьевой базы России. Изучение золотоносности докембрийских терригенных черносланцевых комплексов этих регионов и выявление новых потенциальных площадей — приоритетная задача геологических служб.

Установление общих черт и особенностей геодинамического развития седиментационных бассейнов и его отражение в формационном строении

рудовмещающих осадочных комплексов, их последующих преобразований в периоды тектономагматической активизации имеет важное значение при изучении закономерностей размещения золоторудных месторождений черносланцевого типа и прогнозе его новых объектов.

Енисейская золотоносная провинция расположена на сопряжении Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты в крупном ареале рифейских терригенных толщ и входит в складчатую систему байкалид Енисейского кряжа. В тектоническом плане последний рассматривается разными исследователями как краевой прогиб, перикратонное опускание, система эв- и миогеосинклинальных прогибов, терригенная эвгеосинклиналь. Существуют противоречивые мнения и по вопросам геодинамического развития территории кряжа в рифейский период [6, 12, 16, 17, 21].

Енисейский кряж, согласно построениям [17, 21], представляет собой фрагмент окраинного моря, который в нижнем — среднем рифее развивался в режиме пассивной континентальной окраины, а в среднем — позднем рифее — задугового бассейна.

* Кроме собственных данных, автором использованы материалы Г.В.Ручкина и В.Д.Конкина.

В основании рифейского бассейна располагался гетерогенный фундамент, образованный блоками архей-нижнепротерозойских, преимущественно гранитогнейсовых, образований и нижнепротерозойских толщ карбонатно-вулканогенно-терригенной и карбонатно-терригенной формаций, формировавшихся в рифтогенных условиях. Часть блоков в рифее играла роль палеоподнятий, некоторые вовлекались в дальнейшее прогибание с подновлением ограничивающих их конседиментационных разломов. На гетерогенном основании формировались рудовмещающие структурно-формационные комплексы средне- и позднерифейского бассейнов, представленные терригенно-вулканогенно-сланцевой (сухопитской) и вулканогенно-терригенно-карбонатной (тунгусикской) формационными сериями.

Восточная шельфовая зона ранне-среднерифейского (сухопитского) бассейна состоит из песчано-алевро-глинистых и карбонатных осадков суммарной мощностью 2,6–5,1 км, содержащих продукты локального базитового вулканизма, а вблизи платформы — подводных оползней. Нижние части разреза, сложенные высокоглиноземистыми сланцами, кварцитами с горизонтами конгломератов, мраморизованными карбонатными породами, достаточно однородны на площади сухопитского бассейна. В верхней части разреза развиты относительно мелководные пестроцветные известковистые сланцы и глинистые известняки со столбчатыми строматолитами, слагающими рифообразные биогермы, служащие верхним реперным горизонтом. Западнее широко развиты эффузивы пикритового и базальтового составов, которые накапливались в рифтогенной структуре краевой (приокеанической) части пассивной окраины. Завершается разрез сухопитской серии образованиями карбонатной пестроцветной формации, служащей нижним реперным горизонтом для позднерифейских формаций тунгусикской серии.

Позднерифейский (тунгусикский) осадочный бассейн включает вулканическую дугу, располагавшуюся в западной части провинции, глубоководную область растяжения с центром эмбрионального задугового спрединга, к востоку — подводное поднятие и мелководное амагматичное море вплоть до границы с Сибирским континентом. Распространение вулканогенных риолито-базальтовой и последовательной липарит-дацит-андезито-базальтовой, а также черносланцевых рифтогенной карбонатной, углеродисто-карбонатно-терригенной, углеродисто-терригенно-флишеидной, вулканогенно-терригенно-карбонатной формаций отражают условия значительной палеоструктурной диф-

ференциации тунгусикского задугового осадочного бассейна. При этом мощным сланцевым и флишеидным толщам палеопроегибов на поднятиях соответствуют мелководные терригенно-карбонатные осадки со строматолитами и онколитами. К этим же поднятиям тяготеют поля накопления вулканитов риолито-базальтовой и последовательной формаций натрового ряда.

Байкало-Патомская (Ленская) золотоносная провинция охватывает северную часть Байкальской складчатой области. Основные ее структурные элементы — Мамско-Бодайбинский и Патомский синклиории, Олоkitский синклинальный прогиб, Витимо-Патомо-Нечерский антиклинорий, образованный Чуйским, Нечерским и Тонодским выступами докембрийского основания. Границы провинции соответствуют контурам развития рудоносных рифей-вендских углеродистых формаций. На востоке, севере и западе — это граница Байкальской складчатой области со структурами чехла Сибирской платформы. Южная граница проводится по северному фасу выходов гранитоидных батолитов, трассирующих зону Муйского (Байкало-Муйского) глубинного разлома, прослеживающегося от северного окончания оз. Байкал до северного фланга архейско-протерозойской Муйской глыбы.

В рифее территория Ленской провинции представляла собой активную окраину Сибирского палеоконтинента восточно-азиатского типа [9, 16], где формировались терригенные и карбонатно-терригенные структурно-вещественные комплексы мелководного внешнего (Прибайкало-Патомского прогиба) и внутреннего (Мамско-Бодайбинского прогиба) шельфов палеоконтинента и разделяющая их Чуйско-Тонодско-Нечерская зона внутренних палеоподнятий, сопровождавшихся накоплением вулканитов основного, среднего и реже кислого составов, железистых кварцитов, песчано-алевролитно-глинистых осадков. Терригенные обломочные фации, слагающие склоны поднятий, к югу замещаются мощными (до 10 км) толщами флишевых карбонатно-терригенных и терригенных формаций внешнего шельфа, переходящими вблизи южной границы провинции в турбидитные фации. Последние могут служить индикаторами обстановок континентального склона и задугового Делюн-Уранского бассейна.

Интрузивно-вулканогенные комплексы, распространенные южнее провинции, относятся к реликтам предполагаемой рифейской энсиматической океанической коры. Образование этого комплекса, полосой протягивающиеся к северному окончанию оз. Байкал от Северо-Муйской и Южно-Муйской архей-протерозойских глыб, одними гео-

логами рассматриваются как рифтогенные [16], другими как островодужные [18].

Существенное значение в развитии провинции имеет система троговых прогибов (рифтов), проявленных в составе и структуре фаций основания рифейского разреза Бодайбинской части шельфа и континентального склона. Они представлены линейными палеопрогибами и палеоподнятиями Олоkitской зоны [3, 5, 19]. В пределах рифтов существовали благоприятные обстановки для углеродистого седиментогенеза и накопления сульфидной минерализации с первичной концентрацией благородных металлов [1, 11]. Именно эти обстановки — один из критериев локализации золоторудных месторождений в черносланцевых формациях.

В позднем венде — раннем палеозое толщи провинции испытали региональный метаморфизм и складчатость. Время регионального метаморфизма для пород Бодайбинского и Олоkitского прогибов по изотопным датировкам фиксируется в интервале 625–520 млн. лет [7]. Осадочные породы зонально метаморфизованы в условиях от зеленосланцевой до амфиболитовой фаций. В зонах высокотемпературных фаций формировались гранитоидные купола. При позднепалеозойской тектономагматической активизации рифей-вендские отложения были прорваны позднепалеозойскими гранитоидами.

Накопление золотоносных углеродистых терригенных и карбонатно-терригенных пород в Ленской провинции завершилось во второй половине венда — кембрия, когда активная континентальная окраина восточно-азиатского типа прекратила свое существование. В Северном Прибайкалье, в том числе и на территории Олоkitского прогиба, в межгорных прогибах накапливались мощные молассоидные терригенные и карбонатные толщи, а в Бодайбинском — платформенные терригенно-карбонатные и карбонатные осадки.

Восточно-Саянская провинция представляет собой сложнопостроенную структуру, протягивающуюся вдоль юго-западного фаса Сибирской платформы. Особенности геоструктурного плана территории определяются ее приуроченностью к зоне сочленения Тувино-Монгольского микроконтинента и южного фаса Сибирского кратона. Границы золоторудной провинции определяются в основном выходами рифейских терригенных комплексов. В современном структурном плане провинция расположена в своеобразном треугольнике между тремя определяющими блоками: на севере — зона главного Саянского разлома, отделяющая Восточные Саяны от Сибирского кратона, на юге — Северо-Монгольский (Орхон-Селенгинский) девонский вулка-

ноплутонический пояс, на западе — Бийхемский и Сангилено-Шутхулайский выступы древнего метаморфического основания.

Слагающие провинцию стратифицированные образования имеют черты сходства с терригенными комплексами Енисейского кряжа и Байкало-Патомской дуги, объединяющей Западно-Прибайкальский, Олоkitо-Делюн-Уранский и Мамско-Бодайбинский прогибы. Здесь находят свое структурно-вещественное выражение рифейские осадочные комплексы, отлагавшиеся в условиях активной (?) окраины континента.

Палеоподнятия, приуроченные к выступам древнего фундамента, трассирующимся вдоль Саянского шва, характеризовались относительно мелководным режимом осадконакопления (дербинская, дургомжинская, дугольминская, ортинская свиты). Вулканизм кислого и основного составов, в разных масштабах (алхадырская, алыджерская свиты) сопровождавший образование в позднем рифее рифтогенных прогибов, определял совместное накопление туфогенных и углеродистых терригенных толщ. При этом на шельфе и континентальном склоне накапливались флишидные углеродсодержащие карбонатно-глинистые толщи (окинская и дибинская серии, дабанжалгинская, мангатгольская свиты), обогащенные V, Au, U, Mo и другими элементами. Металлоносные сланцы, вероятно, служили одним из источников черносланцевого золота, впоследствии мобилизованного при метаморфических, магматических и других процессах.

В венд-кембрийский период сформировались комплексы островных дуг (сархойская серия, ильчирская и оспинская свиты) и связанные с ними офиолиты с Pt, Cr, Cu-Ni, Ti, формации задуговых бассейнов, комплексы среднепалеозойских вулканоплутонических ассоциаций и молассоидные образования позднепалеозойского и мезозойского этапов тектономагматической активизации. В кембрийское время в относительно спокойных тектонических условиях накапливались карбонатные, кремнисто-карбонатные и терригенные формации (боксонская серия), с которыми связаны месторождения и проявления бокситов, фосфоритов и железистых кварцитов, а также золотоносные коры выветривания. Последующие этапы тектономагматической активизации среднекембрийского — силурийского, девонского и пермь-триас-юрского времени ознаменовались интенсивным преимущественно гранитоидным магматизмом, сопровождающимся комплексом даек пестрого состава.

Обзор истории формирования рассматриваемых провинций показывает, что при всех разли-

циях их геологическое развитие происходило в целом по единой схеме: режим пассивной окраины в раннем протерозое – раннем рифее → рифтогенез, накопление мощных углеродистых толщ и формирование продольной полосы выступов (палеоподнятий) древнего основания, разделяющей ближний и дальний шельфы → переход в режим активной окраины в позднем рифее – венде с развитием островодужных комплексов и углеродистых формаций в задуговых бассейнах → последующие палеозойские и мезозойские коллизионные процессы с интенсивным гранитоидным магматизмом, воздыманием и формированием орогенных комплексов. С последним этапом связано формирование сложных складчатых построек линейного типа — синклиналиев и антиклиналий с увеличенными мощностями складчатых пакетов, а в области выступов древнего цоколя — брахиформных купольных структур с развитием в нижнепротерозойских и рифейских толщах разномаштабных складок течения, что обусловило мозаично-блоковое строение провинций.

По пространственному сочетанию обстановок размещения вертикально-латеральных рядов геологических (в том числе и рудовмещающих) формаций в современном структурно-тектоническом плане строения провинций выделяются следующие типовые структурно-формационные комплексы: I — сочетание цокольных комплексов архея – раннего протерозоя и обрамляющих их выходов рудовмещающих формаций, а также их остаточных покровов на цоколе и в провесах кровли в условиях интенсивного проявления гранитоидного магматизма; II — преобладание комплексов рифейских углеродсодержащих флишеидных туфогенно-карбонатно-сланцевых, углеродсодержащих карбонатно-песчано-сланцевых и вулканогенно-карбонатно-сланцевых комплексов с отдельными выступами метаморфического цоколя, сопровождаемых широким проявлением гранитоидного магматизма; III — существенное преобладание комплексов терригенных углеродсодержащих формаций, при редуцированном проявлении гранитоидного магматизма.

Ареалы обстановок с преобладанием структурно-формационного комплекса того или иного типа позволяют выделять крупные области, отвечающие рангу структурно-формационных зон. В соответствии с этим территория провинций разделяется на структурно-формационные зоны (рис. 1). Неоднородность их строения более высокого порядка отвечает более мелким площадям ранга структурно-формационных подзон.

Золотоносность провинций определяется закономерным размещением коренных проявлений зо-

лота различной рудно-формационной принадлежности, сопровождающихся россыпями, шлиховыми ореолами, геохимическими аномалиями золота и его спутников, в вертикально-латеральных частях разреза терригенных толщ (формаций) и пространственной приуроченностью к элементам наложенных складчатых построек и разрывных нарушений.

Золоторудные, золото-сурьмяные и сурьмяные месторождения Енисейского кряжа по классификации [23] относятся к экзогенно-эндогенному золото-углеродсодержащему формационному типу в терригенных комплексах мезогеосинклинальных складчатых систем и представлены золото-кварцевым (Советское, Эльдорадо), золото-(мышьяковисто)-сульфидным (Олимпиадинское, Ведугинское) и золото-сурьмяным (Удережское, Раздольненское) геолого-промышленными типами. В рудах некоторых месторождений в тех или иных количествах присутствует примесь вольфрама. Все месторождения располагаются в пограничной части восточной (шельфовой) зоны и краевого шельфового поднятия Сухопитского палеобассейна.

В Ленской провинции главными типами семейства золото-сульфидных месторождений, запасы руд которых обеспечивают современную добычу золота в обстановках черносланцевых и терригенных рудовмещающих (черносланцевых) комплексов, являются золото-сульфидно-кварцевые (Вернинское, Чертово Корято) и золото-сульфидные (Сухой Лог) рудные тела. Золоторудные тела месторождений этих рудных формаций подразделяются по преобладающему составу элементов-примесей на золото-мышьяковисто-сульфидные, золото-мышьяковисто-сурьмяные и золото-серебро-мышьяковистые.

Месторождения Восточно-Саянской провинции в нижнепротерозойских и рифейских терригенных комплексах относятся к золото-сульфидно-кварцевой формации. Основная группа золоторудных проявлений, связанных с терригенными комплексами, сконцентрирована в тектонических зонах, обрамляющих и секущих выступ древнего фундамента (Гарганская глыба), и в редуцированном рифейском чехле пассивной окраины. Общие факторы для всех проявлений — приуроченность к зонам нарушений и пространственно-временная связь с комплексом гранитоидов различного возраста (от кембрийского до пермского (?)) включительно).

В региональном разрезе докембрия золоторудная минерализация, наряду с имеющимися признаками золотоносности в Енисейской, Ленской и Восточно-Саянской провинциях, размещается на трех основных стратиграфических уровнях терригенно-черносланцевых комплексов: раннепротерозойском

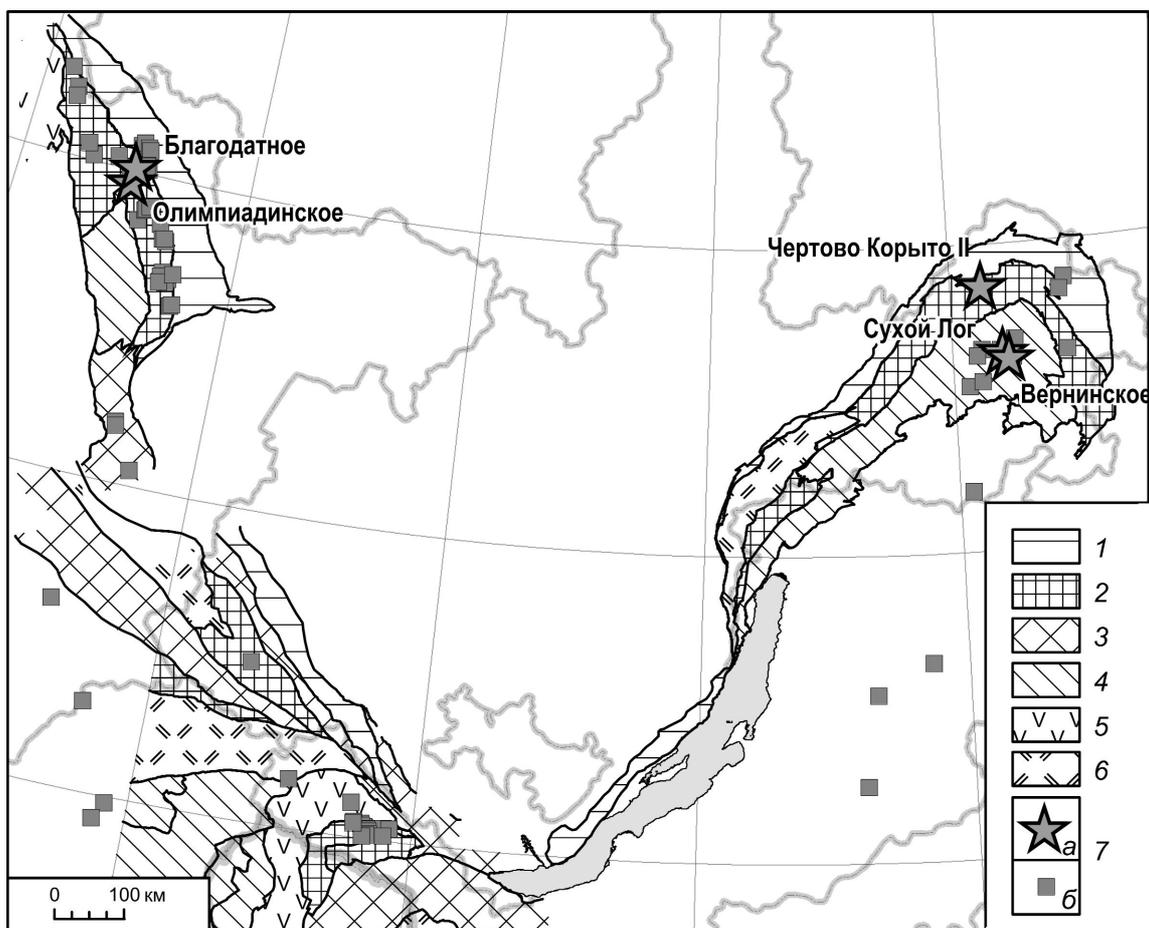


Рис. 1. Структурно-формационные зоны Енисейской, Восточно-Саянской и Байкало-Патомской (Ленской) провинций:

1 — ближнего шельфа (тип III), 2 — палеоподнятий и выступов древнего основания (типы I, II), 3 — выступов древнего основания шовных зон, 4 — дальнего шельфа (тип III), 5 — островных дуг, 6 — вулканоплутонических поясов; 7 — месторождения и проявления золота (а — крупные и средние, б — мелкие)

(Герфедское месторождение — Енисейский кряж, Чертово Корыто — Байкальская область, Аройское — Восточные Саяны), ранне- и среднерифейском (Олимпиадинское, Благодатное, Ведугинское, Титимухтинское, Советское, Эльдorado — Енисейский кряж, Зун-Холба — Восточные Саяны), верхнерифей-вендском (Сухой Лог, Вернинское, Невское — Байкальская область). Вертикальный размах между основными уровнями локализации рудных объектов различной формационной принадлежности может быть весьма существенным, от 2 км и более.

Для терригенных комплексов, отлагавшихся в условиях дальнего шельфа и его склонов, характерна тесная связь с дистальными вулканогенными формационными комплексами рифтогенных

впадин, а также с проявлением гранитоидного магматизма. Этими условиями также обусловлено первичное накопление рассеянной золоторудной минерализации на стадиях седиментогенеза и диагенеза осадочных толщ и ее более позднее преобразование, что объясняет современный «полиформационный» облик месторождений, в которых наряду с тонкорассеянными золото-сульфидными отмечаются жильные и жильно-прожилковые руды золото-сульфидно-кварцевого и золото-кварцевого типов. На Енисейском кряже золоторудные проявления этих типов встречаются только в отложениях сухопитской серии, тогда как в Байкальской области они известны в породах раннего протерозоя, всего рифейского, а также нижних частей вендского разреза.

В региональном плане структурный контроль размещения месторождений отчетливо проявлен в их приуроченности к зонам глубинных долгоживущих разломов, ареалам выступов пород комплекса гранитогнейсового основания и антиклинорным структурам. В последних благоприятны сводовые части и крылья, осложненные более мелкими изоклинальными складками и продольным расщеплением в местах изгиба осевых поверхностей и пересечения поперечными разрывными зонами. Наиболее крупные месторождения, приуроченные к этим формационным комплексам, сосредоточены вблизи или над выступами архей-раннепротерозойского метаморфического основания (Олимпиада, Благодатное — Енисейский кряж, Чертово-Корыто — Байкальская область) вблизи гранитоидных штоков [4], в сложноскладчатых постройках в обрамлении гранитоидных массивов (золото-сурьмяные месторождения Партизанского района — Енисейский кряж), а также вдоль широких зон глубинных разломов над глубокозалегающими гранитоидными интрузиями (Ведугинское, Эльдорадо, Советское — Енисейский кряж, Сухой Лог, Вернинское, Невское — Байкальская область).

Литологический контроль размещения золоторудной минерализации в региональном плане отчетливо проявлен в ее приуроченности преимущественно к тонкозернистым карбонатно-терригенным углеродистым толщам флишоидного типа с неоднородным фациальным строением и площадным распространением минерализации сидерита, анкерита, пирита, арсенопирита и пирротина различных морфологических типов — от желваковых стяжений и мелкой сыпи до крупных метакристаллов. Характерна постоянная парагенетическая ассоциация рудовмещающих пачек в разрезе с песчаниками и известняками. В Ленской провинции углеродистые породы по характеру геохимической специализации относятся к калиевому типу [11], в отличие от пород, не содержащих прожилково-вкрапленного золото-сульфидного оруденения, которые характеризуются натриевой специализацией. Четко выраженной зависимости между содержанием $S_{орг}$ в разрезе и его продуктивностью в региональном плане не обнаруживается. Содержание углерода в рудовмещающих толщах может изменяться в пределах от 0,1 до 5–6% и более. Имеются данные по изотопии углерода, согласно которым он, наряду с железом из пирита, заимствуется из пород при образовании железистых карбонатов [27]. В пределах рудных зон между содержанием $S_{орг}$ и Au чаще всего устанавливается прямая корреляционная зависимость, особенно в интенсивно углеродистых породах.

В качестве главного индикатора предрудных изменений вмещающих пород и поискового признака их золотоносности большинством исследователей рассматривается наличие сидерита и анкерита в матрице метаморфизованных пелитов, алевролитов и песчаников. В.Л.Русиновым и др. [13] выделяются два этапа наложенных изменений — ранний, натриевой направленности (манганосидерит и парагонит) и поздний, калиевой направленности (мусковит, сидероплезит, анкерит). Наиболее ранние выделения в виде стяжений сидерита, манганосидерита и анкерита связываются с диагенезом осадков, в которых было повышено содержание Ni, Sr. Более поздние выделения железистых карбонатов образуют мелкую рассеянную вкрапленность в глинистых породах, а наиболее поздние разности представлены порфиробластическими выделениями вдоль шарниров мелких дисгармоничных складок волочения.

Вкрапленность железистых карбонатов часто сопровождается пиритизацией пород в виде глобулярных стяжений, мелкой сыпи и кубических и пентагондодекаэдрических кристаллов. В участках интенсивных пластических деформаций (складчатость, сланцеватость и др.) в породах встречается пирротин в виде просечек и серий линзообразных выделений вдоль сланцеватости. Повсеместная пространственная связь железистых карбонатов, пиритизации и пирротинизации, а также магнетит-хлоритовые, пирит-кварц-серпентиновые метасоматиты с проявлением коренной золотоносности позволяют использовать их в качестве поискового признака.

В рудовмещающих породах в зависимости от степени их метаморфизованности облик коренного золота различен. В зонах зеленосланцевого метаморфизма оно присутствует в виде тонкорассеянных пленочных и древовидных выделений (Сухой Лог — Байкальская область), тогда как в породах, метаморфизованных в условиях амфиболитовой фации, чаще отмечается в виде крупных включений в жильном кварце (Ожерелье, Ыканское — Байкальская область). Близость к кровле метаморфизованных и гранитизированных комплексов архей-раннепротерозойского фундамента также оказывает влияние на локализацию золоторудных объектов. В плане это выражено их преимущественным расположением вблизи границ фундамента.

Пространственная связь размещения золоторудных месторождений и проявления гранитоидного магматизма выражена неотчетливо. Непосредственно вблизи интрузий коренная золотоносность не отмечена, однако в региональном плане наблюдается ее приуроченность к ареалам выходящих на

поверхность и скрытых на глубине массивов. В Ленской провинции выходы гранитоидных пород непосредственно на площади месторождения Сухой Лог развиты незначительно. Они представлены небольшим (1,5 км²) Константиновским штоком адамеллитов в 6 км к юго-западу от месторождения и сопутствующими ему дайками гранит-порфиров и кварцевых порфиров. По результатам количественной интерпретации гравитационного поля района месторождения [10] предполагается скрытый на глубине около 3 км Угаханский гранитный криптобатолит мощностью 6 км и площадью 110 км². Месторождение Сухой Лог располагается над юго-восточной периферической частью плутона в 3 км выше его кровли.

Одним из ведущих региональных геохимических критериев золотоносности является устойчивая связь золота с геохимической специализацией терригенных формаций (сидерофильность, халькофильность и др.), с общим терригенным, туфогенным и карбонатно-терригенным литологическим составом толщ [2]. На локальном уровне в терригенных комплексах развиты многочисленные ореолы Au, которые сопровождаются ореолами As, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Ni и других элементов. Закономерности пространственной связи между ними изучены слабо. По немногочисленным сведениям геохимические аномалии объединяются в ассоциации — золото-мышьяковую, золото-серебро-мышьяковистую, золото-сурьмяно-мышьяковистую, реже золото-ртутную, золото-серебро-свинцовую, серебро-свинцово-редкометалльную, свинцово-цинковую с золотом, редкоземельную с золотом.

Из проявлений экзогенной золотоносности наиболее широко распространены россыпи, формирование которых обусловлено преимущественно свободной формой нахождения золота в коренных месторождениях. Россыпи золота повсеместно сопровождают коренные золоторудные проявления. На Енисейском кряже известно 207 россыпей, из которых 54 — крупные и уникальные. В Байкальской области основное промышленное значение имеют мелкозалегающие долинные и террасовые россыпи, в которых сосредоточено >90% учтенного золота. Ареалы россыпей различаются по типоморфным признакам золота, большинство из которых указывают на золото-кварцевый и золото-сульфидно-кварцевый типы размываемых коренных источников.

Особенности размещения золоторудной минерализации и роль основных рудоконтролирующих факторов в ее локализации свидетельствуют о масштабности сопутствующих золоторудной минерализации наложенных изменений рудовмещающих пород. Природа и механизм этих изменений, как и

происхождение черносланцевого золота, до сих пор неясны. Имеется ряд различных, часто взаимоисключающих, точек зрения по вопросу об источнике и процессах формирования месторождений золота в черносланцевых комплексах [8, 9, 20, 22, 24–26]. Наиболее распространена гипотеза о полигенном и полихронном происхождении черносланцевого золота. Начало его отложения во вмещающих породах связывается с конседиментационной подводной гидротермальной деятельностью. Предпочтение многими исследователями этой гипотезы диктуется длительностью гидротермальных процессов, обуславливающих интенсивные прерудные и внутрирудные изменения вмещающей среды и последовательное накопление крупных объемов металла в благоприятных литолого-структурных обстановках. Очевидно, что для возникновения таких обстановок требуются достаточно длительные и стабильные *PT* и физико-химические условия, характерные для этапов диагенеза, катагенеза [15], а также определенные условия объемного течения горных пород в период массивованных складчатых движений. В связи с этим при изучении региональной золотоносности и оценке ее потенциала на основе общей прогнозной модели необходимо учитывать роль совокупных рудоконтролирующих факторов, обуславливающих длительность и стабильность накопления рудного вещества в терригенных толщах. Анализ формирования рудовмещающих терригенных и черносланцевых формаций в конседиментационных впадинах и трогах шельфовой зоны и континентального склона, длительности их накопления и преобразования на стадиях диагенеза и катагенеза и наложенных процессов, обусловленных тектономагматической активизацией последующих этапов, а также учет влияния этих процессов на размещение и изменчивость рудно-формационной принадлежности золоторудных проявлений в различных литолого-структурных обстановках позволяет использовать структурно-формационное строение провинций для выделения металлогенических зон и оценки их золотоносности.

В основе лежит последовательное от мелкого к крупному масштабу изучение групп (слоев) элементов структуры и анализ их пространственной связи с золоторудной минерализацией на площадях, располагающихся как в типовых металлогенических обстановках, так и за их пределами, и выделение признаков, фиксирующих рудоносность последних. Закономерности, выраженные комплексом элементов-признаков и установленные на достаточно хорошо изученных площадях, а также их прогнозно-поисковые модели характеризуют эталонные или типовые металлогенические таксоны, которые обладают комплексом выявленных характеристик и

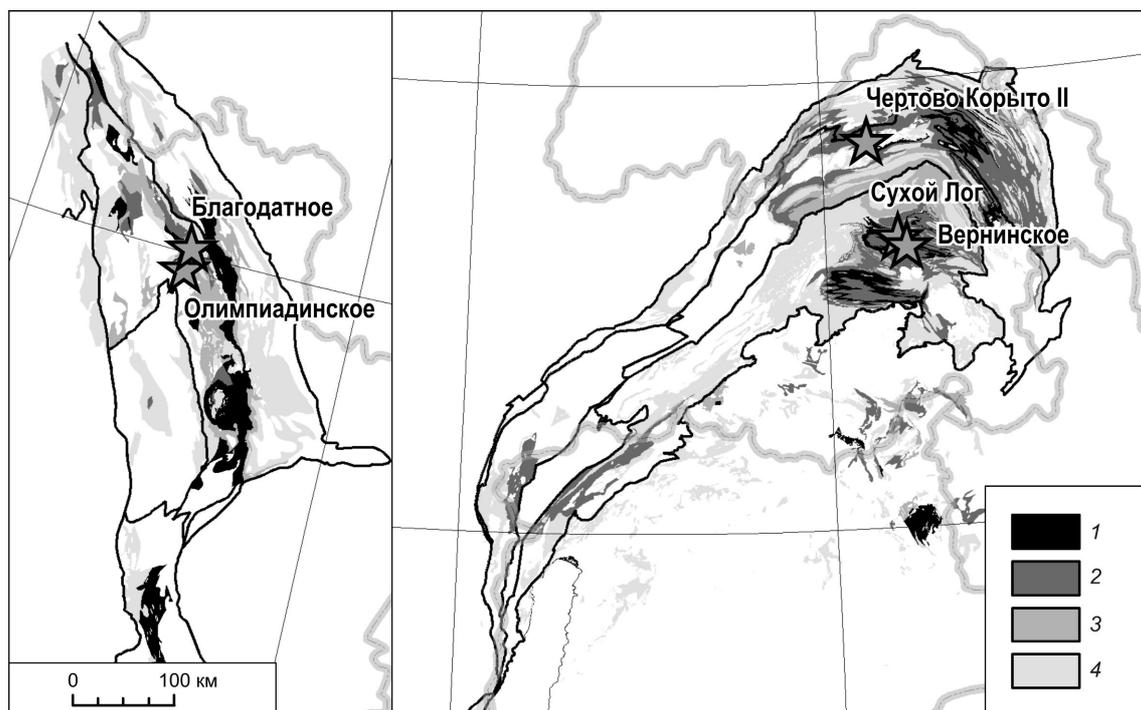


Рис. 2. Золотоносность Енисейской, Восточно-Саянской и Байкало-Патомской (Ленской) провинций:

формационное сходство и признаки золотоносности толщ: 1 — золотоносные с установленными промышленными объектами, рудопроявлениями, точками минерализации и проявлениями экзогенной золотоносности (наиболее полный комплекс), 2 — золотоносные с выявленными рудопроявлениями, точками минерализации и проявлениями экзогенной золотоносности, 3 — потенциально перспективные с выявленными точками минерализации и проявлениями экзогенной золотоносности, 4 — потенциально перспективные с проявлениями экзогенной золотоносности; остальные усл. обозн. см. рис. 1

признаков, составляющих прямое признаковое пространство. Такой подход обеспечивает воспроизводимость прогнозно-металлогенических построений, что достигается, прежде всего, путем использования непосредственно наблюдаемых геологических факторов, совокупность которых отражает закономерности размещения месторождений.

Металлогеническим зонам, соответствующим структурно-формационным зонам первого и второго типов, отвечают преимущественно проявления золото-мышьяковисто-сульфидного, золото-висмута-сульфидного, золото-серебро-мышьяковистого и золото-сурьмяного геолого-минералогических типов. При этом ведущими являются прожилково-вкрапленная и прожилковая золото-сульфидная и золото-сульфидно-кварцевая рудные формации. Зонам третьего типа с существенным преобладанием терригенных комплексов при редуцированном проявлении гранитоидного магматизма присущи золото-серебро-мышьяковистый и золото-сурьмяный минералогические типы, ведущие золото-сульфидно-кварцевая и золото-кварцевая рудные формации.

Золотоносный потенциал металлогенических зон в значительной мере определяется их формационным сходством с толщами, вмещающими крупные золоторудные месторождения. Большое значение имеют широко распространенные площадные признаки — флишоидность, углеродистость, чередование карбонатно-глинистых слоев и песчаных разностей, а также наличие органических остатков. Немаловажным признаком служит и морфологическое сходство с рудовмещающими складчатыми и разрывными формами. Определенное значение для оценки перспектив золотоносности имеет полнота комплекса признаков коренной и экзогенной золотоносности терригенных комплексов. Золотоносные и потенциально золотоносные формации, различающиеся по формационному подобию и полноте комплекса признаков, можно разделить на группы. Их отражение на карте обуславливает позицию площадей, наиболее перспективных на выявление новых золоторудных месторождений (рис. 2). Согласно статистическим исследованиям [14, 28], подавляющее большинство месторождений в терригенных и

терригенно-карбонатных структурно-вещественных комплексах отвечают мелким жильным объектам золото-кварцевого типа (рис. 3). Средние месторождения с запасами 25–100 т в основном жильного и жильно-прожилкового золото-сульфидно-кварцевого типа составляют менее трети всех известных объектов, крупные с рудами преимущественно вкрапленного и прожилково-вкрапленного золото-сульфидного типа — <8%. Отчетливая зависимость запасов металла от рудно-формационной принадлежности месторождений свидетельствует о том, что потенциал месторождений Ведугинское и Благодатное на Енисейском кряже, Голец Высочайший и Сухой Лог далеко не исчерпан. В их пределах следует ожидать обнаружения новых скрытых рудных залежей, что подтверждается геологоразведочными работами последних лет.

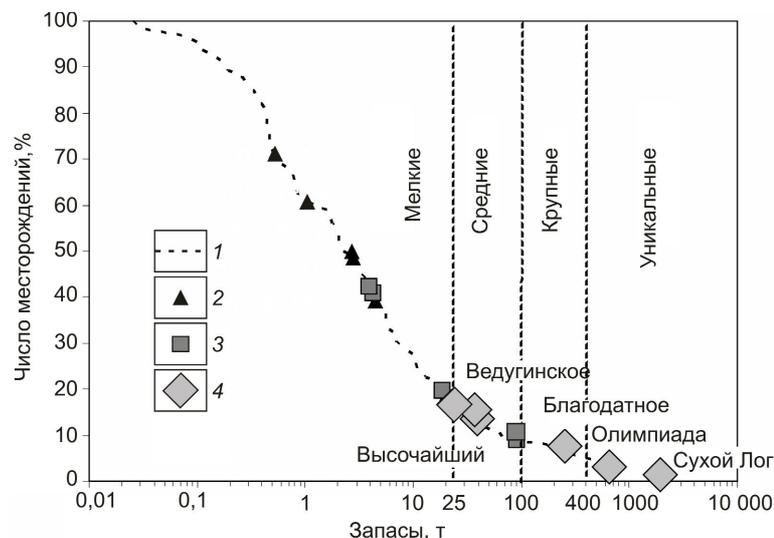


Рис. 3. Статистические модели распределения месторождений золота в терригенных и терригенно-карбонатных структурно-вещественных комплексах Енисейского кряжа и Байкальской горной области, по материалам Cox&Singer, 1986 и Б.И.Беневольского, В.И.Лобача, 2002 с дополнениями автора:

1 — месторождения в терригенных толщах; рудные формации: 2 — золото-кварцевая, 3 — золото-сульфидно-кварцевая, 4 — золото-сульфидная

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог — одно из крупнейших золоторудных месторождений мира (генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования). — Владивосток: Дальнаука, 1997.
- Варгунина Н.П. Региональные геохимические факторы золотоносности Енисейского кряжа // Руды и металлы. 2008. № 1. С. 51–66.
- Геодинамические условия формирования золоторудных месторождений Бодайбинского неопротерозойского прогиба / М.И.Кузьмин, В.В.Ярмолюк, А.И.Спиридонов и др. // Докл. РАН. 2006. Т. 407. № 6. С. 793–797.
- Геология и металлогения Енисейского рудного пояса / Отв. ред. Г.Н.Бровков, Л.В.Ли, М.Л.Шерман. — Красноярск: СНИИГГиМС, 1985.
- Докембрий Патомского нагорья / А.И.Иванов, В.И.Лившиц, О.В.Перевалов и др. — М.: Недра, 1995.
- Зоненшайн Л.П. Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 1 / Л.П.Зоненшайн, М.И.Кузьмин, Л.М.Натапов. — М.: Недра, 1990.
- Изотопный состав свинца и генезис Pb-Zn оруденения Олоkitской зоны Северного Прибайкалья / Л.А.Неймарк, Е.Ю.Рыцк, Б.М.Гороховский и др. // Геология рудных месторождений. 1991. № 6. С. 34–49.
- Коробейников А.Ф. Мантийные и коровые флюидодинамические системы комплексных месторождений благородных и редких металлов // Проблемы геологии и освоения недр: Тр. XI Международного симпозиума, Томск, ТПУ, 9–14 апреля 2007. Томск, 2007. С. 103–105.
- Кулиш Е.А., Парада С.Г. Гидротермально-осадочные образования в золотоносных черносланцевых комплексах // Доповіді Національної академії наук України. 2007. № 11. С. 112–118.
- Линневский Э.Н., Дистлер В.В. Глубинное строение земной коры района золото-платинового месторождения Сухой Лог по геолого-геофизическим данным (Восточная Сибирь, Россия) // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 1. С. 88–104.
- Месторождение Сухой Лог / В.А.Буряк, Н.П.Попов, Д.А.Дорофеев и др. // Геология золоторудных месторождений. 1986. Т. 3. С. 173–185.
- Неклюдов А.Г. Закономерности размещения золотого и золото-сурьмяного оруденения в рифейских осадочных бассейнах Енисейского кряжа: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — СПб., 1995.
- Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе / В.Л.Русинов, О.В.Русинова, С.Г.Кряжев и др. // Геология рудных месторождений. 2008. Т. 50. № 1. С. 3–46.
- Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов: методическое руководство // Вып. Золото / Отв. ред. Б.И.Беневольский. М., 2002.
- Павлов Д.И., Карцев А.А. Зоны катагенной разгрузки подземных вод нефтегазоносных бассейнов и осадочный рудогенез // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 2. С. 122–131.

16. Ручкин Г.В., Конкин В.Д. Ряды рудных формаций терригенно-сланцевых складчатых поясов // Руды и металлы. 2002. № 1. С. 15–19.
17. Сараев С.В. Седиментология и полезные ископаемые верхнерифейского окраинного бассейна Енисейского кряжа // Тез. докл. I Всерос. метал. совещ. «Металлогения складчатых систем с позиции тектоники плит». Екатеринбург, 1994. С. 97–98.
18. Северный сегмент палеоазиатского океана в неопротерозе: история седиментогенеза и геодинамическая интерпретация / А.М.Станевич, А.М.Мазукабзов, А.А. Постников и др. // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 1. С. 60–79.
19. Станевич А.М., Немеров В.К. Условия накопления и корреляция толщ позднего рифея Байкальской горной области // 4-е Региональное Уральское литологическое совещание «Осадочные бассейны: закономерности строения и эволюции, минерагения». Екатеринбург, 2000.
20. Старостин В.И., Япаскурт О.В. Аспекты генетической формационной типизации металлоносных высокоуглеродистых осадочных комплексов // Вестн. МГУ. Сер. геол. 2007. № 3. С. 12–23.
21. Стреляев В.И. О докембрийских геодинамических обстановках и металлогении южного сегмента Енисейского кряжа // Тез. докл. I Всерос. метал. совещ. «Металлогения складчатых систем с позиции тектоники плит». Екатеринбург, 1994. С. 99–101.
22. Устинов В.И., Гриненко В.А., Кряжев С.Г. Физико-химические условия метаморфогенного рудообразования в Ленском золотоносном районе // Вестн. ОНЗ РАН. 2007. № 1 (25). С. 1–3.
23. Фогельман Н.А., Константинов М.М., Курбанов Н.К. Принципы систематики золоторудных месторождений для прогноза и поисков // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 31–35.
24. Чугаев А.В. Rb-Sr изотопная система гидротермального кварца, возраст и источники вещества золоторудных месторождений Сухой Лог (Россия) и Колар (Индия): Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — М., 2007.
25. Юдович Я.Э. Черные сланцы в рудогенезе золота: ресурс или барьер? // Минеральное сырье Урала. 2009. № 6 (25). С. 3–11.
26. Allwood K. Controls on disseminated gold mineralisation at Fosterville, Victoria, Australia // AusIMM New Zealand Branch Annual Conference — Realising New Zealand's Mineral Potential. 2005.
27. Annels A.E., Roberts D.E. Turbidite-hosted gold mineralization at the Dolaucothi Gold Mines, Dyfed, Wales, United Kingdom // Econ. Geol. 84 (1989). P. 1293–1314.
28. Mineral deposit models / D.P.Cox; D.A.Singer // United States Geological Survey bulletin 1693. 1986.

552.323.6 (470.11)

© Ю.К.Голубев, Н.А.Прусакова, Ю.Ю.Голубева, 2010

КЕПИНСКИЕ КИМБЕРЛИТЫ, АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ

Ю.К.Голубев, Н.А.Прусакова, Ю.Ю.Голубева (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Рассмотрены геохимические характеристики кимберлитов Кепинской площади, строение и вещественный состав новой трубки ЦНИГРИ-Архангельская. Трубка была открыта в пределах куста кимберлитовых тел, спрогнозированного на основе разработанной ранее комплексной прогнозно-поисковой модели.

Ключевые слова: Архангельская область, алмаз, кимберлит, геохимия, геофизика.

Голубев Юрий Конкордьевич, Прусакова Наталья Александровна, Голубева Юлия Юрьевна, diamond@tsnigri.ru.

THE KIMBERLITES OF KEPINO (ARKHANGELSK REGION)

Yu.K.Golubev, N.A.Prusakova, Yu.Yu.Golubeva

It were considered the geochemical characteristics of kimberlites of Kepino, the structure and material composition of the new pipe TsNIGRI-Arkhangelskaya. The pipe was discovered within the cluster of kimberlite bodies, that was predicted on the basis of the previously developed integrated forecast-prospecting model.

Key words: Arkhangelsk region, diamond, kimberlite, geochemistry, geophysics.

Кепинские кимберлиты известны с 80-х годов прошлого века. Они входят в состав продуктов среднепалеозойского кимберлитового и родственного ему магматизма, проявленного в пределах Зимнего Берега Белого моря (Архангельская область). К настоящему времени не выработана единая обоснованная гипотеза о количественном составе и минерагенической принадлежности кепинских кимберлитов. Многими исследователями [1, 2, 4, 11] к ним отнесены различные группировки магматических тел в пределах выделяемых кимберлитовых полей (Кепинского, Кепинско-Золотицкого, Зимнебережного). При этом часто границы полей и объединяемых в них групп магматических тел различаются между собой. Авторы относят к кепинским кимберлитам совокупность магматических тел, входящих в Кепинское кимберлитовое поле, как показано в работе [4] (рис. 1).

К настоящему времени известны 28 кепинских проявлений щелочно-ультраосновного магматизма, в том числе 19 кимберлитовых трубок, шесть трубок оливиновых мелилититов и семь кимберлитовых силлов, из которых четыре сопряжены с кимберлитовыми трубками (таблица).

Большая часть тел кепинских кимберлитов неалмазоносны и только в единичных отмечается крайне убогая алмазоносность. По вещественным характеристикам они относятся к ильменитсодер-

жащим породам Fe-Ti серии [7, 11, 12] или к аналогам кимберлитов группы I Южной Африки [1, 2]. Анализ вещественного состава кепинских проявлений щелочно-ультраосновного магматизма позволяет утверждать, что большинство известных на данный момент магматических объектов данной территории характеризуются довольно неоднородным строением и геохимическим составом.

Среди кепинских кимберлитов по степени обогащения редкими элементами и фракционирования редких земель (см. таблицу) выделяются, по крайней мере, две разновидности — кимберлиты, обогащенные редкими элементами с сильным фракционированием редких земель, и кимберлиты, обогащенные редкими элементами в меньшей степени со слабым фракционированием редких земель. Последние, по-видимому, относятся к породам, промежуточным между золотицкими проявлениями кимберлитового магматизма и кимберлитами трубки им. В.Гриба [6]. При этом какие-либо закономерности распределения кимберлитов с разными геохимическими характеристиками на территории Кепинской площади нами не наблюдались. Наличие в пределах одного объекта кимберлитов с разной степенью фракционирования редких земель (трубка и силл Светлое, трубка и силл Шоча, силл Солозеро) может свидетельствовать о высокой степени дифференциации вещества в момент подъема

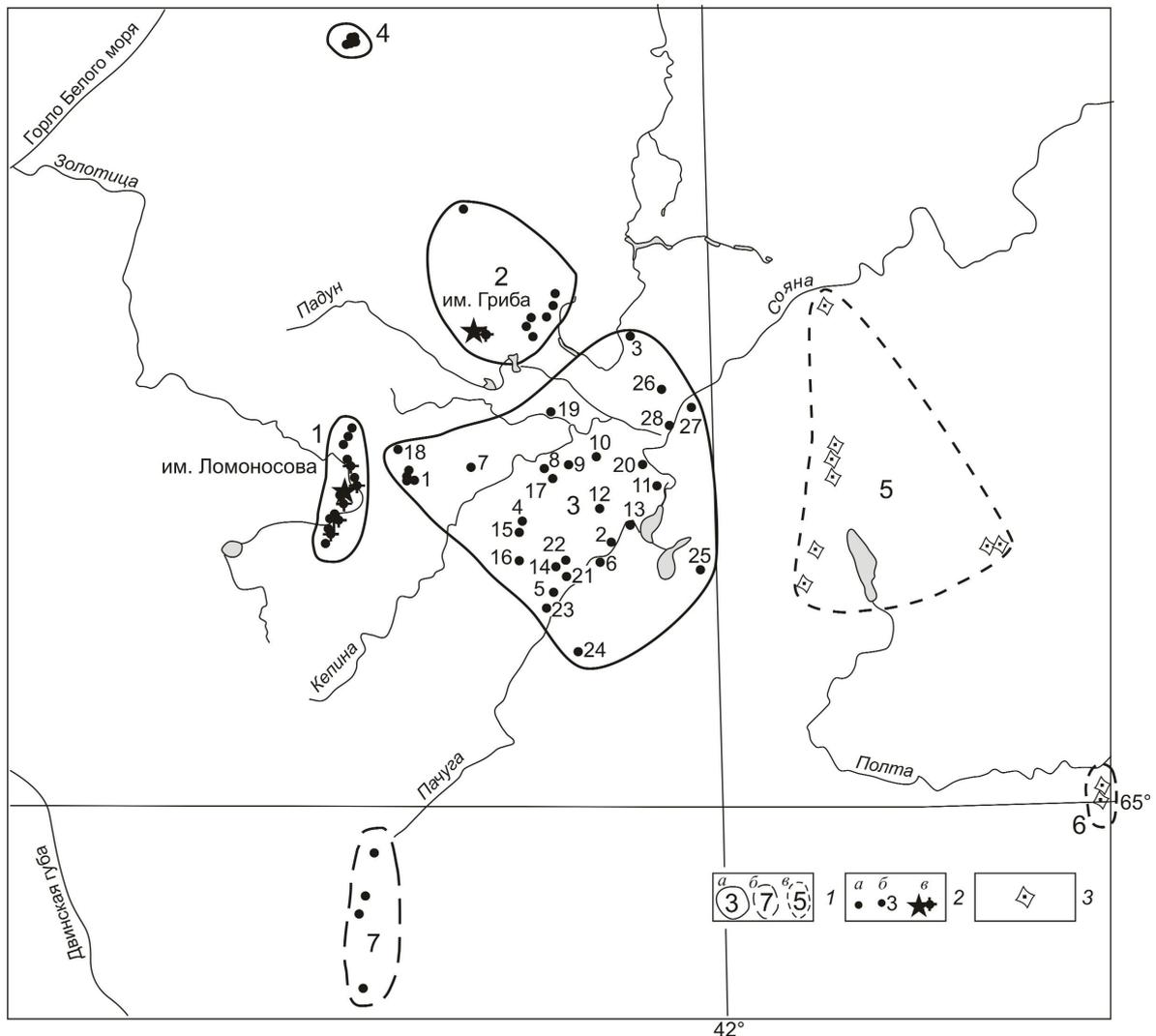


Рис. 1. Позиция кепинских кимберлитов:

1 — поля магматизма, по данным О.А.Богатикова, В.К.Гаранина, В.А.Кононовой и др. (2000) [1] (1 — Золотицкое, 2 — Верхотинское, 3 — Кепинское, 4 — Мельское, 5 — Турьинское, 6 — Полтинское, 7 — Ижмозерское): а — кимберлитовые, б — проявлений родственных кимберлитам пород, в — проявлений толеитовых базальтов; 2 — отдельные проявления кимберлитового и родственного им магматизма (а — в целом, б — кепинские кимберлиты, номер соответствует порядковому номеру в таблице), в — кимберлитовые трубки месторождений им. М.В.Ломоносова и им. В.Гриба; 3 — проявления среднепалеозойских толеитовых базальтов

кимберлитовой магмы к поверхности и особенностях источников кимберлитовых магм, подвергшихся в разной степени мантийному метасоматозу. На то же указывает неоднородность состава акцессорных минералов в кепинских кимберлитах.

В большинстве неалмазоносных тел в составе выборки существенно преобладают хромшпинелиды (77–99%). Содержание пикроильменитов варьирует от 0,1% в неалмазоносных трубках до 94% в убогалмазоносных, пиропов от 0,3% в неалмазоносных трубках до 4,5–8% в убогалмазо-

носных. Хромдиопсиды присутствует в незначительном количестве только в некоторых кимберлитовых телах.

В последние годы в ходе работ по государственным контрактам в пределах Кепинской площади ФГУП ЦНИГРИ вскрыты две кимберлитовые трубки — ЦНИГРИ-Архангельская и ЦНИГРИ-Кепинская. Работы ведутся с применением метода последовательной локализации объекта поиска: выделение локального участка ранга куста кимберлитовых тел и далее в его пределах геофизиче-

Перечень магматических объектов Кепинской площади и их вещественные характеристики

№№ п/п	Форма проявления	Аномалия	Наименование объекта	TiO ₂ , мас. %	La/Yb, мас. %	Ni, г/т	Источник литературы
<i>Кимберлиты</i>							
1	Трубка и силл	136а	Шоча	0,50–2,76	33–175	149–1221	[13]
2		695	Светлое	0,83–3,85	16–214	80–1450	[14]
3		734		2,03–3,14	20–191	1000–1983	[8, 14]
4	Силл	494	Звездочка	2,67–3,06	54–157	746–1120	[2]
5		697		2,03–2,44	156–213	759–1410	[2]
6		687	Солозеро	1,57–4,44	36–198	346–1608	[8]
7	Трубка	Н-1006	Октябрьская				
8		495	Русалка				
9		406	Победа	4,58		660	[14]
10		496	Горелая				
11		748	Когуга				
12		К8	ЦНИГРИ-Кепинская		73–74	442–609	
13		751	Солоха	2,23–4,77	37–47	615–694	
14		693	Степная	2,10–4,23	56–131	1131–1690	[14]
15		494а	Юрасская				
16		694	Ключевая	1,74–2,61	40–391	651–1100	[8]
17	Трубка и силл	495а-в		3,80–4,29			[7]
18	Трубка	162	Рождественская	3,76		400–700	[7]
19		478	Галина	2,58–4,61			[7]
20		746б		2,82			[7]
21		К3а	ЦНИГРИ-Архангельская	1,27–1,78	30–37	700–921	
22		688		1,75	31	513	
22							
<i>Оливиновые меллититы</i>							
23	Трубка	840		2,95–3,23	25–34	670–1200	[14]
24		651	Ольгино	0,72–3,77	26–33	296–1360	[14]
25		772	Суксома	0,24–0,47	9	141–450	
26		740	Сухая				
27		713	Турьинская				
28		711					

ской аномалии трубчатого типа, перспективной на вскрытие кимберлитового тела. Данный методологический подход базируется на комплексной прогнозно-поисковой модели и критериях прогнозирования куста кимберлитовых трубок. Последние разработаны в ЦНИГРИ [5, 9, 10] на примере наиболее хорошо изученных различными методами золотичских кимберлитовых трубок, вмещающих месторождение алмазов им. М.В.Ломоносова, а также других кимберлитовых трубок Зимнего Берега с учетом закономерностей локализации данного минерогенического таксона в других алмазных провинциях. В пользу эффективности данного подхода свидетельствует тот факт, что уже

первыми скважинами, заложенными по эпицентрам перспективных аэромагнитных аномалий, выделенных по результатам интерпретации высокоточных аэромагнитных съемок разных лет м-бов 1:10 000 и 1:5000, и были вскрыты кимберлитовые трубки ЦНИГРИ-Архангельская и ЦНИГРИ-Кепинская. К настоящему времени наиболее хорошо изучена геолого-геофизическими методами трубка ЦНИГРИ-Архангельская. На трубке ЦНИГРИ-Кепинская на данный момент вскрыта только кратерная часть.

Трубка ЦНИГРИ-Архангельская вскрыта в пределах локального участка ранга куста кимберлитовых тел, выделенного по геолого-геофизическим

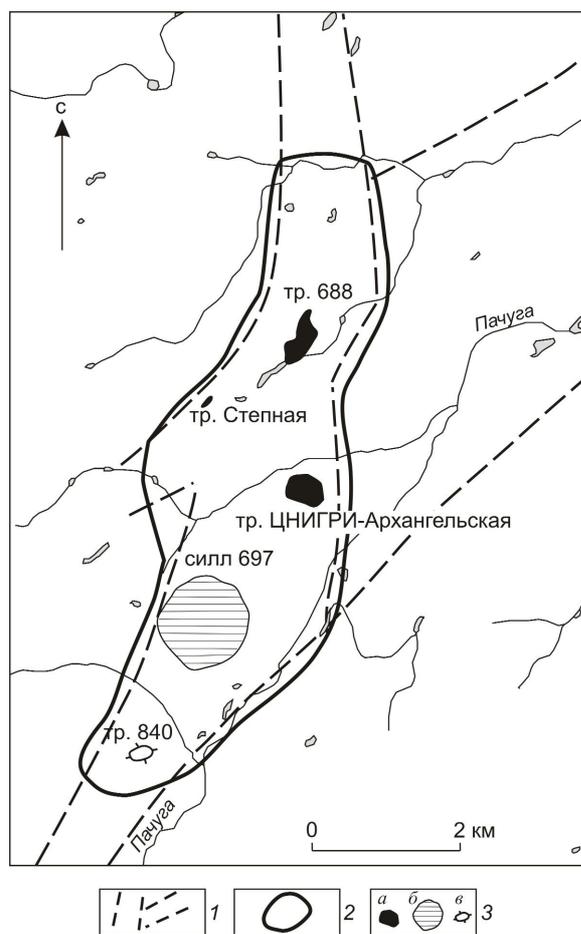


Рис. 2. Принципиальная позиция локального участка ранга куста кимберлитовых тел:

1 — зоны глубинных разломов, проявленные в чехольных отложениях; 2 — граница локального участка ранга куста кимберлитовых тел; 3 — проявления кимберлитового и родственного ему магматизма (а — кимберлитовые трубки взрыва, б — кимберлитовый силл, в — трубка оливиновых мелилититов)

данным (рис. 2). К этому же участку приурочены трубка оливиновых мелилититов 840, кимберлитовые трубки Степная и 688, кимберлитовый силл 697. Данный участок размером $4,5 \times 18,5$ км вытянут в субмеридиональном направлении и контролируется узлом пересечения зон глубинных разломов, проявленных в чехольных отложениях, субмеридионального и северо-восточного простираний. Отмечается практически равномерное распределение магматических тел с шагом 3,6–4 км вдоль субмеридионального тренда в пределах выделенного участка. Заметим, что подобная закономерность наблюдается и в пространственном размещении золотических кимберлитовых тел с месторождением им. М.В.Ломоносова.

