

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



2/2007

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И.Ф.МИГАЧЕВ

Б.И.БЕНЕВОЛЬСКИЙ
Э.К.БУРЕНКОВ
В.И.ВАГАНОВ
С.С.ВАРТАНЯН
П.А.ИГНАТОВ
М.А.КОМАРОВ
М.М.КОНСТАНТИНОВ
А.И.КРИВЦОВ, зам. главного редактора
В.В.КУЗНЕЦОВ
Н.К.КУРБАНОВ
Е.В.МАТВЕЕВА
Г.А.МАШКОВЦЕВ
Н.И.НАЗАРОВА, зам. главного редактора
Г.В.РУЧКИН
Ю.Г.САФОНОВ
Г.В.СЕДЕЛЬНИКОВА
В.И.СТАРОСТИН



УЧРЕДИТЕЛЬ

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
Роснедра
МПР России**

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

Москва ЦНИГРИ 2007

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

Сдано в набор 12.03.07 г.
Подписано в печать 22.03.07 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: 313-18-18
E-mail: tsnigri@tsnigri.ru
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2007

**Прикладная металлогения и
недропользование**

*Мигачев И.Ф., Карпенко И.А., Петраш Н.Г.,
Карпухина М.В., Куликов Д.А., Черемисин А.А.*
Оптимальное использование минерально-сырьевой
базы месторождений свинца и цинка в Рес-
публике Бурятия

7

Пересторонин А.Е., Степанов В.А.
Перспективные типы золото-сульфидных мес-
торождений в Приамурье

19

Шамсцян Ф.Г.
Перспективы выявления золотоносности ново-
го геолого-промышленного типа в Республике
Армения

29

Гусев А.И.
Месторождения спекулярита в Горном Алтае

33

**Аппаратурно-технические
средства и технологии
геологоразведочных работ**

Коньшев В.О.
Пути повышения достоверности опробования
руд с крупным золотом

40

Новости, информация

Ваганов В.И.
Добыча и поиски полезных ископаемых на Се-
веро-Западных Территориях Канады

55

Сонин В.М., Чепуров А.И., Жимулев Е.И.
Об образовании вичинальных бугорков на окта-
эдрических гранях кристаллов алмаза при раст-
ворении

61

Алексеевский К.М.
Что показало исследование келифита

64

Поздравляем с юбилеем

Н.К.Курбанова, А.А.Сапрыкина, Н.М.Риндзю-
нскую, Ю.М.Щепотьева, В.И.Ваганова,
А.А.Фельдмана

67

**Applied metallogeny and subsoil
use**

*Migachev I.F., Karpenko I.A., Petrash N.G., Kar-
pukhina M.V., Kulikov D.A., and Cheremisin A.A.*
Optimal use of the lead and zinc mineral base in
the Republic of Buryatia, Russia

Perestoronin A.E., Stepanov V.A.
Promising types of gold sulfide deposits in the
Amur region, Russia

Shamtsian F.G.
Prospects for discovery of new economic type of
gold mineralization in the Republic of Armenia

Gusev A.I.
Specularite deposits in Gorny Altai, Russia

**Techniques and methods of geo-
logical exploration**

Konyshov W.O.
Coarse-grained gold ores: the ways to improve
sampling reliability

News and information

Vaganov V.I.
Mining of and prospecting for mineral deposits in
NWT, Canada

Sonin V.M., Chepurov A.I., and Zhimulev E.I.
The vicinal node formation on the octahedron
faces of the diamond crystals at dissolution

Alekseevsky K.M.
Kelyphite: What the studies demonstrated

Our congratulations

N.K.Kurbanov, A.A.Saprykin, N.M.Rindzyun-
skaya, Yu.M.Shchepot'yev, V.I.Vaganov, A.A.
Fel'dman

Дискуссии**Беляев А.А.**

Парадоксы в геологии

74

Памяти Н.В.Чернышевой

84

Discussion**Belyaev A.A.**

Paradoxes in geology

In memoriam N.V.Chernysheva

**Приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации № 278
от 11.12.06 г. утверждена Классификация запасов и прогнозных ресурсов
твердых полезных ископаемых, извлечения из которой публикуются ниже**

2. Запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются по результатам геологоразведочных и эксплуатационных работ, выполненных в процессе их изучения и промышленного освоения.

5. Объектом подсчета запасов полезных ископаемых является месторождение (часть месторождения) твердых полезных ископаемых. Объектом оценки прогнозных ресурсов являются металлогенические (минерагенические) зоны, бассейны, рудные районы, поля, рудопроявления, фланги и глубокие горизонты месторождений, оцененные на основании благоприятных геологических предпосылок, обоснованной аналогии с известными месторождениями, по результатам геологосъемочных, геофизических, геохимических, поисковых и оценочных работ.