Интенсивность аэромагнитной аномалии размером в поперечнике 350 м, отражающей кимберлитовую трубку, составляет порядка 5 нТл (рис. 3*). По результатам заверочных наземных геофизических работ наибольшую эффективность показали электроразведочные методы — зондирование становлением поля в ближней зоне (ЗСБЗ-ТЕМ-FAST), аудио-магнитотеллурическое зондирование (АМТЗ), переменного естественного электрического поля (ПЕЭП), а также многоволновая высокоразрешающая сейсморазведка. По результатам электроразведочных работ трубка проявлена как локализованный в плане и субвертикальный в разрезе проводящий объект, приуроченный по глубине к породам венда. На сейсмических разрезах трубка фиксируется депрессией в отражающем горизонте, соответствующем кровле вендских отложений. Она сочетается с расположенной ниже (в отложениях венда) субвертикальной неоднородностью, характеризующейся потерей прослеживаемости сейсмических границ в картине отражений.

Трубка ЦНИГРИ-Архангельская (рис. 4) вскрыта девятью скважинами на глубину до 200 м от ее кровли. Трубка прорывает слаболитифицированные осадочные верхневендские породы и перекрывается среднекаменноугольной терригенно-карбонатной толщей и рыхлыми четвертичными отложениями. Мощность перекрывающих отложений 76–87 м. Трубка оконтурена по геофизическим данным и данным бурения. Предположительная форма тела в плане овальная, вытянутая с северо-запада на юго-восток. В разрезе это почти симметричное столбообразное вертикально залегающее тело с незначительным выраженным раструбом в верхней части. В нем вскрыты кратерная и жерловая фации. Туфогенно-осадочные породы кратерной фации представлены прослоями туфопесчаников, переслаивающихся с породами венда. Данные породы являются реликтами самых ранних этапов внедрения кимберлитов. В жерловой части трубки отмечены ранняя фаза, представленная ксенотуфобрекцией, и более поздняя — автолитовая кимберлитовая брекчия.

По геохимическим характеристикам трубка ЦНИГРИ-Архангельская (как и силлы Солозеро, 495в, трубки Солоха, Светлое, Шоча, 688, Рождественская, 495а, Галина, 746б) относится к кимберлитам со слабым фракционированием редких земель ($La/Yb < 50$), занимающим промежуточное звено между кимберлитами и оливиновыми мелилититами (см. таблицу). Для этой группы отмечены наиболее высокие содержания минералов-индикаторов (пиропов и пикроильменитов) кимберлитов и алмазов среди кепинских кимберлитов [6, 7].

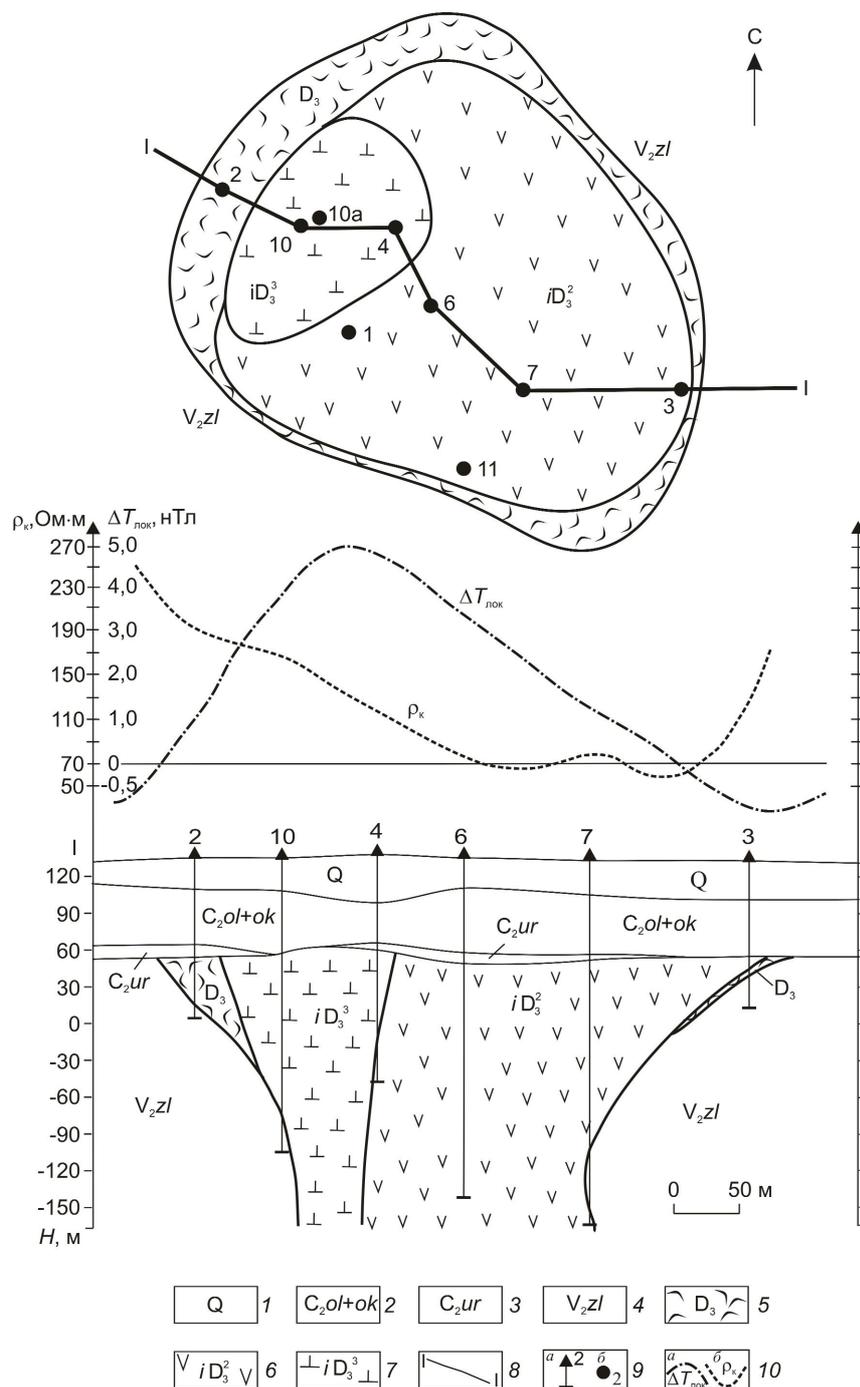


Рис. 4. Строение трубки ЦНИГРИ-Архангельская:

I — четвертичные моренные и флювиогляциальные отложения; каменноугольные отложения: 2 — доломиты олмгуской и окуневской свит, 3 — песчаники урзугской свиты; 4 — песчаники и алевриты падунской свиты, золотицкой подсвиты венда; кимберлитовый комплекс: 5 — туфогенно-осадочная толща (туфопесчаник) ранних фаз внедрения, 6 — кимберлитовая ксенотуфобрекчия, кимберлитовая брекчия второй фазы внедрения, 7 — автолитовая кимберлитовая брекчия третьей фазы внедрения; 8 — линия геологического разреза; 9 — буровые скважины и их номера (*a* — на разрезе, *b* — на плане трубки); 10 — графики: *a* — локальной составляющей магнитного поля (данные аэромагнитной съемки м-ба 1:5000), *b* — кажущегося удельного сопротивления (данные съемки ЗСБЗ-ТЕМ-FAST, погоризонтный срез на глубине 100–150 м)

По содержанию минералов-индикаторов трубка ЦНИГРИ-Архангельская занимает промежуточное положение (112,53 г/т) между кимберлитами наиболее богатой трубки 688 среди кепинских кимберлитов (14 682 г/т) и наиболее бедными — Светлое, Степная (11,5, 24,5 г/т). На месторождении алмазов им. В.Гриба содержание минералов-индикаторов кимберлитов колеблется от 800 г/т в отложениях кратерных фаций до 20 000 г/т — в жерловых. Пиропы из трубок ЦНИГРИ-Архангельская, 688 и им. В.Гриба представлены всеми фациями глубинности, при этом количество пиропов алмазной ассоциации в двух первых составляет 5–6% от общего числа изученных зерен.

Всего в трубке ЦНИГРИ-Архангельская обнаружено 24 алмаза общей массой 65,58 мг. Алмазы найдены в обеих фазах внедрения кимберлита. По данным обогащения 5825 кг кимберлита алмазность трубки составляет в среднем 0,056 кар/т, что позволяет отнести ее к убогоалмазным. Кристаллы алмазов представлены рядом октаэдр – ромбододекаэдр, комбинационными кристаллами ряда октаэдр – додекаэдр, сростками плоскогранных октаэдров, додекаэдроидами. Среди них самый крупный из изученных кристаллов (класс крупности –1+0,5 мм) — октаэдр с коричневым нацветом, массой 3,36 г. В исследованных кристаллах присутствуют плоскогранные, полуокруглые и округлые индивиды со следами интенсивного растворения, пластической деформации и дробления в природных условиях.

Главные этапы формирования трубки ЦНИГРИ-Архангельская можно представить по аналогии с хорошо изученной трубкой им. В.Гриба [3]. На первом этапе при разрушении стенок и постепенном расширении трещин вмещающих пород под динамическим и термальным влиянием насыщенного газами флюида, а также вследствие ударно-абразивного воздействия на них захваченных флюидом твердых частиц формируется трубообразная полость. В дальнейшем происходит некоторый спад вулканической деятельности с уменьшением количества газов и начинается заполнение возникшей полости. В результате перемешивания обрушенных бортов, стенок полости и кимберлитового расплава образовывались ксенотуфобрекчии. Закупорка вулканического канала туфо- и ксенотуфобрекчиями способствовала постепенному накоплению газов, последующему их прорыву с выбросом значительного объема ксенотуфобрекчий и формированию новой трубчатой полости. По вновь подготовленному каналу происходил подъем кимберлитового расплава, при остывании которого сформировались автолитовые кимберлитовые брекчии.

С помощью метода последовательной локализации объектов поиска в первую очередь прогнозировались участки положения кустов кимберлитовых тел. Выделение аномалий и их буровая заверка проводились только в их пределах. Трубка ЦНИГРИ-Архангельская отличается от уже известных объектов Кепинской площади геофизическими и геохимическими характеристиками. При этом новое кимберлитовое тело характеризуется повышенной алмазностью и более высокими содержаниями минералов-индикаторов кимберлитов по сравнению с другими объектами — производными щелочно-ультраосновного магматизма Кепинской площади. По геохимическим характеристикам данная трубка служит связующим звеном между кепинскими оливиновыми мелилититами и обогащенными редкими элементами кимберлитами с высокой степенью фракционирования редких земель. По некоторым геохимическим и минералогическим показателям она сопоставима с кимберлитами месторождений алмазов им. М.В.Ломоносова и им. В.Гриба. Отсутствие закономерности размещения в пространстве кимберлитовых тел с разными вещественными характеристиками, а также непрерывный ряд изменения вещественного состава щелочно-ультраосновных пород позволяет предполагать с высокой степенью вероятности обнаружение на данной территории новых объектов, подобных месторождениям алмазов им. М.В.Ломоносова и им. В.Гриба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия)* / Под ред. О.А.Богатикова. – М.: Изд-во МГУ, 1999.
2. *Богатиков О.А., Кононова В.А., Первов В.А., Журавлев Д.З.* Источники, геодинамическая обстановка образования и перспективы алмазности кимберлитов окраины Русской плиты: Sr-Nd изотопия и ICP-MS геохимия // *Петрология*. 2001. Т. 9. № 3. С. 227–241.
3. *Веричев Е.М., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П.* Геология, состав, условия образования и методика разведки месторождений алмазов кимберлитовой трубки им. В.Гриба (Архангельская алмазоносная провинция) // *Геология рудных месторождений*. 2003. Т. 45. № 5. С. 387–414.
4. *Головин Н.Н.* Геологическое строение, минеральный состав и условия образования щелочно-ультраосновных пород Кепинской площади: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – М., 2003.
5. *Голубев Ю.К., Ваганов В.И., Прусакова Н.А.* Принципы прогнозирования алмазоперспективных площадей на Восточно-Европейской платформе // *Руды и металлы*. 2005. № 1. С. 55–70.
6. *Голубева Ю.Ю., Щербакова Т.Е., Колесникова Т.И., Хачатрян Г.К.* Особенности вещественного состава

- кимберлитов трубки ЦНИГРИ-Архангельская (Зимнебережное поле) // Сборник публикаций по результатам I и II ежегодных научных чтений им. Г.П.Кудрявцевой. М., 2008. С. 66–75.
7. *Новые* кимберлитовые тела Зимнего Берега / В.А.Ларченко, Г.В.Минченко, С.М.Саблуков и др. // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях: материалы конференции, посвященной 40-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». Якутск, 2008. С. 76–81.
 8. *Парсаданян К.С., Кононова В.А., Богатилов О.А.* Источники гетерогенного магматизма Архангельской алмазоносной провинции // Петрология. 1996. Т. 4. № 5. С. 496–517.
 9. *Прусакова Н.А.* Глубинная структура Зимнебережного кимберлитового поля, Архангельская область // Руды и металлы. 2006. № 2. С. 53–64.
 10. *Прусакова Н.А.* Принципы выделения участков ранга «куста» кимберлитовых тел в Зимнебережном поле на основе структурно-геофизического районирования // Региональная геология и металлогения. № 26. 2005. С. 179–185.
 11. *Саблуков С.М.* Вулканизм Зимнего Берега и петрологические критерии алмазоносности кимберлитов: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – М.: ЦНИГРИ, 1995.
 12. *Саблуков С.М.* О петрохимических сериях кимберлитовых пород // Докл. АН СССР. 1990. Т. 313. № 4. С. 935–939.
 13. *Beard A.D., Dawnes H., Hegner E., Sablukov S.M.* Geochemistry and mineralogy of kimberlites from the Arkhangelsk region, NW Russia: evidence for transitional kimberlite magma types // Lithos. 2000. Vol. 51. P. 47–73.
 14. *Late Devonian diamondiferous kimberlite and alkaline picrite (proto-kimberlite?) magmatism in the Arkhangelsk region, NW Russia / I.L.Mahotkin, S.A.Gibson, R.N.Thompson et al.* // J. Petrol. 2000. Vol. 41. № 2. P. 201–227.

УДК 553.81:068.5 (571.56)

© С.А.Граханов, А.М.Сулейманов, Ю.К.Голубев, 2010

ПИРОКЛАСТЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ КАК ИСТОЧНИК РОССЫПНЫХ АЛМАЗОВ

**С.А.Граханов, А.М.Сулейманов (ОАО «Нижне-Ленское»), Ю.К.Голубев
(ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)**

Установлена уникальная алмазоносность базального горизонта карнийского яруса верхнего триаса. Геологические и минералогические данные свидетельствуют о его вулканогенно-осадочной природе. Алмазы из карнийских отложений и из более молодых осадков и четвертичных россыпей междуречья Анабар, Оленек, Лена и Муна по составу практически идентичны, что позволяет предположить тождественность их источников. Сделан вывод о формировании богатейших по запасам россыпей алмазов северо-востока Сибирской платформы за счет триасовых пирокластических туфов.

Ключевые слова: алмазы, россыпи, туфы, Сибирская платформа.

Граханов Сергей Александрович, .grahanovsa@nlykt.ru, Сулейманов Альберт Михайлович, suleymanovam@nizhne-lenskoe.ru, Голубев Юрий Конкордьевич, diamond@tsnigri.ru

THE PIROCLASTICS OF THE NORTH-EAST PART OF SIBERIAN PLATFORM ARE THE SOURCE OF THE DIAMONDS PLACERS

S.A.Grahanov, A.M.Suleymanov, Yu.K.Golubev

It is revealed the great diamondiferous of the basal part of the Karniysky age of Late Triassic. The geological and mineralogical dates testify about the volcanosedimentary origin of karniysky sediments. The diamonds from the karniysky sediments and from younger sediments and quaternary placers are one and the same. It is possible to say about the identical sources. It is made the conclusion that the piroclastic tuffs are the source of the diamonds placers of the North-East part of Siberian platform.

Key words: diamonds, placers, piroclastic, tuff, Siberian platform.

На северо-востоке Сибирской платформы в кайнозойских отложениях выявлены уникальные россыпные месторождения алмазов [9], которые эксплуатируются АК «АЛРОСА», ОАО «Нижне-Ленское» и ОАО «Алмазы Анабара». Россыпи расположены в бассейнах рек Эбелях, Биллях, Харамас, Маят, Молодо. Коренные источники россыпей к настоящему времени не установлены. В то же время, типоморфные особенности алмазов из указанных эксплуатируемых месторождений и из базальных горизонтов карнийского и рэтского ярусов верхнего триаса абсолютно идентичны. Также уникальна по насыщенности алмазоносность горизонтов [2–6, 9] и неизвестны коренные источники древних россыпей. Древние россыпи находятся в 300–400 км от эксплуатируемых и расположены в арктической зоне Республики Саха (Якутия) (рис. 1).

Отличительная особенность состава алмазов карнийских отложений и алмазов более молодых коллекторов, в том числе четвертичных, обширной

территории междуречья рек Анабар, Оленек, Лена и Муна — наличие разновидностей с легким изотопным составом углерода (эбеляхский тип — II, V и VII разновидности [8]) (см. рис. 1). Это позволяет предположить, что они имеют общие коренные источники. Однако алмазы из эксплуатируемых четвертичных россыпей изношены (износ типа истирания) и отсортированы, а из триасовых карнийских отложений без признаков износа, и по этому параметру они близки к алмазам из коренных источников [9]. Кроме того, в карнийских алмазоносных отложениях кряжа Прончищева и Булкурской антиклинали присутствуют глубинные минералы — хромдиопсид, оливин, слюда, гранаты с келифитовыми каймами. Подобные минералы с низкой физико-химической устойчивостью обычно не встречаются в отложениях с длительной экзогенной историей [4, 9, 10]. В то же время, когда базальный горизонт представлен типичными прибрежно-морскими отложениями, в нем исчезают неустой-

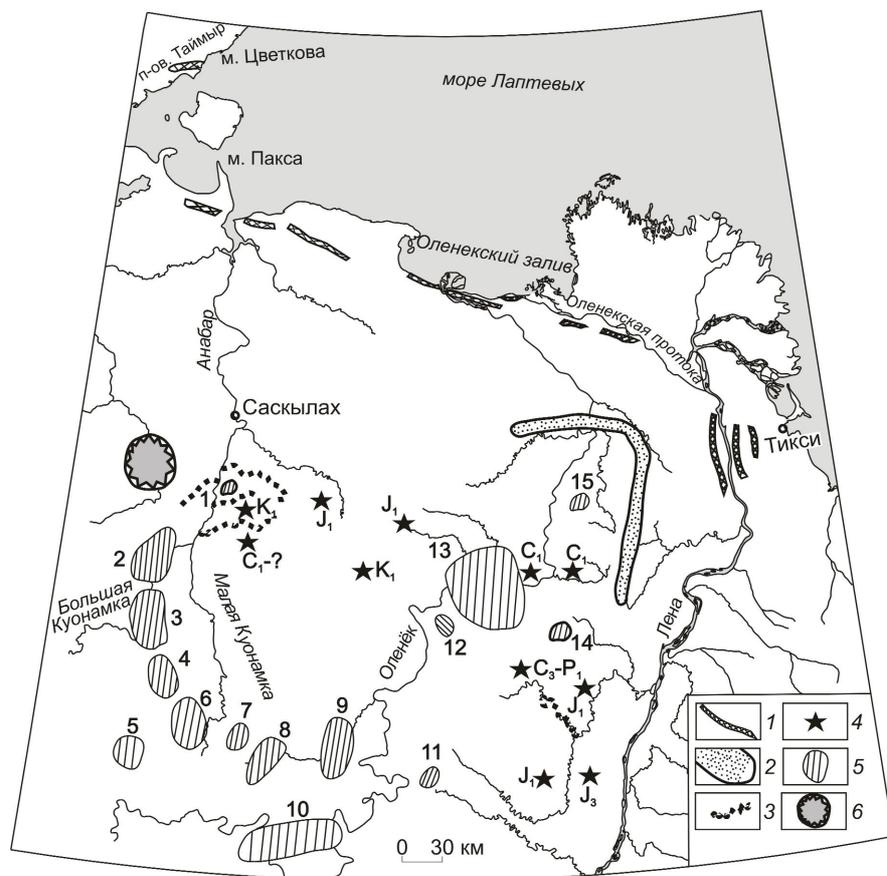


Рис. 1. Кимберлитовые поля, алмазоносные древние и современные россыпи северо-востока Сибирской платформы:

1 — выходы на уровне современного среза алмазоносных пород карнийского яруса; 2 — потенциально промышленные рэткие россыпи; 3 — промышленные четвертичные россыпи; 4 — находки алмазов в разновозрастных промежуточных коллекторах, их возраст; 5 — кимберлитовые поля (1 — Анабарское, 2 — Староречинское, 3 — Ары-Мастахское, 4 — Дюкенское, 5 — Биригиндинское, 6 — Куранахское, 7 — Лучеканское, 8 — Западно-Укукитское, 9 — Восточно-Укукитское, 10 — Чомурдахское, 11 — Огонер-Юряхское, 12 — Мерчимденское, 13 — Куойкско-Молодинское, 14 — Толуопское, 15 — Хорбусунское); 6 — Попигайская астроблема

чивые минералы. В таких случаях среди уплощенного галечного материала встречаются раковины *Cardinia* и отсортированные крупные (до 4 мм) зерна пиропов и алмазов [6].

Из современных промышленных россыпей севера Якутии нами проанализированы трубчатые (кимберлитовые) цирконы, ассоциирующие с алмазами эбеляхского типа (с облегченным изотопным составом углерода). Определен также возраст кимберлитовых цирконов из алмазоносного карнийского пласта. Датирование цирконов осуществлялось во ВСЕГЕИ U-Pb методом на ионном микрозонде SHRIMP-II (аналитики Е.Н.Лепехина, А.Н.Ларионов). Как в современных, так и в триасовых россыпях, возраст кимберлитовых цирконов

варьировал от 225 до 240 млн. лет (T_2l-T_3k). Этот период характеризуется широкой проявленностью кимберлитового вулканизма на северо-востоке Сибирской платформы, когда происходило формирование алмазоносных тел Куранахского, Лучеканского и Куойкско-Молодинского полей.

При петрографическом изучении пород базального горизонта Булкурской антиклинали алмазоносные разновидности были диагностированы как туффиты или лапиллиевые туфы (ИЗК СО РАН, аналитик К.Н.Егоров, ИГАБМ СО РАН, ВСЕГЕИ), в которых пирокластический материал представлен литокластами гиалобазальтов с афировой, редко порфировой структурой. Литокласты гиалобазальтов (30–35%) гидрослюдизированы, ожелезнены, обнаруживают миндалекаменно-«пузыристое» строение. Терригенный материал представлен полевыми шпатами, редко обломками кремнистых пород,

пластинками слюд, еще реже кварцем. Среди литокластов гиалобазальтов в заметном количестве присутствуют вкрапленно-пятнистые обособления магнетита.

Прослеженная протяженность карнийского пласта составляет не менее 600 км, что не типично для прибрежно-морских россыпей, которые могли быть сформированы в условиях поздне триасового эпиконтинентального моря. В пласте наблюдается достаточно однородный по типоморфизму состав алмазов и минералов-индикаторов кимберлитов, что позволяет предполагать их единый источник. Основная часть тяжелой фракции (50–90%) представлена неокатанными минералами-индикаторами кимберлитов. В подчиненном

количестве содержатся пирит или лимонит. В легкой фракции практически полностью отсутствует кварц, который доминирует в осадочных породах. Уникально высокая выдержанная алмазоносность пласта не характерна для россыпных месторождений. Алмазы по типоморфным особенностям и гранулометрическому составу типичны для коренных источников [9].

Приведенные данные по карнийскому алмазоносному пласту позволяют сделать вывод о его вулканогенно-осадочной природе. В качестве близких аналогов алмазоносного карнийского пласта можно рассматривать залежи стратифицированных кимберлитовых пирокластов, известные в провинции Саскачеван в Канаде [1] (рис. 2).

В 1988 г. при заверке бурением магнитных аномалий в 40 км к западу от Принс-Альберт обнаружена группа кимберлитовых тел Форт а ля Корн [1]. В результате было выявлено большое количество кимберлитовых кратеров типа мааров до 1,5 км в диаметре, возраст которых изменяется от позднеальбского до раннесеноманского. За пределами мааров, на периферии связанных с ними магнитных аномалий, скважинами вскрыты слоистые алмазоносные вулканокластические кимберлиты, переслаивающиеся с мелководными морскими осадками формации Вестгейт, которые отлагались в мелководном эпиконтинентальном море и субаральных прибрежных болотах. Кимберлиты состоят из первичных пирокластических пепловых отложений мощностью до 4,5 м, имеющих, вероятно, фреатомагматическое происхождение, и переработанных морем пирокластических осадков (эпикластических пород), в которых концентрация тяжелых минералов кимберлитов, включая алмаз, повышена в три раза [1]. Данные отложения являются дистальными пепловыми и эрозионными продуктами кимберлитовых мааров. Канадские геологи предполагают, что некоторые из этих стратифицированных отложений могут представлять собой экономически значимые палеороссыпи алмазов [1].

Подобные признаки пирокластических кимберлитов присущи базальным образованиям карнийского яруса в пределах Булкурской антиклинали (рис. 3*). Перспективы территории повышаются в связи с ураганной алмазоносностью карнийских отложений на западном склоне антиклинали, а также благодаря наличию алмазов и минералов-индикаторов кимберлитов, характерных для коренных месторождений или россыпей ближнего сноса.



Рис. 2. Алмазоносные кимберлитовые породы провинции Саскачеван [1]

Проведенный подсчет прогнозных ресурсов до глубины 200 м, только в пределах выходов пластов на уровень современного среза, сопоставим с промышленными коренными объектами.

Южнее площади развития алмазоносных пород карнийского яруса, на северном и восточном склонах Оленекского поднятия, в базальных горизонтах рэтского яруса установлена масштабная алмазоносность с большим прогнозным потенциалом [2, 6]. Рэтская залежь содержит аналогичный карнийскому спектр алмазов и минералов-индикаторов кимберлитов, но уже с признаками переотложения и сортировки, что дает основание для предположения о выбросах пирокластического кимберлитового материала на обширной площади. В арктической зоне они были частично переработаны карнийской трансгрессией, а в более южных районах — рэтской и раннеюрской.

В результате проведенного исследования сформулированы следующие выводы.

Наличие алмазоносного пирокластического материала в основании карнийского яруса верхнего триаса позволяет в ином аспекте решать проблему коренных источников уникальных россыпных месторождений севера Якутии.

Прогнозные ресурсы в стратифицированных кимберлитовых пирокластах, продуктах их переотложения в породах карнийского и рэтского ярусов значительно превышают весь прогнозный потенциал россыпных алмазов Российской Федерации.

Методика поисков коренных источников россыпей на севере Якутии нуждается в существенной переработке за счет усиления поисковой значимости самих алмазов, изучения вещественного и петрохимического составов оснований карнийского, рэтского и плинсбахского ярусов, геолого-геофизического моделирования зоны сочленения северо-востока Сибирской платформы, Предверхоанского и Лено-Анабарского прогибов и Верхояно-Колымской складчатой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и мира (Основы прогнозирования). – М.: Геоинформмарк, 2000.
2. Галабала Р.О., Данилов В.Г., Полуботко И.В., Репин Ю.С. Пограничные триасово-юрские отложения восточной части Лено-Анабарского прогиба // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1989. № 6. С. 128–132.
3. Гогина Н.И. Находка алмаза в низовьях р. Лены // Докл. АН СССР. 1979. Т. 239. № 5. С. 1168–1169.
4. Граханов С.А., Коптиль В.И. Триасовые палеороссыпи алмазов северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 11. С. 1191–1201.
5. Граханов С.А., Ядренкин А.В. Прогноз алмазоносности триасовых отложений Таймыра // Докл. РАН. 2007. Т. 416. № 5. С. 653–656.
6. Граханов С.А., Заружин А.О., Богуш И.Н., Ядренкин А.В. Открытие верхнетриасовых россыпей алмазов в акватории Оленекского залива моря Лаптевых // Отечественная геология. 2009. № 1. С. 53–61.
7. Натанов Л.М., Гогина Н.И., Сибирицев Ю.М. Новый промежуточный коллектор минералов-спутников алмаза на Сибирской платформе // Кимберлитовый и базитовый магматизм района Оленекского поднятия. Якутск, 1980. С.67–73.
8. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. – М.: Наука, 1984.
9. Россыпи алмазов России / С.А.Граханов, В.И.Шаталов, В.А.Штыров и др. / Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007.
10. Селиванова В.В. Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из прибрежно-морских триасовых россыпей Северного Верхоянья: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – М., 1991.

УДК 553.078.001.891.57 (571.5/.6)

© В.С.Звездов, О.В.Минина, 2010

РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВУЛКАНОПЛУТОНИЧЕСКИХ ПОЯСОВ ВОСТОКА РОССИИ

В.С.Звездов, О.В.Минина (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

На основе анализа геологического строения и металлогении вулканоплутонических поясов восточных регионов России и расположенных в их пределах рудных районов определены обстановки формирования комплексных рудно-магматических систем. Основными критериями их выделения являются геоструктурные условия становления рудоносных вулканоплутонических ассоциаций и пространственно-временные соотношения проявлений разнотипной рудной минерализации.

*Ключевые слова: вулканоплутонические пояса, рудно-магматические системы.
Звездов Вадим Станиславович, Минина Ольга Васильевна, metallogeny@tsnigri.ru*

ORE-MAGMATIC SYSTEMS OF VOLCANO-PLUTONIC BELTS OF THE RUSSIAN EAST

V.S.Zvezdov, O.V.Minina

Forming environments of ore-magmatic systems with integrated metallogeny are recognized based on analysis of geological structure and metallogeny of the volcano-plutonic belts of the Russian East and ore districts within them. Important criteria of their revelations are geotectonic forming conditions of the volcanoplutonic associations and spatial-temporal relationships of the different-type mineralization.

Key words: volcanoplutonic belts, ore-magmatic systems.

Проблема медно-порфировых месторождений, занимающих лидирующее положение в мировой минерально-сырьевой базе Cu, Mo, Au, Ag и Re, разрабатывается в ЦНИГРИ более 35 лет. Громадный объем информации, накопившийся в итоге многолетних исследований месторождений России,

Армении, Казахстана, Киргизии и Узбекистана, а также анализа опубликованных данных по объектам Северной и Южной Америк, Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона послужил основой создания моделей месторождений медно-порфирового семейства и вмещающих их рудно-магматиче-

ских систем (РМС). Классификационно-признаковые, геолого-промышленные, параметрические, морфометрические, градиентно-векторные, геолого-генетические и прогнозно-поисковые модели, разработанные на их основе принципы прогноза, поисков и оценки месторождений медно-порфиrowого типа описаны в серии монографий и методических руководств, подготовленных специалистами института [7–14 и др.].

Строение и условия формирования РМС вулканоплутонических поясов (ВПП), вмещающих медно-порфиrowые и сопряженные с ними месторождения других рудно-формационных типов, комплексный характер металлогении таких систем рассмотрены в работах А.И.Кривцова [7, 8, 10 и др.]. И.Ф.Мигачевым [15, 23] показано, что в РМС андезитовидных поясов могут совмещаться продукты рудогенеза, относящиеся к разным этапам становления этих геоструктур, а также комплексам их фундамента. В итоге сложилось понятие РМС «порфиrowого» типа, во внутренних частях которых локализованы медно-порфиrowые руды, а в верхних и фланговых — эпitherмальные золото-серебряные, медно-мышьяковые, мышьяково-сурьмяно-ртутные, серные, серноколчеданные и жильные полиметаллические.

Принадлежность к периферийным частям крупных медно-порфиrowых систем доказана для ряда золотых и золото-серебряных месторождений Европы [8, 9], Южной Америки [10, 21, 22, 24] и Юго-Восточной Азии [20, 26], включая такие гигантские, как Янакоча (с запасами Au >1000 т) в Перу. В предложенной Р.Силлитоу и Дж.Хеденквистом [25] генерализованной модели магматогенно-рудной системы андезитового стратовулкана с расположенным под ним рудоносным интрузивом («вулкан над интрузивом») размещение разнотипных продуктов рудогенеза (медно-порфиrowых, медно-скарновых, жильных полиметаллических, золото-серебряных «высокой и низкой сульфидизации» и др.) подчиняется в основном вертикальной зональности при незначительной роли латеральной. При этом медно-порфиrowые месторождения располагаются на нижних, а эпitherмальные золото-серебряные — на самых верхних уровнях. Проведенный авторами анализ материалов по геоструктурной позиции, магматизму и металлогении рудных районов ВПП Востока России показывает, что строение такого рода комплексных РМС не подчиняется единой схеме и в значительной степени обусловлено обстановками становления рудоносных вулканоплутонических ассоциаций (ВПА).

В качестве рудно-магматической системы нами рассматривается совокупность магматических тел

разных уровней становления рудоносной ВПА и связанных с ними продуктов рудогенеза, которые принадлежат к единому латерально-вертикальному ряду магматических и рудных формаций, образованному в ходе эволюции магматического очага. Структура комплексной системы «порфиrowого типа» включает рудоносную ВПА андезит-диорит-гранодиоритового состава (иногда с монцитонидным уклоном), сформировавшуюся на раннем этапе становления андезитовидных поясов, и закономерно расположенные в объеме РМС проявления различных рудных формаций, возникших в ходе становления ее вулканогенных и плутогенных членов. С первыми ассоциируют близповерхностные золото-серебряные, медно-мышьяковые, серные месторождения, со вторыми — молибден-медно-порфиrowые, золото-порфиrowые, жильные золото-кварцевые и золото-полисульфидные гипабиссально-субвулканического уровня.

Анализ геоструктурных обстановок становления рудоносной ВПА и результирующих пространственно-временных соотношений проявлений разнотипной рудной минерализации позволил выделить в разновозрастных ВПП восточных регионов России комплексные РМС четырех разновидностей (групп).

Наиболее распространены **системы первой группы**, располагающиеся на сочленении выступов фундамента поясов с вулканотектоническими депрессиями и характеризующиеся отчетливо выраженной латеральной магматической и рудно-формационной зональностью (рис. 1). Подобные РМС выявлены в Корякско-Центрально-Камчатском (Центрально-Камчатская), Кедонском (Южно-Омолонская), Охотско-Чукотском (Бургачанская, Кавральянская, Чаплинская, Танюрер-Канчаланская), Умлекано-Огоджинском (Покровская), Восточно-Сихотэ-Алиньском (Многовершинная, Уктурская и др.) поясах.

Примером этой группы является *Центрально-Камчатская РМС*, находящаяся на пересечении глубинных разломов в области сочленения двух наиболее значительных геоструктур Камчатки — неоген-четвертичного Корякско-Центрально-Камчатского андезитовидного ВПП и Срединного выступа его фундамента, в строении которого участвуют структурно-вещественные комплексы позднемелового – палеоценового Ирунейско-Кирганикского базальтоидного пояса. Такая позиция объясняет высокую концентрацию месторождений и рудопроявлений различной рудно-формационной принадлежности. В островодужных комплексах фундамента локализованы золото-медные (Кирганикское, Сухое, Шаромское, Хим, Позднее) проявления, в

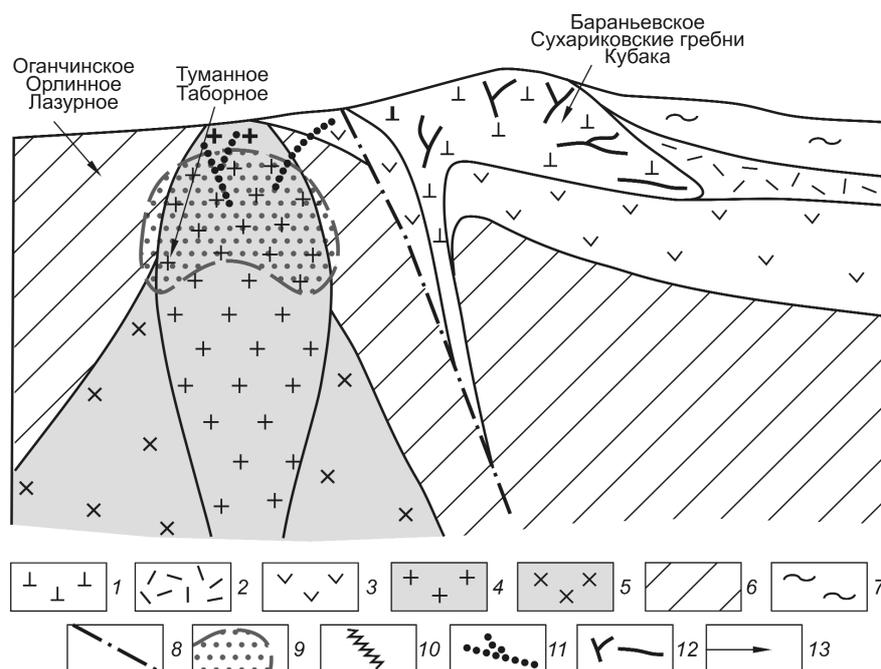


Рис. 1. Рудно-магматическая система на сочленении выступа фундамента ВПП с вулканотектонической палеодепрессией:

рудноносная вулканоплутоническая ассоциация: 1–3 — вулканогенные образования андезит-риодацитовой формации: экструзивно-субвулканические и экструзивно-лавовые купола дацитов, риодацитов, андезитов, сопровождающиеся золото-серебряными проявлениями (1), стратифицированные продукты кислого вулканизма (2), лавы и туфы андезитов, андезибазальтов с предпоясовой континентальной молассой в основании (3); 4–5 — плутогенные образования габбро-диорит-гранодиоритовой (монзонитовой) формации: поздние порфировые фазы (штоки и дайки), сопровождающиеся молибден-медно-порфировыми рудами и золото-кварцевыми жилами (4), ранние фазы — равномернозернистые и порфировидные диориты, гранодиориты, сиенито-диориты, монзониты (5); 6 — разновозрастные структурно-вещественные комплексы субстрата ВПП; 7 — перекрывающие вулканогенные толщи; 8 — разрывные нарушения; 9–12 — проявления разнотипной рудной минерализации: молибден-медно-порфировой, в том числе золотосодержащей (9), золото-кварцевой жильной (10), золото-полисульфидной (11), золото-серебряной (12); 13 — положение проявлений сопряженных рудно-формационных типов на разных уровнях РМС

прорывающих их миоцен-раннеплиоценовых гранитоидов — молибден-медно-порфировые (Лагерное, Туманное), в коагматичных вулканитах — золото-полисульфидные (Оганчинское, Лазурное) и золото-серебряные (Агинское, Золотое, Бараньевское, Сухариковские гребни и др.). Намечается следующая возрастная последовательность проявлений рудной минерализации: золото-медная кирганикского типа → молибден-медно-порфировая с сопутствующей золото-полисульфидной и завершающей ртутной → золото-серебряная золото-теллуристового, золотого и золото-серебряного типов → ртутная опалитовой формации.

Центральная Камчатка — объект многолетних геологоразведочных работ (Ю.Ф.Волков, Е.К.Игнатьев, В.А.Кучуганов, О.Ю.Рождественский,

Ю.И.Харченко и др.). В изучение золоторудных месторождений существенный вклад внесли сотрудники ЦНИГРИ — Ю.М.Щепотьев, С.С.Вартанян, Н.Л.Шилин, Б.В.Гузман и др., золото-медных — В.С.Звездов. Результаты исследований послужили основой для установления пространственно-временных соотношений разнотипных месторождений и выявления крупной полигенной Центрально-Камчатской РМС. Ведущую роль в ее строении играет миоцен-раннеплиоценовая андезит-диорит-гранодиоритовая ВПА Корякско-Центрально-Камчатского ВПП.

Выступ фундамента пояса, отвечающий внутренней зоне РМС, вмещает плутониты рудноносной ВПА, с которыми ассоциируют молибден-медно-порфировые (Лагерное, Туманное) и золото-полисульфидные (Оганчинское, Лазурное) проявления. В островодужном комплексе, участвующем в строении основания ВПП, локализованы проявления золото-медных (магнетит-борнит-халькопиритовых с самородным золотом) гнездово-вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд (Кирганикское, Шаромское, Сухое и др.). Рудовмещающими являются породы пироксенит-эссексит-шонкинитовой формации и их излившиеся аналоги (трахибазальты, трахиандезиты, щелочные базальты, их туфы), составляющие позднемел-палеоценовую трахибазальт-шонкинитовую ВПА Ирунейско-Кирганикского базальтоидного ВПП. Наиболее крупное Кирганикское месторождение локализовано в кольцевом дифференцированном шонкинитовом массиве в ареале интенсивной биотитизации и калишпатизации [4]. Массив занимает центральную часть вулканоплутонической структуры, сложенной породами рудо-

носной ВПА, на периферии которой расположено золото-медное проявление Сухое.

Молибден-медно-порфиновые проявления Лагерное и Туманное, сменяющие в возрастном ряду рудных формаций золото-медные кирганикского типа, парагенетически связаны с габбро-диорит-гранодиоритовой формацией, совместно с андезит-риодацитовой составляющей рудоносную миоцен-раннеплиоценовую ВПА раннего этапа становления Корякско-Центрально-Камчатского ВПП. Жильные и прожилково-вкрапленные молибдено-медные руды в серицит-хлорит-кварцевых метасоматитах локализованы в эндо-экзоконтактовых зонах штоков и даек гранодиорит-порфиров поздней фазы становления массивов продуктивной плутоногенной формации.

На Оганчинском месторождении и Лазурном рудопроявлении молибден-медно-порфиновые руды пространственно и во времени сопряжены с золото- и серебросодержащими галенит-сфалерит-халькопиритовыми, по составу соответствующими золото-полисульфидному минералого-геохимическому типу руд периферических частей медно-порфировых РМС, выделенному А.И.Кривцовым с соавторами [11]. Оганчинское месторождение, изученное Ю.М.Щепотьевым [19], тяготеет к экзоконтактовой зоне и ближней периферии массива диоритов-гранодиоритов. Основной объем золото-полисульфидных руд размещен в вулканитах андезит-риодацитовой формации рудоносной ВПА. Рудные жилы, жильные зоны и штокверки, сопряженные с кварц-серицитовыми и кварц-серицит-гидрослюдистыми метасоматитами, контролируются дайками трахидацитов и порфировидных диоритов и на участке Интрузивный совмещены с медно-порфировой минерализацией. На рудопроявлении Лазурное штокверк прожилков с вкрапленностью сфалерита, галенита, халькопирита, пирита, самородного золота, серебра и серы вместе с веерообразно отходящими от него жилообразными кварц-карбонат-сульфидными золоторудными телами локализован в массиве диоритов-гранодиоритов, а на верхних горизонтах — в дацитовом экструзиве. Золото-полисульфидные (Лазурное) и медно-порфиновые (Туманное) руды участвуют в строении единой колонны вертикальной рудно-метасоматической и магматической зональности с размахом 300–800 м.

Таким образом, описанные молибден-медно-порфиновые и золото-полисульфидные проявления образованы в ходе становления одной — диорит-андезитовой ВПА и приурочены к внутренней зоне Центрально-Камчатской РМС. Длительный (с позднего мела по неоген) режим поднятия, существовавший на этой площади, обусловил унаследо-

ванный структурный контроль разновозрастных процессов рудообразования и совмещение в пространстве разнотипной рудной минерализации — золото-медной и более поздней молибден-медно-порфировой и золото-полисульфидной. Несмотря на то что позднемеловая – палеогеновая трахибазальт-шонкинитовая ВПА, продуктивная на золото-медные руды кирганикского типа, сформирована в завершение становления Ачайваям-Валагинской островной дуги, а миоцен-раннеплиоценовая андезит-диоритовая ВПА, сопровождающаяся молибден-медно-порфиrowыми и золото-полисульфидными проявлениями, открывает накопление континентальных вулканитов Корякско-Центрально-Камчатского пояса, в вертикальном ряду магматических формаций они подчинены единой гомодромной последовательности и не разделены существенными перестройками.

Внешняя зона РМС в структурном плане соответствует крупной вулканотектонической депрессии, с запада, севера и востока «обрамляющей» выступ фундамента с золото-медными, молибден-медно-порфиrowыми и золото-полисульфидными проявлениями внутренней зоны. В депрессии сосредоточены эпitherмальные золото-серебряные месторождения золото-теллуrowого (Агинское), собственно золотого (Бараньевское, Золотое, Караковское) и золото-серебряного (Верхнее-Козыревское, Марина, Сухариковские гребни) типов, приуроченные к локальным палеовулканическим структурам, сложенным породами андезит-риодацитовой и андезибазальтовой формаций [19]. Ведущую роль в локализации руд играют кальдеры проседания, выкопанные вулканомиктовыми породами, и дацит-риодацитовые экструзивы, формировавшиеся синхронно с ними. Положение рудных зон контролируется бортовыми и внутрикальдерными синвулканическими сбросами и элементами строения экструзивных куполов. Размещение перечисленных золоторудных объектов во внешней зоне РМС подчинено латеральной зональности с увеличением доли серебра в рудах и возрастанием рудоконтролирующей роли экструзивов по мере удаления от центра.

Рудоносные метасоматиты, среди которых преобладают кварц-гидрослюдистые, адуляр-серицит-кварцевые, существенно кварцевые (вторичные кварциты), пирит-каолинит-кварцевые и аргиллизитовые разности, по составу соответствуют верхней части метасоматической колонны медно-порфировых систем. В их пространственном размещении проявлены элементы латеральной зональности. Так, на месторождении Сухариковские гребни, локализованном в риодацитовом экструзиве, небогатые штокверковые золото-серебряные руды с повы-

нальности. Установленные пространственные соотношения золото-медно-порфировых, золото-полисульфидных и золото-кварцевожилвных проявлений, сосредоточенных в выступах субстрата ВПП, с одной стороны, и эпитермальных золото-серебряных или золото-адуляр-кварцевых месторождений, локализованных в вулканотектонических депрессиях, с другой, не вписываются в идеализированные модели РМС, предложенные Г.Корбетом, Т.Личем [20], Р.Силлитоу [25] и другими исследователями. Скорее всего, они обусловлены сочетанием названных геоструктурных элементов, определяющих позицию месторождений, а именно выступов фундамента поясов с обстановками, благоприятными для становления многофазных плутонов и их завершающих порфировых фаз с медно-порфировой минерализацией, и примыкающих компенсационных вулканотектонических впадин с комагматичными вулканитами, продуктивными на золото-серебряные руды.

Комплексные РМС второй группы с медно-порфировыми, золото-кварцевыми и золото-полисульфидными рудами формируются при становлении плутоногенной составляющей продуктивной ВПА в магматогенных поднятиях субстрата ВПП без развития значительных по размерам вулканотектонических депрессий, выполненных породами комагматичной вулканогенной формации. Они характеризуются латерально-вертикальной рудно-формационной зональностью на гипабиссальном и субвулканическом уровнях (рис. 2). Такие системы выделены в Курьинском (Баимская, Иннахская), Кедонском (Ольдянская) и Умлекано-Огоджинском (Пионерная) поясах. Они тяготеют к крупным выступам основания перечисленных ВПП — Алучинскому, Омолонскому, Гонжинскому, в пределах которых режим воздымания сохранялся значительное (в геологическом понимании) время. Данный режим наиболее благоприятен для становления крупных многофазных плутонов и развития крупнообъемных медно-порфировых РМС [9, 12]. В сравнении с вышеописанными системами РМС второй группы менее распространены, однако одна из них — Баимская — вмещает месторождение Песчанка, самое крупное среди медно-порфировых объектов России.

Баимская РМС выделена в юго-восточном звене позднеюрского Курьинского ВПП. Рудоносная поздневожская ВПА представлена вулканитами субщелочной андезит-дацитовой и плутонитами габбро-монцитовой формаций. Обстановка их образования определяется геоструктурными условиями краевой части Алучинского поднятия, в

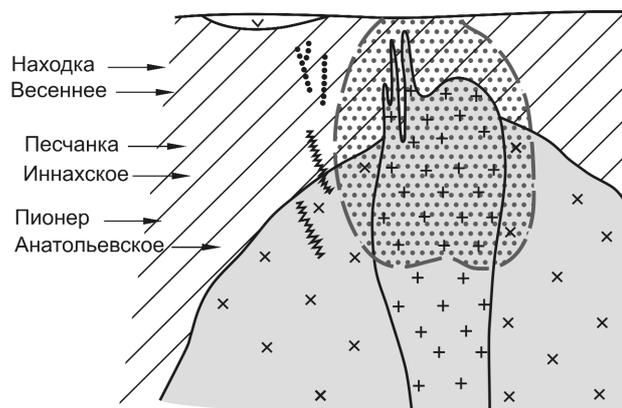


Рис. 2. Рудно-магматические системы магматогенного палеоподнятия субстрата ВПП:

усл. обозн. см. рис. 1

строении которого участвуют метаморфизованные палеозойские вулканогено-терригенные и базит-гипербазитовые комплексы. Режим поднятия, способствовавший становлению крупного Екдэгкычского плутона рудоносной формации, существовал здесь уже с триаса [16].

Названный многофазный интрузив является основным элементом строения РМС. Его рама сложена средне-верхнеюрскими островодужными и молассоидными толщами основания пояса при незначительном распространении вулканитов рудоносной ВПА. Екдэгкычский массив и его сателлиты, с которыми ассоциируют золотосодержащие молибден-медно-порфировые месторождения Песчанка и Находка и рудопроявления Лучик, Екдэгкыч, Малыш и др., образуют внутреннюю зону РМС. В ее внешней зоне — в комплексах субстрата ВПП — локализованы золото-кварцевые и золото-полисульфидные месторождения и рудопроявления (Весеннее, Верное, Смешливое), сопряженные с мелкими интрузивами продуктивной плутоногенной формации.

Месторождение Песчанка, изучавшееся М.Е.Городинским, В.В.Гулевичем, В.Г.Каминским, Г.И.Сокиркиным, И.Ф.Мигачевым, Р.Н.Мараевой, В.Г.Сапожниковым, М.М.Гирфановым, А.Г.Волчковым, В.Б.Шишаковым, расположено в центральной наиболее эродированной части РМС. Прожилково-вкрапленные золотосодержащие молибденово-медные руды сосредоточены в эндо-экзоконтактной зоне вытянутого в субмеридиональном направлении штока кварцевых монцит-порфиров длиной около 6 км и шириной от 0,3 до 0,8 км на юго-восточном фланге Екдэгкычского плутона.

Шток прорывает монзониты и кварцевые монзониты основных фаз массива и расщепляется по восстанию и простиранию на ряд апофиз. Конформное порфировому интрузиву рудное тело имеет пластинообразную форму, крутое падение и расщепляется по простиранию и восстанию на ряд апофиз.

Обобщенная модель рудно-метасоматической зональности месторождения отражает грубоцентрическое расположение ареалов развития разнотипных метасоматитов и руд относительно порфирового интрузива. Центральные части системы маркируются кварцевыми ядрами с убогой магнетит-сульфидной минерализацией. Они обрамляются молибденит-блеклорудно-борнит-халькопиритовыми рудами, наиболее интенсивно развитыми в участках сопряжения калиево-кремниевой и филлизитовой зон, а те, в свою очередь, сменяются молибденит-пирит-халькопиритовыми в филлизитовой и внутренней пропиловитовой зонах. Во внешней пропиловитовой зоне развиты пиритовый ореол мощностью в первые сотни метров, а также золото- и серебросодержащая полиметаллическая кварц-карбонатная жильная минерализация [16].

Находкинское рудное поле, включающее одноименное месторождение и рудопроявления участков Малыш, Прямой и Третий Весенний, по сравнению с месторождением Песчанка отвечает более высокому уровню эрозионного среза внутренней зоны РМС (см. рис. 2). Месторождение Находка локализовано в вулканоструктуре, образованной покровными, субвулканическими и жерловыми фациями вулканитов субщелочной андезит-дацитовой формации рудоносной ВПА. Слабо эродированный порфировый интрузив представлен серией крутопадающих даек-апофиз кварцевых монзонит-порфиоров, контролирующих размещение молибден-медно-порфировой минерализации. Рудные тела имеют пластинообразную форму и, вероятно, сливаются на глубине.

Золото-полисульфидные проявления внешней зоны Баймской РМС (южный и юго-западный фланги), парагенетически связанные с мелкими телами плутонитов рудоносной габбро-монзонитовой формации, по геолого-структурной позиции, рудно-метасоматической зональности, минеральному и вещественному составу руд полностью соответствуют характеристикам жильных полиметаллических (с Au и Ag) месторождений периферических частей медно-порфиоровых систем. Наиболее крупное из них месторождение Весеннее, сформированное на субвулканическом уровне, приурочено к штокообразному массиву сиенито-диоритовых порфиритов и монзонит-порфиоров ектэжкычского комплекса. Золото-полисульфидная минерализация

(халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, аргенит и самородное золото) сконцентрирована в штокверке кварц-карбонатных прожилков в ареале развития кварц-калишпатовых, серицит-кварцевых метасоматитов и аргиллизитов с линзами вторичных кварцитов.

Спецификой РМС второй группы, формирующихся в обстановках длительно развивающихся магматогенных поднятий, является резкое преобладание плутонитов рудоносной ВПА над ее вулканогенными составляющими. Рудообразование во внешних зонах систем происходит на гипабиссальном и субвулканическом уровнях, а не в приповерхностных условиях в связи с продуктивным вулканизмом. Такие условия приводят к возникновению ярко выраженной латерально-вертикальной рудно-формационной зональности. Рудно-магматические системы подобного типа перспективны для поисков крупных медно-порфиоровых и сопутствующих золото-полисульфидных жильных месторождений.

Комплексные РМС третьей группы сопряжены с вулканокупольными структурами, сложенными породами рудоносной ВПА в относительно поднятых блоках фундамента ВПП. В центральных частях рудоконтролирующих структур обычно размещены плутониты диорит-гранодиоритовой формации, надстраивающиеся на близповерхностном уровне экструзивно-субвулканическими телами комматических андезитов-дацитов-риодацитов, а периферия сложена туфовыми и пирокластическими фациями. Подобная обстановка становления потенциально рудоносной ВПА типична для медно-порфиоровых месторождений Андийских поясов [10]. Отличительной чертой РМС данной группы является тесная пространственная сопряженность плутоногенных и вулканогенных членов рудоносной ВПА и соответственно молибден-медно-порфиоровых и золото-серебро-полисульфидных руд, размещение которых в объеме систем подчинено вертикальной зональности (рис. 3). Примерами служат Кумрочская и Авачинско-Китхойская РМС, выделенные в южном звене неоген-четвертичного Олюторско-Восточно-Камчатского ВПП. Для обеих систем в качестве рудоносной выступает олигоцен-миоценовая ВПА, включающая плутониты диорит-гранодиоритовой и вулканиты андезит-дацитовой формаций.

Главные элементы строения *Кумрочской РМС* — довольно крупный интрузив, серия мелких штоков кварцевых диоритовых порфиритов и экструзивно-субвулканические тела дацитов рудоносной ВПА, которые прорывают вулканогенно-терригенные и кремнисто-вулканогенные острово-

дужные комплексы субстрата ВПП. Крутопадающие кварцевые, адуляр-кварцевые и сульфидно-кварцевые жилы и жильно-штокерковые зоны рудопроявлений Кумроч, Круча и Водопадный локализованы в пропилитизированных, окварцованных и аргиллизированных породах рудоносных интрузивов и их окружения. На верхних уровнях преобладают жильные золото-серебро-полиметаллические руды, которые по минеральному составу и высокой сульфидности (до 20–30%) близки золото-полисульфидному типу руд медно-порфировых месторождений, отличаясь лишь присутствием адуляра. На глубоких горизонтах они сменяются прожилково-вкрапленными и брекчиевидными медно-порфировыми рудами халькопирит-борнит-халькозинового состава. Установленные пространственные соотношения ареалов развития выделенных типов руд, являющихся продуктами становления одной — олигоцен-миоценовой диорит-андезитовой ВПА, свидетельствуют об их принадлежности к единой РМС.

Авачинско-Китхойская РМС представляет собой цепочку из нескольких локальных вулканокупольных структур, сформированных в пределах относительно поднятого блока фундамента Олюторско-Восточно-Камчатского ВПП и контролирующего скрытым разломом. Вулканокупольные постройки, к которым приурочены золото-серебро-полисульфидные рудопроявления Китхойское, Рвушее, Звездная Даль и Удачное [6], сложены магматитами олигоцен-миоценовой диорит-андезитовой рудоносной ВПА — на нижних горизонтах порфировидными диоритами и кварцевыми диоритами, а на верхних — экструзивно-субвулканическими фациями андезитов. Рудовмещающими являются интенсивно пропилитизированные и аргиллизированные разности названных пород в центральных частях описываемых локальных структур. Рудоносные крутопадающие жилы, пучки жил, штокерки состоят из кварцевых, хлорит-кварцевых, кварц-карбонатных и барит-кварцевых агрегатов с богатой вкрапленностью халькопирита, пирита, галенита, сфалерита. По составу руд они близки медно-порфировым, однако высокие содержания Ag и полиметаллов говорят об их принадлежности к верхним частям РМС.

Рудопроявления Кумрочской и Авачинско-Китхойской РМС по ряду характеристик отличаются от близких по составу золото-серебро-полиметалличе-

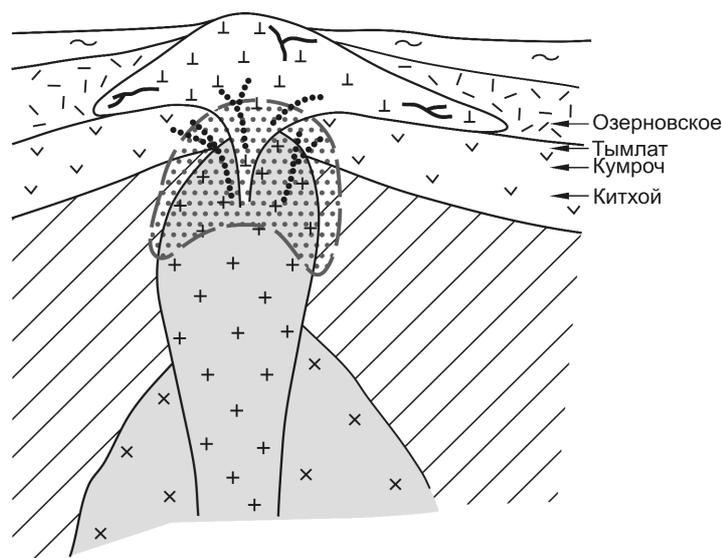


Рис. 3. Рудо-магматические системы вулканокупольной структуры:

усл. обозн. см. рис. 1

ских месторождений расположенного рядом Южно-Камчатского рудного района, для которых в качестве рудоносной служит олигоцен-миоценовая андезит-риодацитовая формация. Рудопроявлениям, принадлежащим к медно-порфировым системам, присущи более простой минеральный состав (пирит, халькопирит, сфалерит, галенит), высокая сульфидность руд (до 10–30%), преобладание Те над Se. Обращает на себя внимание существенная роль в составе раннепродуктивного золото-сульфидно-хлорит-карбонат-кварцевого комплекса золото-халькопиритовой ассоциации, определяющей положение обогащенных золотом рудных столбов с тонким более высокопробным (720–822) самородным золотом, а также ограниченное развитие позднепродуктивного золото-адуляр-кварцевого комплекса (не более 1% руд), который на золото-серебро-полиметаллических месторождениях Южно-Камчатского рудного района играет ведущую роль [19].

Отмеченные минералого-геохимические особенности руд, установленная на ряде проявлений смена на глубине золото-серебро-полисульфидной минерализации молибден-медно-порфировой, наряду с геоструктурной позицией, характеризующейся сочетанием относительно поднятых блоков фундамента ВПП с вулканокупольными структурами, позволяют выделять Кумрочскую, Авачинско-Китхойскую и другие подобные им системы в самостоятельную группу, близкую идеализированным моделям типа «вулкан над интрузивом» с вертикальной рудной и магматической зональностью.

Комплексные РМС четвертой группы в сравнении с вышеописанными немногочисленны. Близкие по строению к модели «вулкан над интрузивом» они отличаются сжатостью по вертикали и, соответственно, совмещением разнотипной минерализации (медно-порфировой, медно-мышьяковой, золото-полисульфидной, золото-серебряной) в контурах рудных зон (рудных тел), благодаря чему рудно-формационная зональность отчетливо не проявлена. Подобные РМС выявлены во всех трех выше рассмотренных геоструктурных обстановках ВПП. Наиболее простой вариант отмечен на Озерновском золото-серебряном месторождении, расположенном в северном звене Корякско-Центрально-Камчатского ВПП, для которого характерно относительно высокое положение фундамента.

Озерновская РМС на современном эрозионном срезе представлена вулканической постройкой центрального типа, сложенной породами рудоносной миоцен-раннеплиоценовой андезибазальт-андезитовой формации с экструзивно-субвулканическим телом андезитов-диоритов в жерловой зоне [1]. В центральной части и на склонах постройки широко развиты аргиллизиты и вторичные кварциты, представленные монокварцевыми и пирит-алунит-каолинит-кварцевыми разностями [5], характерными для верхних частей медно-порфиновых РМС. Крутопадающие пластинообразные тела золотоносных вторичных кварцитов протяженностью до 4,5 км и мощностью до 80 м подчиняются элементам строения вулканической постройки и контролируют положение подавляющего большинства рудных тел.

По данным С.С.Варганяна с соавторами [1] рудные залежи Озерновского месторождения — протяженные (до 2 км) ленты мощностью 1–3 м, реже линзы и жилообразные тела. Выделяются четыре стадии рудообразования, в ходе которых проба золота снижается с 970 до 660. Наиболее широко распространена ранняя золото-голдфилдит-кварцевая ассоциация в алунитовых кварцитах, отличающаяся присутствием пирита (преобладает), люцонита, фаматинита, энаргита, молибденита, а также (в меньших количествах) самородного золота, голдфилдита, селенида висмута, халькопирита и сфалерита. По составу она близка минеральным комплексам периферийных частей медно-порфиновых систем, включающих пиритовые ореолы. Размещение более поздних продуктивных минеральных ассоциаций (теллур-силванит-голдфилдит-каолинит-кварцевой, золото-гессит-гидрослюдисто-кварцевой и золото-адуляр-гидрослюдисто-кварцевой) золото-серебряных руд подчинено латеральной зональности со сменой ареалов их разви-

тия от центра рудоносной вулканоструктуры к периферии в приведенной последовательности. Основные минеральные формы золота в рудах — теллуриды, что отражает специфику месторождения. За контурами рудных тел повышенные концентрации отмечены для As, Cu и Mo.

Приведенные данные показывают, что в рудных телах Озерновского месторождения, сформированных в ходе становления рудоносной диорит-андезибазальт-андезитовой ВПА, совмещена минерализация, свойственная периферийным фланговым и самым верхним частям медно-порфиновых систем: пиритовая (ореол), энаргит-люцонитовая (с молибденитом) и золото-серебряная (золото-теллуридного типа). Не исключено, что на более глубоких горизонтах этой РМС могут располагаться штокверковые медно-порфиновые руды.

Другим примером совмещения медно-порфировой и близповерхностной золоторудной минерализации в контурах рудных тел является Многовершинное месторождение золото-адуляр-кварцевой формации, которое описано выше при анализе строения внешней зоны одноименной РМС первой группы. На этом месторождении, как и на Озерновском, совмещение сопоставимых по объему медно-порфиновых и золото-адуляр-кварцевых руд проявлено на верхнем уровне комплексной РМС.

К системам четвертой группы также относятся золото-серебряные месторождения Нявленга и Джульетта. Они находятся в тыловой зоне Охотско-Чукотского ВПП, в Балыгычанском поднятии, сложенном фанерозойскими вулканогенно-терригенными толщами. Вулканы пояса имеют здесь ограниченное развитие, плутониты распространены более широко. На северо-востоке поднятие примыкает к Балыгычано-Сугойскому рифтогенному прогибу, где сосредоточены золото-серебро-полиметаллические месторождения (наиболее крупное — Дукат), характеризующие металлогению субстрата этого звена пояса. Оба месторождения локализованы в вулканитах андезибазальт-андезит-риодацитово-формации, слагающей локальные депрессии. В пределах этих структур и в их обрамлении присутствуют массивы габбро-диорит-гранодиорит-адамеллитовой формации, принадлежащие, как и рудовмещающие вулканы, к апт-альбской ВПА раннего этапа становления пояса, потенциально рудоносной в отношении золото-серебряных и медно-порфиновых руд.

На месторождении Нявленга рудовмещающая вулканокупольная структура, сложенная экструзивно-лавовыми телами рудоносной формации, вмещает штокообразный гранитоидный «порфиновый интрузив», приуроченный к апикальной

части более крупного массива рудоносной ВПА и фиксирующий позднюю фазу его становления. Процессы рудообразования четко разделяются на этапы «до и после» внедрения штока [2]. С ранним этапом связано образование непромышленной арсенопирит-пирит-кварцевой минерализации и первой продуктивной золото-серебро-сульфидно-серицит-карбонат-хлорит-кварцевой ассоциации с пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, висмутовыми минералами, а также электроумом и самородным серебром в субмикроскопических выделениях, впоследствии укрупненных. Эта минерализация, не принадлежащая к золото-серебряной формации и, вероятно, образованная за счет регенерации рудного вещества из пород основания вулканоструктуры в ходе становления фанеритовых габбро-диорит-гранодиорит-адамеллитовых интрузивов, является источником повышенной серебреноности и карбонатности руд месторождения. С температурным и флюидным фронтом «порфирового интрузива» поздней фазы, внедрившегося в рудовмещающую толщу, связаны существенные преобразования ранних руд, а также появление серебро-медно-молибденового комплекса, принадлежащего к медно-порфировой РМС. К внешней зоне последней также относится и самый поздний золото-серебро-адуляр-кварцевый комплекс (рис. 4).

Сходную информацию дает анализ минерального состава руд месторождения Джульетта, описанного М.С.Сахаровой и др. [18]. Руды раннего этапа, слагающие основной объем промышленных залежей, представлены минеральными парагенезисами золото-серебро-сульфидно-кварцевого состава. С внедрением плутонов рудоносной ВПА в породы рудовмещающего разреза связаны метаморфизм и скарнирование ранних руд, а также возникновение мощного ореола пиритизации, свойственного периферии медно-порфировых систем.

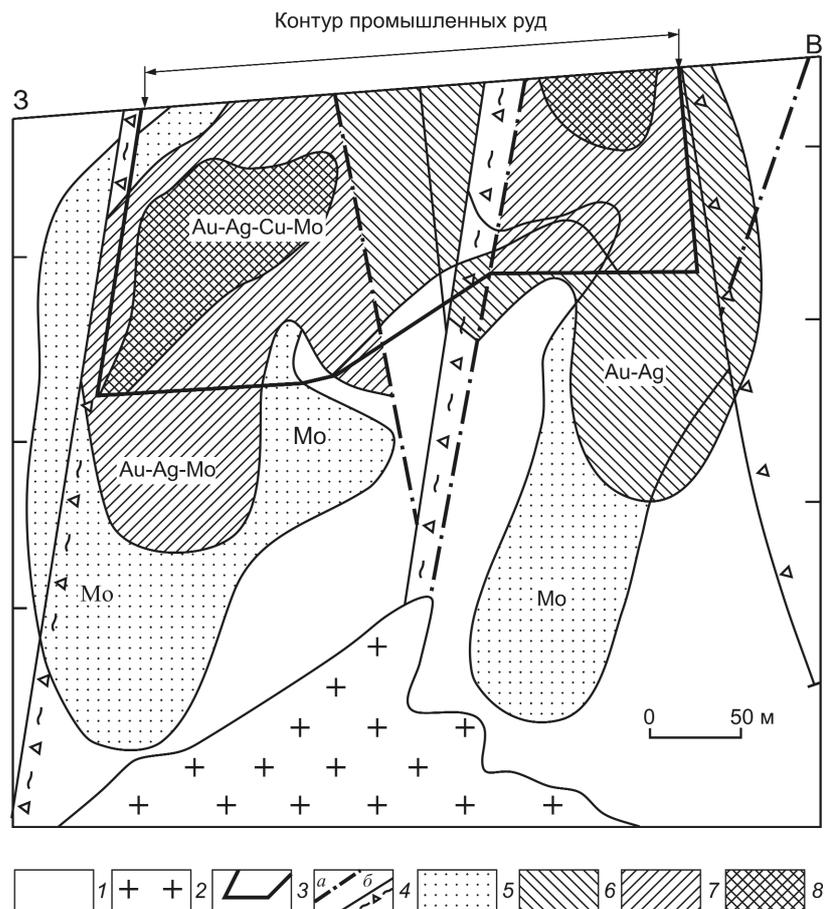


Рис. 4. Совмещение разнотипной минерализации в контурах рудных тел, характерное для РМС со структурой типа «вулкан над интрузией» в выступе фундамента ВПП. Распределение геохимических ассоциаций в продольной проекции рудного тела 1 месторождения Нявленга, по данным А.В.Волкова и др. [2]:

1 — андезиты; 2 — граниты; 3 — контур промышленных руд; 4 — разломы; 5 — брекчии; 6–9 — геохимические ассоциации

Позднерудный этап формирования РМС выражен проявлением золото-серебряной минерализации, представленной кварц-гидрослюдистыми метасоматитами и минеральными парагенезисами с низкокробным золотом, кюстелитом и повышенной концентрацией серебра.

Приведенные данные позволяют рассматривать месторождения Нявленга и Джульетта в качестве комплексных РМС четвертой группы, для которой характерно совмещение медно-порфировой и золото-серебряной минерализации в контурах рудных тел, однако по обстановке становления рудоносной ВПА (магмагенное поднятие субстрата ВПП) данные системы близки РМС второй группы.

Отличительной чертой месторождений Джульетта и Нявленга является существенная роль серебра в рудах [3,18]. На первом из них средние со-

держания Au и Ag составляют 29 и 360 г/т соответственно, а золото-серебряное отношение достигает 1:200 при среднем 1:10. На втором месторождении средние содержания Au колеблются от 3,1 до 16,5 г/т, а Ag — от 260 до 1129 г/т. Следует отметить, что повышенная сереброносность не характерна для золото-серебряных месторождений, связанных со становлением существенно андезитоидных продуктивных формаций [19]. Эта особенность рассматриваемых объектов объясняется широким развитием раннего серебро-сульфидного минерального комп-лекса, который, скорее всего, является продуктом регенерации рудного вещества из пород субстрата ВПП при становлении массивов габбро-диорит-гранодиорит-адамеллитовой формации, потенциально продуктивной на медно-порфиновые руды. Таким образом, комплексные РМС, эквивалентные месторождениям Нявленга и Джульетта, характеризуются совмещением в контурах рудных тел не только медно-порфировой и золото-серебряной минерализации, но и продуктов переотложения руд из комплексов основания Охотско-Чукотского пояса.

Анализ строения комплексных РМС четвертой группы показывает, что главной отличительной чертой их строения является совмещение в ограниченных пространствах, по размерам соответствующих рудным зонам (рудным телам), ареалов развития рудообразующих минеральных ассоциаций внутренних и внешних частей классических медно-порфиновых систем. Становление таких РМС происходит в относительно поднятых блоках (Озерновское) и выступах фундамента (Нявленга, Джульетта) ВПП или их краевых частях (Многовершинное), в пределах которых формируются плутоны и вулканы рудоносной ВПА, пространственно тесно связанные, в том числе в структурах типа «вулкан над интрузивом». Такие условия могут приводить к наложению (с частичной регенерацией) разнотипной минерализации в ограниченных объемах зон рудоотложения.

Проведенные исследования показывают, что широко распространенные в вулканоплутоновых поясах Востока России проявления цветных и благородных металлов могут принадлежать к крупным комплексным РМС, сложенным породами вулканоплутоновых ассоциаций раннего этапа формирования поясов. Во внутренних зонах таких систем, сложенных породами плутоногенной формации рудоносной ВПА, локализованы молибден-медно-порфиновые, золото-порфиновые, жильные золото-кварцевые и золото-полисульфидные месторождения гипабиссально-субвулканического уровня формирования, во внешних частях, в породах ко-

магматичной вулканогенной формации, — близповерхностные эпитермальные золото-серебряные, медно-мышьяковые и серные месторождения.

Проанализированные геоструктурные обстановки формирования РМС и установленные закономерности размещения проявлений разнотипной рудной минерализации в их объемах должны учитываться при поисках. По известным рудопроявлениям внешних (периферических) зон систем могут прогнозироваться объекты, принадлежащие к внутренним зонам, и наоборот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вартамян С.С., Евсеев Г.Н., Орешин В.Ю.* Озерновское месторождение // Золоторудные месторождения СССР. Геология золоторудных месторождений Востока СССР. М., 1988. С. 251–259.
2. *Волков А.В., Шишакова Л.Н., Демин А.Г.* Особенности прогрессивного рудообразования на золото-серебряном месторождении Нявленга // Докл. АН СССР. 1991. Т. 320. № 4. С. 934–940.
3. *Геологическое строение и состав руд золото-серебряного месторождения Джульетта (Северо-Восток России) / О.Б.Рыжов, С.Ф.Стружков, В.В.Аристов и др.* // Руды и металлы. 1995. № 2. С. 66–78.
4. *Звездов В.С.* Геология и генезис Кирганикского золото-медного месторождения Камчатки // Отечественная геология. 1997. № 5. С. 13–17.
5. *Золото-серебряные месторождения. Сер. Модели месторождений благородных и цветных металлов / М.М.Константинов, Н.П.Варгунина, Т.Н.Косовец и др.* – М.: ЦНИГРИ, 2000.
6. *Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1:500 000. Краткая объяснительная записка. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализации и ореолов рассеяния полезных ископаемых / Гл. ред. А.Ф.Литвинов, М.Г.Паточка, Б.А.Марковский.* – СПб.: ВСЕГЕИ, 1999.
7. *Кривцов А.И.* Прикладная металлогения. – М.: Недра, 1989.
8. *Кривцов А.И.* Металлогения андезитоидных вулканоплутоновых поясов. – М.: ЦНИГРИ, 1999. Ч. II.
9. *Кривцов А.И., Звездов В.С., Минина О.В., Мигачев И.Ф.* Меднопорфиновые месторождения. Сер. Модели месторождений цветных и благородных металлов. – М.: ЦНИГРИ, 2001.
10. *Кривцов А.И., Мигачев И.Ф.* Металлогения андезитоидных вулканоплутоновых поясов. – М.: ЦНИГРИ, 1997. Ч. I.
11. *Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Минина О.В.* Зональность и золотоносность руд меднопорфиновых месторождений: Обзор. Сер. Геология, методы поисков и разведки месторождений металлических полезных ископаемых. – М.: ВИЭМС, 1985.
12. *Крупные медно-порфиновые рудно-магматические системы и их геотектоническая позиция / О.В.Минина,*

- В.С.Звездов, И.Ф.Мигачев и др. – М.: ВИЭМС, МГП «Геоинформмарк», 1991. Вып. 6.
13. *Методическое* руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Золото» / Б.И.Беневольский, Е.В.Блинова, А.В.Бражник и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
 14. *Методическое* руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов благородных и цветных металлов. Выпуск «Медь» / А.И.Кривцов, И.Ф.Мигачев, А.Г.Волчков и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
 15. *Мигачев И.Ф.* Металлоносность рудно-магматических систем — прогнозы и их реализация // Базовые доклады «Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений на основе их комплексных моделей — достижения и перспективы». Научно-практич. конф. М., 2006. С. 47–57.
 16. *Мигачев И.Ф., Гирфанов М.М., Шишаков В.Б.* Медно-порфириновое месторождение Песчанка // Руды и металлы. 1995. № 3. С. 48–58.
 17. *Многовершинное* месторождение / М.С.Михайлова, В.П.Новиков и др. // Золоторудные месторождения СССР. Геология золоторудных месторождений Востока СССР. М., 1988.
 18. *Сахарова М.С., Кривицкая Н.Н., Рябов А.Н.* Эволюция минерального состава золото-серебряных месторождений Охотско-Чукотского пояса (Россия) // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40. № 1. С. 35–57.
 19. *Щепотьев Ю.М., Вартамян С.С., Орешин В.Ю., Гузман Б.В.* Золоторудные месторождения островных дуг Тихого океана. – М.: ЦНИГРИ, 1989.
 20. *Corbett G.J., Leach T.M.* Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration and mineralization // Society of Econ. Geol. Special Publication. 1998. № 6.
 21. *Evolution* of magmatic vapor to gold-rich epithermal liquid: the porphyry to epithermal transition at Nevados de Famatina, Northwest Argentina / C.Pudack, W.E.Halter, C.A.Heinrich et. al. // Econ. Geol. 2009. Vol. 104. N 4. P. 449–477.
 22. *Gustafson L.B., Vidal C.E., Pinto R., Noble D.C.* Porphyry-Epithermal Transition, Cajamarca Region, Northern Peru // Andean Metallogeny: New Discoveries, Concepts, and Updates. Society of Econ. Geol. Special Publication. 2004. N 11. P. 279–299.
 23. *Migachev I.F.* Complex ore nodes of marginal volcano-plutonic belts and their geological setting // Resource Geology Special Issue. 1993. N. 15. P. 199–209.
 24. *Muntean J.L., Einaudi M.T.* Porphyry gold deposits of the Refugio district, Maricunga belt, Northern Chile // Econ. Geol. 2000. Vol. 95. P. 1445–1472.
 25. *Sillitoe R.H., Hedenquist J.W.* Linkages between volcano-tectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits // Volcanic, geothermal and ore-forming fluids: rules and witnesses or processes within the Earth. Society of Econ. Geol. Special Publication. 2003. N 10. P. 315–343.
 26. *Spatial* and temporal relationships between hydrothermal alteration assemblages at the Palinpinon geothermal field, Philippines – Implications for porphyry and epithermal ore deposits / A.J.Rae, D.R.Cooke, D.Phillips et. al. // Volcanic, geothermal and ore-forming fluids: rules and witnesses or processes within the Earth. Society of Econ. Geol. Special Publication. 2003. N 10. P. 223–246.

УДК 553.411:553.26 (571.5)

© А.И.Иванов, 2010

ЛАТЕРАЛЬНО-ВЕРТИКАЛЬНАЯ РУДНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ КАК ОСНОВА РАЙОНИРОВАНИЯ БАЙКАЛО-ПАТОМСКОЙ РУДНОЙ ПРОВИНЦИИ

А.И.Иванов (ЗАО «Сибирская геологическая компания»)

Месторождения коренного золота, мусковита, свинца и цинка, а также потенциально промышленные рудопроявления железа, олова, вольфрама, молибдена, свинца и цинка, ниобия и редкоземельных элементов, магнезита Байкало-Патомской рудной провинции сформировались в конседиментационную и коллизионную эпохи рифейско-палеозойского тектономагматического цикла. Проведено «площадное» металлогеническое районирование, отражающее «срез» земной поверхностью объемной (латерально-вертикальной) металлогенической зональности, которая для каждого полезного ископаемого обусловлена различными разновозрастными факторами рудообразования.

Ключевые слова: провинция, золото, слюда, свинец, цинк, железо, вольфрам, молибден, ниобий, редкоземельные элементы, магнезит.

Анатолий Иннокентьевич Иванов, ivanov@sibgk.ru

LATERAL-VERTICAL ORE-METALLOGENIC ZONALITY AS THE BASIS FOR DISTRICTING OF THE BAIKAL-PATOM GOLD-MINING PROVINCE

A.I.Ivanov

Deposits of bed-rock gold, muscovite, lead and zinc, as well as potentially industrial ore occurrences of iron, tin, tungsten, molybdenum, lead and zinc, niobium and rare-earth elements, and magnesite of the Baikal-Patom gold-mining province formed during the consedimentational and collisional epochs of the Riphean-Paleozoic tectonic-magmatic cycle. An «area» metallogenic districting was undertaken and represented a «cut» by the Earth surface of the voluminous (lateral-vertical) metallogenic zonality, which is characterized by various different-age ore formation factors for each of the minerals.

Key words: Province, gold, muscovite, lead and zinc, iron, tin, tungsten, molybdenum, niobium and rare-earth elements, magnesite.

Байкало-Патомская рудная провинция выделена в пределах северо-западной части Байкальской складчатой области (миогеосинклиальной зоне байкалит по Л.И.Салопу [15]). С юга и юго-востока по Право-Мамаканскому сложно построенному разлому [2] провинция граничит с Байкало-Муйским поясом (эвгеосинклиальная зона по Л.И.Салопу).

В рифее — раннем венде данная территория представляла собой наиболее глубоководную часть (континентальный склон и континентальное подножие) пассивной континентальной окраины, сформировавшейся [2] на архейско-раннепротерозойском сиалическом фундаменте. В палеозое регион развивался в коллизионной обстановке [2, 5, 7], и в течение рифейско-палеозойского тектономагматического цикла в основном сформировалась его современная структура (рисунок) — складчатая область, состоящая из Байкало-Патомского и Мам-

ско-Бодайбинского синклиналиев и разделяющего их Чуйско-Нечерского антиклинория. Рифейско-вендские отложения накапливались в различных структурно-фациальных зонах. Корреляция стратиграфических подразделений этой части разреза (с учетом данных Т.А.Дольник, А.М.Станевич и др.) приведена в табл. 1.

В рассматриваемом регионе, кроме традиционных полезных ископаемых (золото, мусковит), выявлены месторождения и рудопроявления свинца и цинка, железа, олова, вольфрама, молибдена, магнезита, редких и редкоземельных элементов, сформировавшиеся главным образом в течение рифейско-палеозойского тектономагматического цикла [2].

Золоторудные месторождения представлены двумя основными типами — золото-кварц-сульфидным и золото-кварцевым. Наиболее крупные объекты — Сухой Лог, Высочайшее, Вернинское,

Невское, Чертово Кoryто (см. рисунок). Мелкие и средние по запасам месторождения — Кавказ, Копыловское, Догалдынская Жила, Красное, Ходоканское [1, 2, 9, 10, 13]. Изучаются вновь выявленные потенциально средние и крупные месторождения Ожерелье, Ыканское и рудные зоны Светловского рудного поля, рудопроявление Верхне-Угаханское [8, 9]. В последние годы проведена переоценка месторождения Сухой Лог [4, 11], позволившая обосновать более высокий потенциал объекта. В настоящее время осуществляются эксплуатационные работы на месторождениях Западное (западный фланг месторождения Сухой Лог), Высочайшее, Невское.

Железо. Выявлены рудные объекты формации железистых кварцитов в северо-западной (Витимский рудный район, медвежевская свита, нижнерифейские вулканогенно-терригенные отложения [2, 14]) и юго-западной (Тыйский и Абчадский рудные узлы Олоkitского рудного района, тыйская и абчадская свиты) частях региона (см. рисунок).

Олово. Рудопроявления касситерит-силикатной формации (Находка, Сентябрьское и Серебристое) установлены в породах раннепротерозойского фундамента в Тонодском поднятии [2]. В вендских отложениях Мамско-Бодайбинского синклиория в надынтрузивной зоне позднепалеозойских гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса выявлено рудопроявление олова Юдовое кварц-касситеритового типа [8].

Вольфрам. В экзоконтактах и надынтрузивных зонах массивов позднепалеозойских гранитоидов обнаружены рудопроявления скарново-шеелитового (Яковлевское, Синюгинское), кварц-шеелитового (Кварцевое, Догалдынское, Юдовое), кварц-берилл-вольфрамитового (Марининское) типов (см. рисунок).

Уран. Промышленные объекты (месторождения Туюканское, Чепок) в породах раннепротерозойского фундамента выявлены в Нечерском поднятии Чуйско-Нечерского антиклинория (данные В.М.Тюленевой и др., 2005; В.Н.Голубева и др., 2008), рудопроявления — в Тонодском, Нечерском и Аkitканском поднятиях.

Свинцово-цинковое оруденение представлено двумя типами — стратиформным в карбонатных породах и колчеданно-полиметаллическим в углеродистых терригенно-флишоидных [2, 14]. Стратиформная минерализация установлена в рифогенных органогенно-доломитовых отложениях в Западном Прибайкалье (месторождения Таборное, Луговое, Ново-Анайское), в бассейне р. Чара (рудопроявления Бестяк, Оттах) и Малая Чуя (рудопроявление Одинокое), колчеданно-полиметалличе-

ская — в юго-западной (месторождения Холоднинское и Овгольское в Олоkitском рудном районе) и юго-восточной (рудопроявление Среднее) частях золоторудной провинции (см. рисунок).

Магнезит и доломит. В северо-западной части рассматриваемого региона установлены Малочуйское и Малотуюканское рудопроявления магнезита, представленные жилами высококачественного магнезита мощностью до 10–15 м в горизонте доломитов [2].

Мусковит. Промышленная мусковитоносность связана с пегматитами Мамского слюдоносного района, где издавна известны многочисленные промышленные месторождения, разрабатываемые и в настоящее время.

Ниобий-фосфор-редкоземельное оруденение гидротермально-метасоматической формации в карбонатитах (по Д.В.Рундквисту) установлено в Нечеро-Жуинском рудном районе на Атычахском и Усть-Бираинском рудопроявлениях [2].

Металлогеническая зональность изучалась ранее на основе имеющихся материалов по золотонности, слюдоносности, свинцово-цинковым рудам [13, 14 и др.]. Открытие в регионе большой группы нетрадиционных полезных ископаемых и выяснение основных закономерностей их локализации позволяет комплексно подойти к «площадному» металлогеническому районированию, учитывающему не только виды полезных ископаемых, но также этапность и латерально-вертикальную зональность рудообразования [2, 6].

«Площадное» металлогеническое районирование (табл. 2; см. рисунок) отражает «срез» земной поверхностью объемной (латерально-вертикальной) металлогенической зональности, которая для каждого полезного ископаемого обусловлена различными разновозрастными факторами рудообразования. Эти факторы рассмотрены нами для каждого рудного полезного ископаемого и в общем виде сводятся к следующему.

Факторы зональности осадконакопления являются основополагающими для определения перспективных территорий на золото, железистые кварциты, свинец и цинк.

Золото в сверхкларковых концентрациях накапливается [3 и др.] в относительно глубоководных условиях — глубоководной части шельфа, на континентальном склоне и его подножии, где отлагаются наиболее тонкозернистые, часто углеродистые терригенные осадки. Большинство авторов предполагают, что в бассейн осадконакопления золото вместе с другими металлами поступало с гидротермами по конседиментационным разломам. В связи с этим нами в качестве благоприятных уровней для золотого

★ — промышленные месторождения Au (1 — Сухой Лог, 2 — Высочайшее, 3 — Вернинское, 4 — Невское, 5 — Чертово Корыто, 6 — Ожерелье, 7 — Ыкан-ское, 8 — Копыловское, 9 — Кавказ, 10 — Догадьянская Жила). ★ потенциально промышленные рудопроизведения Au (11 — Красное, 12 — Уряхское, 13 — Светловское, 14 — Верхне-Угаханское, 15 — Ходоканское и слабо изученные (16 — Гольцовое, 17 — Ровнинское, 18 — Атырканское, 19 — Георгиевское, 20 — Дольхтинское, 21 — Чайандринское, 22 — Миндей-Кулькуттинское); ■ — потенциально промышленные месторождения железистых кварцитов: 1–7 — Витимский железорудный район (1 — Язовское, 2 — Гремучее, 3 — Сухое, 4 — Максимихинское, 5 — Чистое, 6 — Быстринское, 7 — Мало-Туокаганское); 8, 9 — Абацедский и Тыйский железорудные районы; ■ — промышленные и потенциально промышленные месторождения Pb и Zn (1 — Холоднинское, 2 — Овгольское, 3 — Среднее, 4 — Та-борное, 5 — Лутовое, 6 — Ново-Анайское); ■ — рудопроизведения Pb и Zn (7 — Одинокое, 8 — Бестяк, 9 — Оттах).

рудообразования выделяются все углеродистые печано-сланцевые пачки рифейско-вендского разреза. Подтверждением сказанному служит приуроченность к большинству из них месторождений или рудопроизведений золота (см. табл. 1).

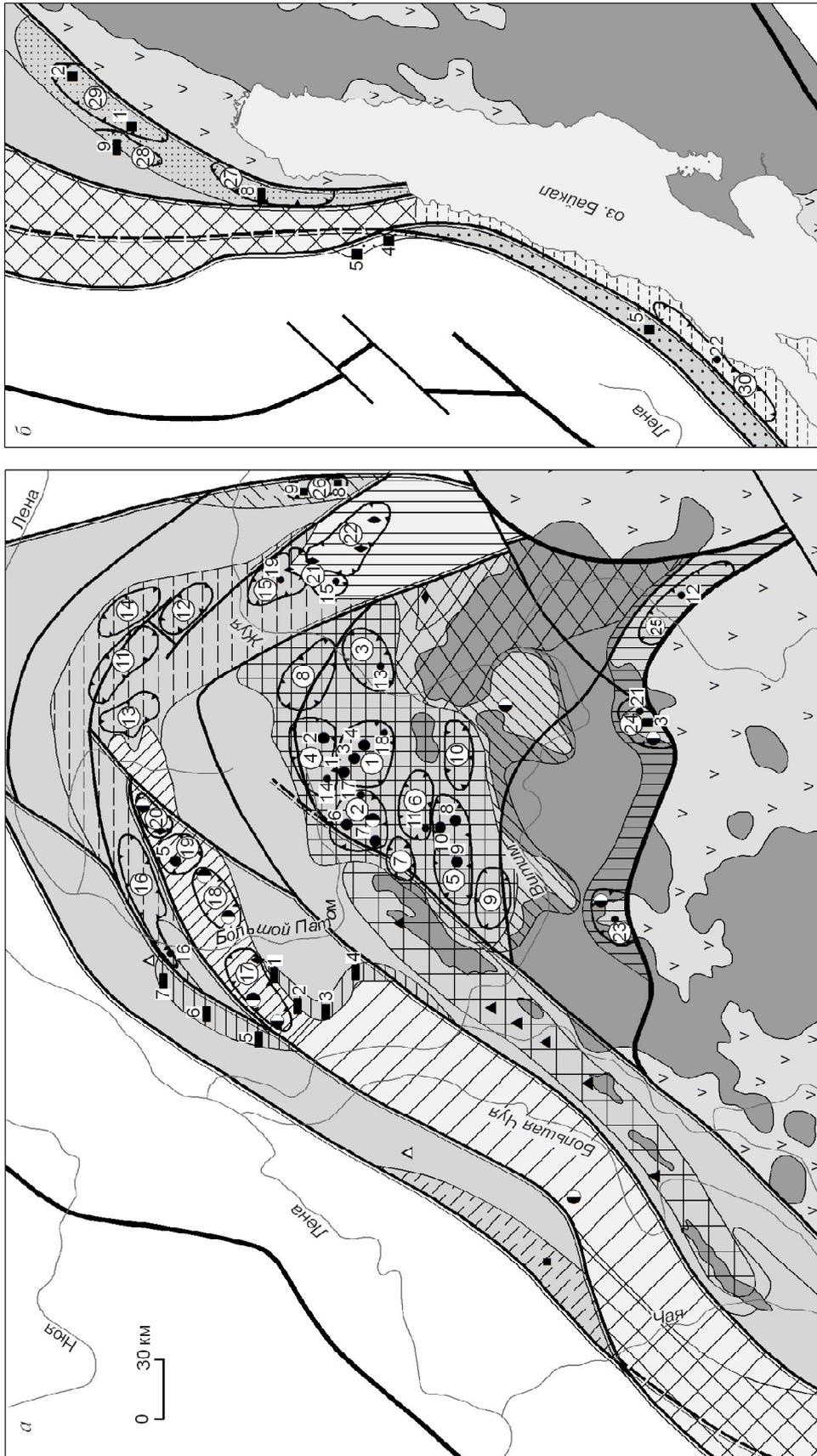
Железистые кварциты связаны с конкретными железосодержащими уровнями, фиксирующими периоды вулканической деятельности, благоприятные для миграции железа и осаждения его в оксидной форме [2].

Свинец и цинк локализируются в разновозрастных стратиграфических подразделениях, их накопление приурочено к конкретному позднерифейскому этапу тектономагматической активизации, когда в бассейнах по конседиментационным разломам поступали обогащенные этими элементами флюиды. Отложение же рудных компонентов происходило непосредственно вблизи рудоносного глубинного разлома, в том числе в местах контроля разломами образующихся рифогенных структур в переходной зоне шельф – континентальный склон [2, 14 и др.]. Одновременно на континентальном склоне продолжали формироваться и золотоносные углеродистые осадки (хомолхинская и валюхтинская свиты).

Метаморфические факторы весьма важны для определения границ золоторудных районов. Нами выделяются четыре этапа их проявления — конседиментационный, локальный, синхронный с линейной складчатостью, региональный постскладчатый и постраничный.

Конседиментационный метаморфизм (катагенез) в значительной степени (или полностью) затушеван последующими преобразованиями пород. Проявление геотермического метаморфизма связано с давлением вышележащих пород. По современным данным, при мощности осадочных отложений >12 км породы, расположенные в нижних частях разреза (>10 км), за счет геотермического градиента претерпевали преобразования при температуре >300°C, а на глубинах >5 км — 200–300°C. В таких условиях, по-видимому, началось преобразование железистых кварцитов и свинцово-цинковых руд. По данным некоторых исследователей [1 и др.], при диагенетических и эпигенетических процессах происходило перераспределение седиментогенного золота.

Локальный метаморфизм, синхронный с линейной складчатостью (начально-коллизийный этап), распознается достаточно уверенно по участию метаморфических минералов в структурно-вещественных парагенезисах этого этапа [2]. Выделяются зоны зеленосланцевого метаморфизма, в том числе и зона биотита. Для золота этот этап — главный рудоподготовительный [8, 9], поэтому



- | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |

оконтуривание зоны бурошпатизации в *PT*-условиях зеленосланцевой фации позволяет локализовать участки, перспективные на рудное золото. Это положение нашло отражение в предлагаемом металлогеническом районировании (см. рисунок). Некоторые перспективные рудные узлы и частично рудные районы (Патомо-Нечерский) выделены прежде всего на основании проявления синскладчатого метаморфизма, что, соответственно, обуславливает возможность образования золотоносных зон расланцевания и бурошпатизации. В железистых кварцитах в участках развития сквозного кливажа при общей перекристаллизации пород в зоне хлорита происходит преобразование первичного тонковкрапленного в кварце вишневого гематита в черный пластинчатый. В свинцово-цинковых рифогенных образованиях внешней зоны рудное вещество перераспределяется и компактно локализуется, образуя рудные тела [2], а в колчеданных рудах внутренней зоны его перераспределение происходит на фоне интенсивных складчатых деформаций [14 и др.].

Региональный («основной») метаморфизм, наложившийся на линейную складчатость, интенсивно проявился в Мамской и Верхне-Жуинской зонах. В этих районах он достигал амфиболитовой фации, привел к формированию гнейсовых и гранито-

гнейсовых куполов, деформации линейных складок [2, 15]. В условиях зоны хлорита преобразования этого этапа проявились только в активизированных зонах расланцевания. Повышенная флюидопроницаемость (по Ф.А.Летникову, 1999) таких зон в ряде случаев приводит к «затеканию» изограды биотита вверх на значительное расстояние. Заметные минеральные преобразования пород в этот этап, связанные с появлением биотита, выражаются в замещении сидерита и анкерита в ранее сформированных зонах бурошпатизации и сульфидизации кварцем, биотитом и другими минералами, а пирит переходит в пирротин [2, 15]. В подобных золотоносных зонах золото перераспределялось и укрупнялось [8, 9]. В железистых кварцитах с появлением граната гематит замещался магнетитом [2], а в пределах внутренней зоны завершалось формирование колчеданных свинцово-цинковых руд [14]. В участках гранитообразования в пределах гранито-гнейсовых куполов интенсивные пластические деформации приводили к настолько сильным деформациям золотоносных линейных зон расланцевания и бурошпатизации, что становилась невозможной их последующая («диафорическая») активизация как деформационных структур, и, соответственно, в их пределах не могли формироваться месторождения золота. По этой причине «эпицентры»

Схема основных структурных элементов и металлогенического районирования северной (а) и юго-западной (б) частей Байкало-Патомской рудной провинции:

1 — Сибирская платформа и зоны линейных складок, сформированные в краевой («шельфовой») части пассивной континентальной окраины; образования Байкало-Патомской рудной провинции: 2 — рифейско-вендские, 3 — выходы дорифейского фундамента; 4 — разновозрастные Байкало-Муйского пояса, Алданского щита и Становой зоны; 5 — позднепалеозойские гранитоиды (Ангари-Витимский батолит); 6 — границы рудных районов; рудные районы: 7 — Тонодский золото-уран-оловянно-вольфрамовый, 8 — Чуйский железо-уран-вольфрамовый, 9 — Аkitканский золото-уран-вольфрамовый, 10 — Нечерский золото-уран-молибденовый, 11 — Витимский железорудный, 12 — Мамский слюдоносный, 13 — Бодайбинский золото-оловянно-вольфрамовый, 14 — Синюгинский золото-оловянно-вольфрамовый, 15 — Нечеро-Жуинский редкометалльно-редкоземельно-слюдоносный, 16 — Додыхтинско-Уряхский золото-оловянно-вольфрамовый, 17 — Мало-Чуйский свинцово-цинково-магнетитовый, 18 — Желиндинский свинцово-цинковый, 19 — Олоkitский свинцово-цинково-железорудный, 20 — Прибайкальский свинцово-цинковый, 21 — Верхне-Ленский золото-урановый; 22 — рудные узлы и их номера (1 — Кропоткинский, 2 — Мараканский, 3 — Тунгусский, 4 — Хомолхинский, 5 — Артемовский, 6 — Верхне-Аунаkitский, 7 — Томиловский, 8 — Кулибриянский, 9 — Бодайбокандский, 10 — Энгажиминский, 11 — Нирундинский, 12 — Молвинский, 13 — Больше-Таймендринский, 14 — Валухтинский, 15 — Баллаганахский, 16 — Туякано-Илигирский, 17 — Туяканский, 18 — Хайвергинский, 19 — Кевачинский, 20 — Челонченский, 21 — Бульбухтинский, 22 — Ствотакский, 23 — Додыхтинский, 24 — Чайнгринский, 25 — Уряхский, 26 — Бестяжский, 27 — Тыйский, 28 — Абчадский, 29 — Холоднинский, 30 — Миндей-Кулькуттинский); 23 — главные разломы, разделяющие крупные литосферные блоки; главные внутриблоковые разломы: 24 — сформированные на стадии седиментации и активизировавшиеся в последующие этапы, 25 — сформированные при линейной складчатости и активизировавшиеся в последующие этапы; 26 — промышленные месторождения Au (1 — Сухой Лог, 2 — Высочайшее, 3 — Вернинское, 4 — Невское, 5 — Чертово Корыто, 6 — Ожерелье, 7 — Ыканское, 8 — Копыловское, 9 — Кавказ, 10 — Догаддынская Жила); 27 — потенциально промышленные рудопоявления Au (11 — Красное, 12 — Уряхское, 13 — Светловское, 14 — Верхне-Угаханское, 15 — Ходоканское) и слабо изученные (16 — Гольцовое, 17 — Ровнинское, 18 — Атырканское, 19 — Георгиевское, 20 — Додыхтинское, 21 — Чайндринское, 22 — Миндей-Кулькуттинское, 23 — Пограничное, 24 — Громовское, 25 — Петровское); 28 — потенциально промышленные месторождения железистых кварцитов: 1–7 — Витимский железорудный район (1 — Язовское, 2 — Гремучее, 3 — Сухое, 4 — Максимихинское, 5 — Чистое, 6 — Быстринское, 7 — Мало-Туяканское), 8, 9 — Абчадский и Тыйский железорудные районы; 29 — промышленные и потенциально промышленные месторождения Pb и Zn (1 — Холоднинское, 2 — Овгольское, 3 — Среднее, 4 — Таборное, 5 — Луговое, 6 — Ново-Анайское); 30 — месторождения слюды мусковита; 31 — месторождения и рудопоявления U; слабо изученные рудопоявления: 32 — Pb и Zn (7 — Одинокое, 8 — Бестяж, 9 — Оттах), 33 — магнетита, 34 — ниобий-фосфор-редкометалльные, 35 — Sn, 36 — W

2. Металлогенетическая специализация рудных районов

Рудные районы	Металлогенетическая специализация эпох и этапов рудообразования (рифей — палеозой)							Рудные узлы и потенциальные рудные узлы, месторождения и проявления полезных ископаемых
	Консидиментационная эпоха		Коллизионная эпоха					
	R ₁	R ₂ -V ₁	V ₂	Є-S ₁	S ₂ -D ₁	D ₂ -C ₁		
Бодайбинский	Au - ?	Au	Au	Au	Au	Au, W, Sn	Кропоткинский (Au — Сухой Лог, Вернинское, Невское, Атырканское); Мараканский (Au — Ожерелье, Ыканское, Ровнинское; Sn, W — Юдовое); Тулгусский (Au — Светловское); Верхне-Аунакский (Au — Красное); Накатами-Бодайбинский (Au — Кавказ, Копыловское, Дотагдынская Жила); Хомолгинский (Au — Высотайшее, Верхнее-Утаханское); Энгажминский (Au), Бодайбоканский (Au), Томпловский (Au), Кулибратинский (Au)	
Патомо-Нечерский	Au+ ?	Au	Au	Au	Au	Au	Баллаганакский (Au — Георгиевское), Нирундинский (Au — Петровское), Молвинский (Au), Большое-Гаймендринский (Au), Валухтинский (Au), Туокано-Илтипрский (Au — Гольцовое)	
Додьхтинско-Уряхский	Au - ?	Au, Pb-Zn	Au	Au	Au	Au, W, Sn, Mo	Додьхтинский (Au — Пальчи, W — Яковлевское, Купольное); Чаянтинский (Pb, Zn — Среднее; Au — Джелатагунское, W — Дотагдынское); Уряхский (Au — Уряхское)	
Тонодский	Au, Al, Fe	Au, Sn, W, U	Au	Au	Au, U	Au, U	Кевактинский (Au — Чертово Корыто); Туоканский (Sn — Находка, U — Туоканское; W — Приозерное); Хайвертинский (Sn — Серебристое, Сентябрьское; U — Довлежакит); Амандракский (U — Амандракское; W — Комплексное); Челочентский (Au, U)	
Чуйский	Au, Al, Fe	Sn, W, U	Au	Au	Au, U	W, Be, U, Au	W, Be — Марининское; U — Актитканское; Au — Пограничное, Громовское	
Нечерский	Au, Al, Fe	Sn, W, U	Au	Au	Au, U	Au, U	Бульбухтинский (Au — Ходоканское); Юсюряхский (U, Mo — Чепокское, Юсюряхское, Ствогахское)	
Витимский	Fe, Au	Au	Au	Au	Au	Au	Fe — Язовское, Гремучее, Чистое, Мало-Туоканское, Быстринское, Макеминское	
Мамский	Au - ?	Au	Au	Au	-	Ms, П	Мамская слюдяная полоса	
Синголинский	Au - ?	Au	Au	Au	Au	Au, W, Sn, Mo	W — Синюга, Кварцевое	
Нечеро-Жулинский	Au, Al, Fe	Au	Au	Au	Nb, P, TR	?	Атычахский (Nb, P, TR — Атычахское, Усть-Биринское)	
Мало-Чуйский	Au	Pb, Zn, Au	Au	Pb, Zn	-	-	Pb, Zn — Олдинокое	
Джелдинский	Au	Au	Au	Pb, Zn	-	-	Pb, Zn — Бесязк, Отгах	
Холоднинский	Au	Pb, Zn, Au	Au	Pb, Zn, Au			Pb, Zn — Холоднинское, Овгальское	
Тыйский	Fe, Au	Au	Au	Au	Au		Fe — Тыйское	
Абчадский	Fe, Au	Au	Au	Au	Au		Fe — Абчадское	
Верхне-Левский	Al - Fe? + ?	Pb, Zn, Au	Au	Au	Au	Au	Миндей-Кулькунтинский (Au — Мало-Миндейское)	
Прибайкальский	Al + ?	Pb, Zn, Au	Au	Au	-	-	Pb, Zn — Таборное, Луговое, Ново-Анайское	

Примечание. Ms — мусковит, П — тальк.

3. Основные критерии прогноза рудных районов и рудных узлов Байкало-Патомской золоторудной провинции

Объект прогноза	Критерии прогноза
Рудный район	<p>Часть крупных структурных единиц.</p> <p>Наличие флишеидных углеродистых песчано-сланцевых или карбонатно-песчано-сланцевых отложений.</p> <p>В глубинном строении:</p> <ul style="list-style-type: none"> система корово-мантийных разломов, активизировавшихся во все этапы рифейско-палеозойского развития региона и характеризующихся проявлением С-флюидного (бурошпатового) метасоматоза; система гранитоидных позднепалеозойских магматических очагов, в том числе обусловивших процессы регенерации раннепротерозойских гранито-купольных структур. <p>Метаморфические критерии:</p> <ul style="list-style-type: none"> метаморфизм нагрузки (конседиментационный) в <i>PT</i>-условиях зоны хлорита; синхронный линейной складчатости метаморфизм в условиях зон хлорита и биотита; региональный метаморфизм в условиях зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой (до зоны гранитизации) фаций; ретроградный постгранитный метаморфизм в условиях зоны хлорита. <p>Проявления золоторудной минерализации</p>
Рудный узел	<p>Участок пересечения крупных зон (1 и 2 порядков) продольных (относительно линейной складчатости) и секущих разломов фундамента.</p> <p>Наличие надынтрузивных, околоинтрузивных зон гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса или связанных с ними реоморфических гранитных куполов.</p> <p>Участок развития золотоносных россыпей, первичные и вторичные ореолы рассеяния Au и As.</p> <p>Месторождения и проявления золоторудной минерализации (необязательно для слабо изученных перспективных рудных узлов)</p>

купольной деформации не включаются в перспективные на золото территории как на уровне земной поверхности, так и на глубине. Промышленно мусковитоносные пегматиты локализуются в высокотемпературной части амфиболитовой фации [2].

Постгранитный метаморфизм характеризуется отчетливо выраженной зональностью и для значительной части изучаемой территории по сравнению с предшествующим региональным метаморфизмом более низкотемпературный (не считая собственно контактового метаморфизма). Для формирования золоторудных месторождений наиболее продуктивен диафторез хлорит-серицитового уровня, когда в пределах ранее сформированных золотоносных зон не только преобразовывались ранее сформированные «рудные» концентрации, но и отлагалось «дополнительное» золото из постгранитных флюидов.

Для рудных объектов, связанных с собственно гранитами (вольфрам, олово, молибден), уровень постгранитного метаморфизма вмещающих толщ определял тип рудных тел [2], а границы перспективных металлогенических областей — рудогенные процессы этого этапа.

Структурные и магматические факторы весьма обширны и разноранговы. Основные структуры (антиклинории, синклинории и т.д.), согласно современным представлениям о металлогеническом районировании [12], в пределах Байкало-Патомской рудной провинции обуславливают границы металлогенических зон и рудных районов. Внутри основных структур границы рудных узлов с золоторудной минерализацией определяют структуры второго порядка, т.е. рудоконтролирующие зоны продольных (для линейной складчатости) разломов

фундамента, участки их деформации или узлы пересечения с секущими разломами, зоны влияния (в *PT*-условиях зоны хлорита) интрузий конкудеро-мамаканского комплекса и реоморфических гранитных куполов. Для рудных полезных ископаемых, связанных с гранитоидами конкудеро-мамаканского комплекса, определяющие структуры — надэнтрузивные и контактовые зоны, секущие позднемагматические разломные зоны, провесы кровли и крупные ксенолиты вмещающих пород (табл. 3). Рудные узлы позднерифейского оловянно-вольфрамового оруденения локализируются в пределах разломных зон, контролирующих и гранитоидный магматизм этого возраста.

Для рудных полей с золоторудной минерализацией определяющими являются структуры более высоких порядков — участки деформации рудоконтролирующих зон расланцевания (зон смятия), узлы их пересечения с постгранитными разломными зонами.

На основе установленных факторов объемной металлогенической зональности в Байкало-Патомской рудной провинции выделяются рудные районы и рудные узлы. Всего выделено 15 рудных районов, в пределах которых 30 рудных узлов достаточно детально изучены (см. рисунок, табл. 2). Выявленные факторы металлогенической зональности могут использоваться при прогнозе золотосных рудных районов и узлов (см. табл. 3). Многие прогнозные площади выделяются впервые, а для некоторых проведена существенная корректировка границ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог — одно из крупнейших золоторудных месторождений мира. — Владивосток: Наука, 1997.
2. Докембрий Патомского нагорья / А.И.Иванов, В.И.Лифшиц, О.В.Перевалов и др. — М.: Недра, 1995.
3. Ермолаев Н.П., Созинов Н.А. Стратиформное рудообразование в черных сланцах. — М.: Наука, 1986.
4. Золоторудное месторождение Сухой Лог — переоценка и оценка прогноза рудного поля и района / И.Ф.Мигачев, И.А.Карпенко, А.И.Иванов и др. // Отечественная геология. 2008. № 2. С. 55–67.
5. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 2. — М.: Недра, 1990.
6. Иванов А.И. Основные этапы рудообразования и металлогеническое районирование северной части Байкало-Патомского нагорья // Металлогения Сибири: тез. докл. XI Всесоюзного металлогенического совещания. Новосибирск, 1987. Т.П. С. 87–88.
7. Иванов А.И. К геодинамике и металлогении рифейско-палеозойского этапа развития северной части Байкальской складчатой области // Докембрий в фанерозойских складчатых областях: тез. докл. II Всесоюзного совещания. Фрунзе, 1989. С. 92.
8. Иванов А.И. Закономерности формирования золоторудных месторождений Бодайбинского рудного района и новые аспекты их поисков // Разведка и охрана недр. 2004. № 8–9. С. 17–23.
9. Иванов А.И. Основные черты геологического строения и золотосность Бодайбинского рудного района // Руды и металлы. 2008. № 3. С. 43–61.
10. Изотопно-геохимические особенности золоторудного месторождения Ходокан (Восточная Сибирь) / Э.А.Ланда, Л.Б.Макарьев, Л.В.Былинская и др. // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд: мат-лы научной конференции (Иркутск, 3–7 октября 2005 г.). Иркутск, 2005. Т. II. С. 5–8.
11. Карпенко И.А., Черемисин А.А., Куликов Д.А. Морфология, условия залегания и внутреннее строение рудных тел на месторождении Сухой Лог // Руды и металлы. 2008. № 2. С. 11–26.
12. Кривцов А.И. Прикладная металлогения. — М.: Недра, 1989.
13. Ленский золотосный район / Ю.П.Казакевич, С.Д.Шер, Т.П.Жаднова и др. // Тр. ЦНИГРИ. М., 1971. Вып. 85. Т. 1.
14. Ручкин Г.В., Конкин В.Д. Минерагения пассивных окраин континентов и шельфов окраинных морей // Минерагения осадочных бассейнов континентов и периконтинентальных областей. М., 1998. С. 314–429.
15. Салон Л.И. Геология Байкальской горной области. Т. 2. — М.: Недра, 1967.

УДК 553.078

© А.И.Кривцов, 2010

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ

А.И.Кривцов (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Для воспроизводимости прогнозно-металлогенических построений используются различные варианты совмещения (наложения) информационных слоев (карт), характеризующих собственно геологическую среду, ее рудоносность и физические характеристики. Вероятные сочетания девяти исходных слоев разделены на основные, дополнительные, вспомогательные и возможные. Предложены оптимальные сочетания и последовательность совмещения слоев для построения прогнозно-металлогенических карт.

Ключевые слова: прогнозно-металлогенические построения, информационные слои, признаки, оценка перспектив.

Кривцов Анатолий Иванович, krivtsov@tsnigri.ru

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF THE PREDICTIVE METALLOGENIC MAPS DESIGN

A.I. Krivtsov

The design of predictive metallogenic maps employs variegated combinations of the informative attribute layers (maps), which display geological environments, their physical parameters, and ore potential. Available combinations of nine basic (source) layers are subdivided into major, additional, auxiliary, and optional. Optimal combinations and sequence of overlays' positioning in the predictive metallogenic map design are introduced.

Key words: predictive metallogenic scheme, informative layer, attribute, resources estimation.

В наиболее общем случае главная цель прогнозно-металлогенических построений — выделение площадей с возможной (вероятной) рудоносностью по комплексу признаков, установленных или устанавливаемых на достаточно детально изученных объектах-эталонах. Последние описываются прогнозно-поисковыми моделями, в качестве элементов которых выступают признаки, доступные для обнаружения. Различия в уровнях изученности известных и новых площадей априори определяют ту или иную неполноту выявления признаков, из чего вытекает вероятностный характер прогнозных построений, отражаемый в степени подобия новых площадей эталонам, мере их сходства и других характеристиках.

При составлении в ЦНИГРИ карт золотоносности субъектов РФ (2000–2002 гг.), карты экзогенной золотоносности России (2002 г.), прогнозно-металлогенических карт золотоносности терригенных комплексов восточных регионов (2009 г.) сформировались методические основы прогнозно-металлогенических построений, существо которых рассматривается в данной работе.

Основное требование к современным прогнозно-металлогеническим построениям — обеспечение

воспроизводимости их результатов, поскольку от этого зависит уровень достоверности прогнозных оценок, определяющих целесообразность постановки геологоразведочных работ и их очередность. Воспроизводимость достигается прежде всего за счет использования непосредственно наблюдаемых геологических факторов, совокупность которых отражает закономерности размещения месторождений в исследуемой геологической среде (и должна быть в равной мере доступна разным исследователям). Закономерности, выражаемые комплексом элементов-признаков (характеристик) и установленные на достаточно хорошо изученных площадях с выявленными месторождениями, а также прогнозно-поисковые модели последних характеризуют эталонные или типовые металлогенические таксоны, которые обладают комплексом характеристик и признаков, составляющих прямое признаковое пространство.

С другой стороны, геофизическими, геохимическими и другими вспомогательными методами выявляется широкий спектр дополнительных характеристик, прогнозно-металлогеническое значение которых может оцениваться через отражение рудоносных обстановок в тех или иных информационных полях и их структурных элементах.

Соответственно, на площадях, располагающихся за пределами типовых металлогенических обстановок, выделяются признаки, фиксирующие рудоносность последних, а также участки с негеологическими характеристиками, для которых обосновано совпадение с теми или иными признаками рудоносности, т.е. их отражение.

Фактографическую основу прогнозно-металлогенических построений в наиболее общем случае составляют:

листы геологических карт (ГГК-200 и крупнее), карты полезных ископаемых, а также металлогенических (при наличии);

геохимические карты, дистанционные основы, карты U-K-Th-аномалий, гравиметрические и магнитометрические;

обобщающие работы по металлогении, рудоносности и золотоносности, а также апробированные прогнозно-поисковые модели рудных районов, полей и месторождений золота.