9. Запасы полезных ископаемых по степени геологической изученности подразделяются на категории А, В, С₁, С₂.

16. При квалификации запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классификационного показателя должны использоваться количественные и вероятностные оценки точности и достоверности определения основных подсчетных параметров.

17. Прогнозные ресурсы участков недр по степени их обоснованности подразделяются на: прогнозные ресурсы категории Р₁; прогнозные ресурсы категории Р₂; прогнозные ресурсы категории Р₃;

18. Прогнозные ресурсы категории Р₁ учитывают возможность расширения границ распространения полезного ископаемого за контуры запасов С₂ или выявления новых рудных тел полезного ископаемого на рудопроявлениях, разведанных и разведываемых месторождениях. Для количественной оценки ресурсов этой категории используются геологически обоснованные представления о размерах и условиях залегания известных тел. Оценка ресурсов основывается на результатах геологических, геофизических и геохимических исследований участков недр возможного нахождения полезного ископаемого, на материалах структурных и поисковых скважин, а в пределах месторождений — на геологической экстраполяции структурных, литологических, стратиграфических и других особенностей, установленных на более изученной их части, ограничивающих площади и глубину распространения полезного ископаемого, представляющего промышленный интерес.

19. Прогнозные ресурсы категории Р₂ учитывают возможность обнаружения в бассейне, рудном районе, узле, поле новых месторождений полезных ископаемых, предполагаемое наличие которых основывается на положительной оценке выявленных при крупномасштабной (в отдельных случаях среднемасштабной) геологической съемке и поисковых работах проявлений полезного ископаемого, а также геофизических и

геохимических аномалий, природа и возможная перспективность которых установлены единичными выработками. Количественная оценка ресурсов, представления о размерах предполагаемых месторождений, минеральном составе и качестве руд основаны на комплексе прямых и косвенных признаков рудоносности, на материалах отдельных рудных пересечений, а также по аналогии с известными месторождениями того же формационного (геолого-промышленного) типа. Прогнозные ресурсы выявляются при крупномасштабной геологической съемке, поисках и (частично) при геологических съемках с комплексом прогнозно-поисковых работ, геолого-минерагеническом картировании масштаба 1:200 000. Прогнозные ресурсы в количественном выражении с привязкой к локальным площадям служат основой для постановки детальных поисковых работ.

20. Прогнозные ресурсы категории P_3 учитывают лишь потенциальную возможность открытия месторождений того или иного вида полезного ископаемого на основании благоприятных геологических и палеогеографических предпосылок, выявленных в оцениваемом районе при средне-мелкомасштабных геолого-геофизических и геологосъемочных работах, дешифрировании космических снимков, а также при анализе результатов геофизических и геохимических исследований. Прогнозные ресурсы категории P_3 оцениваются при геологосъемочных работах масштаба 1:200 000 с комплексом прогнозно-поисковых работ, геолого-минерагеническом картировании масштабов 1:200 000 и 1:500 000, а также по итогам геологического картографирования масштаба 1:1 000 000. Их количественная оценка проводится без привязки к конкретным объектам.

Количественно оцененные ресурсы служат основанием для постановки геологического картографирования масштаба 1:50 000 и поисковых работ.

Количественная и качественная оценка прогнозных ресурсов производится до глубин, доступных для эксплуатации при современном и возможном в ближайшей перспективе уровне техники и технологии разработки месторождений, на основе ориентировочных технико-экономических расчетов.

ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ



УДК 553.444.04 (571.54)

© Коллектив авторов, 2007

ОПТИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА В РЕСПУБЛИКЕ БУРЯТИЯ*

**И.Ф.Мигачев, И.А.Карпенко, Н.Г.Петраш, М.В.Карпухина, Д.А.Куликов,
А.А.Черемисин (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)**

Показано, что месторождения свинца и цинка на территории Бурятии могут рассматриваться в перспективе как основная рудная база России по этим металлам. Приведены результаты переоценки, выполненной ЦНИГРИ при участии специалистов Бурятии, основных свинцово-цинковых месторождений Республики Бурятия. По Озерному месторождению в целях совершенствования недропользования предложены доизучение и глубокая геолого-экономическая оценка его как комплексного месторождения с технологически сложными для переработки рудами, внедрение передовых технологий, обеспечивающих наиболее полное извлечение всех полезных компонентов и полезных ископаемых. Обоснована необходимость утверждения новых кондиций и запасов по Холоднинскому месторождению для определения его рыночной стоимости и условий безопасного для окружающей среды промышленного освоения. Предложено создание металлургического центра по переработке свинцовых и цинковых концентратов в районе г. Тайшет.