Обработка весьма разнородной информации для целей прогнозно-металлогенических построений достигается совмещением следующих «тематических слоев» (карт):

структурно-формационная основа (СФО);

карта структурно-формационного районирования (КСФР);

дистанционная основа (ДО);

карты рудной нагрузки и коренной золотоносности (КРН и ККЗ);

карта экзогенной золотоносности (КЭЗ);

геохимическая карта (ГК);

карта U-K-Th-аномалий (АГСМ);

карта гравиметрическая (КГМ);

карта магнитометрическая (КММ).

Перечисленные слои (карты) характеризуют геологическую среду, ее рудоносность и физические характеристики; они в принципе могут совмещаться друг с другом в различных сочетаниях и в любой последовательности (рис. 1*). Целям прогнозно-металлогенических построений отвечает ограниченное число сочетаний, выбираемых по принципу: наблюдаемые геологические и металлогенические характеристики и оценка их возможного отражения в различных слоях. Число сочетаний (совмещений) и их рациональная последовательность отражены на рис. 2*.

Структурно-формационная основа составляется на основе свода геологических карт с переводом их легенд в формационное содержание и последующей увязкой в плане и на разрезах соответствующих структурно-вещественных комплексов и их групп с выделением среди них рудоносных (рудовмещающих).

Совмещение структурно-формационной и дистанционной основ используется для сопоставления откартированной системы геологических тел и структур с результатами дешифрирования и интерпретации космоаэроснимков в целях возможного применения этих данных для выявления тех или иных структурных элементов и (или) структурно-вещественных комплексов, не получивших картографического отражения в тех или иных частях структурно-формационной основы.

На базе структурно-формационной основы, совмещаемой с дистанционной основой, гравиметрической, магнитометрической и картой U-K-Th-аномалий, проводится структурно-формационное районирование. На карте выделяются зоны (подзоны) и (или) их группы, существенно отличающиеся друг от друга по набору структурно-вещественных комплексов, их составу, метаморфизму и деформациям. Районирование проводится по наблюдаемым на современном эрозионном срезе структурно-вещественным комплексам, при этом исключаются площади развития геологических образований, перекрывающих рудоносные и потенциально рудоносные структурно-вещественные комплексы.

Принципы, структура и результаты районирования отражаются на колонках, составляющих основу карты структурно-формационного районирования. В колонках стратифицированные комплексы располагаются в возрастной последовательности с описаниями формационных характеристик и отражением характера и уровня метаморфизма. При районировании учитывается вовлеченность стратифицированных структурно-вещественных комплексов в более поздние магматические процессы. Проявления последнего отражаются в колонках в пределах стратифицированных структурно-вещественных комплексов с соответствующими дагировками. В наиболее общем случае выделяются зоны (подзоны), сложенные стратифицированными структурно-вещественными комплексами без проявлений магматизма, с ареальным (очаговым) и площадным развитием последнего. В колонках каждый из выделяемых структурно-формационных таксонов сопровождается символами, отражающими доминирующий характер складчатости.

Совмещение карты структурно-формационного районирования и карт рудной нагрузки и коренной золотоносности позволяет применительно к площадям с достаточной изученностью определить общую металлогеническую специализацию формационных таксонов и выделить среди них собственно золотоносные. В пределах последних определяются пространственные закономерности размещения месторождений и рудопроявлений золота, их

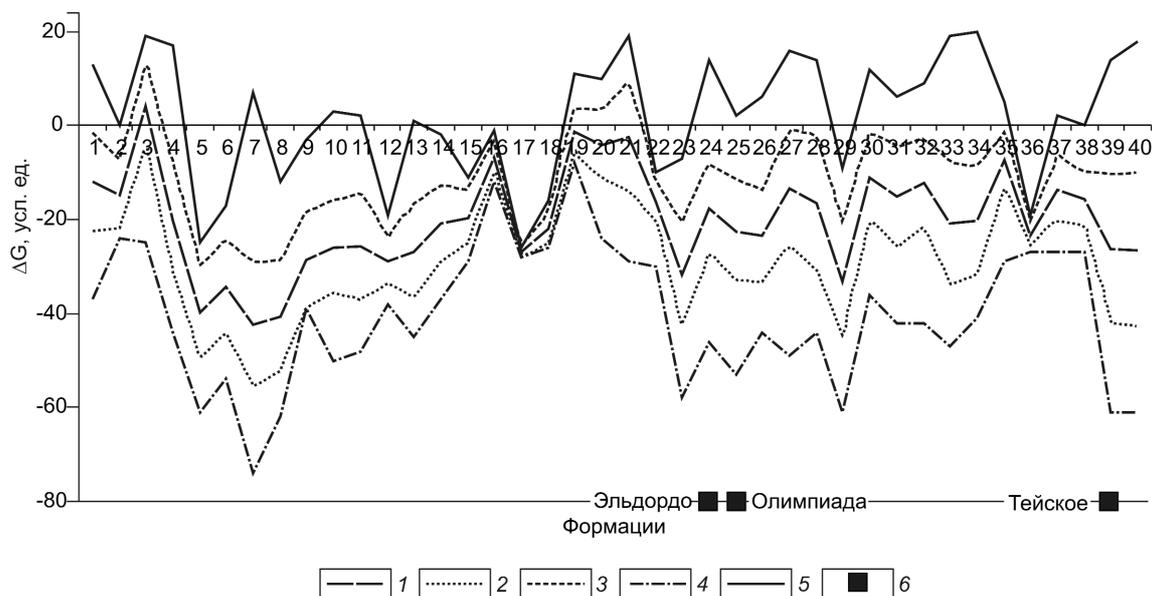


Рис. 3. Отражение геологических формаций Енисейского кряжа в гравитационном поле, составил А.Л.Галамов:

магматические комплексы: 1 — дунит-гарцбургитовая, 2, 3 — габбро-долеритовая, 4 — пироксенит-габбро-норитовая, 5, 6, 7 — диорит-гранодиорит-гранитовая, 8, 9 — граносиенит-гранодиорит-гранитовая, 10 — диорит-гранодиорит-плагиогранитовая, 11, 12, 13 — гранодиорит-гнейсогранит-гранитовая и мигматит-гранитовая, 14 — гранит-граносиенит-сиенитовая, 15 — габбро-габбро-диорит-монзонит-сиенитовая, 16 — щелочных и нефелиновых сиенитов, 17 — лампроит-лимбургит-пикрит-карбонатитовая; стратифицированные формации: 18 — вулканогенно-терригенная с фацией лав и туфов основного состава, 19 — терригенно-вулканогенная дацит-риолитовая, 20 — карбонатно-терригенно-вулканогенная андезит-базальтовая, 21 — терригенно-вулканогенная базальтоидная, 22 — вулканогенно-терригенная углеродсодержащая с фациями эффузивов кислого и основного составов, туфов, углеродистых алеврито-глинистых сланцев, 23 — вулканогенно-песчано-сланцевая углеродсодержащая, 24 — карбонатно-туфогенно-песчано-сланцевая углеродсодержащая, 25 — флишевая углеродистая карбонатно-песчано-сланцевая, 26 — терригенная песчано-сланцевая, 27 — флишеидная песчано-сланцевая, 28 — флишеидная карбонатно-терригенная, 29 — туфогенно-карбонатно-терригенная известняково-песчано-сланцевая, 30 — вулканогенно-карбонатно-терригенная, 31 — флишеидная карбонатно-сланцевая углеродистая, 32 — карбонатно-песчано-сланцевая, 33 — карбонатно-терригенная углеродсодержащая песчано-сланцевая с фацией амфиболитов, 34 — вулканогенно-карбонатно-сланцевая углеродсодержащая с амфиболитами, углеродистыми сланцами, 35 — карбонатно-сланцевая, 36, 37 — терригенно-карбонатная известняковая углеродсодержащая с фациями алеврито-глинистых сланцев, эффузивов и туфов основного состава, 38 — терригенно-карбонатная глинисто-доломит-известняковая, 39 — гнейсо-амфиболит-кварцит-кристаллосланцевая и мраморно-амфиболит-гнейсовая, 40 — амфиболит-гнейсовая, высокоглиноземистых гнейсов и кварцито-гнейсов, гранулит-чарнокит-гнейсовая; 1 — среднее; 2 — отрицательное стандартное отклонение; 3 — положительное стандартное отклонение; 4 — минимальное; 5 — максимальное; 6 — месторождения золота

приуроченность к тем или иным структурно-формационным элементам с учетом минералого-геохимических типов руд и преобладающей морфологии рудных тел (жилы и жильные зоны, штокверки, стратоидные залежи и различные их сочетания), что содержится в нагрузке карты коренной золотоносности.

В итоге эталонные структурно-формационные таксоны получают комплексную характеристику наблюдаемого рудоносного признакового пространства, те или иные элементы которого подлежат выделению на новых (оцениваемых) площадях. Соответственно, данная группа признаков (наблюденных, установленных, прямых) является базовой для рабочих карт прогнозно-поисковых признаков (РКППП).

Карта экзогенной золотоносности отражает размещение россыпей, разделяемых по масштабам, положение кор выветривания, а также оценку возможной природы источников золота, основанной на типоморфизме металла. Совмещение карты экзогенной золотоносности с топографической, дистанционной основами и картой U-K-Th-аномалий позволяет определить вероятные границы зон (областей) питания.

Результатирующие построения включают совмещение карты экзогенной золотоносности, дистанционной основы и карты коренной золотоносности. Это позволяет установить сходимость-несходимость выявленных коренных месторождений с россыпями по типоморфизму золота (возможное наличие необнаруженных объектов соответствующего

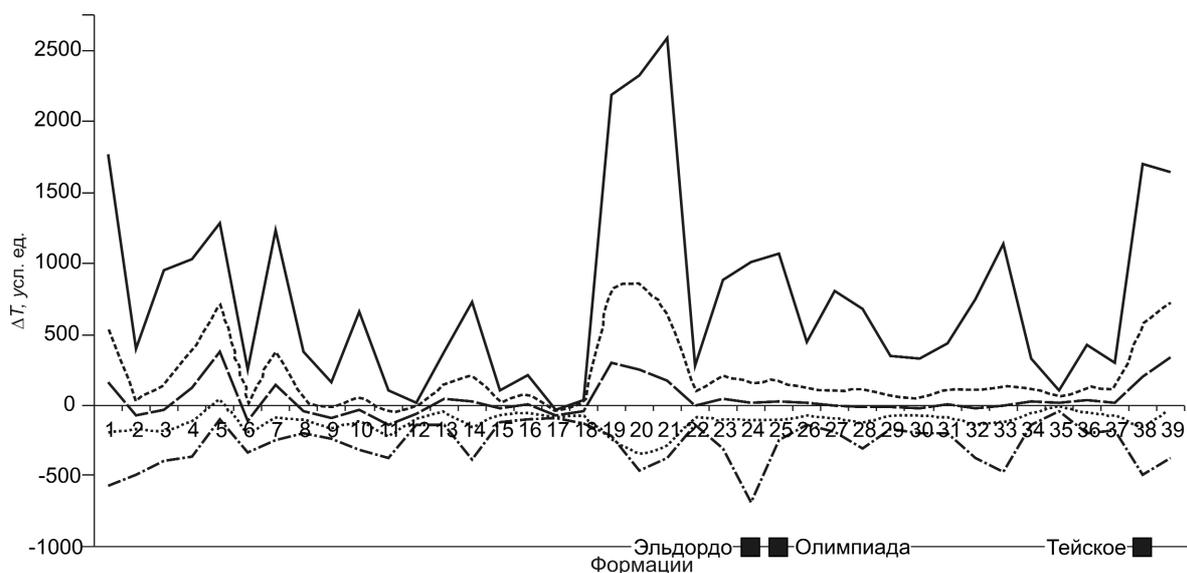


Рис. 4. Отражение геологических формаций Енисейского кряжа в магнитном поле, составил А.Л.Галямов:

усл. обозн. см. рис. 3

минералого-геохимического профиля), выделить площади развития россыпей без установленных источников питания, предварительно оценить массы золота в эродированных источниках, т.е. запасы ранее возникших его скопления. Соответствующая нагрузка переносится на рабочие карты прогнозно-поисковых признаков.

В прогнозно-поисковом плане из информации, содержащейся на геохимических картах, наибольший интерес представляют комплексные положительные аномалии, по набору элементов отражающие минералого-геохимические типы руд (месторождений), а также зоны отрицательных аномалий золота, которые могут фиксировать периферию зон рудонакопления.

Ценность геохимических карт для прогнозно-металлогенических построений существенно снижается при построении вторичных ореолов, природа и история формирования которых остаются не расшифрованными. Вместе с тем, для оценки отражаемости рудоносных площадей в геохимических полях совмещаются карты геохимические, коренной и экзогенной золотоносности. Такие же задачи решаются при совмещении карт коренной и экзогенной золотоносности с картой U-K-Th-аномалий.

Гравиметрическая и магнитометрическая карты попарно или в иных сочетаниях совмещаются с картами структурно-формационного районирования, коренной золотоносности и дистанционной основой в целях определения, в какой форме и мере гео-

физические построения отражаются в элементах признакового пространства золотоносности.

Результаты оценки отражения структурно-вещественных комплексов Енисейского кряжа в гравитационном поле в сводном виде представлены на рис. 3.

Наиболее отчетливо обособляются поля развития пород пониженной плотности. Они интерпретируются как области проявления нескрытых массивов гранитоидного ряда, что в ряде случаев подтверждается ареалами вскрытых интрузий. Стратоидные комплексы формаций, в том числе терригенных и черносланцевых, характеризуются в гравиметрическом поле сравнительно повышенными значениями. Однако четких различий между различными группами формаций (вулканогенные, терригенные, карбонатные) не выявляется и золотоносные толщи не выделяются.

Обработка пространственных соотношений магнитных свойств и выходящих на поверхность геологических формаций показывает, что рудовещающие терригенные и черносланцевые комплексы приходятся на области средних значений магнитного поля (рис. 4). Его повышенные значения связываются с распространением вулканогенных, метаморфических пород и выходами интрузий основного и ультраосновного составов, а также с полями и участками развития сети даек. Вместе с тем, четкого разделения по различным группам формаций также не наблюдается, а золотоносные толщи не выделяются.

Приведенные данные (см. рис. 3, 4) в рамках прогнозно-металлогенических построений в принципе могут использоваться для выделения структурно-вещественных комплексов на структурно-формационной основе и карте структурно-формационного районирования, однако их значимость ограничивается, во-первых, тем, что структурно-вещественные комплексы и их составляющие (свиты, подсвиты, интрузивные комплексы) ранее были выделены при геологическом картировании м-ба 1:200 000, а во-вторых, допустимостью неоднозначной интерпретации при весьма высоких размахах величин геофизических характеристик.

Все выявленные элементы признаков пространства сводятся на рабочей карте прогнозно-поисковых признаков. При составлении этой карты учитываются результаты ранее выполненных прогнозно-металлогенических построений (если таковые имеются). Выделенные ранее перспективные площади сопоставляются по уровню соответствия сформированному признаковому пространству и в наиболее общем случае могут учитываться на упомянутой карте или исключаться. Рабочая карта прогнозно-поисковых признаков — исходная база для выделения пространственных таксонов (зон, подзон, потенциальных рудных районов) на итоговой прогнозно-металлогенической карте. Последняя составляется на основе карты структурно-формационного районирования с рудной нагрузкой. При этом должна обеспечиваться сходимость структурно-формационных и металлогенических

границ; в наиболее общем случае структурно-формационные границы должны совпадать с металлогеническими (таксоны определенной металлогенической специализации). По полноте выраженности прогнозно-поисковых признаков выделяются структурно-вещественные таксоны (формации, зоны, подзоны, потенциальные рудные районы, которые показываются положением центров) различной перспективности — перспективные, потенциально перспективные, возможно перспективные, с неясными перспективами, что в принципе отвечает очередности геолого-поискового освоения.

Оценка прогнозных ресурсов производится в соответствии с действующей их классификацией и актуализированными методическими положениями. В первую очередь оцениваются площади двух первых категорий перспективности, для которых имеются количественные показатели рудоносности, а также дополнительная информация по ранее выполненным более детальным, чем масштаб итоговой карты, геолого-съемочным, поисковым, научно-тематическим и другим работам.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Кривцов А.И. Минерально-сырьевая база начала XXI в. — Мир и Россия. Избранные труды 2000–2007 гг. — М.: ЦНИГРИ, 2008.

Экзогенная золотоносность и платиноносность Российской Федерации. Объяснительная записка к комплекту карт // Отв. ред. А.И.Кривцов. — М.: ЦНИГРИ, 1997.

УДК 550.84:553.411

© С.Г.Кряжев, 2010

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ СТРАТОИДНЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

С.Г.Кряжев (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Рассмотрен комплекс современных минералого-геохимических методов прогноза и поисков стратоидных золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах, включающий определение минералогических, геохимических и изотопно-геохимических характеристик пород потенциально рудоносной формации как критериев выделения участков, перспективных на обнаружение промышленного оруденения.

Ключевые слова: черные сланцы, золото, типоморфизм, сера, углерод, стабильные изотопы, поисковые критерии.

Кряжев Сергей Гаврилович, S34@mail.ru

THE MINERALOGICAL-GEOCHEMICAL METHODS OF THE EXPLORATION FOR STRATABOUND GOLD DEPOSITS

S.G.Kryazhev

The mineralogical-geochemical methods of the exploration for stratabound gold deposits occurred in carbonaceous-terrigenous sequences are outlined and discussed. The analysis technique include determination of the country rock composition and typomorphic characteristics of the minerals (X-ray diffraction data, infrared spectroscopy data, $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$). These characteristics can be used as searching criteria on the early exploration stages.

Key words: black shales, gold, typomorphic minerals, sulfur, carbon, stable isotopes, searching criteria.

В последние годы все больший практический интерес приобретают специфические золоторудные месторождения, представленные крупными согласными и секущими залежами вкрапленных и прожилково-вкрапленных золото-кварц-сульфидных руд в углеродисто-карбонатно-терригенных комплексах. При умеренных или низких содержаниях Au эти объекты характеризуются значительными объемами минерализованных золотоносных пород, что позволяет вести отработку карьерами высокой производительности. Их типичными представителями служат крупнейшие в России месторождения Сухой Лог, Олимпиадинское, Наталкинское и многие другие.

Характерной особенностью указанных месторождений, позволяющей рассматривать их как стратоидные образования, является отчетливая приуроченность рудных тел к определенным литолого-стратиграфическим горизонтам [9]. Причины локализации золотого оруденения на отдельных уровнях разреза рудовмещающих углеродисто-терригенных формаций окончательно не выяснены. В большинстве предложенных генетических моделей допускается первичное обогащение осадков золотом и дру-

гими рудными компонентами в связи с субмаринной гидротермальной деятельностью [1, 5, 9 и др.]. Предполагается также, что последующие элизионно-катагенетические, тектонотермальные и магматогенно-метаморфогенные процессы и связанные с ними флюидные системы обуславливали перераспределение и концентрирование рудного вещества, включая привнос дополнительного количества металла из более глубоких частей разреза продуктивной толщи. Данная концепция в целом согласуется с результатами комплексных минералого-геохимических и изотопных исследований, выполненных в последние годы на эталонных объектах [7, 14, 15].

Продуктивные металлоносные фации осадков накапливаются в мелких впадинах и мульдообразных прогибах, приуроченных к узлам сочленений и пересечений конседиментационных разломов фундамента. В последующие периоды разломы неоднократно подновлялись, влияли на рисунок складчатых структур верхнего этажа и контролировали размещение метаморфогенно-гидротермальной минерализации. Именно с влиянием долгоживущих разломов связано совмещение разновозрастной золотоносной минерализации в единых рудных полях [1, 9].

Пока трудно количественно оценить роль осадочно-диагенетических, эндогенных метаморфических и гидротермально-метасоматических процессов в рудообразовании. Однако эмпирически установленная закономерная приуроченность оруденения к определенным уровням разреза и особым фациям в пределах этого уровня в настоящее время имеет достаточно надежное научно-теоретическое обоснование и соответствующие прогнозно-поисковые следствия. Выделение и локализация участков развития потенциально продуктивных отложений на основе формационного и палеофациального анализов позволяют значительно сократить площади для постановки геологоразведочных работ [9]. Вместе с тем, выявление новых рудных объектов в ареалах распространения золотоносных углеродисто-терригенных толщ часто сопряжено с необходимостью решения ряда проблем, обусловленных слабой контрастностью околорудных геохимических и метасоматических ореолов (например, на объектах сухоложского типа), а также многоуровневым характером развития оруденения при значительной мощности потенциально продуктивных отложений. Для повышения результативности поисков требуются разработка и внедрение новых эффективных технологий, основанных на современных методах анализа минерального вещества.

Выполненные в ЦНИГРИ научно-методические исследования показали, что только комплексный подход к решению прогнозно-поисковых задач обеспечивает новый более высокий уровень достоверности прогнозных оценок, который достигается путем суммирования поисковых вкладов независимых групп критериев. Расширение круга «вещественных» индикаторов оруденения с охватом различных уровней организации вещества (породного, минерального, элементного, ионного, изотопного) возможно при комплексном исследовании околорудных метасоматических, минералогических и геохимических ореолов на основе количественных методов. Такая методика была использована при прогнозе и поисках золоторудных месторождений основных геолого-промышленных типов на золоторудных полях Центрально-Колымского региона, Казахстана, Узбекистана, Урала и в ряде случаев способствовала выявлению новых рудоносных площадей и вскрытию ранее неизвестных рудных тел [4, 13].

Рассматриваемые в данной работе методы являются составной частью разрабатываемой в ЦНИГРИ комплексной минералого-геохимической методики поисков золоторудных месторождений и ее дальнейшим развитием применительно к стратонидным месторождениям золота в углеродисто-терригенных толщах. С учетом отмеченных выше

геолого-генетических особенностей объектов в качестве основного предмета исследований выбраны вмещающие оруденение метатерригенные породы. Есть все основания рассматривать минералого-геохимические особенности рудоносных пород как индикаторы особых обстановок, благоприятных для формирования крупных скоплений рудного вещества. Подобный подход особенно перспективен в условиях практического отсутствия на площади поисков вкрапленной и прожилковой минерализации.

Большинством исследователей основная роль в процессах первичного рудонакопления отводится осадочно-диагенетическим сульфидам и органическому веществу [1, 5, 8, 9, 11 и др.]. Поэтому в качестве обязательных составных частей в комплекс методов включены анализы содержаний сульфидной серы и $C_{орг}$ в породах, а также определения изотопного состава этих элементов ($\delta^{34}S$, $\delta^{13}C$) как индикатора условий осадконакопления и диагенеза [2, 3]. Одновременно анализируется и карбонатная составляющая пород, которая в большей степени отражает условия метаморфизма. Для окисленных разностей пород предусмотрены выделение и анализ вторичных сульфатов, которые, как известно, полностью наследуют изотопно-геохимические характеристики исходных сульфидов [2].

В полном объеме применяемый комплекс методов показан на рис. 1. Он организован как последовательная цепь операций, выполняемых с единой навеской исследуемой породы. Реализация комплекса обеспечивает получение практически всей доступной информации о минеральном, химическом и микроэлементном составе, а также изотопно-геохимических особенностях образца.

На практике весь цикл аналитических исследований выполняется только при разработке минералого-геохимической модели объекта поисков, которая строится на основе изучения эталонных месторождений. Поисковая модель представляет собой систему минералого-геохимических индикаторов и методов их выявления, выраженную в графической, табличной и текстовой формах и позволяющую выделять потенциально рудоносные участки черносланцевых толщ, а также проводить предварительную оценку перспектив известных проявлений золота на основе комплекса количественных показателей [13]. Элементы модели, которые могут быть выявлены существующими минералого-геохимическими методами, выделяются в качестве поисково-оценочных критериев. Каждый критерий характеризуется конкретными параметрами, определяемыми в период опытно-методических работ на эталонном объекте. Малоинформативные показатели и методы при этом исключаются из аналити-

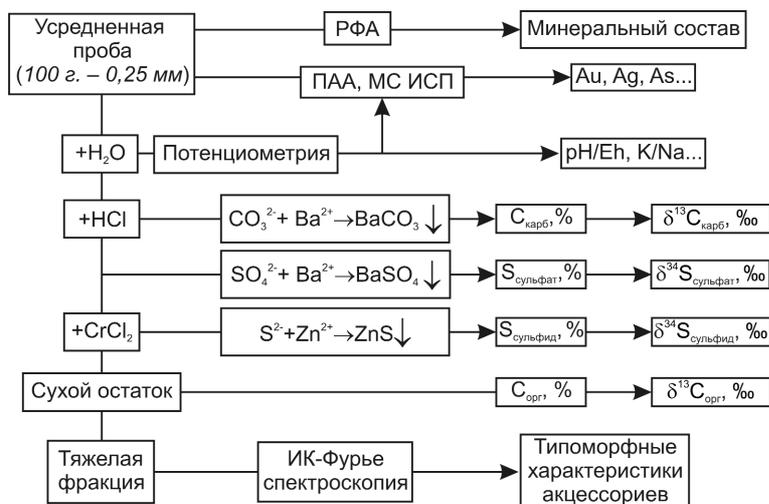


Рис. 1. Схема комплексного минералого-геохимического анализа рудовмещающих метатерригенных пород

ческого комплекса, что позволяет значительно оптимизировать процесс получения конечного результата.

В качестве примера на рис. 2 и в таблице приведены основные элементы поисковой минералого-геохимической модели, разработанной на основе комплексного изучения Сухоложского рудного поля и «фоновых» разрезов рудовмещающей формации на значительном удалении от месторождения.

Отдельно следует остановиться на методике отбора проб. В литературе существует множество примеров различных оценок «фоновой» золотоносности конкретных углеродисто-терригенных толщ. Так, В.Г.Петров по результатам анализов более 2000 проб в северной части Енисейского кряжа оценил среднее содержание Au в удерейской свите в 240 мг/т [11]. По данным Л.В.Ли и О.И.Шохиной, среднее содержание Au по 186 пробам пород удерейской свиты составляет всего 7,5 мг/т [8]. В рассматриваемом случае причины расхождения результатов опробования со всей очевидностью связаны не с аналитическими погрешностями или неверной трактовкой понятия «фоновые породы», а именно с особенностью используемых навесок для анализа. В.Г.Петров применял сплошное бороздое опробование, квартование проб и пробирный анализ больших навесок. Л.В.Ли и О.И.Шохина использовали инструментальный нейтронно-активационный анализ, который выполняется из миллиграммовых навесок. Золото, как известно, имеет ярко выраженную склонность к образованию локальных концентраций уже на стадии осадконакопления [9]. Систематическое выявление подобных геохимических неоднородностей возмож-

но только путем отбора и анализа представительных проб, что и было выполнено В.Г.Петровым. В малых навесках благородный металл присутствует преимущественно в форме рассеянного «атомарного газа», и они мало пригодны для оценки золотоносности терригенных толщ.

С учетом опыта предшествующих работ нами в качестве базовой принята методика отбора крупнообъемных проб по профилям, ориентированным вкострости простирающихся рудовмещающих толщ, с последующим дроблением и сокращением материала. Наиболее эффективным методом определения субкларковых содержаний золота в настоящее время служит комбинированный пробирно-атомно-абсорбционный анализ (ПАА), обеспечивающий чувствительность не ниже 10 мг/т при использовании навески 50 г. Применение указанного метода, например, в Сухоложском рудном поле показало, что региональный кларк Au для рудовмещающей части отложений верхней подсвиты хомолхинской свиты составляет 0,02 г/т. На этом фоне в разрезе выделяются горизонты, обогащенные Au до 0,1–0,3 г/т и прослеживаемые на расстояние до 10 км от месторождения. При этом нет никаких признаков связи повышенной золотоносности пород с разрывными секущими структурами. В пробах с повышенными содержаниями Au отсутствуют следы метасоматических процессов, прожилковая минерализация и геохимические аномалии As, Sb, Pb, Bi. Выявленные аномалии, таким образом, можно определить как фрагменты продуктивной части разреза золотоносной черносланцевой толщи, а присущие этим образованиям минералого-геохимические характеристики считать поисковыми критериями и признаками.

Рассмотрим более подробно методы, входящие в комплекс минералого-геохимического анализа рудовмещающих метатерригенных пород (см. рис. 1). Базовый и наиболее экспрессный метод изучения пороодообразующих минералов в настоящее время — рентгеновская порошковая дифрактометрия. Дифрактометрический анализ обеспечивает определение состава исходной пробы при анализе 6–8-компонентных минеральных смесей (рентгенометрический фазовый анализ — РФА), количественного соотношения основных минералов, кристаллохимических особенностей ряда минералов, имеющих типоморфное значение.

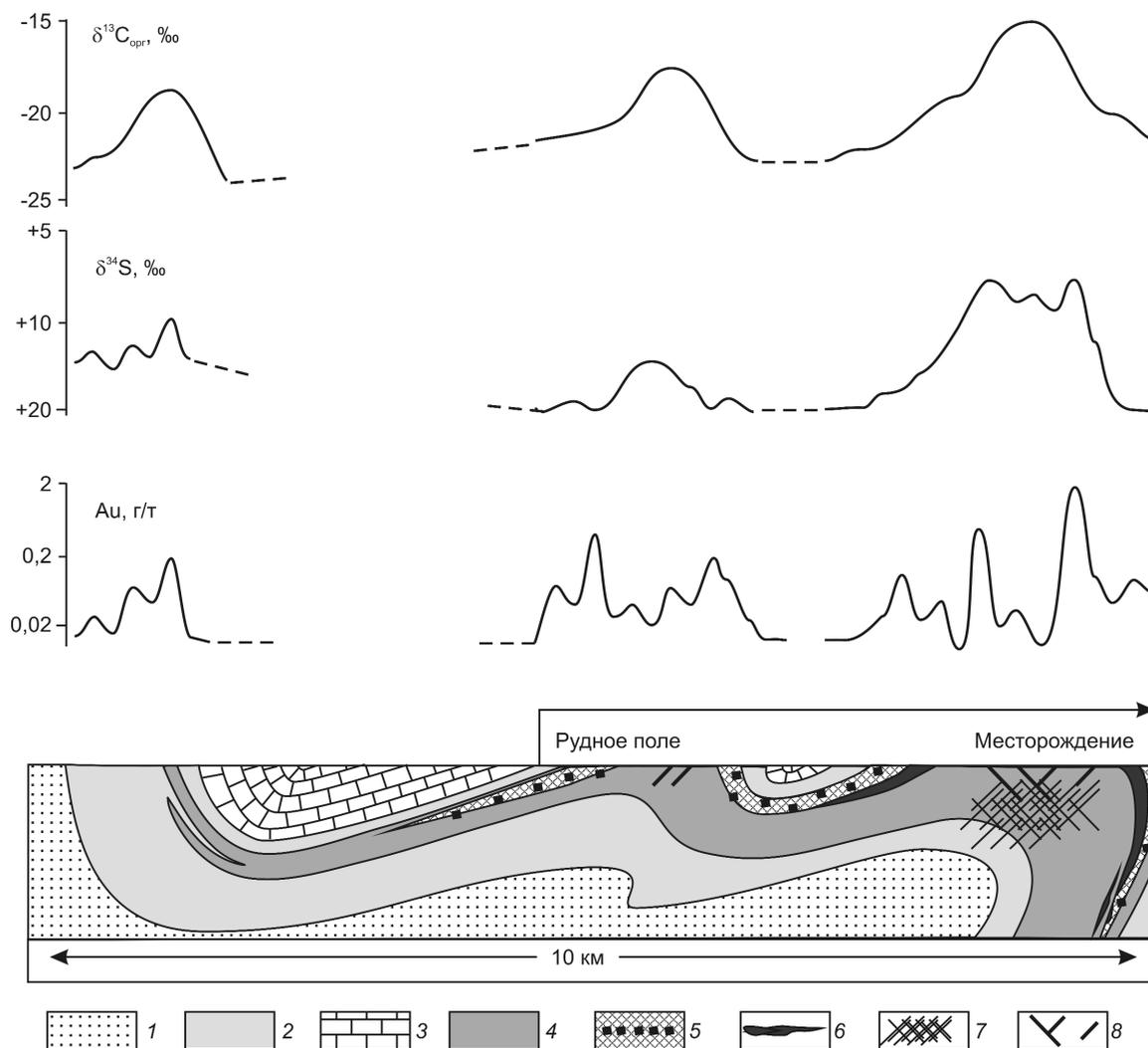


Рис. 2. Поисковая минералого-геохимическая модель месторождения Сухой Лог:

1 — песчаники; 2 — алевролиты, сланцы; 3 — известняки; 4 — породы продуктивного уровня, обогащенные сульфидной серой, Mg-Fe карбонатами, золотом; 5 — послойные скопления вкрапленности, конкреционные обособления пирита и Mg-сидерита; 6 — массивные колчеданные линзы; 7 — прожилково-вкрапленная кварц-сульфидная минерализация; 8 — кварцевые жилы

Рентгенометрический фазовый анализ используется, прежде всего, при минералогическом картировании для определения и уточнения минерального состава пород, что особенно актуально при работе с веществом углеродистых алевропелитов. Для слюд дополнительно определяются параметр $C \sin \beta$ и величина первого базального отражения (d_1). Для хлоритов информативны параметр $C \sin \beta$ и отношение интенсивностей базальных отражений $I_1 - I_2 - I_3$. Оценка состава карбонатов по рентгеновским данным не является главным методом исследования минералов этого класса, однако при экспрессном рентгеновском анализе можно исполь-

зовать величину d_{1014} , по которой диагностируются кальцит ($d_{1014} 2,98-3,04 \text{ \AA}$), доломит-анкерит ($d_{1014} 2,88-2,92 \text{ \AA}$) и сидерит ($d_{1014} 2,77-2,79 \text{ \AA}$).

При разработке поисковой модели данные дифрактометрии целесообразно сопоставлять с результатами точной диагностики химического состава минеральных фаз рентгеноспектральным микроанализом [10]. Это позволяет в дальнейшем обоснованно использовать параметр $C \sin \beta$ для диагностики диоктаэдрических слюд и выявления минералогической зональности в обширных ореолах их распространения. В Сухоложском рудном районе таким способом установлены зоны развития пара-

Параметры поисковой минералого-геохимической модели месторождения Сухой Лог

Минералого-геохимические характеристики	Фон	Продуктивная часть разреза	Рудное поле	Месторождение
$\delta^{34}\text{S}$ пирита, ‰	Пирит отсутствует	+15...+10	+20→+10	+8,5±1
As в пирите, г/т		<300	500–1000	>1000
Знак ТЭДС пирита		Отрицательный	Положительный	
$\delta^{13}\text{C}_{\text{орг.}}$, ‰	<-23	-23...-20	-21...-18	-16±1
Состав слюд	Фенгит+мусковит		Парагонит+серицит	
Состав карбонатов	Кальцит	Доломит-анкерит, сидерит		Mg-сидерит→анкерит
$\delta^{13}\text{C}$ карбонатов, ‰	-	-6...-9		-4,5±1,5
ИКС цирконов	Структура несовершенная		Структура весьма совершенная	
CO ₂ / CH ₄ (в ГЖВ)	Жильный кварц отсутствует		45–20	>50
$\delta^{13}\text{C}$ (CO ₂ +CH ₄)			-18...-15	-15...-10
Au, г/т	<0,01	0,02–0,2		0,02–2

гонита, мусковита и фенгита (см. таблицу). Карбонат с пониженным значением d_{1014} , присутствующий только в рудах месторождения Сухой Лог, рентгеноспектральным микроанализом был диагностирован как магнезиосидерит.

На участках выявленных аномалий возникает необходимость более детального изучения метасоматических и минералогических ореолов. Для этого используют крупную фракцию (1–3 мм) отобранных проб [13]. Указанная фракция скрепляется цементирующим веществом (полистирол, эпоксидная смола и др.) до состояния твердого брикета, из которого изготавливаются шлифы и аншлифы. Брикет-шлифы и брикет-аншлифы обычно включают 20–30 обломков пород и более представительны по сравнению со стандартными шлифами.

Потенциометрия. Ионно-потенциометрический метод, разработанный в ЦНИГРИ [13], основан на применении ионно-селективных электродов на широкий круг ионов — NH₄⁺, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, I⁻, Cl⁻, Br⁻ и др., а также потенциалов — pH и Eh. Для анализа подготавливается породная суспензия из фракции -0,25 мм путем смачивания ее дистиллированной водой в отношении 1:1. Метод характеризуется дешевизной, высокой экспрессностью, возможностью получать данные непосредственно в полевых условиях.

Особое значение ионно-потенциометрический метод имеет при поисках в «закрытых» районах при большой мощности рыхлого (в том числе и аллохтонного) чехла, когда остальные минералого-геохимические методы оказываются не эффективными. Применение метода основано на существовании в верхних (почвенных) горизонтах элювиоделювия слабых солевых ореолов, связанных с погребенной эндогенной минерализацией. Своим

происхождением эти ореолы обязаны, в первую очередь, биогенной и сорбционной аккумуляции химических элементов в почвенном слое. Обменные химические реакции, гидратация и сорбция ведут к «закреплению» солевого ореола, придавая ему свойства устойчивого геологического образования. При смачивании исходной пробы водой часть солевого ореола переходит в раствор и может быть проанализирована. Опытные-методические работы показали, что ионно-потенциометрический метод не менее эффективен и как предварительный экспресс-анализ протоочных проб, отобранных из коренных пород.

Для золото-кварцевого и золото-сульфидного оруденения в углеродисто-терригенных толщах наиболее характерны аномалии pH/Eh. При этом ионно-потенциометрические ореолы оконтуривают с поверхности рудные тела в близком соответствии с данными по первичным и вторичным геохимическим ореолам [13]. Эти данные позволяют в определенных условиях проводить разбраковку геохимических аномалий и участков рудопроявлений на основе только ионно-потенциометрических съемок.

После выявления потенциометрических аномалий часть водных вытяжек целесообразно проанализировать на содержание рудогенных и петрогенных элементов (см. рис. 1). Их концентрации в водных вытяжках оказываются весьма низкими, однако на несколько порядков превышают пределы обнаружения современным многокомпонентным МС ИСП анализом (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой). Между содержаниями элементов в литохимических пробах и их концентрациями в водных вытяжках устанавливается сильная положительная корреляция, по ряду элементов приближающаяся к функциональной. Нормирование по фоновым содержаниям дает возможность с большой сте-

пенью достоверности выделить все геохимические аномалии, присутствующие на площади поисков.

Необходимо отметить ряд преимуществ данной методики по сравнению с традиционным литохимическим опробованием. Объем пробы (50–100 г) обеспечивает ее весьма высокую представительность, что особенно важно при известной неравномерности распределения золотосодержащих минералов. При этом в водный раствор переходят в первую очередь металлы, находящиеся в гидроксидных, карбонатных и других относительно легко растворимых формах — продуктах окисления сульфидной минерализации. Такая избирательность значительно увеличивает контрастность слабых аномалий и их площадь. Современные приборы, работающие в полуавтоматическом режиме, обеспечивают высокую производительность лабораторий при достаточно низкой стоимости анализа. Одновременно определяются все элементы, имеющие индикаторное значение (Au, Ag, As, Sb, Hg, Bi, Pb, Cu, Zn, Mo, K, Na, Ca и др). Опережающая потенциометрическая съемка позволяет значительно сократить число выполняемых анализов, которые по существу являются заверочными.

Изотопно-геохимические методы. Изотопно-геохимические параметры отражают совокупность физико-химических процессов, сопровождающих рудообразование. Существующие различия в изотопном составе минеральных фаз можно рассматривать как проявление типоморфизма минералов.

Современные методы изотопного анализа отличаются простотой выполнения и высокой экспрессностью, сохраняя при этом большую точность и воспроизводимость. При исследовании прожилково-вкрапленной минерализации для определения изотопного состава легких элементов необходимо минимальное количество минерала (10–20 мг), никакой специальной подготовки образца не требуется. Применительно к углеродисто-терригенным породам необходима специализированная методика химической обработки образцов для выделения серы и углерода, входящих в состав тонкодисперсных минеральных фаз, и последующего изотопного анализа (см. рис. 1).

В основе изотопно-геохимических поисковых критериев лежит установленное закономерное и контрастное отличие промышленных рудных залежей от флангов рудных полей по изотопному составу легких элементов. При этом ореолы развития продуктивной минерализации, выявляемые по соответствующим изотопным характеристикам, значительно превышают размеры рудных тел. Зона высоких градиентов, отражающая переход от участков рудонакопления к области «стерильных»

вмещающих пород, служит естественной границей рудообразующей палеосистемы. Этот вывод положен в основу применения изотопных показателей в целях последовательного приближения к участкам рудолокализации.

Отчетливую зональность в распределении изотопного состава сульфидной серы и органического углерода пород хомолхинской свиты, вмещающих месторождение Сухой Лог, также можно рассматривать как своеобразный околорудный «ореол», в котором промышленное оруденение занимает достаточно определенное положение (см. рис. 2, таблицу). Подобная зональность не обязательно является следствием гидротермально-метасоматического процесса в обычном смысле этого термина, а может быть связана и с особенностями обстановки накопления и диагенеза рудовмещающих отложений. Исключительное обогащение сульфидной серы тяжелым изотопом ($\delta^{34}\text{S}$ до +20‰) совершенно не характерно для биогенно-осадочных образований [2], однако находит вполне удовлетворительное объяснение в рамках эксгалационно-осадочной модели. Аномально «тяжелый» органический углерод, обнаруженный только в породах Сухоложского рудного поля ($\delta^{13}\text{C}$ до -15 ‰), также может рассматриваться как признак особых условий седиментации (температура, газовый режим и т.п.).

ИК-Фурье спектроскопия — наиболее перспективный метод исследования типоморфных свойств акцессорных минералов (циркона, турмалина, монацита и др.). Важность данного направления поисковой минералогии обусловлена сохранностью указанных минералов в зоне гипергенеза и их способностью формировать шлиховые ореолы. Выявление среди акцессориев минералов-индикаторов золотого оруденения позволит значительно расширить возможности разработанного В.Ф.Гуреевым шлихоминералого-геохимического поискового метода [12].

Современные ИК-Фурье спектрометры, оснащенные ИК-микроскопами, дают возможность идентифицировать отдельные зерна минерала размером от 10 мкм непосредственно в шлиховой пробе. Метод отличается экспрессностью (полный анализ занимает несколько минут), простотой и доступностью для широкого круга специалистов-минералогов. Кроме диагностики минералов, ИК-спектроскопия позволяет одновременно разделять их на генетические группы по особенностям состава и структуры. Исследования в этом направлении только начинаются, однако первые полученные результаты свидетельствуют о большом потенциале ИК-Фурье спектроскопии как поискового метода.

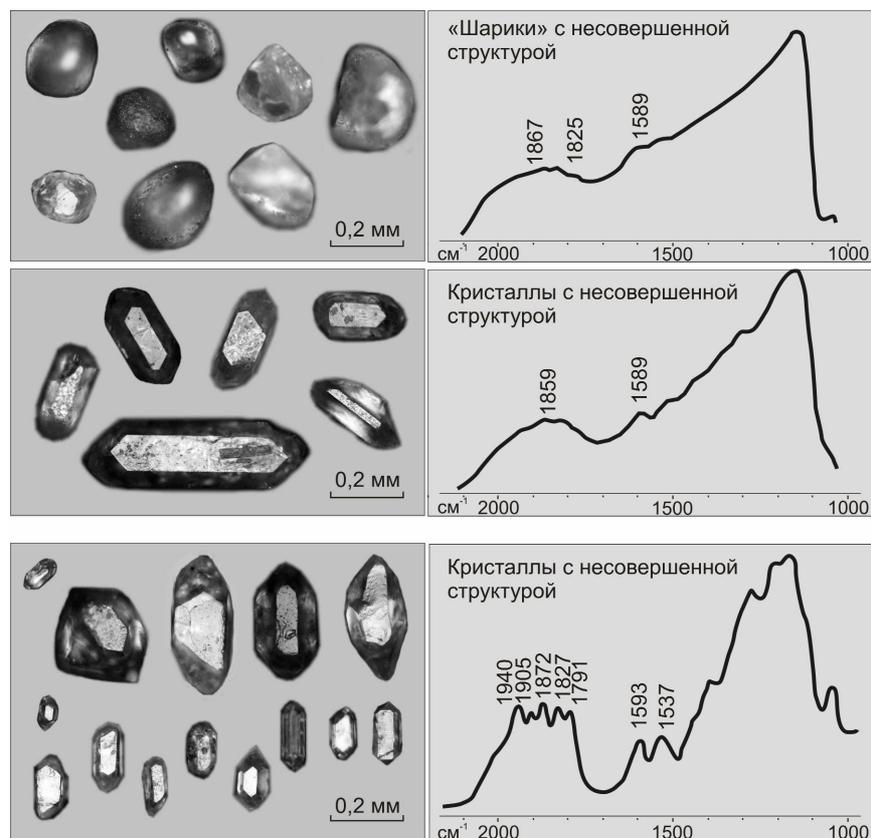


Рис. 3. Морфология и типовые ИК-спектры цирконов Сухоложского рудного района

В породах, вмещающих золоторудные месторождения Сухоложского района, один из наиболее распространенных аксессуарных минералов — циркон. Анализ ИК-спектров около тысячи индивидуальных зерен этого минерала позволил выявить среди них три главных разновидности, отличающиеся по степени совершенства кристаллической структуры (рис. 3). Кристаллы и «шарики» циркона с несовершенной структурой распространены практически на всей территории района и в разных количественных соотношениях встречаются в современном аллювии малых водотоков. Цирконы третьей группы, к которой отнесены хорошо сформированные кристаллы с весьма совершенной структурой, обнаружены исключительно в рудах и околорудных породах месторождений Сухой Лог и Вернинское. Найдены они и в аллювии ручьев, дренирующих одноименные рудные поля. При этом цирконы данной разновидности отсутствуют в шлиховых пробах, основной материал которых представлен продуктами перемыва «фоновых» пород рудовмещающей верхнемолхинской подсвисты (бассейны рек Угахан и Хомолхо).

Подобная локальность ореолов распространения циркона определенного типа и их приуроченность к крупным золоторудным полям может найти объяснение в свете результатов прецизионного U-Pb датирования кристаллов этого минерала [14]. Установлено, что возраст хорошо сформированных кристаллов циркона, выделенных из метатерригенных пород месторождений Сухой Лог и Вернинское, близок к времени осадконакопления (600 ± 10 млн. лет). Этот факт указывает на поступление цирконов данной разновидности в бассейн осадконакопления из близлежащих вулканических аппаратов [14]. Остальные цирконы имеют архейский возраст и представляют собой терригенный материал, поступающий в осадки из разнообразных удаленных источников.

Возможности минералого-геохимического подхода к решению задач выявления золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах не ограничиваются рассмотренными методами. Во многих случаях большую роль приобретают критерии, основанные на изучении и картировании ореолов развития разнообразной прожилковой минерализации, исследовании состава и свойств флюидных включений в кварце, данных термолюминесцентного анализа [4, 6, 13]. На месторождении Сухой Лог перечисленные методы не нашли широкого использования в связи с весьма однообразным характером жильно-прожилковой минерализации, представленной преимущественно кварцем. Из всего комплекса методов исследования жильного кварца только изотопный анализ углерода флюидных включений позволил в рудном поле уверенно выделить жилы, расположенные над промышленными рудными телами (см. таблицу). Очевидно, что при поисках месторождений сухоложского типа основным методом будет служить рассмотренный в статье комплексный минералого-геохимический анализ пород и рассеянной минерализации.

В заключение отметим, что минералого-геохимические исследования могут быть реализованы только в составе соответствующих прогнозно-поисковых комплексов, включающих весь арсенал существующих геологических, геофизических и геохимических поисковых методов и технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Буряк В.А.* Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982.
2. *Виноградов В.И.* Роль осадочного цикла в геохимии изотопов серы. – М.: Наука, 1980.
3. *Галимов Э.М.* Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. – М.: Недра, 1973.
4. *Исакович И.З.* Ореолы нерудной прожилковой минерализации на полиметаллических и золоторудных месторождениях и их прогнозно-поисковое значение. – М.: Бородино-Е, 2009.
5. *Кривцов А.И.* Гносеологические «мифы и рифы» проблемы источников рудного вещества // Руды и металлы. 2003. № 4. С. 514.
6. *Кряжев С.Г., Прокофьев В.Ю., Васюта Ю.В.* Использование метода ICP MS при анализе состава рудообразующих флюидов гидротермальных рудных месторождений // Вестн. МГУ. 2006. Сер. 4. Геология. № 4. С. 30–36.
7. *Кряжев С.Г., Устинов В.И., Гриненко В.А.* Особенности флюидного режима формирования золоторудного месторождения Сухой Лог по изотопно-геохимическим данным // Геохимия. 2009. № 10. С. 1–9.
8. *Ли Л.В., Шохина О.И.* Поведение золота при процессах прогрессивного регионального метаморфизма пород докембрия Енисейского кряжа // Геохимия. 1974. № 3. С. 402–409.
9. *Методика* поисков золоторудных месторождений. – М.: ЦНИГРИ, 1990.
10. *Околорудный* метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе / В.Л.Русинов, О.В.Русинова, С.Г.Кряжев и др. // Геология рудных месторождений. 2008. № 1. С. 1–44.
11. *Петров В.Г.* Условия золотоносности северной части Енисейского кряжа // Тр. Института геологии и геофизики. Новосибирск, 1974. Вып. 69.
12. *Поиски* золоторудных месторождений шлиховым минералого-геохимическим методом. – М.: ЦНИГРИ, 1986.
13. *Чекваидзе В.Б., Милев С.А., Исакович И.З.* Комплексная петрографо-минералого-геохимическая методика поисков золоторудных месторождений. М.: Бородино-Е, 2004.
14. *Age and pyrite Pb-isotopic composition of the giant Sukhoi Log sediment-hosted gold deposit, Russia / S.Meffre, R.Large, R.Scott et. al. // Geoch. et Cosm. Acta. 2008. Vol. 72. P. 2377–2391.*
15. *Sedimentary and Metamorphic Origin of Pyrite and Gold in the Giant Sukhoi Log Deposit, Lena Gold Province, Russia / R.Large, V.Maslennikov, F.Robert et. al. // Econ. Geol. 2007. Vol. 102. P. 1233–1267.*

УДК 553.44/.571.5+6

© Г.В.Ручкин, В.Д.Конкин, 2010

СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОКА РОССИИ

Г.В.Ручкин, В.Д.Конкин (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Гигантские по масштабам месторождения свинца и цинка (Горевское, Озерное, Холоднинское) и ряд более мелких на Востоке России составляют в настоящее время свинцовую и цинковую минерально-сырьевую базу страны. Они приурочены к различным геологическим обстановкам: деформированных конседиментационных впадин с углеродсодержащими карбонатно-терригенными и кремнисто-сидеритовыми толщами флишоидного строения (месторождения свинцово-цинковых руд колчеданного семейства — Холоднинское, Горевское и др.); слабо деформированных конседиментационных структур с вулканогенно-осадочными толщами (месторождения свинцово-цинковых колчеданных руд — Озернинское и др.); осадочных бассейнов, сложенных карбонатными толщами (стратонидные свинцово-цинковые месторождения — Сардана и др.); терригенно-карбонатных и карбонатных толщ с наложенными вулканоплутоническими ассоциациями пород (месторождения скарновых и жильных свинцово-цинковых руд — Николаевское и др.).

Ключевые слова: ЦНИГРИ, свинцово-цинковые месторождения, геологические обстановки, рудовмещающие толщи.

Ручкин Георгий Владимирович, Конкин Виктор Дмитриевич, metallogeny@tsnigri.ru

LEAD-ZINC ORE DEPOSITS OF THE EAST OF RUSSIA

G.V.Ruchkin, V.D.Konkin

On the basis of long-term regular researches the typical geological situation of most important lead-zinc ore deposits of types: base metal and veins in volcanic rocks, stratabound, skarn and veins in carbonate rocks of different eastern regions of Russia are considered. The examples of complex forecasting models of ore deposits and their fields and orebody formation concepts are shown on the number of ore deposits. The contribution of TSNIGRI in the lead-zinc ore deposits study and evaluation is shown.

Key words: lead-zinc ore deposits.

Систематические исследования в области геологии месторождений свинцово-цинковых руд проводились ЦНИГРИ с пятидесятых годов прошлого столетия во всех важнейших сырьевых районах бывшего СССР (Кавказ, Средняя Азия, Центральный Казахстан, Рудный Алтай, Прибайкалье, Забайкалье, Якутия, Дальний Восток) и в немалой степени способствовали наращиванию запасов этих руд. Исследования включали изучение строения площадей месторождений и рудных залежей, оценку перспектив рудных районов, а также флангов и глубоких горизонтов месторождений.

Научно-методические и научно-исследовательские работы на крупнейших свинцово-цинковых месторождениях Востока России (Холоднинском, Горевском, Озерном, Сардане и др.) и месторождениях (Партизанском, Николаевском, Южном и др.) одного из старейших в стране Дальнегорского горно-рудного района сотрудники ЦНИГРИ проводили начиная с шестидесятых годов прошлого столетия (рис. 1).

На Холоднинском месторождении научно-исследовательские работы ЦНИГРИ по литолого-фациальному расчленению высокометаморфизованной рудовмещающей углеродисто-терригенной (черносланцевой) толщи, расшифровке структуры месторождения, выявлению морфологии и вещественного состава рудных залежей, зональности их строения и решению других научных и прикладных задач позволили создать геологические основы подсчета запасов месторождения. В исследованиях различного профиля с 1972 по 1987 гг. под руководством Д.И.Горжевского, Г.В.Ручкина, В.Д.Конкина принимали участие В.А.Варламов, Н.А.Пирижняк, Т.П.Кузнецова, В.В.Кузнецов, И.Н.Егоров, В.В.Мосейкин, С.А.Булыгин, О.Б.Букинга и др.

На Горевском месторождении с 1956 по 1963 гг. М.П.Просняковым, Р.Н.Володиным, Н.Г.Клименко и др. по результатам разведки, выявленным морфологическим типам руд, их вещественному составу

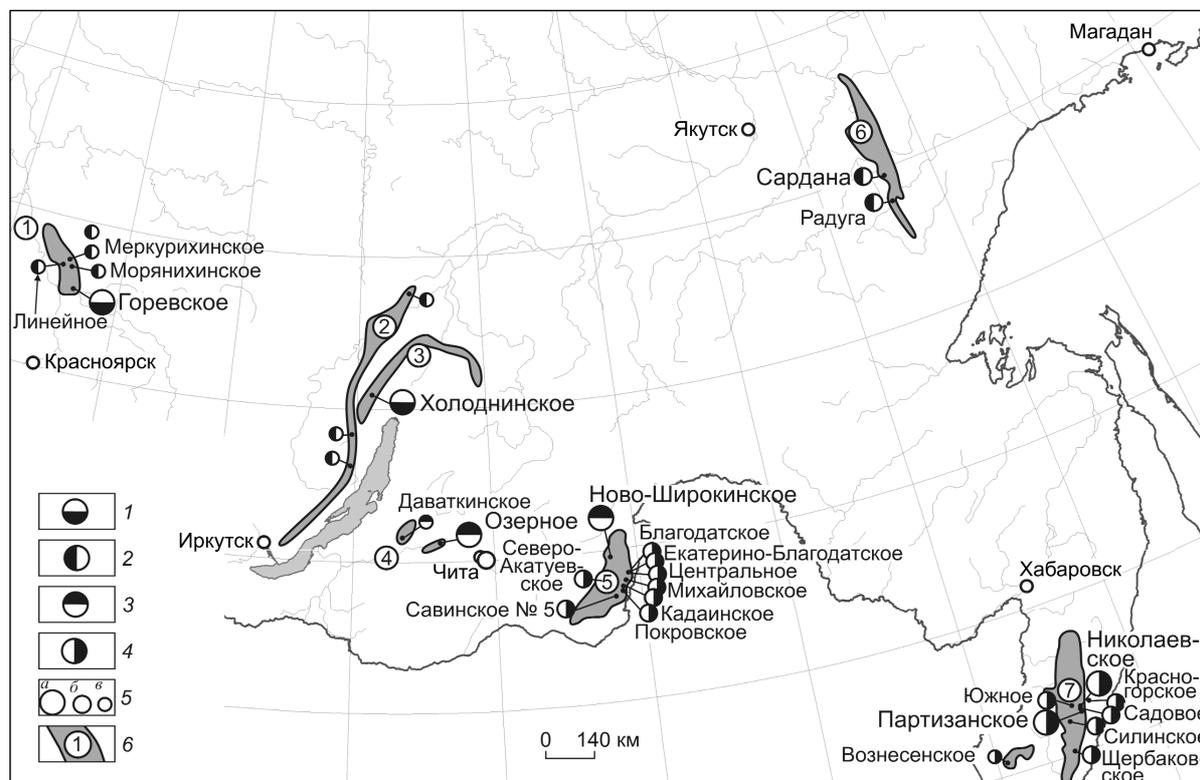


Рис. 1. Схема размещения металлогенических зон с месторождениями свинцово-цинковых руд:

рудно-формационные и геолого-промышленные типы месторождений: 1 — медно-свинцово-цинковый и свинцово-цинковый медьсодержащий колчеданный в терригенных флишеидных (черносланцевых) породах (филизчайский), 2 — свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных (в том числе биогермных) породах (миргалимсайско-сарданский), 3 — медно-свинцово-цинковый и свинцово-цинковый медноколчеданный в осадочно-вулканогенных (черносланцевых) породах (атасуйско-рудноалтайский), 4 — свинцово-цинковый скарновый и жильный (приаргунско-дальнегорский) в вулканогенно-терригенно-карбонатных породах; 5 — месторождения (а — весьма крупные, б — крупные, в — средние); б — металлогенические провинции, зоны и их номера: 1 — Енисейская, 2 — Западно-Прибайкальская, 3 — Олокиито-Делюн-Уранская, 4 — Удино-Витимская, 5 — Приаргунская, 6 — Юдомо-Майская, 7 — Прирорская

и технологическим свойствам дана геолого-экономическая оценка целесообразности освоения месторождения. Литолого-фациальное расчленение метаморфизованных рудовмещающих толщ флишеидного строения, уточнение структуры месторождения, изучение морфологии и вещественного состава рудных залежей, их зональности и другие научные задачи, направленные на выявление геолого-генетических особенностей формирования богатых свинцово-цинковых руд, в 1985–1990 гг. выполняли В.В.Кузнецов, Т.П.Кузнецова, Е.А.Преображенская и др. под руководством Д.И.Горжевского и В.Д.Конкина.

На Озерном месторождении в конце шестидесятых годов прошлого столетия проведенными исследованиями обосновано новое представление о рудовмещающей структуре и установлены особенности ее морфологического строения. С их учетом

уточнена методика разведки рудных залежей. Изучение вещественного состава руд и технологические исследования позволили разработать технологию обогащения упорных руд. Результаты работ А.А.Малаева, В.А.Варламова, А.Г.Лопатина, И.В.Крейтер, А.И.Донца и др. под руководством Д.И.Горжевского обеспечили достоверность геологического обоснования подсчета запасов.

На месторождении Сардана при поисково-оценочных работах на отдельных участках (Уруй, Перевальное и др.) и на стадии предварительной разведки рудных залежей Центрального участка были выявлены особенности геологического строения, условия залегания, морфология рудных тел, изучен состав свинцово-цинковых руд и обоснована оценка прогнозных ресурсов месторождения и рудного поля. Исследования 1972–1979 гг., в которых приняли участие В.Д.Конкин, А.И.Донец, В.М.Крутий,

И.З.Исакович, Т.П.Кузнецова, велись под руководством Г.В.Ручкина.

В Дальнегорском свинцово-цинковом районе в конце восьмидесятых годов прошлого столетия составлена прогнозная карта с выделением ряда первоочередных участков для проведения ГРП и обоснованы прогнозные ресурсы свинца и цинка, созданы прогнозно-поисковые модели скарновых и жильных свинцово-цинковых месторождений и рудных полей. С учетом элементов-признаков моделей разработан прогнозно-поисковый комплекс, направленный на выявление рудных залежей в скрытом залегании. Исследования под руководством Д.И.Горжевского и В.Д.Конкина выполняли В.М.Крутий, Ю.В.Гостев, О.Б.Букинга, А.М.Никульшин и др.

Типы свинцово-цинковых месторождений Востока России по геологическим обстановкам нахождения и их характеристика. Рассматриваемые свинцово-цинковые месторождения восточных районов различаются по ряду геологических особенностей формирования рудовмещающих толщ, которые определяют и различные обстановки нахождения свинцово-цинковых рудных залежей. Это находит свое отражение как в их различной палеоструктурной (структурной) позиции, так и в приуроченности свинцово-цинковых руд к определенным комплексам пород [1].

Обстановки деформированных конседиментационных впадин с углеродсодержащими карбонатно-терригенными и кремнисто-сидеритовыми толщами флишоидного строения с месторождениями свинцово-цинковых руд выявлены в пределах Енисейской и Олокиито-Делюн-Уранской металлогенических зон.

При изучении свинцово-цинковых колчеданных руд Холоднинского месторождения, а также колчеданно-полиметаллических проявлений Олокиитского рудного района (Овгольское, Космонавтов и др.) Олокиито-Делюн-Уранской металлогенической зоны показано, что они накапливались в конседиментационных впадинах трогового типа, внутреннее строение которых осложнялось неоднородностями палеорельефа дна. Вмещающие породы — углеродсодержащие карбонатно-терригенные толщи флишоидного строения.

Холоднинское месторождение расположено в Северном Прибайкалье. В его строении участвуют углеродсодержащие карбонатно-терригенные, кремнисто-карбонатно-терригенные и терригенно-карбонатные породы, метаморфизованные в амфиболитовой фации и содержащие равномерную вкрапленность сульфидов железа. Породы интродуцированы субпластовыми телами ортоамфиболитов (метаморфизованные габбро-диабазы и габбро),

серпентинизированных перидотитов рифейского возраста и единичными дайками мезокайнозойских камптонитов. Широко распространены высокотемпературные метасоматические образования: кварц-плагиоклаз-слюдистые породы с порфиробластами граната и амфибола (так называемые порфиробластические породы), кварц-мусковитовые и кварц-хлоритовые сланцы.

Основные рудные тела месторождения приурочены к черносланцевой свите, которая представлена графитсодержащими сланцами различной степени карбонатности, кварцитами, кварцито-песчаниками, находящимися в частом переслаивании друг с другом. По преобладанию тех или иных разновидностей пород в составе свиты выделяются четыре пачки пород.

В современном эрозионном срезе черносланцевая свита слагает удлиненную линзу протяженностью >10 км при максимальной ширине в центральной части месторождения 2,5 км. В ее пределах породы имеют крутое моноклиальное залегание и осложнены малоамплитудными складками разных генераций и порядков.

Стратифицированные пласто- и линзообразные залежи приурочены главным образом к породам черносланцевой толщи, а секущие тела сложной формы локализованы в основном в метаморфогенно-метасоматических породах, реже среди пластообразных залежей.

Стратифицированные рудные залежи располагаются на трех стратиграфических уровнях, обнаруживая приуроченность к графитсодержащим кварц-слюдисто-карбонатным пачкам. На нижнем наиболее продуктивном уровне располагаются линзовидные рудные тела и многоярусные пластовые залежи протяженностью до сотен метров. Каждая пласто- и линзообразная залежь имеет ряд мелких пластообразных и клиновидных отщеплений как по восстанию, так и по падению (рис. 2). Соотношение длины пластообразных рудных тел по простиранию к их ширине по падению и к мощности — 25:12:1 (до 50:10:1). Контакты рудных тел с вмещающими породами четкие и повторяют сложный рисунок микроскладчатости последних. Залегание залежей крутое до субвертикального.

Положение пластовых рудных залежей зависит от особенностей строения рудовмещающего разреза. Появление первых (снизу вверх по разрезу) маломощных прослоев и линз колчеданных руд фиксируется по смене гранатсодержащих глинистых песчаников карбонатсодержащими песчано-глинистыми. Фациальные изменения рудовмещающей толщи от дневной поверхности по падению отразились на морфологии рудных залежей. Единая

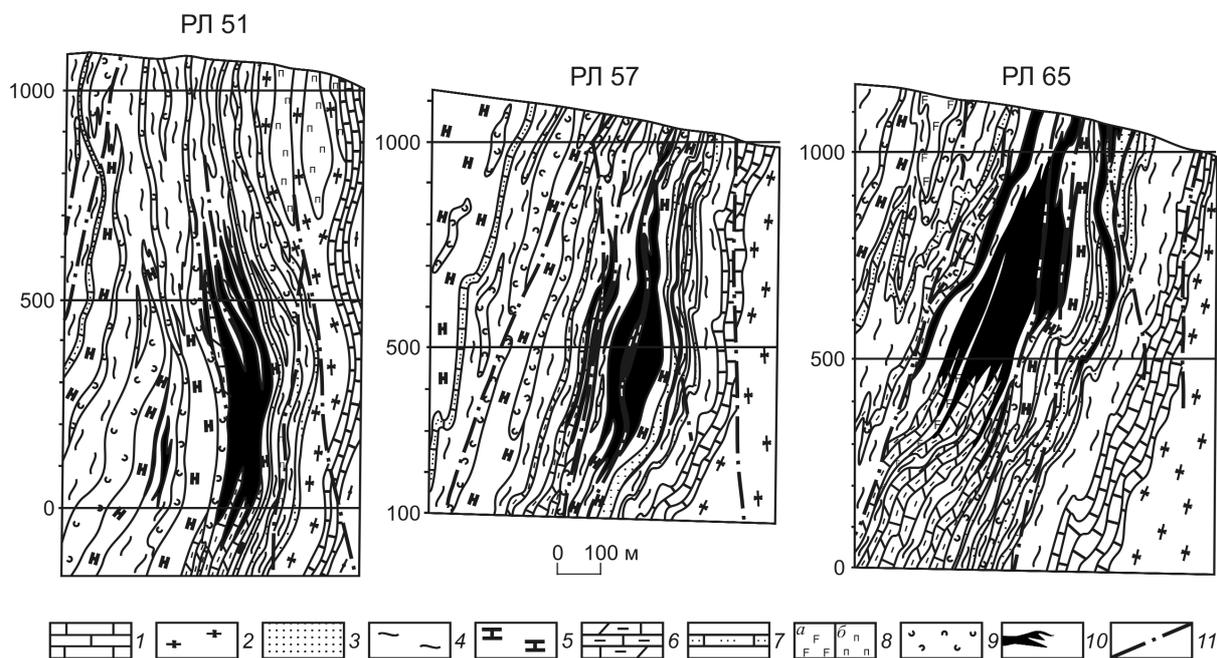


Рис. 2. Геологические разрезы первой рудной зоны:

подрудные толщи авкитской свиты: 1 — мраморизованные карбонатные породы, 2 — гранатсодержащие слюдисто-кварцевые сланцы и кварциты; 3 — гранатсодержащие кварциты, кварцито-сланцы, единичные горизонты гравелитов надрудной толщи верхнеондокской свиты; рудовмещающие толщи: 4 — углеродсодержащие метаалеврослюдистые сланцы с гранатом, 5 — то же, слабокарбонатные и карбонатсодержащие, 6 — существенно карбонатные метаалеврослюдистые сланцы, 7 — углеродсодержащие карбонатные и бескарбонатные кварцито-песчаники; 8 — дайко- и силлообразные тела метагаббро-диабазов (а) и серпентизированных перидотитов (б); 9 — метаморфогенно-гидротермальные образования кварц±хлорит±серицит±гранат±амфиболового состава (скарноиды); 10 — рудные залежи; 11 — разрывные нарушения

пластообразная залежь первого рудоносного уровня обнаруживает выклинивания по падению и восстанию, связанные с их положением на стыке фациальных разностей пород. На юго-западном фланге, где преобладают графитсодержащие кварц-слюдистые сланцы, выклинивание (верхнее) выражено расщеплением рудной залежи на маломощные, протяженные пласты серноколчеданных руд, а на северо-восточном, где развиты грубослоистые графитсодержащие слюдисто-известково-доломитовые породы, мощная залежь резко выклинивается (нижнее выклинивание) на очень коротком расстоянии.

Строение рудных залежей асимметрично-зональное — от подошвы к кровле отдельных залежей и от нижней рудной залежи к верхней колчеданные (пирит±сфалерит) руды сменяются колчеданно-свинцово-цинковыми (пирит±сфалерит±галенит). Главные рудные минералы — пирит, сфалерит, халькопирит, пирротин, в незначительных количествах присутствуют арсенопирит, теннантит, тетраэдрит, редко встречаются бурнонит, буланжерит, геокронит, магнетит, рутил, самородное золото. Нерудные минералы представлены в основном

кварцем, кальцитом, доломитом, графитом, мусковитом, реже отмечаются плагиоклаз, дистен, гранат, ганит, хлорит, эпидот, серицит. В целом руды характеризуются преобладанием цинка над свинцом (Pb:Zn=1:4), высокой степенью колчеданности и высокой кремнистостью.

Полученные при изучении Холоднинского месторождения материалы позволили авторам обосновать положение о его гидротермально-осадочном генезисе и последующем метаморфизме руд [6–8, 10, 12].

Обстановки деформированных конседиментационных впадин с углеродсодержащими кремнисто-сидеритовыми рудовмещающими толщами рассмотрим на примере Горевского месторождения и некоторых рудопроявлений (Блохинское, Пихтовое и др.) колчедансодержащих сидерит-сфалерит-галенитовых руд на Енисейском кряже.

Горевское месторождение расположено на Енисейском кряже в низовьях р. Ангара. Цинково-свинцовые и свинцовые руды локализованы в верхнерифейских отложениях вулканогенно-сланцевой карбонатной субформации, в составе которой пре-

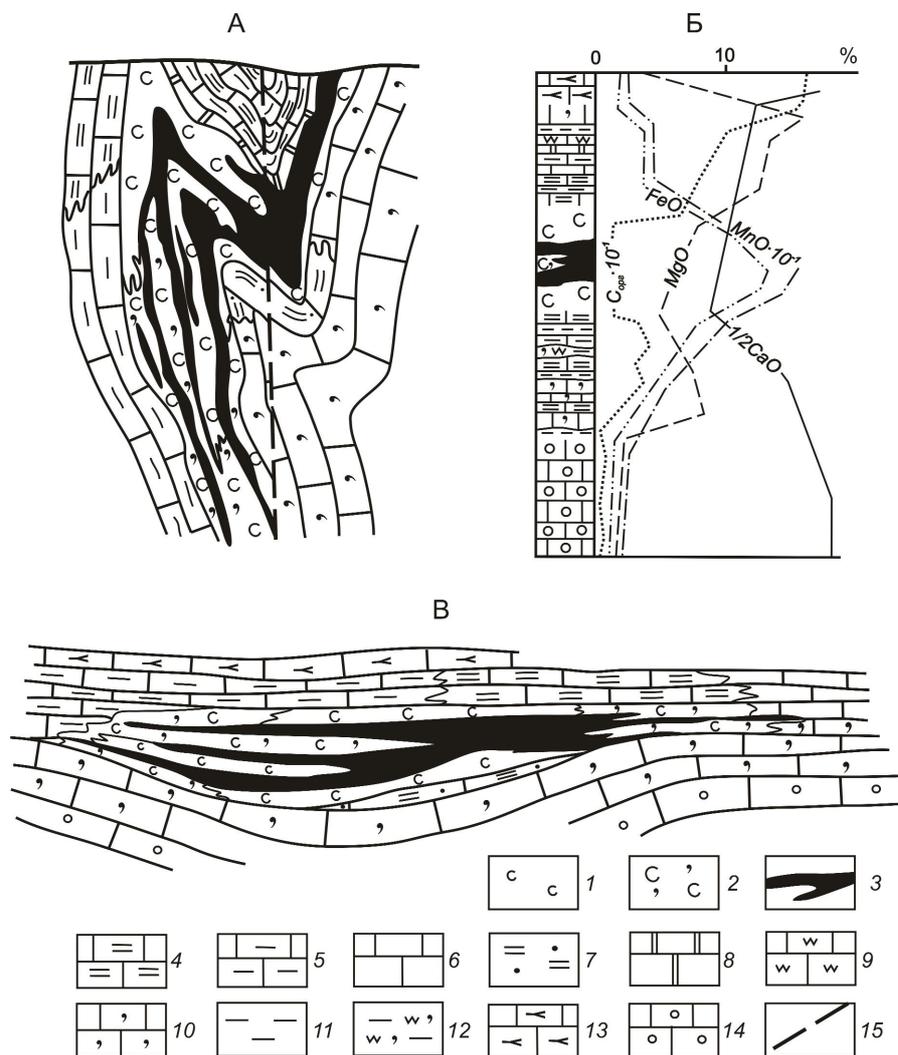


Рис 3. Модель Главного рудного тела Горевского месторождения, по [2]:

А — разрез через Главное рудное тело; Б — литолого-стратиграфическая колонка, справа — содержания $C_{орг}$, MnO , FeO , MgO ; В — схематический палеофациальный разрез; рудовмещающие отложения: 1 — сидериты, кремнистые сидериты, 2 — сидеритосодержащие силициты с прослоями силицитов, 3 — рудные тела; надрудные и подрудные отложения: 4 — мергели с прослоями глинистых сланцев, 5 — глинистые известняки с прослоями доломитов, мергелей, углеродисто-глинистых, кремнистых сланцев, 6 — кремнистые известняки, мергели с прослоями известковистых доломитов, глинисто-углеродистых сланцев, 7 — кремнистые и доломитистые мергели с прослоями известковистых сланцев, 8 — доломиты, 9 — углеродистые известняки, 10 — глинистые известковистые сланцы, 11 — углеродисто-глинисто-кремнистые сланцы, 12 — нерасчлененный комплекс флишеидной известняковой субформации (известняки доломитовые, доломитистые, карбонатно-глинистые сланцы), 13 — сланцево-известняковая пачка (известняки, глинистые известняки, известняковые глинистые сланцы), 14 — известняки редкопудинговой текстуры, глинистые известняки, известняковые глинистые сланцы; 15 — разрывные нарушения

обладают карбонатные породы с подчиненным количеством мергелистых глинисто-терригенных и вулканогенных прослоев.

Разрез рудовмещающих отложений характеризуется пестрым составом слагающих его пород:

сидериты (50%), кремнистые сидериты (30%), силициты (5%), доломиты, аргиллиты, алевролиты, мергели, присутствуют также карбонатные гравелиты и гравелито-брекчии. Мергелистые, глинисто-известняковые, алевролитовые и аргиллитовые породы в разрезе центральной и северо-западной частей месторождения к юго-востоку сменяются существенно известковистыми. Сидеритовые и кремнистые отложения, преобладающие в разрезе главного рудного горизонта на восточных флангах, к северо-западным и западным рудным телам, а также с глубиной (по падению рудных залежей) замещаются существенно кремнистыми [2, 10].

Надрудные отложения представлены главным образом карбонатными и терригенно-карбонатными фациями — известняками, глинистыми и кремнистыми мергелями с прослоями доломитов, глинистых сланцев, доломитовыми и доломитистыми известняками, подрудные — известняками с повышенными содержаниями, по сравнению с надрудными, кремнистой составляющей. Единственными магматическими образованиями рудного поля являются дайки и небольшие интрузивные тела основного состава, секущие как породы рудовмещающей толщи, так и руды.

Реконструкция условий образования показывает, что осадконакопление и рудоотложение проис-

ходили в конседиментационной впадине с крутыми северо-западным и юго-восточным бортами. В процессе последующей складчатости депрессия была деформирована и преобразована в Горевскую синклинали (рис. 3).

Рудные залежи месторождения расположены в юго-западном крыле Горевской синклинали, осложненной малоамплитудными коллено- и флексуобразными складками и разрывными нарушениями. В моноклинальном залегании породы имеют северо-западное простирание и крутое падение на юго-запад под углами $50\text{--}75^\circ$. Породы и руды претерпели складчатость, по меньшей мере, трех этапов деформации. На месторождении установлены конседиментационные разрывные нарушения, контролирующие фациальную изменчивость рудоносных отложений. В зоне разломов северо-западного направления породы подверглись интенсивному расщеплению.

Рудовмещающая толща с рудными залежами имеет протяженность по простиранию 1600–1800 м, мощность 200–250 м и юго-восточное склонение под углом $75\text{--}85^\circ$. В ее составе выделены три основных линзовидных рудных тела — Главное, Западное и Северо-Западное, которые смяты в разномасштабные складки с амплитудой до 100 м. Рудные тела имеют согласное с вмещающими породами простирание и падение. На отдельных участках находятся в опрокинутом залегании.

Руды Горевского месторождения в основном свинцовые с преобладанием галенита над сфалеритом в соотношении $Pb:Zn=4:1$, имеют коэффициент колчеданности ($K=S/Pb+Zn+Cu$) 0,3 и относительно низкую кремнистость руд. Руды состоят на 60–80% из сидероплезита, анкерита и кварца, на 20–40% из галенита, сфалерита, пирротина и пирита. Главные рудные минералы — галенит, сфалерит, пирротин, второстепенные — пирит, марказит, тетраэдрит, магнетит, бурнонит, буланжерит, джемсонит, арсенопирит, ильменит, халькопирит, гудмундиит, теннантин, аргентит, пираргирит, прустит, штернбергит, дискразит, самородное серебро, ульманит, брейгауптит, леллингит, рутил. Главные нерудные минералы — кварц и сидероплезит. Среди второстепенных и редких жильных минералов отмечаются анкерит, доломит, кальцит, биотит, мусковит, хлорит, альмандин, тремолит, эпидот, альбит, апатит, турмалин. В рудах преобладают прожилково-вкрапленные, брекчиевые, полосчатые, реже массивные и слоистые текстуры, отражающие сложную историю процесса рудообразования. Основные рудообразующие минералы нескольких генераций слагают ряд разновозрастных парагенетических минеральных ассоциаций.

Сотрудниками ЦНИГРИ совместно с учеными ИГиГ СО РАН СССР (Э.Г.Дистанов, В.Г.Пономарев и др.), изучавшими Горевское месторождение, обоснована полигенно-полихронная модель формирования рудных залежей. Первичные гидротермально-осадочные руды отлагались из термальных растворов в локальных впадинах одновременно с кремнисто-сидеритовыми фациями. Крутые склоны палеовпадины обусловили довольно быстрое выклинивание рудоносных отложений и развитие ореолов сидеритовых оползневых брекчий и брекчий обрушения. Впоследствии месторождение было вовлечено в несколько этапов складкообразования и регионального метаморфизма в условиях эпидот-амфиболитовой фации, что обусловило современный облик пород и руд.

Обстановки конседиментационных структур, слабо искаженных последующими деформациями и выполненных вулканогенно-осадочными рудовмещающими толщами со свинцово-цинковыми месторождениями (Озерное, Ульзутуй, Васильевское и др.) и рудопроявлениями, выявлены в Удино-Витимской островодужной системе.

Озерное месторождение в Западном Забайкалье локализовано в синклинали складке, образованной нижнекембрийскими вулканогенно-осадочными отложениями — туффитами и туфопесчаниками с подчиненными пластами известняков, лав и туфов липаритовых, дацитовых порфиров и андезитовых порфиритов. В разрезе мощностью ~1500 м выделяются три основных рудоносных горизонта. Главное промышленное значение имеют рудные тела третьего горизонта, мощность которого 150–200 м. В его составе выделяются две продуктивные пачки. Отложения нижней пачки на северо-западном крыле Озерной синклинали представлены туфами, туффитами, известняковыми брекчиями с согласными телами слоистых и брекчиевидных сульфидных руд. На юго-восточном крыле синклинали и в ее ядре вскрываются сидериты и известковистые брекчии с остатками рифовых построек. Верхняя пачка сложена чередованием известняков, известковистых туфогравелитов, туффитов с колчеданными рудными телами.

Озерная синклинали — асимметричная складка с ундулирующим шарниром; на северо-востоке наблюдается ее центральное замыкание, а на юго-западе она ограничена разломом. Северо-западное крыло складки круто падает под углом $60\text{--}80^\circ$, а юго-восточное — более пологое ($30\text{--}50^\circ$).

Основная масса промышленных руд сосредоточена в пластообразных залежах юго-восточного крыла и осевой части синклинали (рис. 4). Самое мощное рудное тело (8) имеет длину ~2000 м, ши-

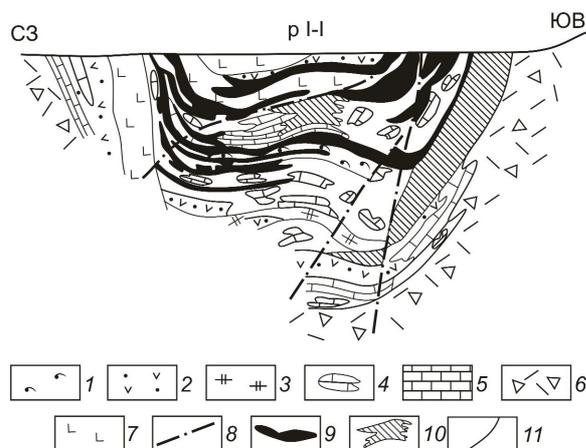


Рис. 4. Поперечный разрез Озерного месторождения, по [9]:

вулканогенно-осадочные отложения: 1 — игнимбриты, 2 — агломератовые туфы, 3 — туффиты углистые, 4 — известняковые брекчии с туфогенно-карбонатным цементом, 5 — известняки; породы нижнекембрийского субвулканического комплекса: 6 — автомагматические брекчии риолитовых и риолит-дацитовых порфиритов, 7 — диабазовые порфириты; 8 — разрывные нарушения; 9 — колчеданно-полиметаллические руды; 10 — сидеритовые руды; 11 — геологические границы

рину в плане 300–500 м и мощность от 5 до 37 м. Внутреннее строение рудных тел неоднородно и обусловлено частым переслаиванием сливных сульфидных руд, безрудных пород, сидеритов и известняковых брекчий на сульфидном цементе [3, 9].

Главные рудные минералы — пирит и сфалерит, нерудные — сидерит. Менее распространен галенит, еще реже встречается халькопирит. Группа второстепенных минералов представлена магнетитом, пирротинном, блеклой рудой, арсенопиритом. Редко встречаются аргентит, самородное золото и серебро, пирсеит, пираргирит, полибазит, стефанит, борнит, марказит. Из нерудных минералов следует отметить также кварц, доломит, анкерит, кальцит, хлорит, серицит-мусковит, спессартин, эллахерит, целезиан, хлоритоид.

Первичные гидротермально-осадочные руды отлагались из термальных растворов в локальных впадинах одновременно с вулканогенно-осадочными фациями. На глубоких горизонтах установлены маломощные (первые метры) тела и зоны жильной и прожилково-вкрапленной сульфидно-полиметаллической и барит-сульфидной минерализации, которые можно отнести к системе рудовыводящих каналов при формировании стратоидных гидротермально-осадочных руд.

Обстановки осадочных бассейнов, сложенных карбонатными толщами со стратоидными свин-

цово-цинковыми месторождениями, рассматриваются на примере типового месторождения Сардана с рудопроявлениями Перевальное, Уруйское и др.

Месторождение Сардана расположено в Юдомо-Майском прогибе на юго-востоке Республики Саха (Якутия).

Рудные тела приурочены к вендским отложениям юдомской свиты и локализованы в пачках верхнеюдомской подсвиты общей мощностью 120–130 м. Пачки представлены снизу вверх: мелко- и среднезернистыми доломитами; битуминозными доломитами и известняками с углисто-фосфоритовыми конкрециями (битуминозный горизонт); тонкозернистыми слоистыми известняками с линзовидными телами яснозернистых мелкозернистых доломитов [8, 11]. Породы верхнеюдомской подсвиты согласно перекрываются нижнекембрийскими глауконитсодержащими известняками пестроцветной свиты.

Рудная минерализация в породах нижних пачек представлена преимущественно рассеянной вкрапленностью сфалерита и галенита, а основные промышленные концентрации свинца и цинка сосредоточены в верхней пачке подсвиты. Рудовмещающими породами являются яснозернистые «сахаровидные» доломиты, которые в пределах пачки не имеют конкретного стратиграфического положения и образуют линзовидные тела мощностью от нескольких метров до 60–90 м, протяженностью от первых десятков метров до 1–1,5 км. В ряде случаев установлено резкое изменение (уменьшение или увеличение) мощности доломитов на глубине, а также четкие ограничения доломитовых линз тектоническими нарушениями. Иногда доломитовые тела имеют полого секущее (под углом около 10°) положение по отношению к напластованию известняков.

По простирацию свинцово-цинковая минерализация протягивается с перерывами и пережимами на значительные расстояния, образуя ряд зон. Каждая зона представляет собой полосу метасоматических доломитов с широким развитием «зебра-доломитов» и кавернозных доломитов, в разной степени насыщенных прожилками, вкрапленностью и гнездами сфалерита и галенита. Рудные залежи обычно локализируются в зонах «зебра-доломитов».

Основной рудовмещающей структурой на месторождении и в рудном поле является Сарданская синклиналь — линейная складка с четко выраженной асимметрией крыльев (крутое восточное крыло запрокинуто на запад, западное — пологое).

Основные рудные ленто- и таблицеобразные залежи располагаются в восточном крыле Сарданской синклинали. В пределах рудовмещающих

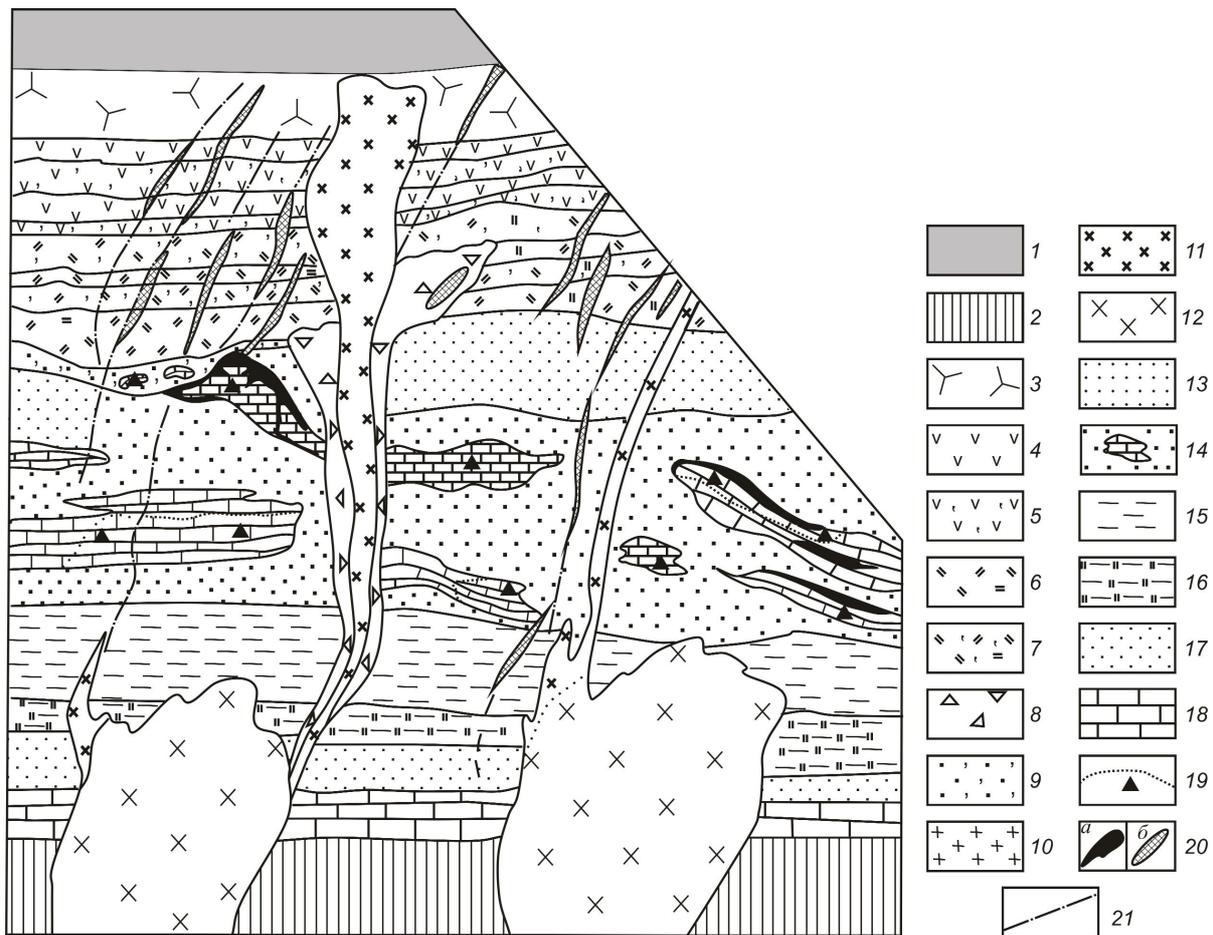


Рис. 5. Продольный разрез Николаевского месторождения (фрагмент), по [5]:

формационные комплексы: 1 — перекрывающие, 2 — подстилающие; 3 — породы базальт-риолитовой ассоциации (лавы, туфы и экструзии риолитов, андезитов-базальтов, базальтов третьей стадии ВПП (нерасчлененные); породы андезит-дацит-риолитовой ассоциации второй стадии ВПП: 4 — лавы и экструзии, 5 — туфы; дацит-риолитовая ассоциация первой стадии ВПП: 6 — лавы, 7 — туфы, 8 — экструзивно-жерловые породы, 9 — молассоиды, туфоконгломераты, туфопесчаники; породы диорит-гранодиорит-гранитной формации, включая комплекс малых интрузий пестрого состава: 10 — лейкограниты, гранит-порфиры, 11 — граниты, гранодиориты, 12 — диориты, габбро-диориты; толщи пород терригенно-кремнистой карбонатной формации: 13 — переслаивание алевропесчаников, алевролитов, аргиллитов, гравелитов и песчаников, 14 — переслаивание песчаников, алевропесчаников с горизонтами хаотических скоплений несортированных обломков, клиппов, линз и горизонтов карбонатных пород, 15 — флишоидное переслаивание аргиллитов, алевролитов, песчаников, гравелитов; толща кремнисто-терригенно-карбонатных пород: 16 — кремнистые породы, 17 — алевропесчаники, 18 — известняки и метаморфизованные известняки; 19 — скарновые и скарноидные образования; 20 — рудные тела свинцово-цинковой скарновой (а) и жильной (б) рудных формаций; 21 — главные рудоконтролирующие разрывные нарушения

складчатых структур положение рудных тел, по-видимому, определяется малоамплитудными разрывными нарушениями, среди которых наиболее широко проявлены субпластовые разломы, а также нарушения северо-восточного простирания.

Рудные тела на верхних горизонтах рудовмещающего разреза представлены уплощенными столбообразными (среднее отношение мощности к длине — 1:10), на среднем горизонте — таблицеобразными (отношение мощности к длине —

1:30) залежами, на нижнем — рудными лентами (отношение мощности к ширине и длине — 1:200–1000). Столбообразные и таблицеобразные залежи имеют крутое (от 70 до 40°) южное, реже северное склонение. Рудная лента полого (10–15°) склоняется на юг. Выклинивание рудных тел резкое, почти без изменения их мощности. Контакты с вмещающими доломитами обычно резкие, неровные, согласные со слоистостью пород или секущие под очень острыми углами. На выклинива-

нии рудных тел зафиксированы гнезда и карманы мономинерального галенита от нескольких сантиметров до 0,5 м в диаметре. Внутри рудных тел встречаются блоки доломитов мощностью до 1–2 м, иногда безрудные, реже с рассеянной вкрапленностью сфалерита.

Главные рудные минералы — сфалерит, галенит, второстепенные — пирит, арсенопирит, сульфосоли сурьмы и мышьяка, смитсонит, церуссит, англезит, гетит, гидрогетит. Главные породообразующие минералы — кальцит, доломит, второстепенные — арагонит, кварц, антракосилит. Руды содержат Ge и Ag. Особенно высокие концентрации Ge установлены в массивных тонкозернистых сфалеритовых рудах с доломит-сфалеритовой ассоциацией, а Ag — в крупнозернистых сфалерит-галенитовых рудах с сфалерит-галенитовой ассоциацией.

Повсеместно выдержанная стратиграфо-литологическая позиция свинцово-цинковых руд, устойчивый минеральный состав и набор элементов-примесей позволяют отнести свинцово-цинковое оруденение Сарданского рудного района к стратиформному типу. На месторождении наблюдаются как сингенетические седиментогенные, так и эпигенетические гидротермальные образования. Парagenетические минеральные ассоциации, слагающие рудные залежи, сформированы в результате длительного процесса рудообразования.

Обстановки терригенно-карбонатных и карбонатных толщ с наложенными вулканоплутоническими ассоциациями пород и месторождениями скарновых и жильных свинцово-цинковых руд установлены в комплексах основания вулканоплутонических поясов и в породах соответствующих вулканоплутонических ассоциаций [4]. К таким обстановкам принадлежат жильные и скарновые месторождения двух старейших горно-рудных районов страны — Приаргунского в Забайкалье (Ново-Широкинское, Благодатское, Каданское и др.) и Дальнегорского в Приморье (Николаевское, Садовое, Партизанское, Красногорское и др.).

В качестве типового объекта рассмотрим Николаевское месторождение, расположенное в среднем течении р. Рудная на восточном склоне хребта Сихотэ-Алинь. Приурочено к крупному блоку карбонатных пород олистростромовой толщи, сложенной известняками, брекчиями карбонатного состава и алевропесчаными сланцами триас-юрского комплекса основания вулканоплутонического пояса (ВПП), которые перекрыты мощной толщей верхнемеловых – олигоценых вулканоплутонических пород. Интрузивные образования представлены дайками различного состава, мелкими телами гра-

нит-порфиоров. Широко распространены субвулканические тела.

Рудные тела в породах комплекса основания ВПП представлены пологим пластообразным телом с трубообразными отщеплениями в верхней части блока известняков на глубинах 700–1200 м от дневной поверхности в приконтактной зоне карбонатных и перекрывающих вулканогенных пород (рис. 5) и линзо- и пластообразными телами на контакте всячего бока карбонатных олистростром и вмещающих терригенно-кремнистых пород [5, 12].

В перекрывающей рудные тела толще туфов и туфобрекчий риолитов свинцово-цинковые руды образуют серию кварц-сульфидных жил, которые контролируются системой разрывных нарушений, выполненных кварц-серицитовыми гидротермальными-метасоматическими образованиями.

Рудные залежи в карбонатных породах имеют сложный минеральный состав. Главные рудные минералы — галенит, сфалерит, пирротин, арсенопирит, халькопирит, магнетит, аргентит, акантит, галеновисмут и касситерит. Среди нерудных преобладают минералы скарновой ассоциации — геденбергит, хлорит, серицит, кварц, кальцит, ильваит, турмалин, эпидот, флюорит, гранат, аскинит, пренит, амфибол, апатит.

Жильные рудные залежи имеют преимущественно кварц-карбонат-серицитовую матрицу с пиритом, сфалеритом, галенитом, арсенопиритом, теннантит-тетраэдритом. Руды характеризуются высокой (>100 г/т) серебронасностью.

Геологические особенности размещения свинцово-цинковых рудных залежей в обстановке вулканоплутонических поясов в сочетании с терригенно-карбонатными и карбонатными комплексами их основания иллюстрирует рис. 5.

Таким образом, в процессе научно-методических и научно-исследовательских работ по изучению месторождений свинцово-цинковых руд восточных регионов России сотрудниками ЦНИГРИ собран богатый фактический материал, на основе которого осуществлялись разработка формационных основ прогноза, поисков и оценки месторождений цветных металлов ведущих геолого-промышленных типов, выявление пространственно-временных связей оруденения с определенными геологическими формациями и их комплексами, определение геотектонических, магматических, палеовулканических и палеофациальных позиций породо-рудных ассоциаций, изучение природы и интенсивности метасоматических и метаморфических преобразований рудных залежей и вмещающих пород, что нашло свое отражение в методике прогнозных построений. Исследования проводи-

лись в тесном творческом контакте с геологами отраслевых научно-исследовательских институтов Министерства геологии СССР, академических институтов геологического профиля и производственных организаций.

На основе выполненных исследований разработан ряд программ и проектов проведения НИР и ГРР на различные геолого-промышленные типы месторождений свинца и цинка, а также созданы геологические обоснования подсчета запасов Озернинского и Холоднинского месторождений. В рамках программ созданы прогнозные карты м-бов 1:2 500 000–500 000 применительно к свинцово-цинковым месторождениям как для страны в целом, так и для отдельных геолого-промышленных месторождений, в частности стратиформных месторождениям цветных металлов в докембрийских толщах.

Выделены новые перспективные зоны и с новых позиций рекомендована постановка ГРР в ранее выделенных, но слабо изученных регионах. В 60–80-х годах XX в. российским геологам при активном участии сотрудников ЦНИГРИ удалось открыть в восточных районах страны гигантские по масштабам месторождения свинца и цинка — Горевское, Озерное и Холоднинское, составляющие в настоящее время главную свинцовую и цинковую минерально-сырьевую базу России, на долю которой приходится 73,3% запасов Pb и 48,8% Zn от всех запасов металлов, учитываемых в Российской Федерации.

Полученный на примере изучения свинцово-цинковых месторождений восточных районов России опыт поисково-оценочных и оценочных работ в дальнейшем был использован при проведении подобных исследований в других районах — Казахстане, Средней Азии, архипелаге Новая Земля, Конго, Алжире, Сирии.

Приведенная в работе типизация свинцово-цинковых месторождений Востока России по геологическим обстановкам нахождения и краткая характеристика основных свинцово-цинковых месторождений региона могут использоваться при оценке металлоносности других районов востока страны, перспективных на цветные металлы, но недостаточно опосредованных, в частности на Омудевском поднятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гиганты* в древних толщах Сибири / В.Д.Конкин, Д.И.Горжевский, Г.В.Ручкин и др. // Руды и металлы. 1995. Спецвыпуск. С. 65–69.
2. *Горевское* цинково-свинцовое месторождение / В.В.Кузнецов, В.Г.Пономарев, В.А.Акимцев и др. // Геология рудных месторождений. 1990. Т. 32. № 5. С. 3–28.
3. *Дистанов Э.Г., Ковалев Р.К., Тарасова Р.И.* Геологическое строение и генезис Озерного свинцово-цинкового колчеданного месторождения (Западное Забайкалье) // Геология рудных месторождений. 1972. Т. 14. № 2. С. 3–22.
4. *Кривцов А.И., Мигачев И.Ф.* Металлогения андезитовидных вулканоплутонических поясов. — М.: ЦНИГРИ, 1997. Ч. I.
5. *Методическое* руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Вып. «Свинец и цинк» / Отв. ред. Г.В. Ручкин. — М.: ЦНИГРИ, 2002.
6. *Неймарк Л.А., Рыцк Е.Ю., Гороховский Б.М., Киселева Е.И.* Изотопный состав свинца и генезис свинцово-цинкового оруднения Олоkitской зоны Северного Прибайкалья // Геология рудных месторождений. 1991. № 6. С. 34–49.
7. *Особенности* формирования метаморфизованных гидротермально-осадочных колчеданно-полиметаллических руд Холоднинского месторождения / Э.Г.Дистанов, К.Р.Ковалев, П.И.Шобогоров и др. // Вопросы генезиса стратиформных свинцово-цинковых месторождений Сибири. Новосибирск, 1977. С. 5–43.
8. *Параметрические* геолого-поисковые модели колчеданно-полиметаллических месторождений. Атлас / Г.В.Ручкин, И.П.Пугачева, В.Д.Конкин и др. — М.: ЦНИГРИ, 1993.
9. *Рудные* месторождения СССР / Под ред. В.И.Смирнова. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Недра, 1978. Т. 2.
10. *Ручкин Г.В., Конкин В.Д.* Минерагения пассивных окраин и шельфов окраинных морей / Минерагения осадочных бассейнов континентов и периконтинентальных областей. — М.: МПР, Геокарт, 1998.
11. *Свинцово-цинковая* минерализация в вендских карбонатных толщах Юго-Восточной Якутии (Сарданский рудный район) / Г.В.Ручкин, В.Д.Боговин, А.И.Донец и др. // Геология рудных месторождений. 1997. № 4. С. 3–20.
12. *Холоднинское* месторождение — представитель докембрийских колчеданно-полиметаллических месторождений / Г.В.Ручкин, В.П.Бушуев, В.Д.Конкин и др. // Геология рудных месторождений. 1975. № 5. С. 3–17.

УДК 622.7:622.342.1

© Г.В.Седельникова, А.И.Романчук, 2010

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ РУД БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Г.В.Седельникова, А.И.Романчук (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Представлены результаты исследований по разработке эффективных технологий переработки руд благородных и цветных металлов с применением методов фотометрической сепарации, глубокого обогащения, бактериального и кучного выщелачивания, энергетических воздействий.

Ключевые слова: руды, благородные и цветные металлы, технологические исследования, фотометрия, кучное выщелачивание, биогидрометаллургическая переработка, энергетические воздействия.

Седельникова Галина Васильевна, gsedelnikova@mail.ru, Романчук Александр Ильич, romanchouk@yandex.ru.

INNOVATION TECHNOLOGY OF MINERAL PROCESSING

G.V.Sedelnikova, A.I. Romantchouk

The results of base and precious metals ores research with using photometric separation, energy treatment, biohydrometallurgy, deep mineral processing and heap leaching are presented in this paper. The perspectives for new processes development are discussed.

Key words: ores, base and precious metals, photometric separation, energy treatment, biohydrometallurgy, deep mineral processing, heap leaching.

Технологические исследования по переработке руд благородных и цветных металлов — составная часть производства геологоразведочных работ. Результаты технологических исследований используются при подсчете прогнозных ресурсов и запасов, составлении ТЭО кондиций, разработке конкурсных проектов на получение лицензий, разведке и подготовке к эксплуатации новых месторождений.

В связи с исчерпанием запасов относительно простых по вещественному составу и легкообогащаемых руд существенное значение приобретает проблема вовлечения в промышленную эксплуатацию бедных и труднообогащаемых руд. При изучении последних необходимо применение новых инновационных методик определения достоверного содержания металлов, прежде всего золота, которое характеризуется неравномерным распределением в рудах, и технологий извлечения полезных компонентов из руд и концентратов.

Для технологической оценки руд разведываемых и подготавливаемых к освоению месторождений в ЦНИГРИ разрабатываются и применяются прогрессивные методики определения содержания благородных металлов и технологии их извлечения: фотометрическая сепарация, глубокое обогащение, кучное выщелачивание, бактериальное окис-

ление упорных концентратов, энергетическая обработка и др.

Определение достоверного содержания золота в рудах. При опробовании рудных месторождений решается задача учета крупного золота, которое неравномерно распределяется в дробленном материале геологических проб в процессе их сокращения и отбора навесок для выполнения пробирных анализов (эффект самородка). При разведке рудных месторождений золота отбирается большое количество буровых проб, масса которых, как правило, не превышает 10 кг. Содержание Au в пробах руд обычно определяется традиционным пробирным методом. Для устранения влияния «эффекта самородка» в ЦНИГРИ разработана и применяется методика предварительного концентрирования свободного золота из укрупненных навесок (рис. 1).

Методика основана на гравитационном выделении свободного золота из измельченных проб руд в гравитационный концентрат небольшой массы, который полностью поступает на пробирный анализ. Хвосты гравитации характеризуются равномерным распределением золота, поэтому их пробоподготовка и анализ осуществляются традиционными методами. Содержание Au в исходной руде определяется по балансу [4].

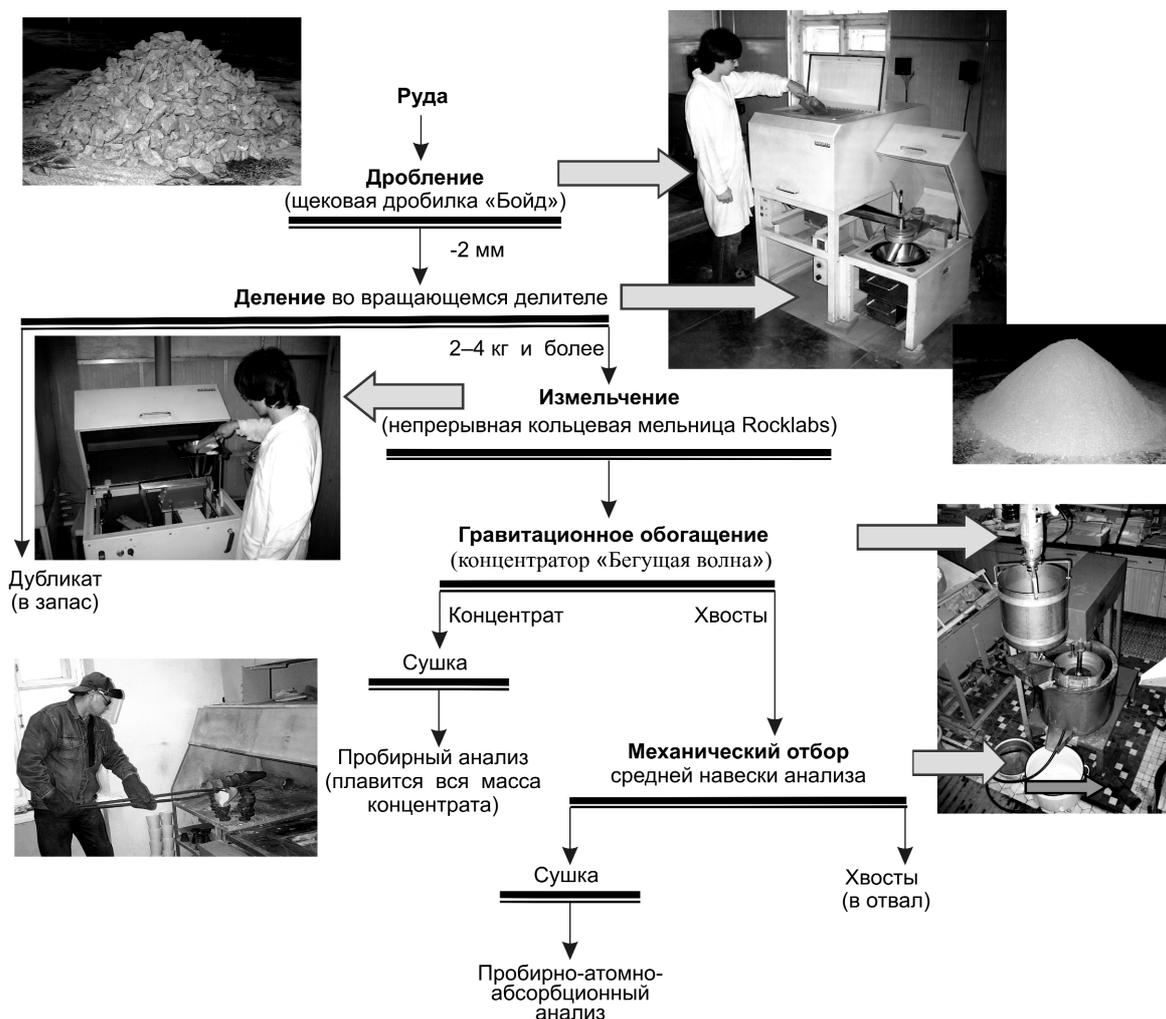


Рис. 1. Схема подготовки проб и определение содержания золота по балансу продуктов обогащения

Методика гравитационного концентрирования позволяет исключить влияние «эффекта самородка» и существенно увеличить правильность определений. Опыт практического использования рекомендуемой технологической и аппаратурной схемы свидетельствует о возможности ее применения при массовом анализе руд золота и продуктов их обогащения.

Методика предварительного гравитационного концентрирования была рекомендована для анализа геологических проб руд Наталкинского месторождения. По результатам доразведки месторождения с использованием разработанной методики запасы золота были увеличены на 200 т.

Технологическая оценка руд. Технологическая оценка минерального сырья включает изучение вещественного состава и испытания различных методов его переработки в целях выбора и обоснова-

ния технологических схем извлечения полезных компонентов с учетом требований охраны окружающей среды.

Рациональная схема выбирается на основе результатов изучения вещественного состава исследуемой руды и практики переработки руд аналогичного состава. В ЦНИГРИ создана база данных по составу и технологиям переработки руд благородных и цветных металлов, объединяющая в едином информационном массиве сведения о геологической характеристике объектов, вещественном составе руд, технологических свойствах, схемах и показателях их переработки.

Разработана методика проведения экспериментальных исследований по технологической оценке руд благородных и цветных металлов, предусматривающая выполнение следующих видов работ: определение содержания полезных и попутных

компонентов и вредных примесей, фазового состава благородных и цветных металлов, минерального состава руд, крупности и морфологии золота; granulometric composition of ores after crushing and grinding with distribution of useful components by classes of size and др. Экспериментально проверяются различные методы обогащения руд и переработки концентратов — предварительная сортировка, гравитация, флотация, электромагнитная сепарация, прямое и сорбционное цианирование, кучное и бактериальное выщелачивание, а также комбинированные технологические схемы. На основании полученных данных выбирается наиболее эффективная технология извлечения благородных и цветных металлов.

Предварительное обогащение методом фотометрической сепарации. Снижение содержания золота в рудах перспективной добычи стимулирует работы по внедрению в отрасли современных методов крупнокусковой сепарации, позволяющей отделить породу с низким содержанием драгоценных металлов, снизить объем поступающей на глубокое обогащение руды и улучшить технико-экономические показатели отработки месторождений.

В последние годы благодаря интенсивному развитию компьютерных технологий и цифровой фототехники появились фотометрические сепараторы нового поколения с высоким уровнем распознавания объектов по цветовым характеристикам, позволяющие сортировать руду крупностью от 5 до 300 мм с производительностью до 380 т/ч.

В основе метода лежит теория распознавания образцов. Поток руды сканируется высокоскоростной камерой. Компьютерная программа обработки изображения оценивает куски руды по нескольким параметрам — размеру, форме, площади, положению в пространстве, соотношению площадей различных цветовых характеристик на поверхности куска и дает команду на выделение кусков заданных параметров из общего потока руды. Для этой цели установки фотометрической сепарации оборудованы форсунками с быстродействующими воздушными клапанами.

С применением фотометрической установки GemStar 600 в ЦНИГРИ выполняются исследования по крупнокусковой фотометрической сепарации руд золота с получением и последующим глубоким обогащением концентратов (см. рис. 1). Изучена предварительная обогатимость руд месторождений Сухой Лог, Наталкинское, Агинское, Петропавловское, Токур, Лобаш и др.

В качестве примера в табл. 1 приведены показатели переработки руды месторождения Сухой Лог

по комбинированной технологической схеме, включающей фотометрическую сепарацию крупнокусковой руды, дробление и измельчение продукта фотометрической сепарации, его гравитационное обогащение с получением «золотой головки» и золотосульфидного концентрата, флотационное доизвлечение золота из хвостов гравитации, сорбционное цианирование объединенного гравитационно-флотационного концентрата.

Главным рудным минералом и основным концентратом золота в рудах месторождения Сухой Лог является пирит, в котором золото присутствует в виде включений различной крупности. Наиболее золотоносны относительно крупные (0,7–2 см) кварц-пиритовые прожилки. Вмещающие породы представлены темно-серыми углеродистыми алевросланцами. Указанные особенности минерального состава благоприятны для предварительного крупнокускового обогащения руды методом фотометрической сепарации, в результате применения которой в отвальные хвосты с содержанием Au 0,43 г/т выделено 46,58% от массы исходной руды. Соответственно, на глубокую переработку в процессы дробления, измельчения и последующей переработки поступает обогащенный продукт с содержанием Au 5,82 г/т, масса которого составляет только 53,4% от исходной руды. В результате снижаются потери золота с хвостами.

Выполненные в ЦНИГРИ сравнительные технико-экономические расчеты свидетельствуют о существенном снижении эксплуатационных затрат в случае переработки руд месторождения Сухой Лог с предварительной крупнокусковой фотометрической сепарацией [2]. Целесообразность применения данной технологии на рудах конкретных объектов должна решаться на основании экспериментальных исследований и детальных технико-экономических расчетов.

Кучное выщелачивание золота. Известно, что кучное выщелачивание — наиболее дешевый метод переработки руд. Он позволяет вовлекать в эксплуатацию месторождения с бедными и убогими рудами, а также малообъемные, переработка которых традиционными методами нерентабельна. Технология кучного выщелачивания золота из руд успешно применяется в России с 1993 г. К настоящему времени введено в эксплуатацию около 30 промышленных и опытно-промышленных установок кучного выщелачивания. Большой вклад в освоение технологии кучного выщелачивания внесли институты Ирригедмет, ЦНИГРИ, ВНИИХТ и др.

В целях подготовки минерально-сырьевой базы золота к освоению в ЦНИГРИ проводится технологическая оценка руд разведываемых месторождений

на пригодность их к переработке методом кучного выщелачивания. Предварительно изучается вещественный состав руды, определяется содержание Au и формы его нахождения в рудах (свободное, цианируемое (в сростках), связанное с сульфидами, покрытое пленками и заключенное в породе). Количественное преобладание цианируемой формы золота указывает на возможность применения метода кучного выщелачивания. Для обоснования целесообразности применения технологии кучного выщелачивания проводятся комплексная технологическая оценка золотосодержащего сырья, изучение физико-химических и механических свойств руды, режимов ее окомкования, цианирования при различной крупности дробления и др.

В табл. 2 охарактеризованы руды разведываемых месторождений, для которых в последние годы выполнены исследования и разработана технология кучного выщелачивания. Как видно из таблицы, все исследуемые руды относятся к окисленному типу, сульфидная сера практически отсутствует. Содержание Au составляет 0,91–6,3 г/т. По данным фазового анализа золото находится в основном в сростках и извлекается цианированием на 59,96–92,44%. Содержание свободного золота составляет

1. Показатели глубокой переработки руды месторождения Сухой Лог по комбинированной технологической схеме с предварительной фотометрической сепарацией

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, г/т		Извлечение, % от содержания в исходной руде	
		Au	Ag	Au	Ag
Фотометрическая сепарация руды					
Концентрат фотометрической сепарации	53,42	5,82	3,84	93,95	82,00
Хвосты фотометрической сепарации	46,58	0,43	0,96	6,05	18,00
Итого исходная руда	100,00	3,31	2,50	100,00	
Обогащение концентрата фотометрической сепарации по гравитационно-флотационной схеме					
«Золотая головка»	0,0023	60230,00	6513,0	43,67	5,99
Гравитационно-флотационный золотосульфидный концентрат	5,2977	30,05	18,04	48,10	38,24
Хвосты флотации	48,12	0,15	1,96	2,18	37,77
Сорбционное цианирование гравитационно-флотационного золотосульфидного концентрата					
Извлечено на смолу				46,42	34,41
Хвосты цианирования	5,2977	0,66	1,80	1,05	3,83
Суммарное технологическое извлечение				90,09	40,40

1,7–35,73%. Следовательно, общее количество золота, которое может быть извлечено при цианировании, достигает 89,25–95,69%. Это указывает на возможность применения процесса кучного выщелачивания для переработки исследуемых руд.

Перколяционное выщелачивание — достаточно эффективный метод переработки руд, дробленных до крупности -10 и -20 мм. Извлечение золота находится на уровне 70,82–93,82% при содержании в хвостах выщелачивания 0,23–0,75 г/т Au.

2. Характеристика золотых руд, исследуемых на пригодность к кучному выщелачиванию

Руда	Тип руды	Содержание Au, г/т	Свободное Au, % отн.	Au в сростках, % отн.	Коэффициент фильтрации, м/сут.
1	Окисленная, скального типа	4,05	1,7	92,44	>30
2	Кора выветривания, высокоглинистая	1,97	35,46	58,96	<0,05
3	Кора выветривания золотосульфидной формации	0,91	18,28	70,97	>27
4	Железная шляпа	6,3	35,73	59,96	>11

3. Показатели переработки окисленных золотосодержащих руд

Технология переработки руды	Крупность, мм	Руда 1		Руда 2		Руда 3		Руда 4	
		Извлечение Au, %	Содержание Au в хвостах, г/т	Извлечение Au, %	Содержание Au в хвостах, г/т	Извлечение Au, %	Содержание Au в хвостах, г/т	Извлечение Au, %	Содержание Au в хвостах, г/т
Гравитация	0,1	3,1	3,12	68,66	0,62	3,07	0,88	10,86	5,62
Сорбционное цианирование	90% -0,074	95,61	0,15	93,06	0,12	91,00	0,08	98,34	0,10
Кучное выщелачивание	-10	93,82	0,25	Не проводили	Не определяли	74,7	0,23	88,02	0,75
	-20	93,43	0,27	70,82*	0,57*	Не проводили	Не определяли	Не проводили	Не определяли

*Предварительное окомкование.

Наиболее высокое извлечение золота 91,0–98,34% достигается в процессе сорбционного цианирования тонко измельченных руд (90% -0,074 мм) при содержании в хвостах 0,08–0,15 г/т Au (табл. 3).

На основании проделанных испытаний можно сделать вывод о том, что технология кучного выщелачивания пригодна для переработки исследуемых руд. Окончательный выбор технологии может быть сделан после сравнительных технико-экономических расчетов технологий извлечения золота из руд с применением кучного выщелачивания и сорбционного цианирования.

Биогидрометаллургическая переработка упорных руд и концентратов. Значительные запасы золота в РФ находятся в крупных месторождениях упорных золотосодержащих руд, большинство из которых резервные (Майское, Нежданинское, Кючусское и др.). Они не осваиваются из-за отсутствия эффективной экологически безопасной технологии извлечения благородных металлов. В упорных золотосульфидных рудах и получаемых при их обогащении концентратах золото представлено в основном тонкодисперсными и субмикроскопическими формами в тесной ассоциации с сульфидами, главным образом с арсенопиритом и пиритом, что делает извлечение его традиционным цианистым процессом малоэффективным: цианированием упорных концентратов извлекается 10–50% Au. В мировой практике при разработке и выборе технологических процессов извлечения золота из упорного сырья предпочтение отдается биогидрометаллургической технологии, которая обеспечивает получение высоких технико-экономических показателей и исключает загрязнение окружающей среды.

Биотехнология основана на применении бактериального выщелачивания для окисления сульфидов, вскрытия тонко вкрапленного золота и последующего извлечения его цианированием. В настоящее время в мире работает более 20 биогидрометаллургических заводов для извлечения золота из упорного сырья. Впервые в России эта технология успешно внедрена на Олимпиадинской золотоизвлекательной фабрике ЗАО «Полус».

Применительно к разведываемым месторождениям в ЦНИГРИ проводятся исследования по разработке биогидрометаллургической технологии переработки упорных концентратов различного вещественного состава [5]. Основной задачей исследований является повышение извлечения благородных металлов при одновременном сокращении продолжительности бактериального выщелачивания за счет более полного окисления основных золотосодержащих сульфидов, в том числе наиболее упорного —

пирита. Научно обоснованный выбор микроорганизмов применительно к составу исследуемых концентратов и создание ассоциаций бактерий позволяют с наибольшей эффективностью осуществлять окисление сульфидов и всех промежуточных соединений, образующихся при бактериальном выщелачивании концентратов. Полнота окисления названных составов в многом определяет технологические параметры гидрометаллургических процессов извлечения благородных металлов и обезвреживания отходов, а также в целом технико-экономические показатели переработки концентратов.

Для бактериального окисления сульфидных концентратов рекомендуются ассоциации ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов, включающие умеренно-термофильные: *Acidithiobacillus*, *Leptospirillum*, *Sulfobacillus* и *Ferroplasma*. Установлено, что применение ассоциаций значительно повышает скорость и полноту окисления сульфидов и промежуточных продуктов.

Разработана двухстадийная схема, основанная на различном температурном режиме бактериального выщелачивания сульфидных минералов, входящих в состав исследуемых концентратов. Определены оптимальные параметры и показатели процессов биоокисления и гидрометаллургической переработки продуктов окисления, осаждения мышьяка из бактериальных растворов и обезвреживания хвостов цианирования продуктов биоокисления. Разработанные ЦНИГРИ технологические схемы и режимы биогидрометаллургической переработки руд проверены в непрерывном режиме применительно к концентратам различных месторождений (Майское, Албазинское, Кючусское Кутынское, Верхне-Хакчанское, Змеиное и др.). Во всех случаях продолжительность биовыщелачивания была существенно снижена со 120 до 90–70 часов по сравнению с ранее разработанной одностадийной схемой. При этом степень окисления арсенипирита 98–99%, пирита 70–83%. Извлечение золота в процессе сорбционного цианирования твердых продуктов биоокисления упорных концентратов различных месторождений находилось на уровне

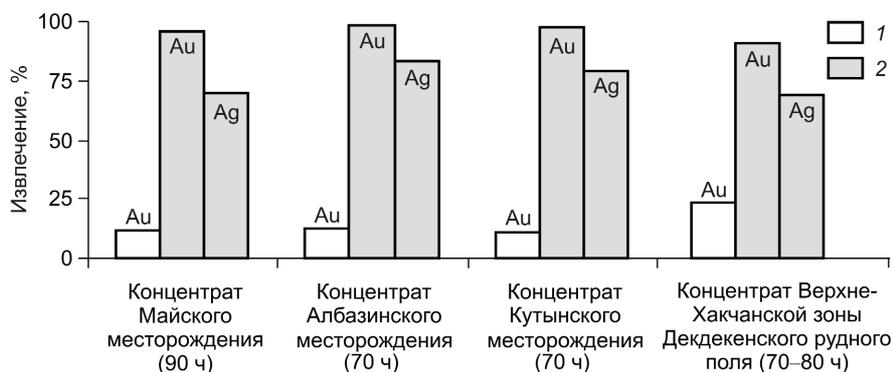


Рис. 2. Извлечение благородных металлов из упорных концентратов с использованием новых ассоциаций микроорганизмов в процессе бактериального выщелачивания:

1 — сорбционное цианирование исходного продукта; 2 — то же, продуктов био-окисления

не 94–98 % (рис. 2) В процессе биогидрометаллургической переработки мышьяк переводится в нетоксичные соединения (труднорастворимые арсенаты железа), пригодные к складированию в хвостохранилище.

Энергетические воздействия. Среди упорных руд встречаются объекты, в которых золото частично (до 10–30%) находится в упорной форме. В процессе традиционной переработки таких руд цианированием извлечение золота не превышает 70–85%. При обогащении богатых руд содержание Au в хвостах может составлять до 1,5–2 г/т, что сопоставимо с его количеством в бедных рудах.

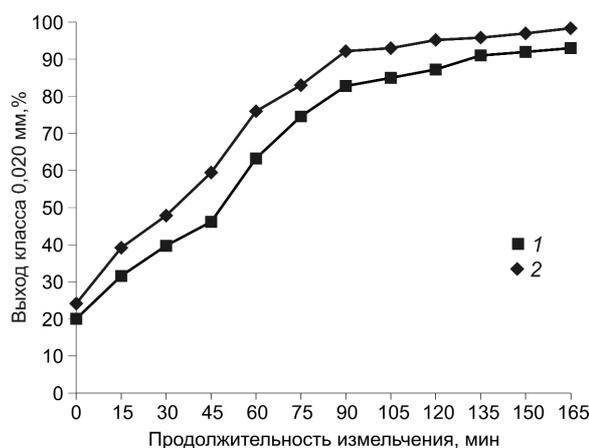


Рис. 3. Влияние предварительной магнитно-импульсной обработки на измельчаемость флотационного концентрата:

1 — без обработки; 2 — с предварительной обработкой

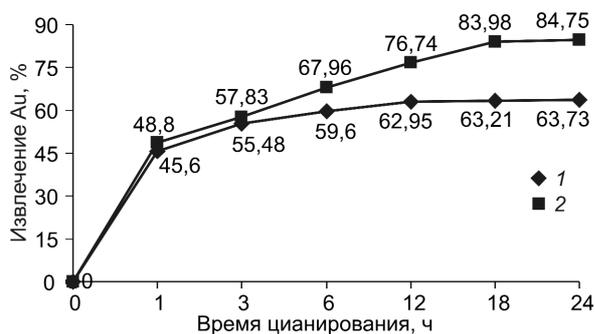


Рис. 4. Влияние ультразвуковой обработки на цианирование золотосодержащей руды:

1 — базовый опыт без обработки; 2 — ультразвуковая обработка

Для повышения извлечения золота применяется дезинтеграция материала перед цианированием. Дополнительное раскрытие минеральных комплексов достигается разными методами. Наиболее распространенный путь — ультратонкое измельчение до 20–10 мк и менее в мельницах (истирателях) нового поколения. Однако тонкое и ультратонкое измельчение требует большого расхода электроэнергии (10–60 кВт·ч/т).

Одно из перспективных направлений дезинтеграции минерального сырья — применение малоэнергоемких технологий на основе энергетических воздействий [1]. Экспериментально установлено, что предварительная обработка сырья мощными электромагнитными импульсами, сверхвысокочастотным полем, магнитно-импульсным воздействием позволяет значительно повысить эффективность процессов рудоподготовки (дробление, измельчение) и обогащения (гравитация, флотация, цианирование) за счет разупрочнения и раскрытия минеральных комплексов, образования микротрещин. Технология с использованием электрофизических воздействий является экологически безопасной и энергосберегающей. Удельные энергетические затраты на обработку одной тонны минерального сырья составляют от 0,1 до 3 кВт·ч.

Предварительная магнитно-импульсная [3] обработка позволяет повысить выход класса -0,020 мм при малом расходе электроэнергии 0,1–0,5 кВт·ч/т и, как следствие, увеличить производительность измельчительного оборудования (рис. 3).

Современное ультразвуковое оборудование, разработанное предприятием «Александра-Плюс», дает возможность интенсифицировать процессы переработки минерального сырья в жидких средах. Ультразвуковое воздействие, как и

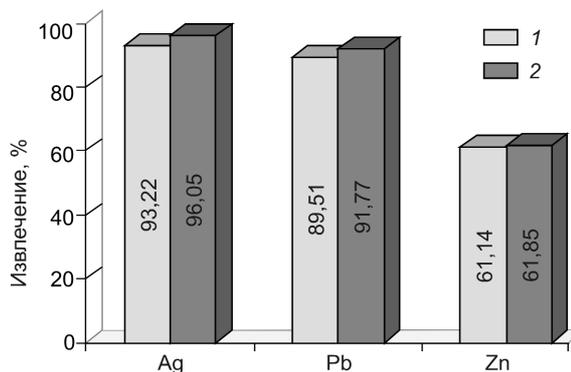


Рис. 5. Применение ультразвуковой обработки при флотации полиметаллической серебросодержащей руды:

1 — базовый опыт без обработки; 2 — ультразвуковая обработка

выше упомянутые процессы энергетических обработок, приводит к разупрочнению минеральных комплексов и позволяет дополнительно очистить минеральную поверхность. В ЦНИГРИ проведены исследования и установлена перспективность применения ультразвуковой обработки минерального сырья в процессах цианирования и флотации руд цветных металлов.

Результаты исследований по применению ультразвуковой обработки в процессе цианирования золотосодержащей руды (рис. 4) показали, что извлечение золота увеличивается на 21,02% с 63,73% (для необработанной ультразвуком руды) до 84,75%, а содержание металла в хвостах цианирования соответственно снижается на 1,62 г/т с 2,8 до 1,18 г/т. Предварительная ультразвуковая обработка позволяет также снизить потери Ag, Pb и Zn при флотации полиметаллической серебросодержащей руды (рис. 5). Анализ полученных результатов свидетельствует об увеличении показателей извлечения Ag на 2,83, Pb на 2,26 и Zn на 0,71%.

За последние пять лет в ЦНИГРИ проведена технологическая оценка более 60 объектов минерального сырья благородных и цветных металлов, расположенных на Урале, Алтае, Ямале, Северо-Востоке России, Северном Кавказе, в Якутии и других регионах страны (Галутинское, Кутынское месторождения). Переоценены ранее разведанные месторождения нераспределенного фонда недр. Разработаны эффективные технологические схемы переработки золотосодержащих руд месторождений, подготавливаемых к эксплуатации (Сухой Лог, Наталкинское, Кючусское, Неждановское и др.). Усовершенствована технология извлечения золота

на действующих золотоизвлекательных фабриках (Дуэтская, Бадран, Агинская и др.).

Разработанные технологии переработки руд использованы в геологических проектах для обоснования дальнейших геологоразведочных работ на объектах благородных и цветных металлов, при расчете прогнозных ресурсов золота, подсчете или пересчете запасов руд, разработке технологических регламентов и проектировании промышленных предприятий, реконструкции действующих золотоизвлекательных фабрик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Использование* мощных электромагнитных импульсов в процессах дезинтеграции и вскрытия упорного золотосодержащего сырья / В.А.Чантурия, И.Ж.Бунин, В.Д.Лунин и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2001. № 4. С. 95–106.
2. *Мигачев И.Ф., Карпенко И.А., Петраш Н.Г.* Об актуальности и основных аспектах глубокой переоценки крупных и уникальных рудных месторождений // Руды и металлы. 2008. № 2. С. 5–10.
3. *Применение* магнитно-импульсной обработки золото-содержащих руд и концентратов при их цианировании / С.А.Гончаров, Г.С.Крылова, Г.В.Седельникова и др. // Горный журнал. 2006. № 10. С. 58–60.
4. *Романчук А.И., Никулин А.И., Жарков В.В., Коблов В.В.* Технология и технические средства для извлечения свободного золота из проб золотосодержащих руд // Горный журнал. 2003. № 12. С. 79–83.
5. *Седельникова Г.В., Савари Е.Е., Ким Д.Х.* Использование биотехнологии — перспективный путь вовлечения в эксплуатацию месторождений с упорными рудами золота // Горный журнал. 2006. № 10. С. 52–57.

УДК 622.342:543.062

Г.В.Седельникова, А.В.Мандругин, 2010

НОВЫЕ МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ АНАЛИЗА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Г.В.Седельникова, А.В.Мандругин (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Рассмотрены особенности анализа и новые методики определения содержания благородных металлов в минеральном сырье и показано, что наряду с традиционным пробирным анализом широкое распространение получили комбинированные методы, основанные на сочетании пробирного анализа из большой навески (30–50 г) с высокочувствительным инструментальным определением содержания Au, Ag и платиновых металлов с помощью масс-спектрометрии и эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, рентгенофлуоресценцией и атомной абсорбцией.

Ключевые слова: пробирный и комбинированный анализы руд, горных пород, золота, серебра, платиновые металлы.

Седельникова Галина Васильевна, gsedelnikova@mail.ru, Мандругин Алексей Вадимович, mandrugin@mail.ru.

EW METHODS AND METHODOLOGY OF PRECIOUS METALS ANALYSIS IN MINERAL OBJECTS

G.V.Sedelnikova, A.V.Mandrugin

The peculiarity of precious metals analysis in rocks and ores are discussed at this paper. A fire assay with gravimetric finishing is a prevalent practice of the metal content estimation in mineral objects. The combination of fire assay and mass- or atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma is more preferential analysis for low grade materials. New methodologies of gold and platinum metals analysis is reviewed in this paper.

Key words: fire assay, combined analysis of ores, rocks, gold, silver, platinum metals.

В процессе геологоразведочных работ (ГРР) и изучения месторождений благородных металлов выполняется большой объем анализов по определению содержания полезного компонента и химического состава руд в геологических и технологических пробах. Полученные данные используются для обоснования целесообразности проведения дальнейших геологоразведочных работ, при оценке прогнозных ресурсов и подсчете запасов месторождений. Ошибки, допущенные при определении содержания полезного компонента, могут привести к неоправданным материальным затратам и в целом к снижению эффективности ГРР. Поэтому перед лабораториями, выполняющими анализ геологических проб, стоит задача обеспечения геологоразведочных организаций достоверными данными.

Современная тенденция снижения качества минерального сырья (уменьшение содержания полезного компонента и усложнение состава руд) обуславливает применение прогрессивных высокочувствительных инструментальных методов анализа на

основе метрологически аттестованных методик, позволяющих надежно определять содержания благородных металлов на уровне $n \cdot 10^{-2}$ – 10^{-3} г/т.

Отдел аналитических исследований ФГУП «ЦНИГРИ» и созданный на его базе Аналитический центр осуществляют научно-методическое лабораторное сопровождение ГРР на благородные и цветные металлы и проводят исследования минерального сырья по двум основным направлениям: разработка современных и совершенствование действующих методик анализа; массовый анализ проб.

Научно-методическая деятельность аналитического отдела, направленная на создание методик анализа, способствует ускоренному внедрению последних научно-технических достижений в практику анализа руд и горных пород разведываемых месторождений. Аналитический центр выполняет рядовые, контрольные, арбитражные и сертификационные анализы по заказам подразделений института (геологические и технологический отделы) и сторонних организаций (геологические организации Роснедра, недропользователи и др.). Для

определения содержания и состава проб применяются следующие методы анализа: пробирный; масс-спектрометрический с индуктивно связанной плазмой; атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой; атомно-абсорбционный с пламенной и электротермической атомизацией; другие традиционные химические методы.

Пробирный анализ. Учитывая низкое содержание и неравномерное распределение благородных металлов в земной коре, пробирный анализ на Au и Ag проводится из представительных навесок массой 30–50 г, тогда как при химических анализах используются навески 1–5 г, редко до 10 г. В связи с этим пробирный анализ занимает определяющее место в анализе руд на содержание Au.

Пробирная лаборатория ФГУП «ЦНИГРИ» оснащена современным оборудованием. На вооружении аналитиков две плавильные печи шахтного типа с одновременной установкой 16 и 18 тиглей (рис. 1*), купелировочные и обжиговые печи (производство ООО НПЦ «Азимут»), ультрамикровесы производства Mettler Toledo и другое оборудование.

Кроме анализа геологических проб, в лаборатории ведется работа по совершенствованию методик пробирного анализа золотосодержащих руд. Предложен новый нетрадиционный состав шихты для тигельной плавки на основе щелочи, который отличается от традиционного более высокой реакционной способностью и более низкой температурой плавления шлаков. Это позволяет проводить тигельную плавку при более низкой температуре или за более короткое время. Данный состав шихты хорошо зарекомендовал себя при плавке руд с высоким содержанием сульфидной серы и тугоплавких минералов. Разработаны и внедрены в практику аналитических работ две методики пробирного анализа: с низкотемпературной (850°C) тигельной плавкой и экспрессной плавкой при традиционно применяемой температуре 1050–1100°C (рис. 2). Применение относительно низкой температуры тигельной плавки открывает принципиальную возможность проведения пробирного анализа в автоматическом режиме в специально изготовленных автоматизированных печах для тигельной плавки, что представляется весьма перспективной задачей в будущем.

Масс-спектрометрия и атомная эмиссия с индуктивно связанной плазмой. Современная тенденция развития аналитических методов исследования минерального сырья благородных металлов заключается в широком внедрении новых высокоэффективных инструментальных методов анализа. Важный этап в развитии отдела аналитических исследований — внедрение метода масс-спектрометрии

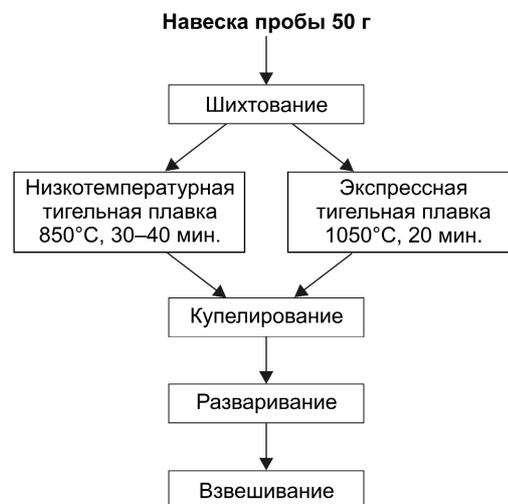


Рис. 2. Схема пробирного анализа с применением щелочной шихты

с индуктивно связанной плазмой, что стало возможным с приобретением в 2000 г. масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой ELAN 6100 производства Perkin Elmer (рис. 3*). Проведенные за последние десять лет исследования показали эффективность применения масс-спектрометрии при высокочувствительном определении содержаний Au и платиновых металлов в рудах и вмещающих породах после их предварительного концентрирования химическим или пробирным методом; многоэлементном анализе пород для целей геохимического поиска; анализе химического состава малых навесок проб; анализе чистых минералов для определения количества примесей.

Для определения содержания благородных металлов в различном минеральном сырье разработаны и аттестованы две масс-спектрометрические методики: с химическим разложением и концентрированием путем соосаждения с Tl для определения Au, Pt, Pd и Rh (нижняя граница количественного определения соответственно 0,005, 0,005, 0,005 и 0,002 г/т из навески 5 г) и с пробирным концентрированием в сокращенный свинцовый сплав для этих же элементов (нижняя граница количественного определения соответственно 0,005, 0,002, 0,002 и 0,0005 г/т из навески 50 г). Применение химико-масс-спектрометрической методики позволяет с высокой чувствительностью определять содержание благородных металлов даже в небольших навесках проб, а пробирно-масс-спектрометрической — производить анализ из больших навесок (50 г), что особенно важно при анализе проб с неравномерным распределением благородных металлов (рис. 4).



Рис. 4. Комбинированные пробирно-инструментальные методы определения благородных металлов в рудах

Применение масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой для анализа геохимических проб позволяет одновременно определять в пробе содержание до 70 элементов с чувствительностью порядка единиц г/т, что значительно повышает информативность анализа по сравнению с традиционным спектральным полуколичественным методом. Кроме того, метод успешно применяется в отделе аналитических исследований для определения примесного состава минералов, в том числе частиц природного золота из навески в несколько миллиграммов или примесей в чистом кварце на уровне 10⁻⁵%.

Приобретение в 2008 г. институтом атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой iCAP 6300 производства Thermo Fisher Co открыло перед аналитиками новые возможности. В частности, позволило определять содержание многих элементов, неудобных для определения методом атомной абсорбции, отказаться от трудоемких классических методов анализа (весового, титриметрического и фотометрического), решать задачи, когда требования к чувствительности анализа не столь высоки. Внедрены новые методики определения содержаний порообразующих элементов (ранее применялись классические методы анализа), а также As, Sb, Hg, Mo и др. (ранее использовался фотометрический метод или определение не проводилось вовсе). Ведется разработка и внедрение методик пробирно-атомно-

эмиссионного определения содержаний благородных металлов.

Атомно-абсорбционный анализ. По-прежнему большой объем работ выполняется с применением атомной абсорбции в двух вариантах: с атомизацией в пламени и электротермической атомизацией. В 2007 г. институтом был приобретен прибор нового поколения — атомно-абсорбционный спектрофотометр AA 6300 производства фирмы Shimadzu, Япония. Кроме того, используется спектрофотометр AAnalyst 100 производства Perkin Elmer. Методом атомной абсорбции определяются цветные металлы, а также выполняется большой объем работ по экстракционно-атомно-абсорбционному определению Au и Ag.

Комбинированные методы анализа. Из-за специфики анализа руд благородных металлов чувствительность даже современных инструментальных методов часто недостаточна для прямого определения. Поэтому в большинстве случаев инструментальные методы сочетаются с эффективными приемами концентрирования благородных металлов.

Как показывает мировой опыт, основной объем аналитических работ на благородные металлы выполняется с применением комбинированных пробирно-инструментальных методов. Это позволяет совместить в одной методике преимущества двух способов анализа — большую навеску в пробирном анализе и высокую чувствительность определения инструментальным методом. Одновременно с повышением чувствительности применение комбинированных методов дает возможность определять золото наряду с платиновыми металлами, чего не позволяет сделать пробирный анализ с гравиметрическим окончанием.

Необходимость использования инструментальных методов, даже в том случае, когда нужно определять только золото, обусловлена недостаточной чувствительностью пробирного анализа с гравиметрическим окончанием. Причем ограничение чувствительности анализа на уровне 0,2 г/т связано не с недостаточной чувствительностью пробирных весов, а со сложностью процедуры взвешивания почти невидимых золотых корточек. Применение вместо пробирного анализа с гравиметрическим окончанием комбинированного пробирно-атомно-абсорбционного с пламенной атомизацией позволяет не только снизить чувствительность определения до 0,01 г/т, но и существенно повысить точность определения низких содержаний Au, характерных для основной массы разведочных проб.

В соответствии с обозначенной выше тенденцией в отделе аналитических исследований разви-

ваются и широко применяются комбинированные методы определения благородных металлов. Внедрена экспрессная методика пробирно-атомно-абсорбционного определения Au с концентрированием в серебряный королек. Данная методика хорошо зарекомендовала себя при анализе хвостов обогащения технологических проб, где точность анализа имеет принципиальное значение.

Помимо описанной выше высокочувствительной пробирно-масс-спектрометрической методики определения Au, Pt, Pd и Rh, в отделе разработана и аттестована методика пробирно-рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) Au, Pt и Pd в рудах и породах с концентрированием в серебряный королек (см. рис. 2). При этом используется рентгенофлуоресцентный спектрометр «Эра» с острофокусной рентгеновской трубкой. Нижняя граница количественного определения составляет для Au, Pt и Pd соответственно 0,02, 0,02 и 0,2 г/т. Готовится к аттестации методика пробирно-атомно-эмиссионного с индуктивной плазмой определения Au, Pt и Pd. Данная методика сходна с пробирно-масс-спектрометрической, но отличается более простым вариантом пробирного концентрирования и более дешевой аппаратурой. Применяется в тех случаях, когда не требуется максимальная чувствительность определения. Планируется разработка методики пробирно-масс-спектрометрического определения Au, Pt, Pd, Ir, Rh, и Rt в рудах с концентрированием в никелевый штейн.

Большое внимание в Аналитическом центре уделяется контролю качества выполнения аналитических работ. Он осуществляется путем введения в каждую партию анализируемых проб стандартного образца состава (контроль правильности), дубликатов проб (контроль повторяемости), пустой породы (контроль заражения). Под партией подразумевается группа проб, с которой исполнитель ведет работу одновременно. Например, для пробирного анализа это группа одновременно плавящихся в печи проб, для химического — число разлагаемых одновременно проб. Все контрольные пробы имеют шифрованные номера. В случае неудовлетворительного качества результатов анализа контрольных проб вся партия анализируется заново. Внедрение такой системы контроля качества позволило значительно снизить вероятность получения неверных результатов и повысить качество анализов.

Аналитический центр ФГУП «ЦНИГРИ» аккредитован в системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) с 1995 г. (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511741) и регулярно подтверждает статус аккредитованной лаборатории.

Высокая квалификация и большой опыт сотрудников Аналитического центра позволяют решать практически любые задачи по определению благородных металлов в минеральном сырье и других объектах.

УДК 551.46

© Б.Д. Углов, 2010

ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА — ВКЛАД ЦНИГРИ

Б.Д. Углов (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Приведены сведения о геологическом строении и металлогении Западно-Тихоокеанской транзитали, провинций распространения железомарганцевых конкреций (Кларион-Клиппертон) и кобальтомарганцевых корок (горы Магеллана) в Тихом океане, Анголо-Бразильского и Маскаренско-Австралийского трансокеанских геотраверзов, Срединно-Атлантического хребта и региона Средиземноморья.

Ключевые слова: Тихий океан, Атлантический океан, Индийский океан, геология, металлогения.

Углов Борис Дмитриевич, bduglov@mail.ru

GEOLOGY AND METALLOGENY OF THE WORLD OCEANS — THE CONTRIBUTION OF TsNIGRI

B.D. Uglov

The information given on the geologic structure and metallogeny of the Western Pacific Tranzital, provincials of distribution of ferromanganese nodules (Clarion-Clipperton) and cobalt-rich ferromanganese crusts (Mounts Magellan) in the Pacific Ocean, Angola-Brazilian and Mascarene-Australian transoceanic geotranssects, Mid-Atlantic Ridge and Mediterranean region.

Key words: Pacific Ocean, Atlantic Ocean, Indian Ocean, Mediterranean, geology, metallogeny.

Мировой океан является хранилищем колоссальных ресурсов твердых полезных ископаемых (ТПИ). В конкрециях, корках и колчеданных рудах содержится значительное количество Ni, Co, Mn, Cu, Zn, Ag, Au, Pb и других полезных компонентов. Это заставило обратить внимание на минерально-сырьевые ресурсы дна Мирового океана научные, промышленные и политические 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. В связи с этим «Долгосрочная государственная программа изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья» (2008) в целях учета геополитических приоритетов в области изучения и освоения минеральных ресурсов Мирового океана, закрепленных положениями Морской доктрины Российской Федерации, предусматривает:

создание условий и возможностей для разведки и добычи ресурсов глубоководных районов Мирового океана (на дне и в недрах);

закрепление в рамках полномочий Международного органа по морскому дну (МОД) прав Российской Федерации на разведку и разработку ресурсов морского дна за пределами юрисдикции прибрежных государств.

Главными и наиболее распространенными твердыми полезными ископаемыми, из тех что выявлены к настоящему времени на дне Мирового океана, считаются железомарганцевые конкреции (ЖМК), кобальтомарганцевые корки (КМК) и глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС), соответствующие колчеданным рудам. Эти руды представляют существенный экономический интерес с точки зрения воспроизводства минерально-сырьевой базы. По отдельным металлам (Cu, Ni, Co, Mo и др.) океан превосходит ресурсы континентов, а по Mn и Ag сопоставим с последними. В соответствии с этим приоритетные направления работ в рамках программы — выявление ресурсного потенциала и запасов ЖМК на выделенном МОД для России участке в Тихом океане и в перспективных на КМК и ГПС районах Мирового океана.

Учитывая это, ряд российских научных и производственных организаций продолжают в настоя-

шее время, хотя и со значительно меньшей интенсивностью, чем в прошлые годы, изучение твердых полезных ископаемых Мирового океана для подготовки их к эксплуатации. В первую очередь к этим организациям относятся ГНЦ «Южморгеология», ВНИИОкеангеология, Полярная морская геологоразведочная экспедиция (ПМГРЭ), а также некоторые институты РАН. Определенный вклад в изучение ТПИ Мирового океана вносит также и ЦНИГРИ, исследования которого сосредоточены на систематизации и комплексной интерпретации геолого-геофизических данных по ряду районов Мирового океана. Это Западно-Тихоокеанская переходная зона от океана к континентам (Западно-Тихоокеанская транзиталь), северо-восточная приэкваториальная область Тихого океана (район провинции Клариян-Клиппертон), осевая зона Срединно-Атлантического хребта и его прилегающие фланги, трансокеанские широкополосные геотраверсы в Атлантическом и Индийском океанах, регион Средиземноморья. В процессе исследований разработана автоматизированная система геолого-геофизического районирования дна Мирового океана для металлогенического анализа [13, 17].

Суть операций системы состоит в комплексном районировании рельефа дна и потенциальных геофизических полей по статистическим, тектоническим и геологическим картировочным параметрам (результаты частотной фильтрации и оценки дисперсий, взаимные корреляционные связи, значения полных горизонтальных градиентов, распределение неоднородностей плотностных и магнитовозмущающих сред и др.). С их помощью выделяются металлогенические обстановки, перспективные на развитие колчеданного оруденения и накопление железомарганцевых образований. Необходимая часть методики применения системы — комплексное использование при районировании результатов сейсмических, петрологических, геохимических и гидрологических (гидрохимических) исследований.

Выбор районов исследований обусловлен тем, что с ними, в первую очередь, связаны ресурсные (в отношении ТПИ) и научные интересы России в Мировом океане.

В **Тихом океане** к таким районам относятся Западно-Тихоокеанская транзиталь (ЗПТЗ) и северо-восточная приэкваториальная часть океана в области Тихоокеанских трансформных разломов-гигантов Клариян и Клиппертон.

Западно-Тихоокеанская транзиталь, охватывающая западную часть Тихого и северо-восточную часть Индийского океанов, обладает рядом

специфических особенностей, отражающихся в рельефе земной поверхности, геофизических полях и строении земной коры. Они определяются главным образом наличием в регионе единственной в своем роде глобальной зоны перехода от Тихого и Индийского океанов к Евразийскому и Австралийскому континентам, представленной цепью островодужных структур и сопряженными с ней задуговыми бассейнами и окраинными морями. Данная зона, а также прилегающие к ней части океанских плит обладают своеобразными (помимо многочисленных других) особенностями структурной геометрии широко развитых здесь линеаментов. Линеаменты зачастую составляют структуры, которые могут быть названы вихревыми [8].

Океанское ложе данного региона — самое древнее в Мировом океане, его возраст поздняя юра – поздний мел. Особенностью геологической истории региона является широкое развитие вулканизма разных типов: островодужного и рифтового — в зоне сочленения Тихого и Индийского океанов с Евразией и Австралией и весьма мощного внутриплитного — в глубоководных областях океанов. Соответственно, это нашло отражение в строении рельефа: здесь распространены как линейные морфоструктуры (островодужные системы, вулканические хребты, цепи подводных гор), так и изометрические поднятия (одиночные вулканы, массивные плато и возвышенности).

Частотный анализ рельефа [8, 16] показывает, что подавляющее большинство островов, подводных поднятий и подводных гор расположены не хаотично, а образуют линейные структуры — линеаменты (рис. 1). Они различны по протяженности и весьма многочисленны, а с точки зрения плановой геометрии отчетливо разделяются на три категории.

Линеаменты первой категории имеют в плане форму асимметричной дуги. К ним относятся островодужные структуры (как активные, так и отмершие), начиная от Алеутской и Курило-Камчатской и кончая Зондской и Тонга-Кермадек, с характерной дугообразной конфигурацией. Однако большинству из них свойственна асимметрия в плане — одно из окончаний дуги закручено значительно больше другого. При этом окончание вулканической дуги преобразуется в спиральную или вихревую структуру. Особо примечательна в этом отношении Фиджийская система, где вихреобразное закручивание выражено наиболее отчетливо и геометрия спирально закрученных линеаментов весьма сходна с морфологией атмосферного циклонического вихря. По существу, совокупность островных дуг можно рассматривать как гигантскую (са-

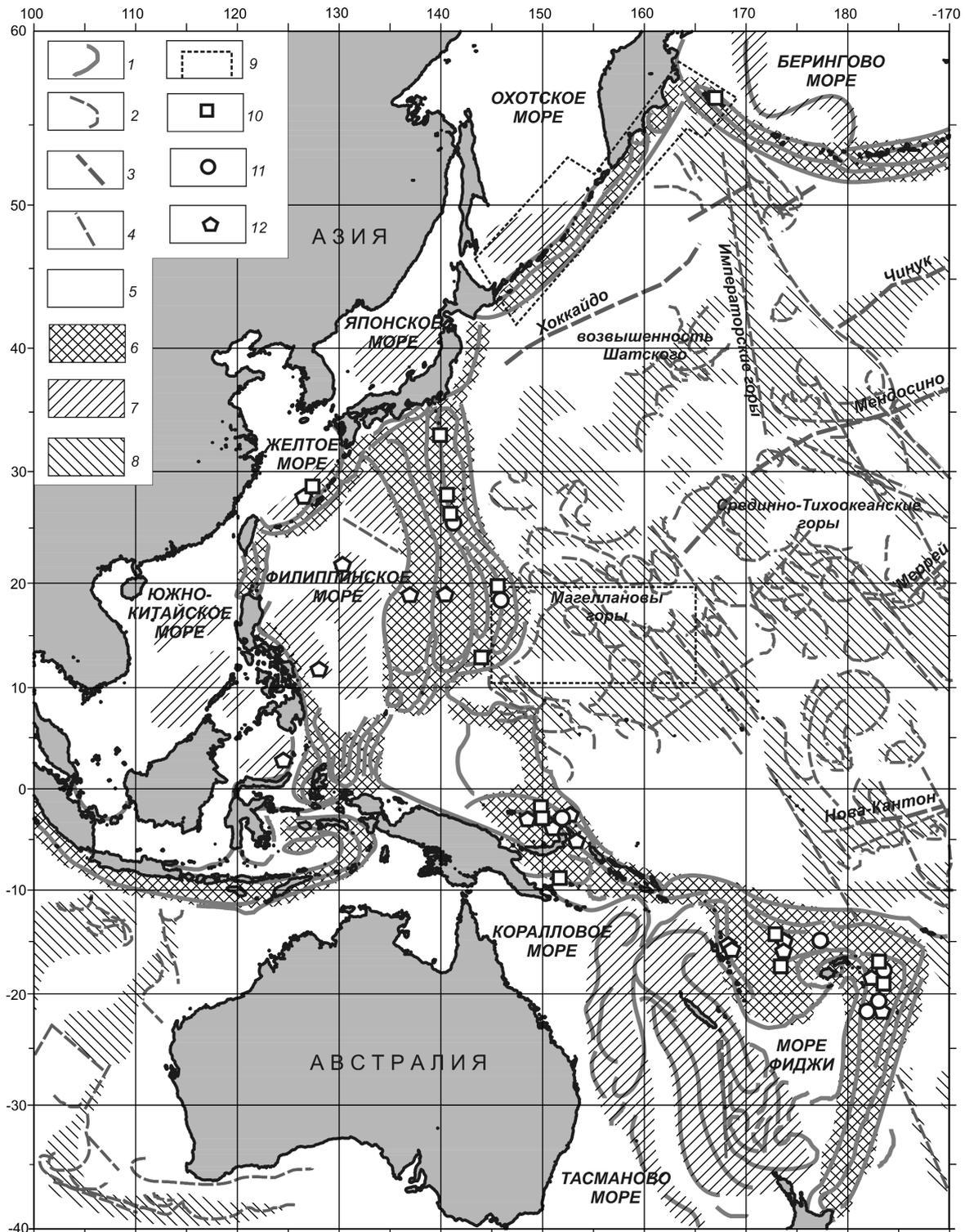


Рис. 1. Тектонические линейменты и обстановки, благоприятные для формирования колчеданных руд в западной части Тихого океана:

линейменты: 1 — оси островодужных систем, 2 — структуры вихревых линейментов глубоководных частей океана; разломы: 3 — трансформные, 4 — региональные глубинные; 5 — океанские плиты и окраинные моря; обстановки, благоприятные для формирования колчеданных руд: 6 — островодужные, 7 — заостроводужные, 8 — внутриплитные; 9 — районы российских интересов; колчеданные месторождения и рудопроявления: 10 — массивные сульфидные руды, 11 — прожилково-крапленные сульфидные руды, 12 — скопления металлоносных осадков

му по себе вихреобразную) систему вихревых структур, протягивающуюся на многие тысячи километров в зоне сочленения Тихоокеанской и Индоокеанской плит с Евразией и Австралией.

К линеаментам второй категории принадлежат цепочки поднятий дна в глубоководных областях Тихого и Индийского океанов (районы интенсивно проявленного внутриплитного вулканизма), а также в краевых задуговых бассейнах, хотя последние ввиду интенсивного осадконакопления выражены менее отчетливо. Эти поднятия и горы зачастую группируются в виде линий, имеющих форму вихрей, колец или полуколец.

Линеаменты третьей категории характеризуются почти прямолинейной ориентировкой и соответствуют подводным хребтам (Императорский, Гавайский, Луисвилл и др.) или цепочкам подводных гор и островов (Лайн, Маршалловы и др.). Происхождение большинства из них обусловлено, как считают многие исследователи, внутриплитным вулканизмом, приуроченным к тектоническим нарушениям. Отмеченные вихревые движения, очевидно, способствуют интенсификации магматической активности в регионе и приводят к деформации океанической литосферы [16].

Широкое развитие вулканамагматических процессов в регионе, несомненно, способствует образованию геологических обстановок, благоприятных для формирования колчеданных руд. Их образование в вулканически активных зонах Мирового океана определяется главным образом эндогенным фактором. Этот фактор тесно связан с тектоническими особенностями строения океанского дна, составом и возрастом вмещающих магматитов, интенсивностью осадконакопления, которые обуславливают наличие проявлений гидротермальной активности и определяют тип формирующихся колчеданных руд, состав и геохимический тип колчеданных формаций. Согласно практически общепринятой рециклинговой модели, формирование ГПС происходит в результате перетложения на контакте с морской водой вещества, выщелоченного из вмещающих пород конвективно циркулирующими гидротермальными растворами. В качестве основного компонента растворов рассматривается нагретая морская вода, а источники энергии для функционирования конвективной системы — близповерхностные магматические очаги. Несмотря на принципиально одинаковый для всех колчеданных руд механизм формирования, многие параметры оруденения (характер распределения, форма, размеры и состав рудных тел) значительно варьируют в зависимости от геодинамического режима, географо-климатиче-

ских условий и других факторов. Так, для океанских окраин — островных дуг, а также задуговых рифтов и зон спрединга — характерны колчеданные руды преимущественно колчеданно-полиметаллической и цинк-медь-колчеданной формаций [12, 13].

В пределах океанских плит могла формироваться особая группа колчеданных рудопроявлений, связанная с внутриплитной тектономагматической активностью, — внутриплитная. Присущий внутриплитным вулканическим хребтам, поднятиям и подводным горам интенсивный вулканизм мог приводить к образованию рудных тел медно-колчеданной формации (по аналогии с современным рудопроявлением на вулкане Лоихи в Гавайском хребте). Имеются также предпосылки для выделения обстановок гидротермального рудогенеза внутриплитного подтипа, связанного с тектономагматической активизацией (и сопутствующей ей деформацией) пассивных областей литосферных плит [12, 13].

Таким образом, в рассматриваемом регионе отмечаются обстановки, благоприятные для формирования колчеданных руд. В первую очередь, к ним относятся обстановки океанских окраин как островодужные, так и заостроводужные, в которых известны достаточно многочисленные колчеданные месторождения и рудопроявления (см. рис. 1). В перспективе не исключаются также находки рудопроявлений во внутриплитных обстановках.

Большинство проявлений современных колчеданных руд в переходных зонах обнаружены в задуговых и междуговых бассейнах, а также во внутридуговых рифтах. Залежи таких руд выявлены в большинстве бассейнов переходной зоны западной части Тихого океана — Лау, Манус, Северо-Фиджийском, Марианском трогге и других. Процессы колчеданообразования в спрединговых хребтах задуговых бассейнов в целом сходны с таковыми в быстроспрединговых срединно-океанических хребтах. По составу они близки к рудам в участках срединно-океанских хребтов с относительно мощным осадочным чехлом — кроме Cu и Zn в них в заметных количествах присутствуют Pb, Ag, Au, а в виде примесей Ni, Co, Cd [2].

В островных дугах на океанской коре (энсиматических) отмечаются две формации, с которыми могут быть связаны процессы образования колчеданных руд: бонинит-толеитовая контрастная натриевой серии (на ранних стадиях развития) и андезит-дацитовая известняково-щелочная калий-натриевой серии (на поздних стадиях). В островных дугах на континентальной коре (энсиалических) могут возникать колчеданные залежи, ассоциирую-

шие с непрерывной известково-щелочной (реже толеитовой) формацией, а также с контрастной существенно риолитовой известково-щелочной формацией калий-натриевой серии [2].

Глубоководные полиметаллические сульфиды — главное твердое полезное ископаемое Западно-Тихоокеанской транзитали. Предварительной ресурсной оценке (весьма приблизительной) поддаются лишь массивные сульфиды окраинно-океанического типа в современных рудных залежах, которые еще не перекрыты вулканогенными и осадочными отложениями. По некоторым данным [14], общие запасы современных колчеданных руд в Мировом океане оцениваются более чем в 6,6 млрд. т, а ресурсы Cu, Zn, Pb, Co, Ni, Ag и Au в сумме составляют ~1,7 млрд. т. При этом почти половина (47%) ресурсов ГПС сосредоточена в Западно-Тихоокеанской транзитали (85% всех ресурсов Pb и >40% Zn и Ag). Запасы ГПС находятся преимущественно в экономических зонах крупных (Россия, США, Китай, Франция, Япония, Новая Зеландия) и небольших островных (Папуа Новая Гвинея, Фиджи, Тонга) государств. Металлогенические ресурсы в этих зонах оцениваются, млн. т: сульфидных руд 82, Zn 12, Cu 4. Ряд австралийских компаний в 2010 г. планируют начать разработку месторождения ГПС в восточной части бассейна Манус (Папуа Новая Гвинея) и продолжают интенсивное изучение арендуемых площадей в Новой Зеландии (Кермадек и Колвилл-Моновай), Микронезии, Папуа Новой Гвинее и Вануату [4].

В пределах 200-мильной экономической зоны России сколько-нибудь значительных проявлений ГПС к настоящему времени не выявлено. Надежды на их обнаружение связаны прежде всего с дальневосточным Командоро-Курильским регионом. Наиболее перспективна западная часть Алеутской дуги, сходная по строению и широкому развитию дифференцированных вулканогенных комплексов с колчеданосными палеодугами уральского типа. Здесь, в тылу Командорских островов, установлены два гидротермальных рудопроявления на вершинах вулкана Пийпа.

Оценки рудоносности Курильской дуги в силу недостаточной изученности пока преждевременны. Однако возможность обнаружения в ее пределах многочисленных проявлений ГПС не исключается. Об этом, в частности, свидетельствует обломок массивной сульфидной руды, драгированный с вершины подводного вулкана Кудрявый вблизи о. Итуруп, а также достаточно широкое развитие в пределах дуги гидротермальных Fe-Mn корок [7]. Кроме того, в качестве потенциально

колчеданосных структур могут рассматриваться локальные впадины в пределах Командорской котловины и Охотского моря. В одной из таких депрессий, в зоне разлома Беринга, обнаружены металлоносные осадки, а во впадине Дерюгина — массивные гидротермальные агрегаты барита. Очевидно, с этими районами и связаны интересы России по освоению глубоководных полиметаллических сульфидов Тихого океана.

Наименее изученным к настоящему времени остается вопрос о металлогенических особенностях областей проявления внутриплитного вулканизма и тектономагматической активизации (см. рис. 1). Однако существуют определенные предпосылки для отнесения их к весьма перспективным и заслуживающим детального изучения [16].

Другим районом Тихого океана, представляющим большой интерес для российских исследователей, является область *Магеллановых гор* (рис. 2), примыкающая с востока к Марианскому желобу Западно-Тихоокеанской транзитали (см. рис. 1). Этот район — один из наиболее перспективных на обнаружение кобальтомарганцевых корок.

Корки представляют собой минеральный агрегат гидроксидов Fe и Mn, образующих сплошные покровы толщиной несколько сантиметров на обнаженных поверхностях коренных пород океанского дна. Они образуются в океанских бассейнах при осаждении вещества из холодных придонных вод на твердые породы субстрата. Приурочены, как правило, к подводным хребтам и отдельным горам (гайотам). Формируются на глубинах ниже слоя кислородного минимума, преимущественно от 500 до 3500 м [10, 13]. Распределение кобальтомарганцевых корок на подводных горах зависит от многих факторов — морфологии подводной горы, характера течений, степени разрушения породы, типа и возраста породы субстрата, истории погружения гайотов. В корках выявлены значительные концентрации различных металлов, таких как Co, Ni, Ce, Ti, Pt, Mo, Te, Cu, W, имеющих стратегическое и экономическое значение, а также Mn. Особенно привлекательны корки с высоким содержанием Co, стоимость которого всегда была достаточно высока. При этом наиболее богатые Co корки отлагаются на более доступном верхнем уровне глубин от 500 до 2000 м (см. рис. 2, б).

Тихий океан отличается широким распространением кобальтомарганцевых корок ввиду интенсивного развития процессов внутриплитной тектономагматической активизации (см. рис. 1). Образованные в результате этих процессов подводные горы по геоморфологическим характеристикам весьма благоприятны для отложения корок, а

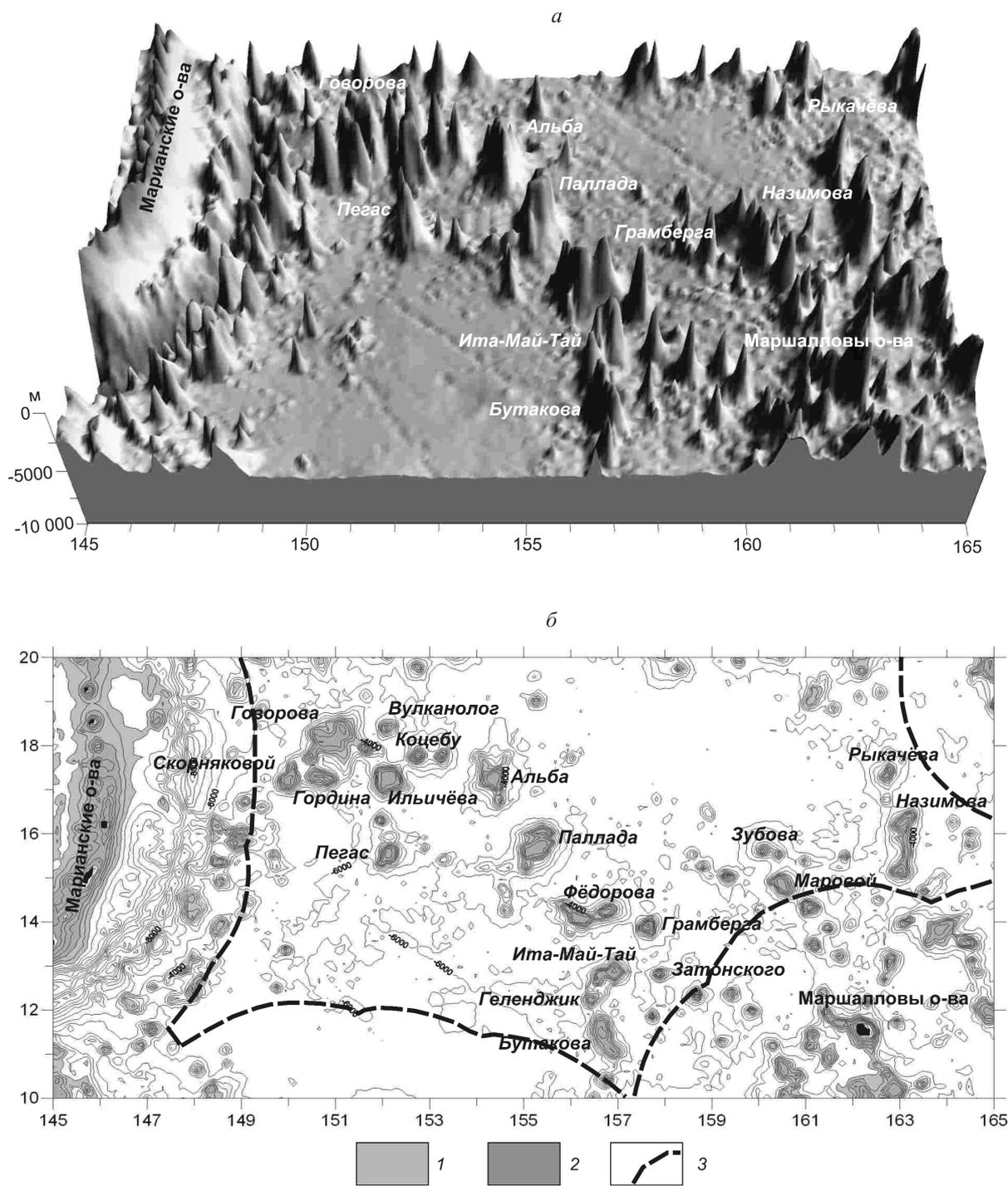


Рис. 2. Гайоты Магеллановых гор (а) и распределение в их пределах кобальтомарганцевых корок (б):

1 — очень богатые ($Co > 0.8\%$), 2 — богатые (Co от 0,4 до 0,8%) корки кобальтового типа; 3 — границы Международного района морского дна

продукты вулканической деятельности, очевидно, могли служить источником осаждающегося вещества. Предполагается, что наиболее богатые и пригодные для эксплуатации корки располагаются в приэкваториальном районе Тихого океана примерно от 28° с.ш. до 12° ю.ш. и от 145° в.д. до 158° з.д. [4].

Гайоты Магеллановых гор (см. рис. 2, а) весьма интенсивно исследуются ГНЦ «Южморгеология» с целью подачи в МОД заявки на выделение Российской Федерации участка для изучения и последующей эксплуатации КМК. Этот район, изобилующий гайотами с достаточно богатыми корками, весьма благоприятен для изучения. Кроме того, он расположен в Международном районе морского дна на относительно небольшом расстоянии от российского побережья с предприятиями возможной переработки сырья.

По данным ГНЦ «Южморгеология» 2009 г., прогнозные ресурсы КМК изученных гайотов весьма значительны. По совокупности гайотов они составляют порядка 1,5 млрд. т сухой руды, 320 Mn, 8 Co, 7 млн. т Ni. Площадь рудного района равна ~15,5 тыс. км² при средней мощности корок 7–10 см и плотности залегания сухой руды 80–100 кг/м². Наиболее крупные ресурсы руды сосредоточены на гайотах Говорова, Назимова, Ита-Май-Тай, Федорова и Бутакова. В целом район Магеллановых гор соответствует нескольким уникальным наземным (>50 тыс. т каждое [6]) месторождениям кобальта и средним по ресурсам марганца. Он полностью удовлетворяет предварительным критериям экономически целесообразной эксплуатации КМК [4].

Провинция Клариион-Клиппертон в северо-восточной приэкваториальной зоне Тихого океана с широким распространением ЖМК — район, также отвечающий российским интересам (рис. 3). С севера и юга она ограничена разломами-гигантами Клариион и Клиппертон соответственно, а с запада и востока хребтом (архипелагом) Лайн и подводными горами Математиков (см. рис. 3, а). Провинция входит в Северный приэкваториальный пояс конкреционности [10], расположенный между 5 и 30° с.ш., конкреции в котором покрывают в среднем 32% площади дна с плотностью залегания от 1 до 32 кг/м² и отличаются повышенными содержаниями Mn, Cu, Ni, Pb, Zn. Наиболее крупными провинциями пояса считаются Клариион-Клиппертон и Централно-Тихоокеанская в районе Срединно-Тихоокеанских гор. Всего же в Тихом океане насчитывается порядка 20 конкреционных провинций с прогнозными ресурсами руд ЖМК в 349 млрд. т [3].

Провинция Клариион-Клиппертон с уникальным скоплением ЖМК, высоким и устойчивым содержанием рудных компонентов в конкрециях может рассматриваться как одно гигантское конкреционное месторождение, отдельные части которого находятся в различных структурно-геоморфологических условиях. Она занимает ложе глубоководной котловины в виде полого наклоненной с востока на запад абиссальной равнины с глубинами дна от 4000 до 5400 м. Один из основных факторов отложения богатых полезными компонентами конкреций — глубина океанского ложа, благоприятно расположенного относительно критической глубины карбонатакопления, обуславливающего глубоководную конкреционность [9, 11]. Ввиду этого здесь отлагались конкреции разных типов от бедной Co- до богатой Ni-Cu-специализации (см. рис. 3, б), прогнозные ресурсы которых, по данным ГНЦ «Южморгеология», составляют около 32,5 млрд. т. При этом в них содержится: Mn 6,75, Fe 3,5 млрд. т, Ni 254, Cu 189 и Co 78 млн. т. У западного и восточного замыканий провинции на хребтах Гавайский, Лайн и горах Математиков в значительном количестве развиты также КМК (см. рис. 3, б). Однако расположены они преимущественно за пределами Международного района морского дна.

Примерно аналогичные условия отложения конкреций характерны и для расположенной севернее провинции Молокаи-Клариион (см. рис. 3, б). Ресурсы ЖМК оцениваются здесь существенно ниже (17,9 млрд. т), что может быть связано со значительно меньшей изученностью этой провинции — 469 станций донного опробования против 14 669 в провинции Клариион-Клиппертон на конец 2007 г. [3].

Провинция Клариион-Клиппертон ввиду отмеченных особенностей стала первым регионом Международного района морского дна, в котором МОД выделил ряду стран участки для изучения и последующего освоения ЖМК. Среди этих стран находится и Россия, которой (ранее СССР) примерно в центральной части провинции выделен так называемый Российский разведочный район (PPP) площадью 75 тыс. км², состоящий из двух полигонов — Западного и Восточного (см. рис. 3, б). Интенсивное изучение его продолжается в настоящее время ГНЦ «Южморгеология». По предварительным оценкам этой организации, прогнозные ресурсы сухой руды ЖМК в PPP составляют 703 млн. т. В ней содержится, млн. т: Mn 211,2, Fe 40,8, Ni 10,3, Cu 8,2, Co 1,7. Это позволяет считать Российский разведочный район месторождением-гигантом комплексных Fe-Mn руд, крупным объектом по Ni и Cu, уникальным по Co и Mn [11].

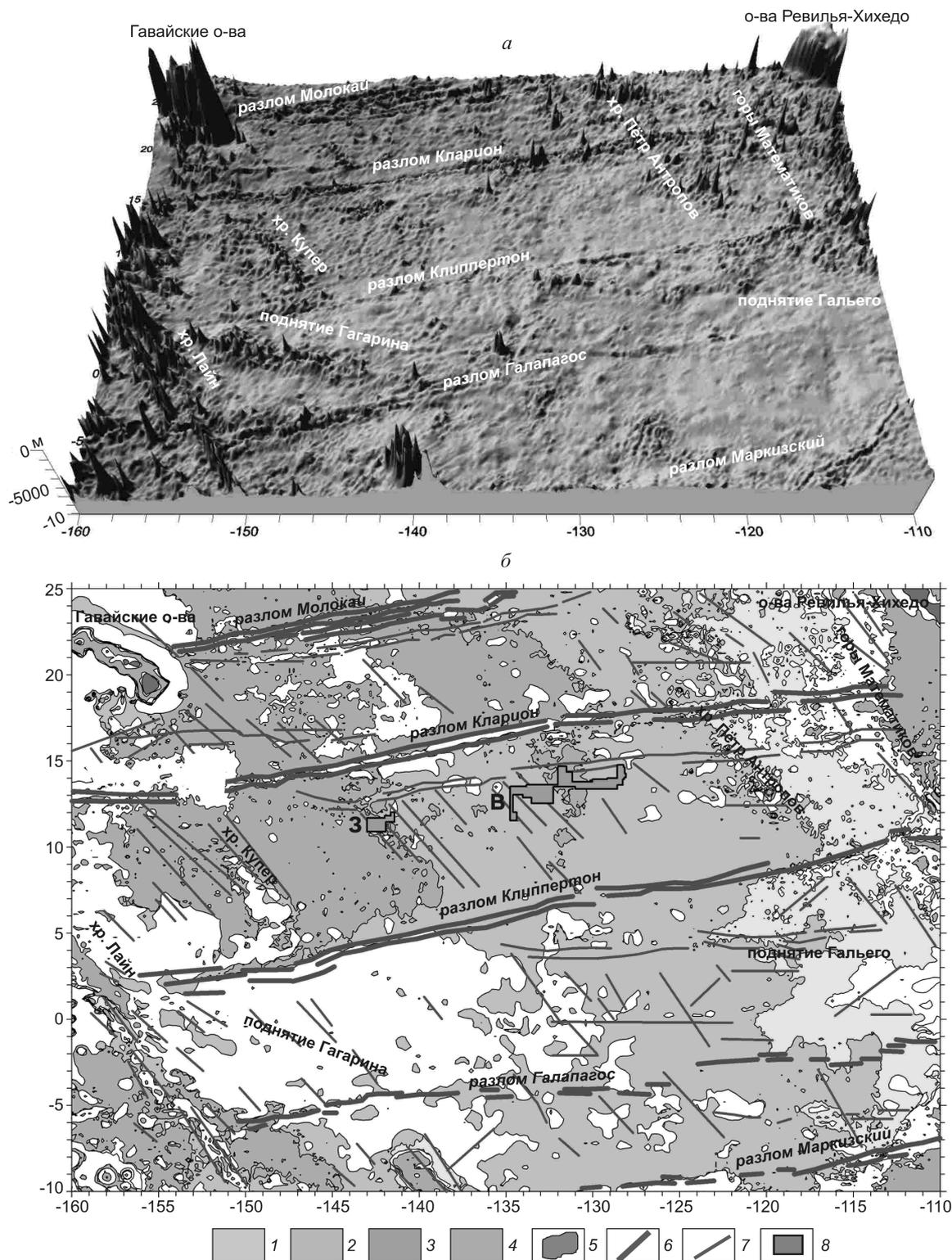


Рис. 3. Конкрециеносная провинция Кларион-Клиппертон в северо-восточной приэкваториальной зоне Тихого океана:

a — рельеф дна; *б* — распределение ЖМК различной геохимической специализации: 1 — бедной кобальтовой ($Ni+Cu < 0,7\%$, $Co 0,2-0,4\%$), 2 — никель-медной (богатой — $Ni+Cu 2,4-3,1\%$, умеренно богатой — $Ni+Cu 1,7-2,4\%$, Co для всего типа — $0,15-0,3\%$), 3 — никель-медно-кобальтовой ($Ni+Cu 0,7-1,7\%$, $Co 0,15-0,3\%$); 4 — КМК богатого и очень богатого кобальтового типов; 5 — острова; 6 — трансформные разломы; 7 — прочие разломы; 8 — Российский разведочный район: 3 — западный и В — восточный полигоны

В Атлантическом океане значительный объем работ ЦНИГРИ проведен на *Анголо-Бразильском геотраверзе*, поскольку в его полосе (рис. 4) организациями Министерства геологии СССР (объединения «Севморгеология» и «Южморгеология») в 70–80-х годах прошлого века выполнены регулярные геолого-геофизические исследования по достаточно густой сети профилей. По ряду выявленных характеристик геотраверз может считаться эталонным районом для всего океана. ЦНИГРИ принял активное участие в обобщении и комплексной интерпретации полученных данных [15].

В пределах геотраверза на основании известных на настоящий момент данных об условиях залегания железомарганцевых образований [10, 12, 13] прогнозируется достаточно широкое их распространение. Прогнозируемые поля КМК располагаются на склонах подводных гор и гайто-тов. Наибольшее их количество приурочено к подводным горам хребта Камерун, а наиболее крупное поле — к подводной горе (гайоту) Кардано.

Железомарганцевые конкреции сосредоточены на площади двух полей сложной конфигурации — Дампир на восточном фланге Срединно-Атлантического хребта и Бразильское на западном фланге и в Бразильской котловине. Прогнозные ресурсы руды ЖМК поля Дампир составляют около 1118 млн. т, Бразильского поля — 4820 млн. т [3]. Однако практическая ценность этих полей считается невысокой, поскольку плотность залегания конкреций составляет всего 4,8 кг/м² при среднем содержании Mn 21, Fe 9, Ni 0,76, Cu 0,49, Co 0,12%.

Исходя из особенностей тектонического строения океанского дна, магматизма изверженных пород, мощности осадочного чехла в пределах геотраверза выделяются несколько основных типов обстановок предполагаемого колчеданного рудогенеза. К ним относятся, во-первых, рифтовая долина и осевая зона медленноспредингового Срединно-Атлантического хребта с современным вулканизмом и слабым осадконакоплением. Данные условия благоприятны для развития колчеданного оруденения срединно-океанического типа с преобладанием руд цинк-медь-колчеданной формации.

Другой тип колчеданного оруденения, предполагаемый в пределах геотраверза, — красноморский. Он характерен для ранних этапов раскрытия бассейнов с океанической корой и соответствует современной обстановке в Красноморском рифте. Подобная обстановка могла существовать в бассейне Южной Атлантики в конце раннего мела, когда здесь накапливались эвапориты. Поэтому в районе могли отлагаться руды цинк-медь-колчеданной формации с широкой вариацией геохими-

ческих типов, которые, возможно, сохранились на континентальных окраинах Африки и Южной Америки.

Присущий достаточно многочисленным в пределах геотраверза вулканическим хребтам, поднятиям и подводным горам интенсивный вулканизм мог служить фактором формирования рудных тел медноколчеданной формации. Имеются также предпосылки для выделения обстановок гидротермального рудогенеза во внутриплитных условиях, связанных с тектономагматической активизацией отдельных областей литосферных плит [13]. Это позволяет гипотетически рассматривать обширные области внутриплитных деформаций западного и восточного флангов Срединно-Атлантического хребта как провинции, перспективные на металлоносные осадки и колчеданное оруденение. Формирующиеся при внутриплитном рудообразовании залежи могут быть близки к рудам колчеданно-полиметаллической или медноколчеданной формации в зависимости от мощности осадочного чехла.

Значительный интерес в отношении колчеданного рудогенеза представляет регион *Центральной Атлантики*, расположенный между сороковыми градусами южной и северной широты (см. рис. 4), и, в первую очередь, осевая зона Срединно-Атлантического хребта. Именно с этой зоной связана область российских интересов, которая условно может быть названа Российским разведочным районом. В течение ряда лет интенсивные исследования ГПС в этом районе ведет ПМГРЭ, работами которой были открыты залежи массивных сульфидных руд с высоким содержанием Cu, Zn и Au [7].

Наиболее перспективными в данном районе считаются рудные поля Логачев и Ашадзе, представленные несколькими телами массивных сульфидных руд Zn-Cu колчеданной формации, геохимический тип которых, возможно, относится к Cu-Zn золото-сереброносному [7, 13].

Рудное поле Логачев расположено в океане на глубине 2900–3050 м. По оценкам ПМГРЭ, в рудах содержатся: Cu 37,75, Zn 1,84%, Au 32,2, Ag 44,5 г/т. Прогнозные ресурсы руды — 2 млн. т. В рудах поля Ашадзе (глубины океана 3200–4200 м), по тем же оценкам, содержатся: Cu 10,26, Zn 19,33%, Au 3,65, Ag 71,10 г/т. Прогнозные ресурсы руды — 3,5–4 млн. т. Минеральный состав рудной массы ГПС представлен тончайшей смесью халькопирита, изокубанита, халькозина, сфалерита, атакамита, пирита и марказита. В ЦНИГРИ в 2005 г. проводилась пробная переработка сульфидных руд с использованием комбинированной гидрометаллур-

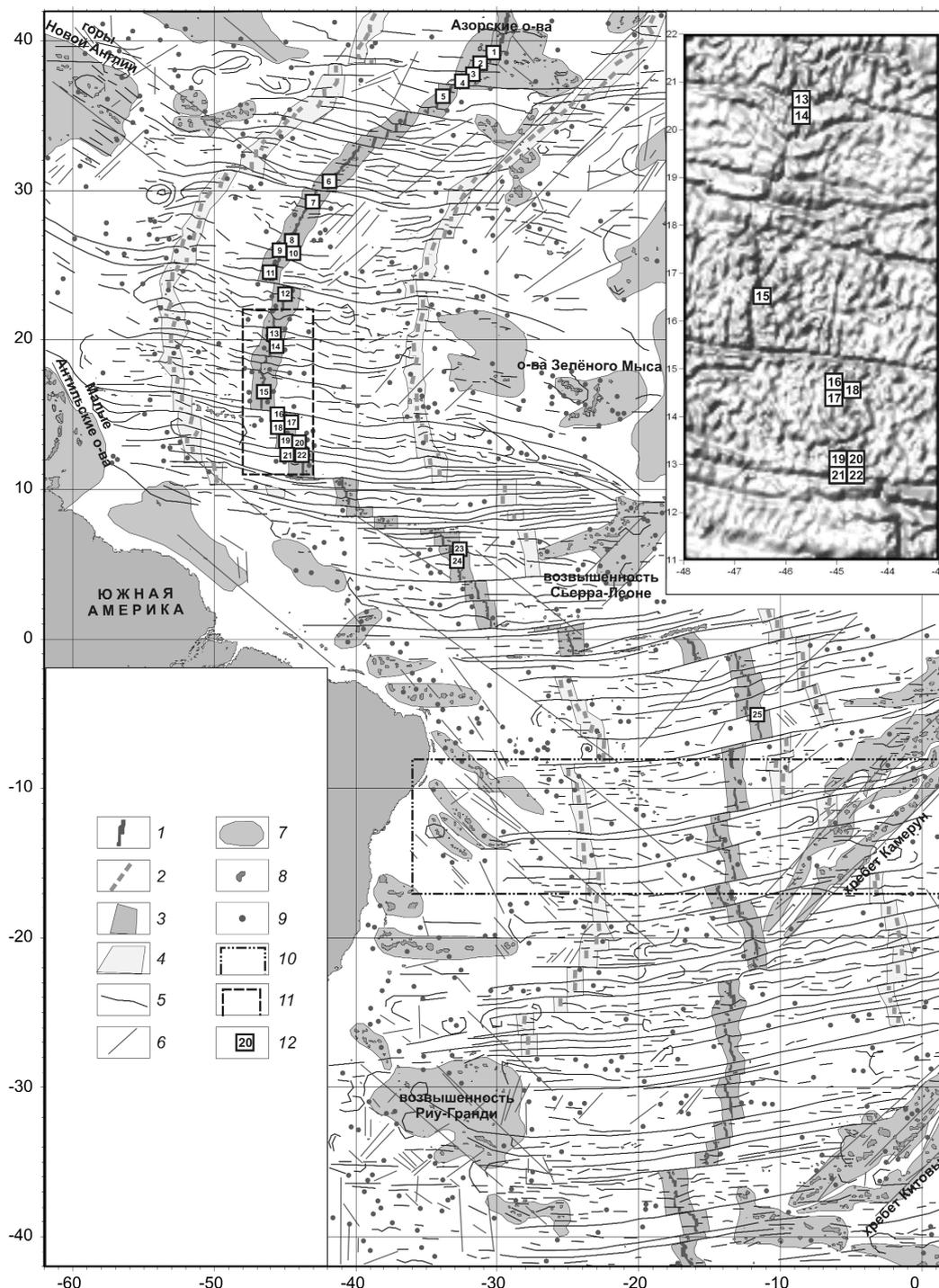


Рис. 4. Схема тектоники центральной части Атлантического океана и размещение месторождений (рудопроявлений) ГПС:

1 — рифтовая долина САХ; 2 — рифтовые долины предполагаемых палеохребтов; 3 — осевая зона САХ; 4 — осевые зоны предполагаемых палеохребтов; 5 — трансформные разломы; 6 — внутриплитные разломы; 7 — подводные поднятия; 8 — подводные горы; 9 — вулканические постройки; 10 — площадь Анголо-Бразильского геотраверза; 11 — район российских интересов (на врезке); 12 — месторождения (рудопроявления) ГПС (1 — Менез-Гвен, 2 — Лаки-Страйк, 3 — Феймоус, 4 — Рейнбоу, 5 — Океанограф, 6 — Лост-Сити, 7 — Броккен-Спур, 8 — ТАГ, зона Алвин, 9 — ТАГ, тело Рона, 10 — ТАГ, постройка Мир, 11 — 24 гр. 30 мин. с.ш., 12 — Снейк-Пит, 13 — **Пуи-де-Фолль**, 14 — **Зенит-Виктория**, 15 — **Краснов**, 16 — **Логачев 1**, 17 — **Логачев 2**, 18 — **Логачев 3**, 19 — **Семенов**, 20 — **Ашадзе 1**, 21 — **Ашадзе 2**, 22 — **Ашадзе 3**, 23 — Сьерра-Леоне, 24 — 5 гр. 55 мин. с.ш., 25 — 5 гр. ю.ш. (жирным выделены месторождения района российских интересов)

гической технологии. Были достигнуты следующие максимальные показатели извлечения металлов, %: Cu 93,3, Zn 94,69, Au 94,69, Ag 92,6 [7]. Одним из наиболее крупных по прогнозным ресурсам руды (и относительно хорошо изученным) в данном районе считается рудное поле Краснов (>13 млн. т), однако руды этого поля существенно беднее по содержанию полезных компонентов.

В последние годы ПМГРЭ открыты еще два достаточно крупных рудных поля — Семенов и Зенит-Виктория, прогнозные ресурсы которых оцениваются приблизительно в 20 и 12 млн. т руды соответственно. Кроме того, обследовано найденное французскими исследователями рудное поле Пюнде-Фолль, на котором открыты новые рудопроявления. Прогнозные ресурсы руды этого поля оцениваются в 12 млн. т.

Отметим, что приводимые оценки прогнозных ресурсов изучаемых рудных полей весьма предварительны. Связано это, в первую очередь, с тем, что переход от поисковой стадии работ к поисково-оценочной в настоящее время сдерживается отсутствием в арсенале отечественных исследователей технических средств для вскрытия рудных объектов бурением и надежных геофизических методов достоверной оценки глубины распространения оруденения. По нашему мнению, весьма перспективным методом в этом отношении может быть глубоководная высокоточная магниторазведка в варианте градиентометрии. Этот метод удачно комплексируется с глубоководной акустической аппаратурой (сонары бокового обзора) и потому экономически достаточно эффективен.

В то же время, уже выполненные российскими организациями исследования позволяют претендовать на подачу в МОД заявки на выделение участка для изучения и последующей эксплуатации ГПС. Правила подачи заявки пока окончательно не выработаны. Однако по предварительным экспертным оценкам можно судить, что рентабельный рудный объект ГПС должен обладать в пределах заявочного участка ресурсным потенциалом не менее 15 млн. т. С учетом передаваемой в МОД адекватной квоты он должен достигать суммарно 30 млн. т. Прогнозные ресурсы руды ГПС в районе российских интересов по приблизительным данным превышают эту цифру.

Ресурсный потенциал ГПС в Атлантическом океане не исчерпывается изученными рудными объектами и, несомненно, может быть исключительно большим, хотя и не поддается в настоящее время достоверной оценке. В пользу сказанного могут свидетельствовать, в частности, следующие обстоятельства.

1. По оценке Г.А.Черкашева [4], средняя частота встречаемости гидротермальных объектов в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта может составлять один объект на 100 км протяженности осевой зоны. В пределах Центральной Атлантики протяженность зоны ~10,5 тыс. км. Таким образом, здесь может быть найдено более сотни рудных объектов, а в районе российских интересов порядка сорока, что не менее чем в четыре раза превышает количество выделенных. Эта оценка подтверждается тем, что осевая зона в указанных пределах имеет в среднем одно пересечение с многочисленными трансформными разломами на 100 км своей протяженности. К таким пересечениям обычно и приурочены гидротермальные рудопроявления. Ввиду этого не случайно, что экспедициями ПМГРЭ практически ежегодно открывается в среднем один рудный объект ГПС.

2. Частотный анализ рельефа дна и гравитационных аномалий в свободном воздухе изучаемой акватории показывает, что примерно в 500–1000 км к востоку и западу от осевой зоны Срединно-Атлантического хребта субпараллельно ей протягиваются полосы с повышенной расчлененностью рельефа и гравитационного поля. Они весьма гипотетически могут быть ассоциированы с осевыми зонами предполагаемых палеохребтов (см. рис. 4). Оставляя пока в стороне вопрос об их возможном происхождении, можно лишь предположить, что такие зоны весьма перспективны в отношении ГПС по аналогии с осевой зоной Срединно-Атлантического хребта.

3. Фланги Срединно-Атлантического хребта также могут иметь достаточные перспективы относительно ресурсов ГПС ввиду широкого развития на них вулканических построек, выделяемых по частотному анализу рельефа дна и гравитационного поля (см. рис. 4). Магматические очаги этих построек могли служить причиной образования здесь рециклинговых систем и, соответственно, гидротермальных рудопроявлений.

В **Индийском океане** основные исследования ЦНИГРИ выполнялись на Маскаренско-Австралийском геотраверзе между Маскаренским хребтом на западе и австралийским подводным плато Экмут на востоке. Он практически является продолжением Анголо-Бразильского геотраверза по другую сторону Африканского континента и также может считаться эталонным районом для Индийского океана. В его пределах расположены разнообразные по тектоническому строению крупные морфоструктурные элементы: спрединговый Аравийско-Индийский хребет; асейсмичные глыбовые хребты — Чагос-Лаккадивский, Ланка, Восточно-Ин-

дийский, Кокосовый, Инвестигейтор и др.; крупные глубоководные котловины — Центральная, Кокосовая, Западно-Австралийская и Северо-Австралийская. Руководствуясь теми же принципами, что и при обработке данных для Анголо-Бразильского геотраверза [13], можно составить представление о прогнозных ресурсах КМК, ЖМК и ГПС Маскаренско-Австралийского геотраверза.

Наиболее вероятным районом расположения КМК в пределах геотраверза является его восточная часть — поднятия Южный и Северный Ру, подводные склоны Кокосовых островов и др. В западной части геотраверза распространение КМК возможно на склонах Маскаренского и Восточно-Индийского хребтов, а также на ряде других вершин. Ресурсы КМК в пределах геотраверза (как и в целом в Атлантическом и Индийском океанах) пока недостаточно изучены, однако можно попытаться их предварительно оценить [5]. Так, металлогенические ресурсы Маскаренского хребта могут составлять >50 млн. т руды и 200 тыс. т Со, а южной части Восточно-Индийского хребта — ~60 млн. т руды и 210 тыс. т Со. Более скромными ресурсами, вероятно, обладают поднятия Южный и Северный Ру, отроги плато Эксмут, общие ресурсы которых можно оценить от 10 до 50 млн. т руды.

Существенно более полно на площади геотраверза изучены прогнозныe ресурсы ЖМК. Здесь выделено крупнейшее Центрально-Индокоеанское конкрециеносное поле, которое занимает большую часть площади дна Центральной котловины между Чагос-Лааккадивским и Восточно-Индийским хребтами. Плотность залегания ЖМК в этом поле изменяется в пределах от 0,1 до 22 кг/м² (средняя 5,1 кг/м²), а на Индийском разведочном участке — 6,8 кг/м². Прогнозные ресурсы руды составляют в целом 5100 млн. т, а на участке, выделенном Индии, — 580 млн. т. Средне содержание основных элементов в конкрециях составляет, %: Fe 9, Mn 22, Co 0,13, Ni 0,91, Cu 0,8. Суммарное содержание Ni, Co и Cu в Центрально-Индокоеанском поле в целом и на месторождении Индийского разведочного района составляет соответственно 1,99 и 2,06%, что несколько превышает пороговое значение этого параметра, принятое для оценки промышленной значимости участков ЖМК.

В Кокосовой котловине к востоку от Восточно-Индийского хребта выделяется специфическое очень дифференцированное поле ЖМК, которое условно можно назвать Кокосовым. Поле имеет относительно небольшую площадь, разбитую на отдельные приуроченные к трогам участки и поэтому самостоятельного практического интереса пока не представляет.

Другое крупное поле ЖМК — Западно-Австралийское — расположено между хребтом Кокос и западными склонами плато Эксмут. Плотность залегания конкреций этого поля на отдельных участках достигает 19 кг/м². Общие прогнозныe ресурсы руды оцениваются примерно в 3400 млн. т. Содержание Mn в конкрециях поля не превышает 26% (в среднем 17,6%), Ni и Cu — не более 1% (в среднем 0,58 и 0,51% соответственно). Суммарное содержание Ni, Cu и Co составляет всего 1,08%. Поэтому, несмотря на довольно высокую плотность размещения ЖМК (средняя 8 кг/м²), считается, что конкреции Западно-Австралийского поля пока практического интереса также не представляют.

Глубоководные полиметаллические сульфиды в пределах геотраверза пока не найдены, однако отмечаются находки, предполагающие их наличие. К ним относятся оксидные железомарганцевые корки гидротермального генезиса, обнаруженные в осевой зоне Аравийско-Индийского хребта, а также выявленная здесь сульфидная минерализация в изверженных породах. Кроме того, в осевой зоне хребта распространены толеиты *N*-типа MORB и изредка *T*-типа MORB [9], выплавленные на глубинах 30 км, что может указывать на вероятность развития здесь рециклинговых процессов.

К внутриплитным обстановкам, перспективным на обнаружение колчеданных рудопроявлений, в первую очередь, относятся вулканические хребты Ланка и Кокосовой котловины, где обнаружены оксидные корки гидротермального генезиса, а также хребты Кокос и Инвестигейтор, горы Веннинг-Мейнес и Щербакова, поднятия Джой, Северный и Южный Ру.

В пределах выделенных на геотраверзе областей внутриплитных деформаций литосферы (Центральная и Кокосовая котловины) имеются признаки современной гидротермальной деятельности. Так, над разломом Индрани (Центральная котловина) газогидрогеохимической съемкой в толще вод обнаружены факелоподобные аномалии газов, макро- и микроэлементов, некоторые из которых достигают поверхности океана. Представляется вероятной их связь с вулканической и гидротермальной деятельностью. По-видимому, с ними ассоциируют металлоносные осадки, которые распространены здесь на нескольких разобщенных площадях, а также оксидные корки гидротермального генезиса.

Значительный объем исследований выполнен ЦНИГРИ в пределах Средиземноморья — ключевом районе Мирового океана и Земли в целом. По результатам этих исследований издана обобщающая монография [1], которая содержит концентри-

рованную информацию о геоморфологии, геофизических полях, глубинном строении, структуре осадочной толщи, нефтегазоносности, рудоносности, динамике и эволюции главных геотектонических единиц литосферы Средиземноморского региона (акватории Черного и Средиземного морей и окружающая суша). Информация базируется на обобщении и комплексной интерпретации данных многолетних геолого-геофизических исследований региона, выполненных отечественными и зарубежными исследователями. Тектоническое строение и история развития земной коры рассмотрены на основе анализа литолого-формационных и парагенетических комплексов геологических структур. Охарактеризована эволюция металлогении в связи с эволюцией литолого-формационных комплексов и присущих им рудных формаций. Рассмотрены современные рудопроявления в пределах акваторий, кратко описаны нефтегазоносные бассейны.

Особое внимание в монографии уделено пока еще мало изученным современным субмаринным рудопроявлениям Средиземноморья, расположенным в Тирренском и Эгейском морях. Несмотря на то что число выявленных к настоящему времени таких рудных объектов невелико, они весьма разнообразны. Это массивные и вкрапленные сульфидные руды, марганцевая минерализация в виде жил и карманов в осадках, а также металлоносные осадки, обогащенные сульфидами или оксидами и гидроксидами железа. Пять рудопоявлений находятся на склонах, вершинах и в кратерах подводных вулканов, а также в депрессионных структурах в пределах Липарской островной дуги на юге Тирренского моря, одно — в затопленной кальдере острова Санторин в островной дуге Киклады на юге Эгейского моря. Все они приурочены к зонам активной вулканической деятельности, повышенного теплового потока и интенсивно расчлененного рельефа дна. Пользуясь этими признаками, можно прогнозировать наличие перспективных на современное гидротермальное рудообразование областей на севере Тирренского моря, а также на крайнем западе Средиземного моря в Алжирской котловине. Оценить металлогенический потенциал всех выделенных областей в настоящее время не представляется возможным, но следует отметить, что австралийские компании, которые планируют разработку месторождений ГПС в Тихом океане, получили лицензии на изучение и эксплуатацию субмаринных колчеданных месторождений в водах Италии [4].

В заключение можно констатировать, что ресурсные интересы России наиболее широко представлены в Тихом и Атлантическом океанах. Их

развитие, в первую очередь, связано с железомарганцевыми конкрециями и кобальтомарганцевыми корками Тихого океана. В этом отношении отечественные исследователи вплотную приблизились к стадии опытной эксплуатации месторождений, для чего необходима разработка специализированных добычных комплексов. Менее благоприятная картина складывается в отношении глубоководных полиметаллических сульфидов. Очевидно, необходимы переход от поисковой к поисково-оценочной стадии изучения ГПС Атлантического океана и развертывание интенсивных поисковых работ в российском Дальневосточном (Курило-Камчатском) регионе Тихого океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геоструктуры* и минерагения Средиземноморья / Б.Д. Углов, А.Н. Барышев, Ю.Г. Зорина и др. — М.: ЦНИГРИ, 2005.
2. *Ельянова Е.А., Миронов Ю.В., Зорина Ю.Г., Мирлин Е.Г.* Вулканизм и океанское колчеданообразование. — М.: Научный мир, 1999.
3. *Лыгина Т.И.* Железомарганцевые конкреции абиссальных котловин // Поиски и разведка полезных ископаемых. М., 2007. С. 451–495.
4. *МГК-33.* Металлогения, генезис и поиски рудных месторождений. Рудоносность Мирового океана / Информационно-аналитический обзор под ред. А.И. Кривцова. — М.: ЦНИГРИ, 2008.
5. *Металлогенический потенциал дна Мирового океана в зонах Анголо-Бразильского и Маскаренско-Австралийского геотраверзов* / Б.Д. Углов, Ю.В. Миронов, Ю.Г. Зорина и др. // Руды и металлы. 1997. № 6. С. 10–16.
6. *Месторождения* металлических полезных ископаемых / В.Е. Авдонин и др. — М.: Геоинформмарк, 1999.
7. *Минеральные ресурсы* Мирового океана: концепция изучения и освоения (на период до 2020 г.) / Под ред. С.И. Андреева. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2007.
8. *Мирлин Е.Г., Углов Б.Д.* Новые данные о структурной геометрии вулканизма и тектоники в западном секторе Тихого и восточном секторе Индийского океанов // Докл. РАН. 2007. Т. 414. № 1. С. 70–73.
9. *Миронов Ю.В., Углов Б.Д.* Магматизм южной приэкваториальной зоны Атлантического и Индийского океанов // Отечественная геология. 1998. № 1. С. 40–46.
10. *Объяснительная записка к Металлогенической карте Мирового океана (1:10 000 000)* / Под ред. С.И. Андреева, И.С. Грамберга. — СПб.: ВНИИОкеангеология, СО ИНТЕРОКЕАНМЕТАЛЛ, 1998.
11. *Технико-экономические соображения (ТЭС)* о возможном промышленном значении месторождения ЖМК на выделенном Советскому Союзу участке морского дна площадью 75 тыс. км² в зоне Клариян-Клиппер-

- тон Тихого океана. Кн. 1 и 2. – М.: Мингео СССР, 1990.
12. Углов Б.Д. Геолого-геофизические основы минерагенического районирования дна Мирового океана: Автореф. дис... д-ра. геол.-минер. наук. – М.: ЦНИГРИ, 2004.
 13. Углов Б.Д. Геолого-геофизическое районирование дна Мирового океана для металлогенического анализа // Отечественная геология. 2006. № 2. С. 42–51.
 14. Углов Б.Д., Былинский Е.Н. Перспективы освоения минерально-сырьевого потенциала твердых полезных ископаемых дна Мирового океана и интересы России // Отечественная геология. 1999. № 1. С. 48–54.
 15. Углов Б.Д., Зорина Ю.Г., Кабан М.К. Геолого-геофизический атлас Анголо-Бразильского и Маскаренско-Австралийского трансокеанских геотраверзов. – М.: ЦНИГРИ, 1999.
 16. Углов Б.Д., Мирлин Е.Г. Тектонические линейменты западной части Тихого и северо-восточной части Индийского океанов и связь с ними современного колчеданообразования // Отечественная геология. 2008. № 4. С. 59–67.
 17. Углов Б.Д., Чернов А.А. Автоматизированная система трансформаций для районирования потенциальных геофизических полей и рельефа дна акваторий // Руды и металлы. 1995. № 5. С. 102–111.

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

УДК 550.8 (798)

© С.С.Вартанян, А.Г.Волчков, В.И.Кочнев-Первухов, В.П.Новиков, 2010

ЦНИГРИ НА АЛЯСКЕ

С.С.Вартанян, А.Г.Волчков, В.И.Кочнев-Первухов, В.П.Новиков (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Дан краткий обзор геологических исследований, выполненных сотрудниками ЦНИГРИ на Аляске в период 1991–2002 гг.

Ключевые слова: геолого-поисковые работы, золоторудная минерализация, Фербенкс, Ричардсон, Демократ.

Вартанян Сергей Серопович, Волчков Алексей Гордеевич, Кочнев-Первухов Владимир Ильич, Новиков Вячеслав Петрович, nms@tsnigri.ru

TaNIGRI IN ALASKA

S.S.Vartanyan, A.G.Volchkov, V.I.Kochnev-Pervukhov, V.P.Novikov

This paper presents a brief review of geological studies carried out by TaNIGRI staff members in Alaska during the period from 1991 through 2002.

Key words: exploration, lode gold, Fairbanks, Richardson, Democrat.

В 1991 г. американская компания *Tri-Valley Corporation (ТВК)* приняла решение провести геолого-поисковые работы по оценке перспектив золотоносности района Ричардсон в Центральной Аляске (США), расположенного в 100 км к юго-востоку от г. Фербенкс (рис. 1*). ЦНИГРИ подготовил и направил руководству компании проект геологоразведочных работ, предусматривающий полевые исследования (два месяца) в пределах лицензионной площади с реализацией комплекса геолого-поисковых методов, разработанных институтом для решения сходных задач. Компания *ТВК* приняла представленный проект, и было подписано соответствующее соглашение о научно-техническом сотрудничестве. Это был первый проект ЦНИГРИ, который выполнялся на территории США.

Для проведения комплексных геолого-поисковых работ в институте была сформирована группа в составе С.С.Вартаняна (руководитель), М.М.Константинова, В.Ю.Орешина, В.А.Родионова (геолого-поисковые работы), В.А.Дубова, В.И.Пятницкого, В.И.Бровкина (геофизические работы), В.А.Загоскина, Б.С.Зеликсона (геохимические работы), А.З.Добросердова (переводчик).

Золотоносный район Ричардсон известен с 1905 г. как традиционно россыпной. Суммарная до-

быча из россыпей составила около 3 т Au. Рудное золото было открыто в 1913 г. на месторождениях Демократ и Мэйс Пит, где в прошлом веке добыто до 1000 кг Au. Другие рудопроявления на территории золотоносного района Ричардсон до начала работ ЦНИГРИ не были известны.

Площадь лицензированных *ТВК* участков составляет около 600 км² и характеризуется чрезвычайно плохой обнаженностью. Выходы коренных пород и элювиальных образований не превышают 5–7%. Смешанный лес и густой кустарник покрывают все водоразделы и склоны за исключением вершины горы Бак (рис. 2*). Абсолютные отметки в районе варьируют от 300 до 1000 м. Долины рек и ручьев заболочены. Исследования затрудняют широко распространенные лессовые образования, мощность которых в отдельных участках достигает 5–7 м.

Группа специалистов ЦНИГРИ имела хорошо оборудованную базу в поселке Ричардсон с электричеством, телефоном, горячей водой (рис. 3*), автотранспорт для переброски людей и груза, а также все необходимое для оборудования полевых лагерей (рис. 4*), из которых выполнялись полевые исследования (из расчета — 10 дней в лагере, 2–3 дня — камеральные работы на базе).

Согласно результатам геологической съемки м-ба 1:250 000, на территории района развиты палеозой-докембрийские метаморфические породы, преимущественно биотитовые, кварц-биотит-мусковитовые, биотит-роговообманковые гнейсы, метаграниты и биотит-мусковитовые сланцы. Гнейсы и метаграниты фиксируют осевую часть крупной антиклинали, ориентированной в северо-западном направлении, крылья которой сложены сланцами. Магматические образования мезозойского этапа представлены интрузиями биотитовых, биотит-роговообманковых и лейкократовых гранитов, гранодиоритов, жилами кварц-полевошпатового состава и телами пегматитов, а также дайками риолитов (гранит-порфиров), дацитов и микрогаббро-диоритов (K_{1-2}).

Сложное блоковое строение территории обусловлено проявлением разрывов северо-восточной, субширотной и северо-западной ориентировки. Последние, рассматриваемые в составе системы разрывов Ричардсон, контролируют размещение магматических образований мезозойского возраста, в том числе даек риолитов (гранит-порфиров), с которыми сопряжена золоторудная минерализация месторождения Демократ.

С учетом данных о геологическом строении и золотоносности перспективной площади был разработан комплекс поисковых работ, включавший геолого-поисковые маршруты м-ба 1:200 000–1:50 000 с детализацией на локальных участках до 1:10 000 (700 пог. км), литогеохимические и биогеохимические поиски (отобрано 2038 проб), шлиховое опробование (238 проб), а также магнитометрию и электропрофилирование (78 пог. км). Поисковые маршруты сопровождалась отбором штучных и сколковых проб, детальность наблюдений определялась сложностью геологического строения отдельных участков, а также конкретными ландшафтными условиями.

В результате выполненных исследований уточнено геологическое строение территории, обоснована ведущая роль разрывов северо-северо-западного простирания в локализации рудоносных мезозойских магматических образований, полей гидротермально измененных пород (кварц-серицитовых, кварц-серицит-мусковитовых метасоматитов), а также потенциально золотоносных образований. Среди последних преобладают кварцевые жильно-прожилковые и прожилково-вкрапленные зоны золото-сульфидно-кварцевого состава, локализованные в окварцованных, серицитизированных и мусковитизированных древних кристаллических толщах в ассоциации с позднемеловыми гранитоидными интрузиями (Бак-Шемрок, Балд Ноб, Хилтоп,

Баккай Пап и др.), а также золотоносные зоны прожилково-вкрапленной минерализации в интенсивно измененных дайках риолитов (гранит-порфиров) (Демократ Дайк, Баннер Дайк). Содержания золота варьируют от первых грамм на 1 т в прожилково-вкрапленных рудах до десятков грамм на 1 т в жилах и жильно-прожилковых зонах.

Геолого-структурная позиция наиболее детально изученного месторождения Демократ определяется его локализацией в пределах линейного тектонического блока северо-западной ориентировки, осложняющего локальное куполовидное поднятие. Этот блок сформировался в результате многократного подновления линейных разрывов северо-западного простирания, что обусловило насыщенность его дайками риолитов, с которыми связано золотое оруденение. Дайки риолитов в участках развития золотой минерализации в различной степени пиритизированы; характерно наличие ранних кварц-мусковитовых и поздних (предрудных) кварц-серицитовых метасоматитов с линзовидными обособлениями кварц-пиритового состава. Золотое оруденение представлено наложенными прожилками сульфидно-кварцевой минерализации с относительно низкопробной (760–830‰) генерацией самородного золота, арсенопиритом, сфалеритом, сульфосолями Pb, Ag, Sb. Типоморфными элементами-спутниками золота являются Sb, Pb, As, Ag.

В результате комплексного анализа материалов полевых работ и обработки полученных аналитических данных была составлена карта прогноза на золото м-ба 1:40 000, на которой по совокупности поисковых критериев и признаков выделено восемь перспективных локальных участков (см. рис. 1*), даны конкретные рекомендации по направлению дальнейших геологоразведочных работ. Соблюдая требования конфиденциальности, здесь и далее оценки масштабов золотоносности обнаруженных нами проявлений золота не приводятся. В последующие годы на многих из этих проявлений сотрудниками ФГУП «ЦНИГРИ» были проведены детализационные поисковые работы.

На основе сопоставления данных, характеризующих геологические обстановки нахождения и типы золотой минерализации на выявленных работах 1991 г. восьми перспективных участках, в качестве первоочередного рекомендовался участок Бак-Шемрок, где в гнейсах прогнозировался объект золото-сульфидно-кварцевого типа. В 1992 г. в полевой период (июль – сентябрь) группа специалистов ФГУП «ЦНИГРИ» (С.С.Вартанян, А.В.Бражник, В.А.Дубов, Б.С.Зеликсон, В.П.Новиков, В.Ю.Орешин) провела на этом участке поисковые работы м-ба 1:10 000 на площади 20 км².

В соответствии с поставленной задачей, учетом геологического строения и характера размещения прогнозируемого золоторудного объекта, ландшафтно-геоморфологических условий был разработан и реализован оптимальный комплекс поисковых работ. Исследования включали поисковые маршруты (300 пог. км), сопровождавшиеся отбором штучных, сколковых и бороздовых (по полотну канав) проб (около 850 проб), шлиховое опробование водотоков (200 проб), биогеохимические (750 проб) и литогеохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния (230 проб), магнитометрию и электропрофилирование (более 35 пог. км). Для заверки, опробования и прослеживания выявленных минерализованных зон пройдены бульдозерные канавы (рис. 5*).

В результате геолого-поисковых, минералогический и геофизических исследований уточнено геологическое строение перспективной площади, определены основные элементы геологических обстановок нахождения золотоносных образований мезозойского возраста, приведены их минералогический-геохимические характеристики.

Геолого-структурная позиция золотого оруденения участка Бак-Шэмрок определяется его локализацией в области сочленения региональных разрывов северо-западной ориентировки с радиальными и кольцевыми нарушениями высоких порядков, сформировавшимися в связи с образованием интрузивно-купольной структуры. Главный элемент последней — интрузия гранитоидов, в экзоконтактной зоне которой находится исследованный перспективный участок. Золотое оруденение связано с мощными протяженными зонами кварцевого, кварц-сульфидного, кварц-турмалин-сульфидного составов и телами кварц-лимонитовых брекчий, локализованными в пределах полей кварц-мусковит-серицитовых метасоматитов и в различной степени турмалинизированных кристаллических толщ. Основными элементами-спутниками золота являются As, Sb и Ag, для кварц-турмалин-сульфидных жил и прожилков характерно присутствие Bi.

Выполненные исследования позволили оконтурить рудоносные зоны, дать предварительную положительную оценку промышленной значимости установленных проявлений золотой минерализации и наметить конкретные участки проведения детализационных горно-буровых работ.

Следующий этап работ на Аляске охватывал 1997–2002 гг. и проводился в рамках Договора о научном сотрудничестве между компанией *Tri-Valley Corporation* и ЦНИГРИ. Договор предусматривал выполнение силами сотрудников института рекогносцировочных геолого-поисковых ра-

бот на выявленных в 1991–1992 гг. перспективных участках района Ричардсон. При этом предусматривалась апробация и реализация разработанных в ЦНИГРИ геолого-поисковых моделей и технологичный подобных работ в условиях региона Центральной Аляски.

В течение шести полевых сезонов группа сотрудников института, состав которой менялся в соответствии с направлением решаемых задач, работала в рудном районе Ричардсон: 1997 г. — С.С.Вартамян, А.Г.Волчков; 1998, 1999 гг. — С.С.Вартамян, А.Г.Волчков, Б.С.Зеликсон; 2000 г. — С.С.Вартамян, А.Г.Волчков, А.В.Бражник; 2001 г. — С.С.Вартамян, А.Г.Волчков, А.В.Бражник, В.И.Кочнев-Первухов, Е.С.Заскинд, В.В.Столяренко; 2002 г. — С.С.Вартамян, А.Г.Волчков, В.И.Куторгин. Постоянным руководителем работ был заместитель директора института С.С.Вартамян.

Продолжительность полевых работ варьировала от полутора до трех месяцев. В камеральный период в Москве продолжалась обработка аналитических данных, осуществлялось детальное специализированное изучение образцов и проб, а также подготовка окончательных отчетов с комплектом графических материалов.

Следует отметить тот факт, что в течение полевого периода работ на Аляске отобранные пробы немедленно направлялись в специализированную канадскую лабораторию Bondar Clegg (Ванкувер) в г. Фербенкс для анализа на Au и еще 35 элементов. Через 7–14 дней все пробы были проанализированы. Полученные результаты на электронных и бумажных носителях передавались исполнителям. Это позволяло существенно повысить эффективность поисковых работ, так как давало возможность оперативно корректировать направления дальнейших исследований.

Поскольку со временем задачи полевых работ претерпевали нередко существенные изменения, менялись методы и методика их решения. Наиболее удобным представляется изложить ход выполненных работ и основные полученные результаты в соответствии с периодами их проведения.

В 1997 г. на участках Демократ Дайк и Баннер Дайк в задачу исследований входило прослеживание ранее выявленных на площади потенциально рудоносных риолитов, а при необходимости — проведение заверочных работ. Поставленная задача решалась на основе проведения детальных (м-б 1:2000) профильных маршрутных пересечений на предполагаемых продолжениях ранее выявленных минерализованных дайковых тел риолитов и дацитов. В условиях почти полного отсутствия обнажений документировались старые горные выработки

(шурфы, каналы), единичные обнажения, на склонах проходились копуши, а также изучались корневые вывалы деревьев. Общая площадь работ составила около 35 км². Несколько наиболее перспективных в геологическом отношении проявлений были вскрыты бульдозерными траншеями, по полотну которых отбирались бороздовые пробы. По итогам выполненных исследований составлены предварительные карты-схемы изученных участков в м-бе 1:2000 с контурами выявленных и прослеженных тел риолитов и выделенными по комплексу признаков участками для заверочных работ.

Было установлено, что золоторудная минерализация связана с кварцевыми жилами и штокверками, локализованными в дайках кварцевых риолитовых порфиров (Демократ Дайк) и кварцевых дацитов (Баннер Дайк). Эти два типа дайковых тел отвечают разным уровням вертикальной зональности единой субвулканической риолито-дацитовый дайковой системы.

К верхнему уровню отнесена серия крутопадающих субпараллельных слабопорфировых (афанитовых) тел дацитов мощностью 15–50 м. На поверхности они слабо охвачены пропиловыми преобразованиями, а выявленная бедная золоторудная минерализация сопряжена с тонкими кварцевыми прожилками, обычно приуроченными к участкам раздувов мощности дайковых тел.

Нижний уровень (Демократ Дайк) представлен также крутопадающими (70–80°) крупнопорфировыми (кварц, ортоклаз) риолитами со сферолитовой структурой базиса мощностью 90–300 м. К участкам флексурных изгибов приурочены интенсивные пропиловы, серицит-пиритовые преобразования. Золоторудная минерализация связана со штокверком кварцевого, кварц-гематитового, кварц-гематит-пиритового составов, локализованным внутри зоны вышеупомянутых преобразований.

Вертикальное расстояние между верхним и нижним уровнями, определенное по рельефу, составляет около 100–120 м, что позволяет рассчитывать на выявление более богатых руд на глубоких горизонтах проявления Баннер Дайк. Высказанное предложение рекомендовано для заверки бурением скважин в участке наибольшего раздува мощности кварцевых дацитов Баннер Дайк.

Возможно также, что Баннер Дайк и Демократ Дайк расположены на верхнем уровне крупного интрузивно-субвулканического тела, нижняя часть которого представлена меловыми грубозернистыми гранодиоритами, аналогами крупной интрузии, вмещающей золоторудное месторождение Форт-Нокс.

В 1998 г. работы велись в бортах долины р. Баккай на поисковых участках общей площадью ~20 км². Территория сложена толщей переслаивающихся дислоцированных гнейсов и кристаллических сланцев с телами метагранитов. В полевой период выполнены детализационные маршруты со шлиховым и штуфным опробованием, а также проходка единичных шурфов. Прделанный комплекс исследований позволил обнаружить крупные шлиховой и геохимический ореолы Au, сопровождающиеся аномальными концентрациями Ag, As, Sb, Hg, W, и предварительно оконтурить два перспективных участка — Баккай Пап и Балд Ноб. В пределах первого встречены развалы крупных кварцево-жильных тел с высокими содержаниями Au до 50 г/т, а на втором зафиксирована зона маломощных (1–3 см) разноориентированных прожилков кварца, иногда полосчатого, также с промышленными содержаниями Au. Оба участка рекомендованы в качестве первоочередных для детализационных буровых работ.

В 1999 г. в долине и по бортам руч. Фёст Ченс на поисковых участках Фёст Ченс Крик и Доум на площади ~3 км² выполнены ревизионно-поисковые маршруты со штуфным опробованием обнажений и пройдены 38 шурфов с опробованием делювия. Проходка шурфов осуществлялась по профилям с расстояниями между ними 30–60 м и между шурфами — 15–17 м. Всего отобрано 24 штуфных и 38 геохимических проб.

В результате проведенных работ выделена зона измененных гнейсов с двумя маломощными дайками дацитов. Прослеженная протяженность зоны 2,7 км, мощность ~0,5 км. Кристаллические сланцы и гнейсы в пределах зоны окварцованы, серицитизированы, сульфидизированы, пронизаны кварцевым (с гематитом и турмалином) прожилкованием. По данным опробования отмечаются низкие неравномерные содержания Au от 0,1 до 1 г/т. Высказано предположение о том, что золоторудная минерализация зоны связана с линейным штокверком жил и прожилков кварца, неравномерно распределенном в ее пределах. Известная россыпь руч. Фёст Ченс, возможно, сформировалась в результате эрозии верхней продуктивной части упомянутой зоны.

На участке Доум проводились заверочные работы в пределах ранее выявленной по потокам рассеяния слабоконтрастной аномалии золота. Здесь при 100%-ной залесенности были намечены три линии шурфов с расстоянием между линиями и между шурфами 180–200 м. Пройдены 22 шурфа глубиной от 1 до 2 м и отобраны 17 проб. Вскрыта мощная зона дезинтегрированных кварц-мусковит-полевошпатовых сланцев. Сланцы спорадически

слабо окварцованы, серицитизированы, лимонитизированы; отмечаются редкие прожилки кварц-турмалинового и кварц-лимонитового составов. Содержания Au в проанализированных пробах не превышают 0,5 г/т.

Обоим поисковым участкам дана отрицательная оценка на золотое оруденение.

В 2000–2001 гг. обследован участок Редмонд площадью ~35 км², представленный системой смыкающихся хребтов, полностью покрытых лесом и характеризующихся почти 100%-ным отсутствием обнажений.

Поисковые работы заключались в проходке шурфов, расположенных как вдоль хребтов, так и вкрест их простирания, что обусловлено мощностью лёссовых и делювиальных отложений (0,8–2 м), перекрывающих коренные образования, а также особенностями рельефа. Линии шурфов намечались через 400 м, расстояния между шурфами 100–400 м (рис. 6*). Как и на других площадях, опробовалась тонкообломочная фракция делювиальных образований из слоя 10–15 см непосредственно над коренными породами, а также отдельные обломки делювия — в первую очередь жильный кварц и другие обломки с признаками околорудной переработки (ожелезнение, лимонитизация, окварцевание, серицитизация и др.). Всего за полевой сезон 2000 г. пройдены 203 шурфа, отобраны 63 штуфных, 24 бороздовых и 203 геохимических проб. В некоторых пробах установлены содержания Au на уровне 1–4 г/т. В одном из шурфов в коренном залегании среди гнейсов обнаружены обломки кварцевой жилы с гнездами и желваками сульфидов.

Участок работ сложен преимущественно гнейсами, реже кварц-полевошпат-биотитовыми (±мусковит) метагранитами, амфиболитами, кварцитами; отмечаются также кварц-полевошпат-мусковитовые и кварц-мусковит-биотитовые кристаллические сланцы. Породы имеют преимущественно северо-северо-восточное простирание, и падают в северо-северо-западных и северо-восточных румбах под углами 35–65°. Отложения участка прорваны серией даек риолитов.

Главный результат работ 2000 г. — выявление нового рудопроявления золото-висмут-арсенипиритовой минерализации, названного Хилтоп. В серии шурфов были вскрыты рассланцованные гнейсы, содержащие жилы и прожилки кварца с рассеянной, гнездовой и густой вкрапленностью сульфидов (пробладеет арсенипирит). Содержания Au в проанализированных пробах варьируют от 0,5 до 57 г/т.

Полученные в полевой период данные позволили подготовить геологическую схему участка, наме-

тить по данным опробования потенциально рудоносную зону Хилтоп, ориентированную в северо-западном направлении при предполагаемой мощности 150 м. Зона прослежена по простиранию более чем на 1,5 км. По итогам выполненных работ рекомендовано в дальнейшем продолжить ее изучение.

Работы 2001 г. были нацелены на детализацию строения выявленной на предыдущем этапе работ рудной зоны и выполнялись аналогичным комплексом методов, но с большей детальностью. Расстояния между линиями шурфов составляли 100–200 м, между шурфами — 10–50 м. Пройдены 48 шурфов глубиной от 1,2 до 2,7 м, отобраны 46 штуфных, 27 бороздовых и 59 проб из делювия и коренных пород.

В итоге было подтверждено север-северо-западное простирание рудной зоны. Мощность рудоносных интервалов зоны составляет 25–50 м при прослеженной протяженности около 1 км. Южная часть зоны состоит из трех ветвей, приблизительно равных по мощности и разделенных безрудными интервалами. Через 450–500 м все три ветви рудоносной зоны смыкаются и далее к северо-западу она прослеживается в виде единой зоны.

Золоторудная минерализация связана с кварц-пирит-арсенипиритовыми жилами и прожилками, которые полого залегают согласно с напластованием кварц-полевошпатовых гнейсов. Мощность жил 10–15 см, расстояние между ними 0,5–0,7 м. Породы межжильного пространства несут прожилково-вкрапленную минерализацию и характеризуются повышенными содержаниями Au.

Более чем в 20 штуфных пробах содержания Au от 1,5 до 37 г/т. Кроме того, в рудах установлены высокие содержания Bi (до 289 г/т) и As (>10 000 г/т), как правило, коррелирующие с высокими содержаниями Au. Бороздовое опробование околожилных пород также показало повышенные содержания Au (0,5–7 г/т).

Обобщение полученных данных по условиям залегания, особенностям строения и составу золоторудной минерализации зоны Хилтоп позволяет сделать следующие выводы:

золоторудная минерализация связана с кварц-сульфидными жилами (мощность от 5 до 15 см), которые сопровождаются золотоносными кварц-сульфидными прожилками и рассеянной сульфидной минерализацией в кварц-серицитовых метасоматитах, наложенных на гнейсы;

золотоносные жилы и прожилки приурочены к кварц-полевошпатовым гнейсам (или к их контактам с кварц-биотит-мусковитовыми гнейсами), залегают субсогласно с вмещающими породами, характеризуются пологим падением. Они образуют

серии сближенных локальных зон суммарной мощностью 10–50 м;

содержания Au в кварцевых жилах таких локальных зон по данным химического анализа 37,68–59,21 г/т, а во вмещающих гнейсах с рассеянной вкрапленностью сульфидов и прожилками кварца 0,5–8,64 г/т коррелируют с повышенными концентрациями Bi, As и Ag;

зона Хилтоп не оконтурена по простиранию и «открыта» на северо-запад и юго-восток.

Новая золото-висмут-мышьяковая минерализация зоны Хилтоп является высокоперспективной и нуждается в дальнейшем изучении. В качестве ее аналога рассматривается недавно открытое в том же регионе Аляски среднее по масштабам месторождение Пого.

В 2001 г. группа специалистов ЦНИГРИ выполняла работы по оценке перспектив ряда массивов ультрамафитов на платиноиды на участках Фервелл, Рэмпарт-Ливенгуд (Центральная Аляска). Для выявления признаков платиноносности применялось среднеобъемное шлиховое опробование мелких водотоков, а для определения формационного типа ультрамафитов проводились маршрутные работы с отбором проб из коренных пород и делювия.

В районе Фервелл на небольшой площади ранее были обнаружены маломощные субгоризонтальные покровы триасовых эффузивов (базальтов с пикробазальтами), а позднее выявлены мелкие интрузивы основных и ультраосновных пород. В двух интрузивах установлены сульфидные медно-никелевые руды.

Для оценки условий локализации интрузивных образований, потенциально перспективных на сульфидные руды с платиноидами, сотрудники института предложили использовать модель норильских месторождений, которые, как известно, приурочены к интрузивам, локализованным в краевых частях вулканических депрессий, выполненных основными эффузивами, на контактах эффузивных толщ с породами основания.

Результаты маршрутных исследований, проведенных в районе Фервелл, подтвердили справедливость высказанного предложения. Все интрузивные массивы основного–ультраосновного состава расположены здесь на периферии обширного поля базальтов. Это силлоподобные тела с резким преобладанием длины над шириной, которые полого погружаются под породы вулканической депрессии. Однако в отличие от норильских интрузивов сульфиды в них не встречены и новых рудопроявлений, в дополнение к ранее обнаруженным на этой территории американскими геологами, выявить не удалось.

В районе Рампарт-Ливенгуд (Серпентайн Ридж) ранее при опробовании золотых россыпей были установлены весовые содержания изоферроплатины — минерала, весьма характерного для зональных массивов уральско-аляскинского типа, к которым относятся массивы Гудньюс Бэй на Аляске и Гальмознанские в Корьякии. В пробах с изоферроплатиной, наряду с ромбическим пироксеном, обнаружен и моноклинный, также присущий зональным массивам.

Задача сотрудников ЦНИГРИ состояла в обследовании территории на наличие зональных массивов уральско-аляскинского типа или только офиолитовых тел. В последнем случае работы поисковых перспектив не имеют. В течение двух недель было выполнено около 40 км маршрутов, при которых отобрано >80 штучных и почти два десятка среднеобъемных шлиховых проб. Анализ полевых материалов позволил сделать заключение о том, что изученные массивы относятся к офиолитам, в связи с чем перспективы их платиноносности оцениваются отрицательно.

В 2002 г. оценивалась россыпная золотоносность долины руч. Фэст Ченс (участок Фэст Ченс Крик). По бортам долины ручья был установлен коренной источник россыпного золота — линейный кварцевый штокверк с повышенными содержаниями металла. Кроме того, имелась информация о том, что в начале прошлого века на площади проводилась подземная разработка россыпи, которая была продолжена в 40-е годы прошлого столетия.

В летне-осеннее время в долине руч. Фэст Ченс были проведены поисково-оценочные работы с помощью станка вращательного и шарошечного бурения с обратной продувкой сжатым воздухом — буровой комплекс типа «SHRAM-450» (рис. 7*). Долина ручья интенсивно зачехлена и заболочена. Мощность рыхлых отложений в пойме ручья от 7 до 26 м, средняя — 15–16 м, коренные породы представлены кристаллическими сланцами и гнейсами.

В ходе работ пройдены четыре поисково-разведочные линии через 600–900 м. Расстояние между скважинами составляло 20–80 м. Принятые интервалы опробования по пустым породам — 1,5–3 м, по металлоносному пласту — 0,6–1,5 м.

В результате проведенных работ выявлена ленточная россыпь шириной от 40 до 130 м с двумя пластами (подвесным и приплотиковым). Мощности торфов составили 4,6–24 м, песков — 1,2–9 м, среднее содержание Au 0,95–1,5 г/м³. Золотины по крупности относятся к мелким и средним классам, основное их количество находится в классе 0,25–1 мм (55,0–68,6%).

Полученные результаты позволили обосновать целесообразность дальнейшего изучения россыпи и определить направление геологоразведочных работ, так как россыпь по данным бурения продолжается и вниз и вверх по долине от крайних разведочных линий. Подобные россыпи с аналогичными параметрами в настоящее время обрабатываются в Центральной Аляске, поскольку в связи с резким ростом цен на золото их обработка экономически целесообразна.

Результаты многолетних исследований показали, что разработанные в ЦНИГРИ методики и технологии разномасштабных поисков золоторудных месторождений характеризуются высокой эффек-

тивностью. Они были высоко оценены компанией *Tri-Valley Corporation*, поскольку позволили в сжатые сроки, ограниченными силами и средствами оценить коренную и россыпную золотоносность довольно крупной территории. Отчеты, подготовленные ЦНИГРИ по итогам проведенных работ, получили также высокую оценку экспертов Геологической службы США.

Высокой эффективности исследований ЦНИГРИ на Аляске способствовало постоянное внимание к организации и проведению работ со стороны президента компании *Tri-Valley Corporation* Линна Блайстона.

553.411 (575.1)

© Ч.Х.Ариффулов, 2010

ЗОЛОТОНОСНОСТЬ КЫЗЫЛКУМОВ — ВКЛАД ЦНИГРИ

Ч.Х.Ариффулов (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Приводятся характеристики главных этапов работ ЦНИГРИ на золоторудных месторождениях Кызылкумов, базирующихся на различных геологических школах ЦНИГРИ. Дан краткий обзор основных геологических задач, решенных на Мурунтауском, Даугызтауском, Кокпатасском, Высоковольтном месторождениях и др. с указанием состава научно-исследовательских групп ЦНИГРИ в различные периоды с 1963 по 1992 гг. Подчеркивается большое значение опыта изучения кызылкумских месторождений при прогнозировании и поисках золоторудных объектов черносланцевого типа в других золоторудных провинциях.

Ключевые слова: Кызылкумы, Мурунтау, черные сланцы, месторождения золота.

Ариффулов Чингиз Хайдарович, arif_chin@yahoo.com

GOLD MINERALIZATION OF KYZYL KUM — CONTRIBUTION OF TSNIGRI

Ch.H. Arifulov

In this article the main TSNIGRI's stages of working at the gold deposits of Kyzyl Kum are described. These characteristics are based on different geological schools of TSNIGRI. Brief descriptions of the main geological problems which were solved at Muruntau, Daugiztau, Kokpatass, Visokovoltnoe and others deposits are characterized with listing the scientific-research groups of TSNIGRI during different periods from 1963 till 1992. The great value of studying of Kyzyl Kum deposits is brought into focus by prospecting and exploration of gold deposits in black-shale complexes in another provinces with gold mineralization.

Key words: Kyzyl Kum, Muruntau, black shales, gold deposits.

Открытие и планомерное исследование Кызылкумских месторождений золота внесло заметный вклад в учение о рудных месторождениях. На основе их изучения сформировалось современное понятие «черносланцевые золоторудные месторожде-

ния» и определился круг геолого-генетических и поисковых проблем, включающих установление геологических обстановок образования крупно-объемных месторождений золота и выявление их поисковых признаков.

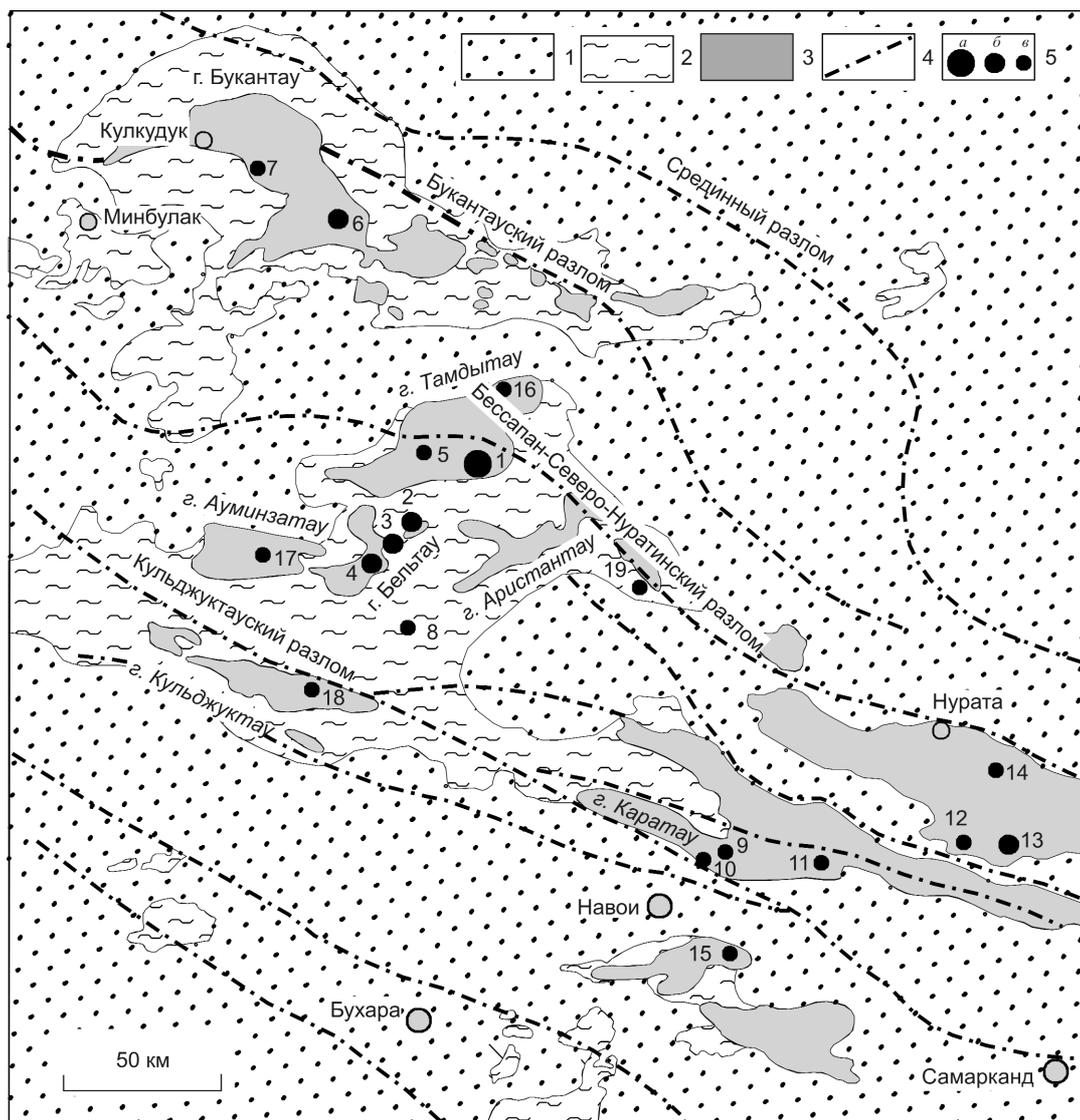


Схема размещения золоторудных месторождений в Нуратино-Кызылкумской провинции:

1 — неоген-четвертичные отложения; 2 — мел-палеогеновые отложения; 3 — выходы палеозойских пород; 4 — разломы; 5 — золоторудные месторождения (а — уникальные, б — крупные, в — средние); месторождения: 1 — Мурунтау, 2 — Амантайтау, 3 — Даугызтау, 4 — Высоковольтное, 5 — Косманачи, 6 — Кокпатас, 7 — Айтым, 8 — Каракатинское, 9 — Сармич, 10 — Биран, 11 — Алтынказган, 12 — Караулхана, 13 — Чармитан, 14 — Синтаб, 15 — Каракутан, 16 — Тамдыбулакское, 17 — Аджибугут, 18 — Таушан, 19 — Аяк-Кудук

Уникальные масштабы Мурунтауского месторождения, высокая плотность размещения крупных месторождений золота в Кызылкумах (рисунок), а также чрезвычайно высокий металлогенический потенциал прилегающих территорий, включающих Тамдытауское, Бельтау-Даугызтауское, Джетымтауское, Аристантауское, Кульджуктауское и другие палеозойские поднятия со сланцевыми и терригенными комплексами, выводят Центрально-Кызылкумскую провинцию в лидеры мировой добычи

золота. О высокой геолого-экономической значимости этой территории говорят даже цифры средней годовой добычи Мурунтауского рудника, составляющей (вместе с «Амантайтау Голдфилдз») 69 т Au. Для каждого жителя Узбекистана, горнометаллургический комплекс Кызылкумов производит в год около 2,5 г Au.

Начало масштабных работ ЦНИГРИ в Кызылкумской провинции связано с открытием Мурунтауского месторождения. Понятие «открытие ме-

сторождения», применительно к Мурунтау, включает достаточно длительный сложный и противоречивый пятилетний период с 1957 по 1962 гг. После реорганизации и объединения геологической службы Узбекистана под руководством Х.Т.Туляганова и В.Г.Гарьковца удалось преодолеть устоявшееся на тот момент времени и уже ставшее традиционным мнение о бесперспективности Западного Узбекистана на золото. Это мнение к середине 50-х годов XX в. сложилось более чем за полувековой период исследований. После работ И.В.Мушкетова в конце XIX – начале XX вв. сформировалось скептическое отношение к возможностям выявления месторождений золота в Туркестане. Этого же мнения придерживался князь В.И.Массальский — составитель сводной географо-экономической работы по Туркестанскому краю, изданной в 1913 г. под редакцией В.П.Семенова-Тянь-Шаньского. Однако следует отметить, что В.И.Массальским упоминается также и противоположная точка зрения на перспективы золотоносности Туркестана, опубликованная в 1903 г. французским инженером E.D.Levat. К сожалению, названный источник не имеется в нашем распоряжении. Так или иначе, но в середине 50-х годов доминировало представление об отсутствии перспектив золотоносности Кызылкумов, а античные сведения о богатой золотом Согдиане и упоминания о золотых рудниках бухарских эмиров считались мифами, не заслуживающими серьезного внимания. В этой связи можно себе представить масштабы тех трудностей, которые были преодолены инициаторами постановки поисков золота в Кызылкумах.

В 1957 г. создана Самаркандская ГРЭ и начаты планомерные геолого-съёмочные и поисковые работы в Кызылкумах. Первые положительные результаты были получены уже в 1958 г. Геологическими партиями П.В.Хромышкина и Ю.Н.Мордвинова выявлены десятки металлотметрических аномалий золота и установлены первые рудные пересечения с бедными содержаниями; сформировалось понятие «Мурунтауское рудное поле». Однако перелом в сознании геологов-поисковиков и переход от поисков богатых золото-кварцевых жил к оконтуриванию золотоносных сланцев со штокверковым типом золоторудной минерализации произошли только к концу 1959 г. Геологами В.М.Шурыгиным, И.М.Фейгиным, Е.И.Абрамовым, М.Усмановым, Л.А.Глущенко, Г.В.Горевым была начата проходка магистральных канав с массовым опробованием; в конце 1961 г. это привело к открытию объекта, масштабы которого уже на тот момент позволяли говорить о нем как о крупнейшем месторождении золота СССР.

С 1962 годом, ознаменовавшимся генеральной оценкой перспектив Мурунтауского месторождения, началом проектирования полномасштабных разведочных работ и подготовкой инфраструктуры для дальнейшего промышленного освоения объекта, связано подключение к работам ЦНИГРИ для экспертной оценки месторождения и развития научно-исследовательских работ, нацеленных на научно-методическое сопровождение ГРР. В 1962 г. на месторождении работают экспертные комиссии Министерства геологии СССР под руководством директора ЦНИГРИ члена-корреспондента АН СССР И.С.Рожкова, в которые входили крупнейшие ученые страны, в том числе — И.П.Божинский, С.Д.Шер, Н.И.Бородаевский, С.А.Кашин — сотрудники ЦНИГРИ.

С этого времени и начинается длительный период плодотворных работ геологов ЦНИГРИ в Кызылкумах. Были организованы и выполнены комплексные научно-исследовательские работы по детальному изучению условий локализации рудных залежей и определению их морфоструктурных особенностей, минерального состава руд, минералогеохимической и изотопно-геохимической зональности, методики разведки и достоверности опробования, технологии переработки руд. Комплекс работ был ориентирован на подготовку месторождений к подсчету запасов и их промышленному освоению. С учетом того, что значительная часть (>80%) территории Кызылкумской провинции перекрыта мощными наносами рыхлых отложений, сформировано новое направление по разработке методов поисков скрытых и перекрытых золоторудных объектов с внедрением бурения с гидротранспортом керна (КГК) и комплекса геолого-геофизических и минералогеохимических методов. Разрабатывалась методика фотодокументации горных выработок и керна скважин, включая документацию керна Мурунтауской сверхглубокой скважины и ее спутников.

Исследования Кызылкумской провинции коллективом геологов ЦНИГРИ проводились непрерывно на протяжении 30 лет с 1963 по 1992 гг. в рудных районах — *Мурунтауском* с Мурунтауским золото-кварцевым мегаштокверком и месторождениями-сателлитами (Мюгенбай, Восточный Бесапантау, Триада) и золото-серебряным Косманачинским месторождением, *Амантай-Даугызтауском* с объектами золото-сульфидных прожилково-вкрапленных руд (Даугызтау, Карасай, Асаукак, Центральный Даугыз и др.) и золото-серебро-сульфоантимонитовых руд (Высоковольтное и Джасаульское месторождения), *Кокпатасском* с золото-сульфидными прожилково-вкрапленными рудами (месторождения Южное-I,

Ближнее и др.), на рудных полях Нурагинского сегмента в *Кошрабадском* (месторождение Зармитан), *Каратауском* с объектами Сармич-Биранского рудного узла, объектами Марджанбулакского и Каракутанского рудных полей.

Длительное и интенсивное изучение объектов, поэтапное накопление и систематизация информации определяли изменение представлений о генезисе и условиях локализации золоторудных залежей. Постепенно сложились представления о черносланцевых золотоносных формациях как о сложных природных системах с длительным многоэтапным регенерационным механизмом формирования золото-сульфидных, золото-сульфидно-кварцевых и золото-серебро-сульфоантимонитовых руд. В качестве основной золотоносной формации для Кызылкумской провинции рассматривалась нижнепалеозойская (кембро-ордовик) беса-панская свита, а также ряд сходных осадочных и вулканогенно-осадочных образований в различных структурных этажах, например живачисайская свита (верхний кембрий – ордовик) Нурагинских гор или каменноугольная карашохинская свита в горах Букантау (Кокпатасское рудное поле).

Основные этапы развития этих представлений связаны с различными школами ЦНИГРИ. На первом этапе с начала 60-х до середины 70-х годов основные разработки проводились в лаборатории коренных месторождений золота под научным руководством С.Д.Шера. Они были основаны на концепции постмагматических гидротермальных рудообразующих систем, а роль черносланцевых углеродисто-терригенных отложений сводилась к структурно-литологическому фактору контроля оруденения, выраженному в образовании рудо локализирующих складчато-разрывных структур. Влияние углеродистого вещества рассматривалось с позиции восстановительного физико-химического барьера, определяющего положение зон разгрузки и нейтрализации кислотных постгранитных гидротерм с формированием зональных рудно-метасоматических колонн.

Результаты исследований ЦНИГРИ использованы при подсчете запасов первой очереди Мурунтауского месторождения.

На первом этапе исследований ЦНИГРИ Кызылкумской провинции особое внимание уделялось изучению петрохимии и геохимической специализации разновозрастных интрузивных комплексов и связи с ними промышленных концентраций золота различных формационных типов (работы Б.Я.Вихтера, Т.А.Блиновой, В.Е.Гоникберга). Результаты первого этапа работ ЦНИГРИ на золоторудных полях Средней Азии, в первую очередь на террито-

рии Западного Узбекистана, и созданные на их основе прогнозные карты, являлись основой для планирования ГРР. В 1975 г. при планировании работ на десятую пятилетку в записке, составленной С.Д.Шером в соответствии с Координационным планом Мингео СССР, подводились итоги ГРР за предыдущее десятилетие. Отмечалось, что эффективность поисково-разведочных работ, достигнутая в Узбекистане, была наивысшей в Советском Союзе. Дальнейшая их интенсификация и увеличение добычи драгоценных металлов должны обеспечиваться научно-исследовательскими работами по направлению «среднемасштабного (1:50 000) прогнозирования, усовершенствования методики поисков и углубленного изучения разведываемых золоторудных полей и месторождений» (в современном понимании это разработка поисковых моделей на основе детального изучения месторождений-эталон). Для Мурунтауского месторождения И.К.Брагиним, Т.А.Блиновой, Ю.Г.Зарембо в 1975 г. проведены работы по геометризации Мурунтауского мегаштокверка и рассмотрены вопросы его структурной и минералогической зональности. В составе штокверков (рудных залежей 1, 2, 3, 4) выделены пологие (согласные) и крутопадающие (секущие) кварцево-жильные зоны. Установлено, что штокверки характеризуются конической и уплощенно-конической формой, обладают значительной вертикальной протяженностью 1000–1500 м. Материалы ЦНИГРИ использовались при генеральном пересчете запасов Мурунтауского месторождения и его сателлитов (Мютенбайского и Восточно-Бесапантауского месторождений).

В 1971–1976 гг. Н.Я.Гурейкиным, Ч.Х.Ариффуловым и В.Г.Дзялошинским составлены комплекты детальных геологических карт и разрезов Даугызтауского рудного поля и его основных объектов (Даугызтауского, Высоковольного и Ассаукакского месторождений), установлена минералого-геохимическая зональность рудного поля и месторождений, проведена геометризация рудных залежей. Материалы ЦНИГРИ были положены в основу подсчета запасов первой очереди Даугызтауского месторождения. Дальнейшие исследования в Даугызтауском рудном поле, продолжавшиеся до 1990 г., легли в основу подсчета запасов Высоковольного месторождения и второй очереди Даугызтауского месторождения. Сотрудники ЦНИГРИ (Н.Я.Гурейкин, Ч.Х.Ариффулов, В.Г.Дзялошинский) — соавторы трех отчетов с подсчетами запасов по этим месторождениям.

В Айтым-Кокпатасском рудном поле на первом этапе исследований 1966–1973 гг. Д.А.Дорофеевым и Е.А.Зверевой составлены детальные карты и раз-

резы для рудного поля и месторождений Южное-I и Восточный-II, проведена геометризация рудных залежей, установлены литологический контроль оруденения и влияние надвиговых зон.

Для решения поисковых задач В.Ф.Гуреевым разработана шлиховая минералого-геохимическая методика поисков золоторудных объектов, примененная им впервые на Айтым-Кокпатасском рудном поле. Впоследствии методика апробировалась на Даугызтауском и Амантайтауском рудных полях и используется до настоящего времени в качестве одного из ведущих поисковых методов в различных золоторудных провинциях.

На Чармитанском рудном поле с крупно-объемным золото-сульфидно-кварцевым оруденением, связанным с Кошрабатским сиенитовым массивом и Караулхана-Чармитанской зоной смятия с интенсивно дислоцированными черносланцевыми отложениями, С.Ф.Редькиным и С.И.Редькиной (Саламовой) изучена комбинированная морфо-структура рудного поля, рудно-метасоматическая зональность жильных зон, проведена геометризация рудного поля и рудных тел, дана оценка глубоких горизонтов и обоснованы их перспективы.

Полученные ЦНИГРИ результаты исследований по Мурунтаускому и Кокпатасскому месторождениям вошли в сводную монографию «Рудные формации и основные черты металлогении золота в Узбекистане» (1969).

На втором этапе, с середины 70-х до середины 80-х годов, работы ЦНИГРИ в Кызылкумской провинции проводились отделом методов разведки месторождений и морфоструктурной типизации рудных полей под научным руководством П.Ф.Иванкина. Разрабатывалась концепция связи золоторудных месторождений черносланцевого типа с зонами глубинных разломов. На уровне локализации рудных полей данные структуры образуют сложно построенные ветвящиеся зоны складчато-сколовых дислокаций — зоны смятия. Изучались вопросы вертикальной и горизонтальной зональности зон смятия и связанных с ними пологих и крутопадающих зон расщепления с углеродистыми катаклазитами и милонитами, включающими разномасштабные складчатые блоки компетентных пород с золото-кварцевыми штокверками. Значительное внимание уделялось исследованиям морфоструктуры и зональности рудных полей и месторождений, становление которых связывалось с различными этапами образования длительно развивавшихся разломов глубокого заложения в связи с коллизийными (орогенными) процессами.

Генезис и локализация черносланцевых месторождений золота объяснялись процессами окисле-

ния глубинных углеродисто-водородных восстановленных флюидов с образованием крупных ореолов углеродисто-кремнистых метасоматитов, полиформационных интрузий и зон отложения золотоносных минеральных комплексов сульфидно-вкрапленного и кварцево-жильного типов. В этот период в Кызылкумской провинции проводились исследования по объемному картированию рудных полей и месторождений, анализ и типизация морфоструктур месторождений, геолого-геофизическое изучение глубинного строения территории, изотопно-геохимические исследования.

Расширение и интенсификация работ ЦНИГРИ в провинции в 1982 г. привели к созданию стационарной экспедиции — КОМЭ ЦНИГРИ с базовым поселком на станции Янги-Зеравшан. Экспедиция состояла из научно-производственных групп, которые под руководством сотрудников ЦНИГРИ обеспечивали выполнение крупных проектов по изучению месторождений Мурунтауского, Даугызтауского, Амантайтауского, Кокпатасского рудных полей. В создание КОМЭ ЦНИГРИ и организацию научно-методического сопровождения работ большой вклад внес В.А.Нарсеев. На базе экспедиции функционировали группы по фотодокументации керна скважин и горных выработок, разработке и совершенствованию поисковых геофизических методов, включающих комплекс электрофизических, магнитометрических и радиоволновых методов в наземном и скважинном вариантах. Многоцелевые работы КОМЭ ЦНИГРИ включали опытные технологические исследования по кучному выщелачиванию забалансовых руд Мурунтауского месторождения. Была создана стационарная химико-технологическая лаборатория с высокопроизводительным рентгенорадиометрическим определением широкого круга рудных элементов. Работы проводились по заказам Навоийского ГМК. Положительные результаты этих исследований позволили в последующем перейти к промышленной эксплуатации забалансовых руд, в значительном объеме накопленных в процессе длительной эксплуатации основного рудника.

Стационарные работы в Кызылкумах способствовали повышению эффективности работ, созданию материально-технической базы полевых исследований и, в определенной степени, решению кадровых вопросов. В этот период в КОМЭ ЦНИГРИ работал коллектив молодых специалистов, прошедших основательную геологическую школу на таких объектах, как Мурунтау, Даугызтау, Высоковольтное, Кокпатасс и др. В дальнейшем, на следующем этапе, на базе стационарной экспедиции с привлечением Бакинского филиала ЦНИГРИ были организованы опытно-методические поиско-

вые работы с применением колонкового бурения с гидротранспортом керна (КГК-100, 300), позволившие оценить ряд фланговых участков Мурунтауского и Даугызтауского рудных полей, перекрытых мезокайнозойскими рыхлыми отложениями.

В Мурунтауском рудном поле в 1980–1982 гг. И.К.Брагиным, В.П.Кувшиновым, Д.Г.Ажгиреем, Ч.Х.Ариффуловым, Т.А.Блиновой, Ю.Г.Зарембо, С.А.Светловым выполнены работы по объемному картированию глубоких горизонтов и флангов месторождений, позволившие уточнить строение и параметры основных штоков Мурунтауского, Мютенбайского и Восточно-Бесапантауского месторождений и оценить перспективы рудного поля в целом. Эти материалы использовались при переоценке запасов Мурунтауского месторождения, проведенных Навоийским ГМК, и они легли в основу разработки дальнейшего направления ГРП, нацеленных на доразведку глубоких горизонтов месторождения и проектирование подземного рудника. В этот же период для обеспечения Народнохозяйственной программы СССР по глубокому бурению ЦНИГРИ был назначен головной организацией по геолого-геофизическим исследованиям в Мурунтауской глубокой скважине. И.К.Брагиным и Р.В.Цоем подготовлено обоснование места заложения сверхглубокой скважины и разработана программа комплексных исследований. Бурение Мурунтауской сверхглубокой скважины началось в 1984 г.

В Даугызтауском рудном поле в этот период проводятся доизучение и прогнозная оценка глубоких горизонтов Даугызтауского месторождения в целях подготовки материалов к подсчету запасов второй и третьей очередей основного месторождения и работы по геолого-структурному и минералогическому картированию буровых профилей и шахтного горизонта золото-серебряного Высоковольтного месторождения также для его подготовки к подсчету запасов (Н.Я.Гурейкин, Ч.Х.Ариффулов, В.Г.Дзялошинский). При этом реализуются рекомендации ЦНИГРИ предыдущего этапа работ; проводится поисковые бурение Даугызтауской ГРЭ на рекомендованных участках. В результате были открыты новые объекты — Джасаульское и Курметинское (Южное), а также ряд рудопоявлений с золото-серебряной минерализацией в зоне Джасаульского разлома, что подтверждает предложенную сотрудниками ЦНИГРИ минералого-геохимическую и структурную зональность рудного поля. На основных эталонных объектах рудного поля Даугызтауском и Высоковольтном месторождениях — Н.М.Заири, А.П.Глуховым, Ю.В.Васютой на основе изотопно-геохимических исследований устанавливаются зональность распределения изотопов се-

ры в рудно-метасоматических колоннах и параметры отложения золотоносных и золото-серебряных парагенезисов. Широкое применение современных микрорентгеноспектральных методов изучения минералогии руд (Ч.Х.Ариффулов, С.М.Сандомирская) позволяет установить сложный спектр минералов полисульфидно-блеклорудно-сульфоантимонитовых комплексов и выявить скрытую минеральную зональность на золоторудных и золото-серебряных месторождениях Амантай-Даугызтауского рудного узла. Полученные данные использовались при доразведке и оценке глубоких горизонтов месторождений. В рудах Высоковольтного месторождения сотрудниками института открыт новый минерал — цнигриит $\text{Ag}_9\text{SbTe}_3(\text{S}, \text{Se})_3$.

Тулским филиалом ЦНИГРИ (П.В.Иншин) и отделом технологических исследований ЦНИГРИ изучается состав углеродистых соединений в терригенных отложениях, оценивается их влияние на процессы цианирования золота. В этот период активного изучения черносланцевых месторождений институтом разрабатываются и совершенствуются химические, спектральные, атомно-абсорбционные и другие методы определения благородных металлов, адаптированные к углеродистым породам и рудам.

Третий этап (1985–1992 гг.) работ ЦНИГРИ в Кызылкумах проходил на фоне концептуальных изменений в понимании генезиса и условий локализации крупнообъемных золоторудных месторождений. Научное руководство работами осуществлялось Н.К.Курбановым и В.А.Нарсеевым. Дальнейшее развитие геолого-генетических представлений, которое определило изменение методологии поисков на закрытых территориях Кызылкумов, вызвано накоплением информации о распределении золота в разрезах бесапанской свиты, многообразии форм и минеральных типов золоторудной минерализации, связанной с зонами дислокаций и полиформационными метасоматическими изменениями. Вместе с тем, происходит комплексирование представлений о сложной многоэтапной трансформации черносланцевых отложений и формировании постгранитных рудно-метасоматических систем с выводами о первичной повышенной металлоносности черносланцевых отложений, связанной с поствулканическими гидротермально-осадочными процессами, а также с процессами эллизионно-катагенетического концентрирования металлов в осадочно-породных бассейнах. В этот период расширяются территории работ ЦНИГРИ: проводятся исследования в Северо-Нуратинских горах, Чаткало-Кураминском районе, Центральном Таджикистане, Восточном Казахстане и Южной Киргизии.

В Кызылкумской провинции работы ведутся в традиционных рудных районах Косманачи-Мурунтауском (Ч.Х.Арифуров, В.И.Романов, Д.П.Ревякин, Н.А.Вишневская), Амантай-Даугызтауском (Н.Я.Гурейкин, Ч.Х.Арифуров, Л.П.Шурманов), Кокпатасском (П.Г.Кучеревский, Б.Я.Вихтер, К.М.Минькин, К.Е.Хазан), Ауминзатауском и Каратауском (Д.Г.Ажгирей, Р.М.Ажгирей, С.А.Светлов, Т.А.Блинова, Т.Е.Анненкова), Марджанбулакском (П.Ф.Иванкин, Н.И.Назарова).

На Мурунтауском месторождении и его спутниках проводились детальные литолого-структурные и минералого-геохимические исследования (картирование карьера, шахтных горизонтов, документация десятков километров керна скважин по опорным разрезам), позволившие создать объемную модель месторождения и рудного поля, систему прогнозно-поисковых критериев и признаков объектов мурунтауского типа. Впервые для объекта была выявлена крупнообъемная рудно-метасоматическая зональность: откартированы внутренние (ядерные), внешние и фронтальные зоны флогопит-полевошпат-кварцевых метасоматитов. По химизму они сходны с гумбеитизацией и связаны с привнесением K , S , CO_2 . Установлены пространственно-временные соотношения ранних золотоносных метасоматитов с золото-шеелит-кварцевыми жилами, внутрирудных постдайкиковых кварц-альбитовых метасоматитов с золото-сульфидно-кварцевыми жилами, позднерудных аргиллизитов с серебро-сульфоантимонитовой минерализацией.

Детальное изучение изменчивости магнитных характеристик вмещающих пород и метасоматитов и электрофизических свойств сульфидов в стратифицированных сульфидоносных горизонтах и рудно-метасоматических колоннах на Мурунтауском, Даугызтауском и Амантайтауском месторождениях (П.С.Ревякин) позволяет расширить спектр признаков при поисках слепых рудных залежей.

В рамках программы комплексных исследований Мурунтауской сверхглубокой скважины и ее спутников проводятся структурно-литологические, минералого-геохимические, изотопно-геохимические исследования и фотодокументационные работы (Ю.И.Новожилов, Н.М.Заири, А.М.Гаврилов, С.Г.Кряжев, А.П.Глухов, В.А.Крылова, О.В.Русинова, А.Г.Волярович, С.Я.Тер-Оганесов).

При комплексном изучении Мурунтауского месторождения Ю.А.Костицыным выполнены рубидий-стронциевые определения абсолютного возраста флогопит-полевошпат-кварцевых и кварц-альбитовых метасоматитов, подтверждающие представления о герцинском (постбаталитовом) возрасте

регенерационных рудно-метасоматических процессов на объекте.

Региональные исследования на территории, нацеленные на создание прогнозной карты на золото м-ба 1:500 000 и оценки глубинных обстановок локализации рудных полей проводились П.С.Ревякиным, Б.Я.Вихтером, В.Г.Дзялошинским с участием рабочих групп, занятых изучением локальных объектов — рудных полей и месторождений. Общее научно-методическое руководство работами осуществлялось Н.К.Курбановым.

КОМЭ ЦНИГРИ проводятся опытно-методические и поисковые работы на закрытых территориях в комплексе с КГК бурением, геофизическими и геохимическими работами. Изучается зональность золотоносных кор химического выветривания и разрабатывается методика колориметрического картирования (Л.Д.Кудерина), принципы которой использованы нами при картировании кор выветривания с определением цифровых характеристик цветности пород в черносланцевых рудных районах Южного Урала.

В Амантай-Даугызтауском рудном районе основные исследования данного периода нацелены на изучение геологического строения и условий локализации прожилково-вкрапленных и жильных золото-сульфидно-кварцевых руд Амантайтауского месторождения (Н.Я.Гурейкин, Ч.Х.Арифуров). В ходе изучения северной части месторождения выявлены дислоцированные горизонты с линзами высокозолотоносных серно-колчеданных руд (пиритов), определены их минералогические и изотопно-геохимические характеристики, что позволило разработать геолого-генетическую модель вулканогенно-осадочного образования первичных высокозолотоносных осадков в черносланцевых комплексах. Сходные образования установлены автором также в рудах Кумторского месторождения (Южная Киргизия).

В Кокпатасском рудном поле П.Г.Кучеревским и К.М.Минькиным уточнены условия локализации золото-сульфидного оруденения и доказана роль вулканогенно-осадочных процессов при формировании золоторудных залежей в разрезе карашохинской свиты.

На основании полученных материалов составлены типовые модели Мурунтауского, Даугызтауского и ряда других кызылкумских месторождений, которые вошли в Атласы «Многофакторные поисковые модели золоторудных месторождений» (1989) и «Геолого-генетические модели золоторудных месторождений углеродисто-терригенных комплексов» (1994); результаты исследований включены в X том справочно-монографического издания «Геоло-

гическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых» (1989).

Исследования ЦНИГРИ осуществлялись в тесном сотрудничестве с производственными и научными организациями Узбекистана, в их числе Самаркандгеология, Кызылкумгеология, Навоийский ГМК, Зерафшанская, Кызылкумская, Даугызтауская, Кокпатаская, Краснохолмская ГРЭ, ОМЭ САИГИМС, АН УзбССР. Непосредственные творческие и рабочие контакты с выдающимися геологами Узбекистана, такими как В.Г.Гарьковец, Р.М.Цой, Г.В.Касавченко, В.А.Талалов, Ю.А.Чернявский, Л.З.Палей, С.Т.Бадалов, Х.Р.Рахматуллаев, А.Т.Бендик и др., являлись основой для успешного решения практических задач и развития представлений о генезисе феномена «кызылкумские месторождения золота». При проведении полевых исследований деловые и дружеские отношения сложились со многими геологами Узбекистана; среди них можно отметить Э.В.Тарасова, Ю.Н.Шашорина, Ю.Н.Зверева, Ф.Г.Бруханского, В.Ф.Проценко, Ю.С.Савчука, Р.О.Микконена, П.А.Мухина, Ш.Ш.Сабдюшева, А.И.Образцова и др. Полный список огромного коллектива исследователей, с которыми довелось сотрудничать геологам ЦНИГРИ, невозможно привести из-за недостатка места. Наверняка, остались без внимания и очень важные моменты исследований, связанные с конкретными личностями. Например, очень краткий и яркий период исследований геолога ЦНИГРИ Л.В.Терещенко, который внес существенный вклад в понимание структуры Косманачи-Мурунтауского рудного района и охарактеризовал основные структурные комбинации продольных зон расланцевания с покровно-надвиговыми структурами, играющими заметную роль в локализации золотого оруденения.

Развиваемые различными школами ЦНИГРИ и Узбекистана альтернативные (но дополняющие друг друга) генетические концепции постмагматического гидротермального и осадочно-эпигенетического образования месторождений золота в процессе параллельных и совместных исследований привели к их синтезу и современным представлениям о длительном полигенном процессе образования месторождений золота в черносланцевых комплексах, который начинается с этапа формирования золотоносных сульфидных осадков, связанных с гидротермально-осадочными и биогенно-хемогенными процессами и дальнейшей многоэтапной трансформацией их в зонах дислокационного метаморфизма и полиформационного плутоногенного метасоматоза. Развитие этих представлений нашло отражение как в совершенствовании систем

прогнозно-поисковых критериев и признаков крупнообъемных месторождений черносланцевого типа, так и в методике их поисков и оценки. В начале 90-х годов по инициативе Р.В.Цоя, Н.К.Курбанова, И.М.Голованова организованы и проведены работы по обобщению материалов, составлена и в 1998 г. издана сводная коллективная монография «Золоторудное месторождение Мурунтау», в которой сотрудники ЦНИГРИ (Ч.Х.Арифуров, П.С.Ревякин, Н.М.Заири, Ю.А.Костицын) являются авторами ряда разделов.

Тридцатилетние работы геологов ЦНИГРИ в Кызылкумах не только внесли существенный вклад в развитие золотодобывающей отрасли Узбекистана, но и обеспечили приток новой геологической информации по уникальным природным образованиям — месторождениям кызылкумского типа.

Результаты комплексного изучения Мурунтауского мегаштокверка и других крупных золоторудных месторождений Кызылкумов стали определяющими при разработке геолого-генетических и прогнозно-поисковых моделей месторождений черносланцевого типа. Их применение и использование богатого кызылкумского опыта привело к новым открытиям и кардинальной переоценке известных объектов в других золотоносных черносланцевых провинциях.

По материалам исследований сотрудниками ЦНИГРИ составлено более 50 отчетов с комплектами графических приложений в м-бе от 1:500 000 до 1:1000, включающих прогнозные карты Кызылкум-Нуратинской золотоносной провинции, карты рудных районов, полей и месторождений, детальные разрезы и погоризонтные планы. Эти материалы долгие годы служили основой при планировании и проведении поисковых работ, разведки месторождений, подсчета запасов и проектирования горнодобывающих предприятий. Были изданы многие десятки научных статей в Трудах ЦНИГРИ и других периодических изданиях, совместно с геологами Узбекистана подготовлены две крупные монографии по Мурунтаускому месторождению. Сотрудниками ЦНИГРИ по результатам изучения Кызылкумских месторождений защищены диссертации: одна докторская (Н.М.Заири) и шесть кандидатских (Н.Я.Гурейкин, Ч.Х.Арифуров, В.Г.Дзялошинский, Ю.А.Костицын, С.Г.Кряжев, Т.Е. Анненкова).

Оценивая работы ЦНИГРИ в Средней Азии, по-видимому, нельзя ограничиться только рассмотрением научных и производственных достижений, будет справедливым отметить, что все геологи, связавшие свою судьбу с Кызылкумами, получили щедрое вознаграждение — возможность прикоснуться

ся к сокровенным тайнам природы. Месяцы и годы непрерывной документационной работы в чреве золотоносных черносланцевых толщ на глубоких шахтных горизонтах месторождений и на уступах карьеров открыли новые возможности многомерно-го восприятия недр, научили понимать сланцевую историю формирования золотых руд. Не ошибемся, если скажем, что совместная работа многих геологов ЦНИГРИ и Узбекистана сформировала своеобразное «кызылкумское братство». И независимо от того, по каким странам и частям света судьба раскидала кызылкумцев, в их памяти живут эти открытые горизонты пустыни и ощущение причастности к большому и важному для страны делу.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 10 / Под ред. Г.А.Габриэлянца, А.И.Кривцова, В.М.Терентьева. – Л.: Недра. 1989.

Геолого-генетические модели золоторудных месторождений углеродисто-терригенных комплексов. Атлас / Н.К.Курбанов, Ч.Х.Арифуров, П.Г.Кучеревский. – М.: ЦНИГРИ, 1994.

Золоторудное месторождение Мурунтау / Под ред. Т.Ш.Шаякубова. – Ташкент: ФАН АН Республики Узбекистан, 1998.

Многофакторные поисковые модели золоторудных месторождений / Под ред. М.М.Константинова, В.А.Нарсеева. – М.: ЦНИГРИ, 1989.

Рудные формации и основные черты металлогении золота в Узбекистане / Под ред. И.Х.Хамрабаева. – Ташкент: ФАН, 1968.

Массальский И.В. Туркестанский край. XIX том серии: Россия. Полное географическое описание нашего отечества / Под. ред. В.П.Семенова-Тянь-Шаньского. СПб.: Изд. А.Ф.Девриена, 1913.

Рисунки к статье Ч.Х.Арифурова «Золотоносность черносланцевых толщ и обстановки формирования рудных тел»



Рис. 3. Деформированные золотоносные пиритовые ритмы Амантайтауского месторождения

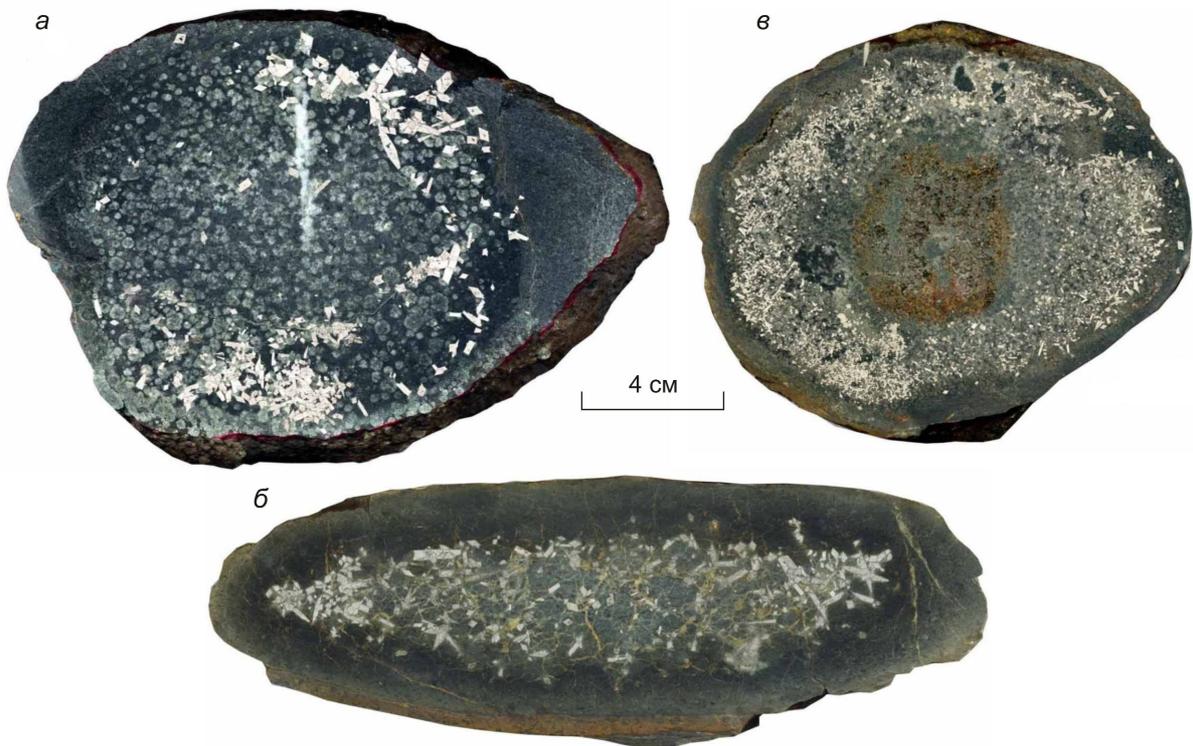


Рис. 6. Морфология и зональность золотосодержащих пирит-арсенопиритовых конкреций Павловского участка Айдырлинско-Синешиханского рудного района:

а — существенно хлорит-карбонатное оолитовое строение центральной части и гнездовые скопления крупных кристаллов арсенопирита во внешней зоне; *б* — уплощенная лепешковидная конкреция с арсенопиритовым обогащением ядерной части; *в* — конкреция с обломком выщелоченных и лимонитизированных вулканитов в ядре и арсенопиритовым обогащением внешней зоны

Рисунок к статье Ю.К.Голубева, Н.А.Прусаковой, Ю.Ю.Голубевой «Кепинские кимберлиты, Архангельская область»

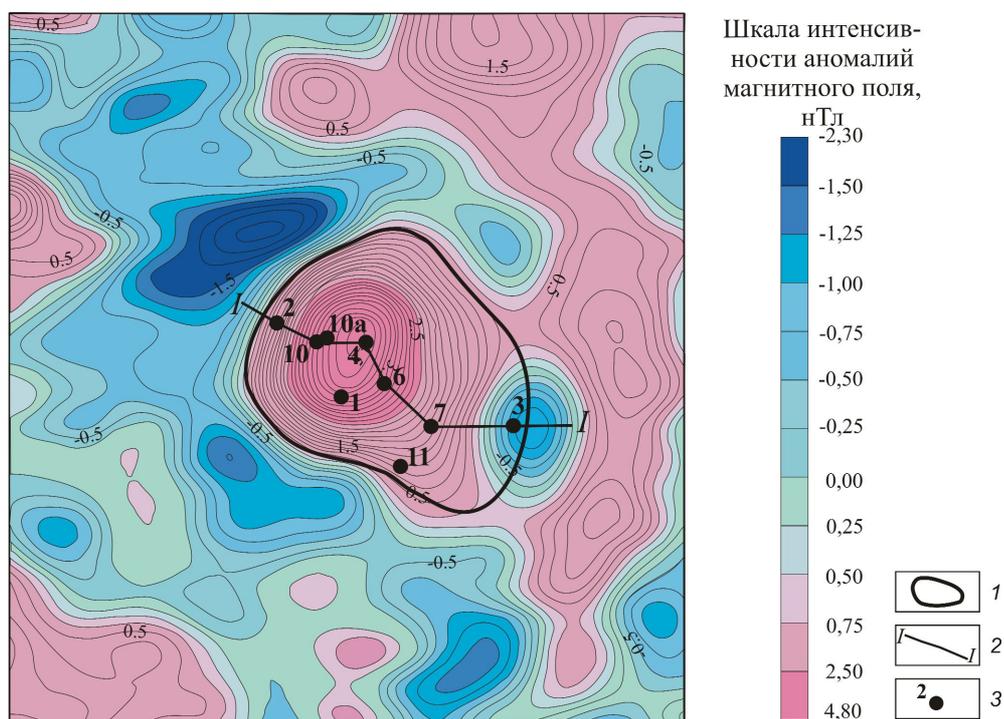


Рис. 3. Отражение кимберлитовой трубки ЦНИГРИ-Архангельская в аномальных особенностях локальной составляющей магнитного поля (данные аэромагнитной съемки м-ба 1:5000, $\Delta T_{\text{лок}} = \Delta T_{\text{Роср}} 100 \text{ м} - \Delta T_{\text{Роср}} 1000 \text{ м}$):

I — контур кимберлитовой трубки, предполагаемый по геолого-геофизическим данным; 2 — линия геологического разреза, приведенного на рис. 4; 3 — буровые скважины и их номера

Рисунок к статье С.А.Граханова, А.М.Сулейманова, Ю.К.Голубева «Пирокласты северо-востока Сибирской платформы как источник россыпных алмазов»



Рис. 3. Алмазоносные пирокластические туфы основания карнийского яруса в обнажении на р. Булкур (дельта р. Лена), фото С.А.Граханова, 2009 г.

Рисунки к статье А.И.Кривцова «Методические основы прогнозно-металлогенических построений»

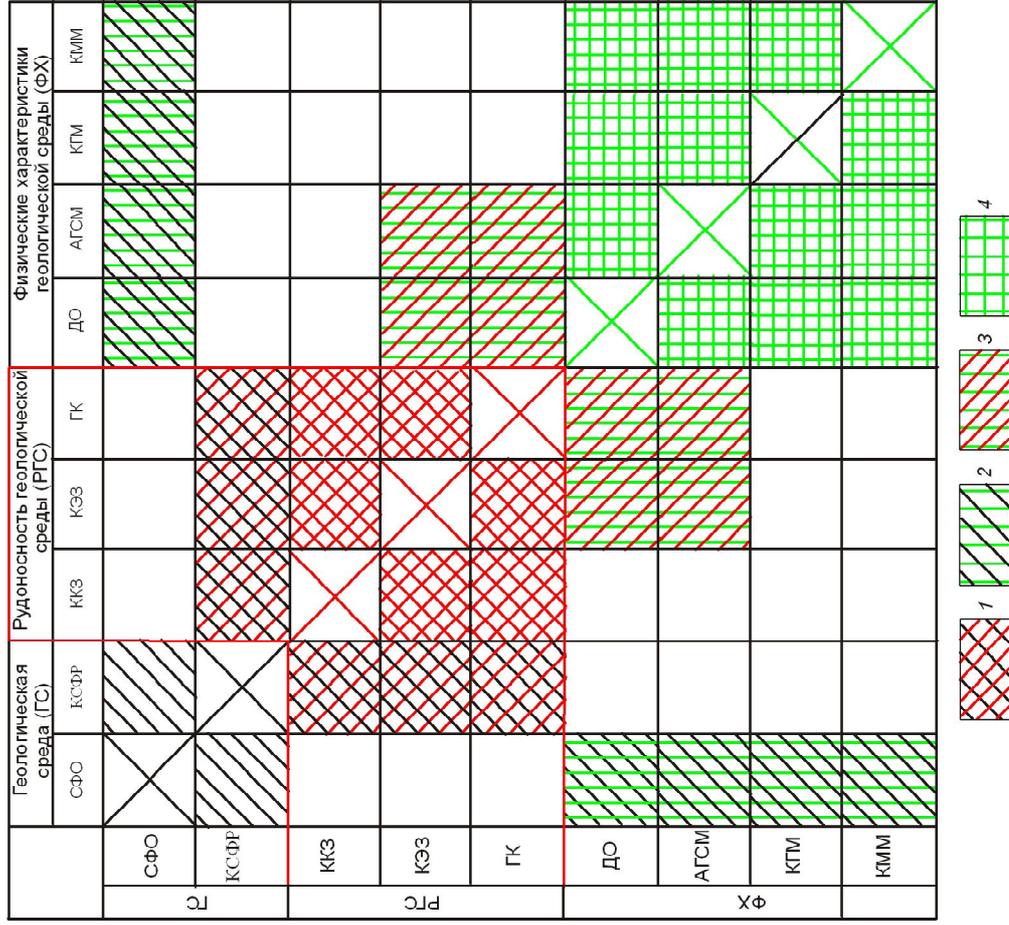


Рис. 1. Принципиальная схема сочетаний информационных слоев при прогнозно-металлогенических построениях:

сочетания: 1 — основные, 2 — дополнительные, 3 — вспомогательные, 4 — возможные

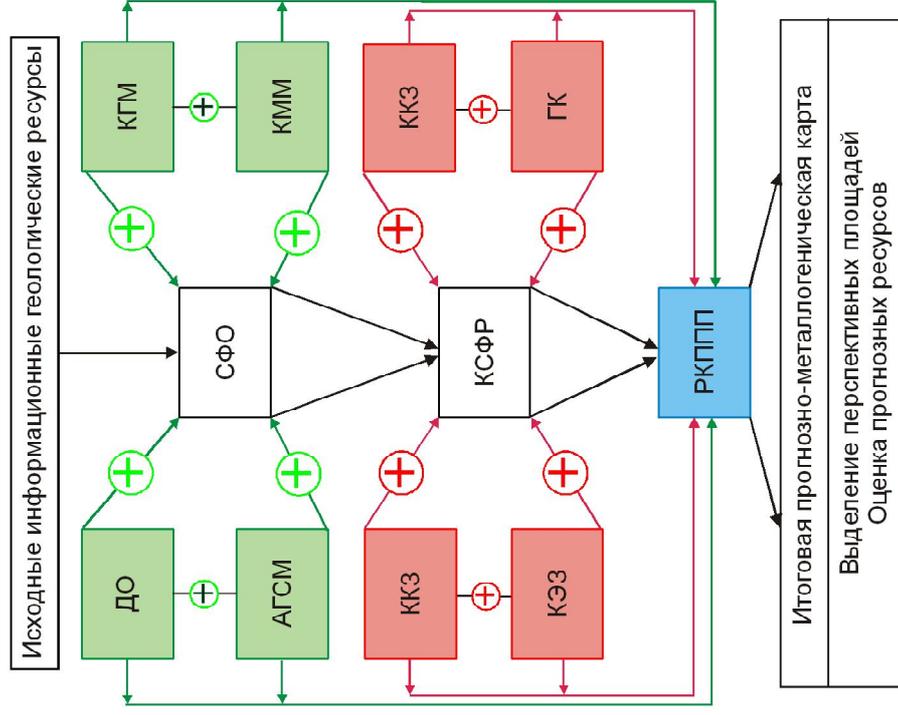


Рис. 2. Сочетания и последовательность совмещения информационных слоев при прогнозно-металлогенических построениях

Рисунки к статье Г.В.Седельниковой, А.В.Мандругина «Новые методы и методики анализа минерального сырья благородных металлов»



Рис. 1. Пробирная плавка

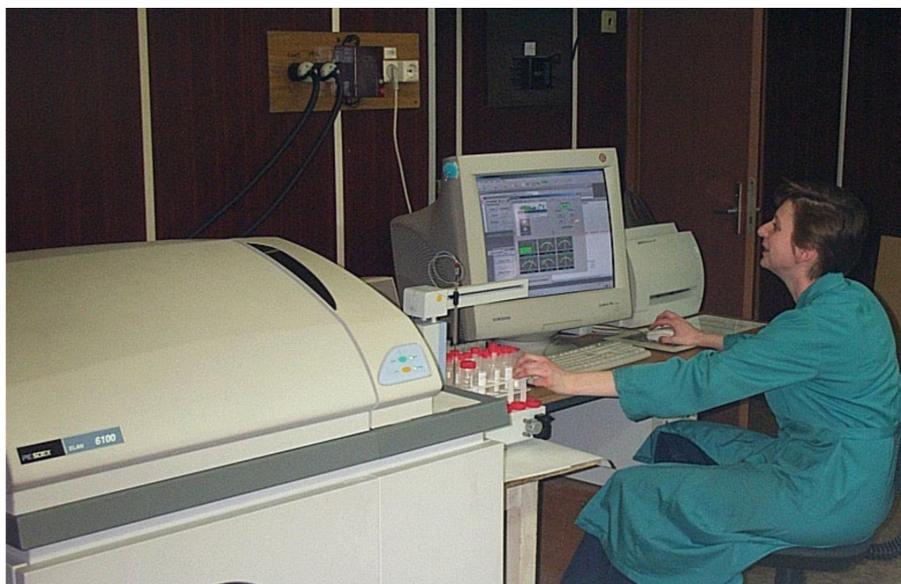


Рис. 3. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, ELAN-6100

Рисунки к статье С.С.Вартамяна, А.Г.Волчкова, В.И.Кочнева-Перухова, В.П.Новикова «ЦНИГРИ на Аляске»

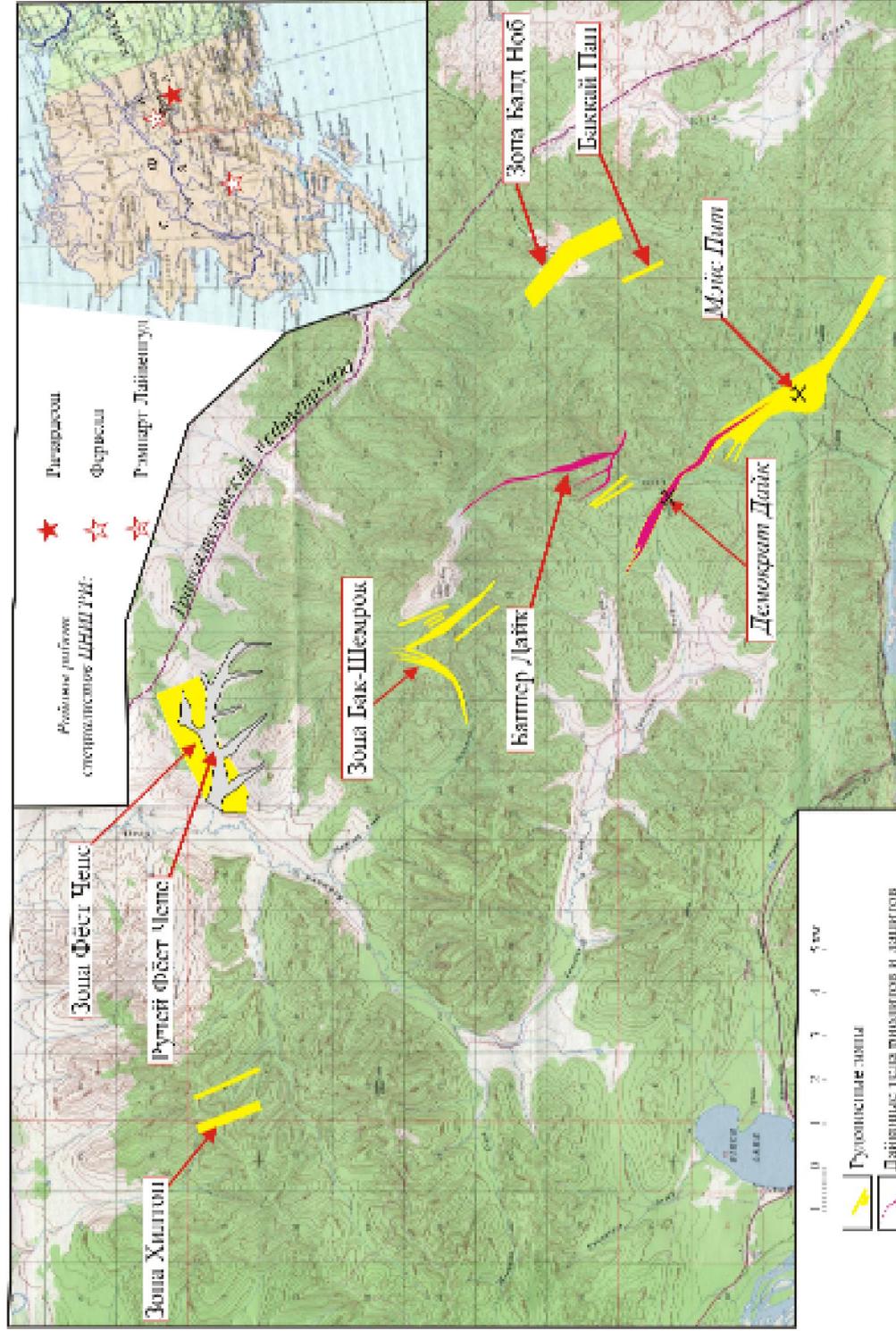




Рис. 2. Общий вид района Ричардсон



Рис. 3. Базовый лагерь группы ЦНИГРИ в поселке Ричардсон



Рис. 4. Перед выездом на полевые работы



Рис. 5. Вскрытие минерализованной зоны на участке Бак-Шэмрок



Рис. 6. Проходка шурфа на участке Редмонд



Рис. 7. Буровая установка в долине руч. Фёст Ченс