Особенности минерально-сырьевой базы свинца и цинка России. Анализ состояния МСБ, производства свинца и цинка в России и в основных странах-производителях этих металлов за рубежом показывает следующее. По запасам свинца и цинка Россия занимает первое–третье места в зависимости от условий учета, по уровню добычи свинца находится на 25, а цинка — на 14 месте в мире (И.А.Карпенко, И.Ф.Мигачев и др., 1997 г.). Доля России в мировом производстве Pb составляет 0,9%, Zn — 2,6%, в экспорте Pb — 0,6%, Zn — 4%, отставая по этим показателям от стран-лидеров (Австралии, КНР, Канады) в 14 до 55 раз

(И.А.Карпенко, Ю.С.Малютин, Л.Р.Никогосова, 2004 г.).

Таким образом, располагая крупнейшей МСБ свинца и цинка в мире, Россия не играет существенной роли ни в мировом производстве, ни в мировой торговле этими металлами.

За счет собственного производства потребность страны в свинце в 2004 г. удовлетворялась на 20% и полностью (107%) по цинку.

В 2004 г. добыча и производство свинца в концентратах осуществлялись в двух регионах России — Приморском (из скарново-полиметаллических месторождений, 47% Pb) и Красноярском (53%, Го-

*Доклад на Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 20–24 июля 2006 г., г. Улан-Удэ.

1. Прогнозная потребность России в свинце и цинке и возможные источники ее удовлетворения после 2015 г.

Полезный компонент	Добыча в 2004 г., тыс. т	Производство в 2004 г., тыс. т		Потребление металла в 2004 г., тыс. т *	Прогнозная потребность после 2015 г., тыс. т **	Источники удовлетворения потребности из собственных месторождений, тыс. т (в концентратах)							Сальдо тыс. т ±
		в товарных концентратах (собственное сырье)	металл (из собственного и импортного сырья)*			из разрабатываемых после 2015 г.	Горевское, подземный способ	Алтайский рудный район	Нерчинский ПМК	Озерное	Холоднинское	Всего	
Pb	37,5	23,3	60	112	270	32	12	17	13	28	17	107	-163
Zn	289,27	151	250	141	446	150	-	90	5	231	135	611	+165

* Предварительные данные.

** Минимальный вариант прогноза по уровню потребления свинца и цинка в России в 1990 г.

2. Распределение основных запасов свинца и цинка по федеральным округам

Федеральный округ, (месторождение)	Доля запасов в общероссийских, %		Геолого-промышленный тип	Среднее содержание в рудах, %	
	Pb	Zn		Pb	Zn
<i>Разрабатываемые месторождения</i>					
Дальневосточный (Николаевское и др.)	3,0	1,1	Скарновый	2,76	3,11
Приволжский и Уральский (Учалинское, Гайское, Узельгинское, Юбилейное)	-	9,3	Колчеданный медно-цинковый	-	1,05
Сибирский (Горевское — открытая разработка)	0,8	0,1	Полиметаллический	4,97	1,76
Всего	3,8	10,5			
<i>Неразрабатываемые месторождения</i>					
Сибирский Красноярский край (Горевское — подземная разработка)	39,2	3,1	Полиметаллический	6,46	1,59
Алтайский край и Республика Тыва (Корбалихинское, Кызыл-Таштыгское)	3,5	6,0	Полиметаллический скарновый	1,85	9,76
Республика Бурятия (Озерное, Холоднинское, Назаровское, Доватка, Ульзутуйское)	26,1	50,9	Колчеданно-полиметаллический; полиметаллический	0,74	4,41
Всего	68,8	60,0			

ревское месторождение) краях. 88% цинка в концентратах (132,5 тыс. т) произведено из руд медно-цинковых месторождений Урала, остальные 12% (18,6 тыс. т) — из руд месторождений Приморского края (рис. 1).

Прогнозная потребность в свинце и цинке на 2015 г. и последующие годы при достигнутом в настоящее время уровне производства металлов в концентратах будет удовлетворяться по Pb на 9%, Zn — на 34% (табл. 1).

Основной фонд ранее разведанных неразрабатываемых месторождений располагается в Восточной Сибири, на территории Сибирского ФО

(табл. 2). В этих месторождениях сосредоточено 68,8% запасов Pb и 60% запасов Zn, в том числе в Республике Бурятия — 26,1% запасов и ресурсов Pb и 50,9% запасов и ресурсов Zn.

Минерально-сырьевая база свинца и цинка Республики Бурятия. Запасы и ресурсы свинца и цинка в республике сосредоточены в восьми месторождениях, семь из которых расположены в центральной части в Курбино-Еравнинской металлогенической зоне, одно — в Северо-Байкальском районе (табл. 3). 91–92% запасов свинца и цинка сосредоточено в двух уникальных по масштабу месторождениях — Озерном и Холоднинском. Доля этих

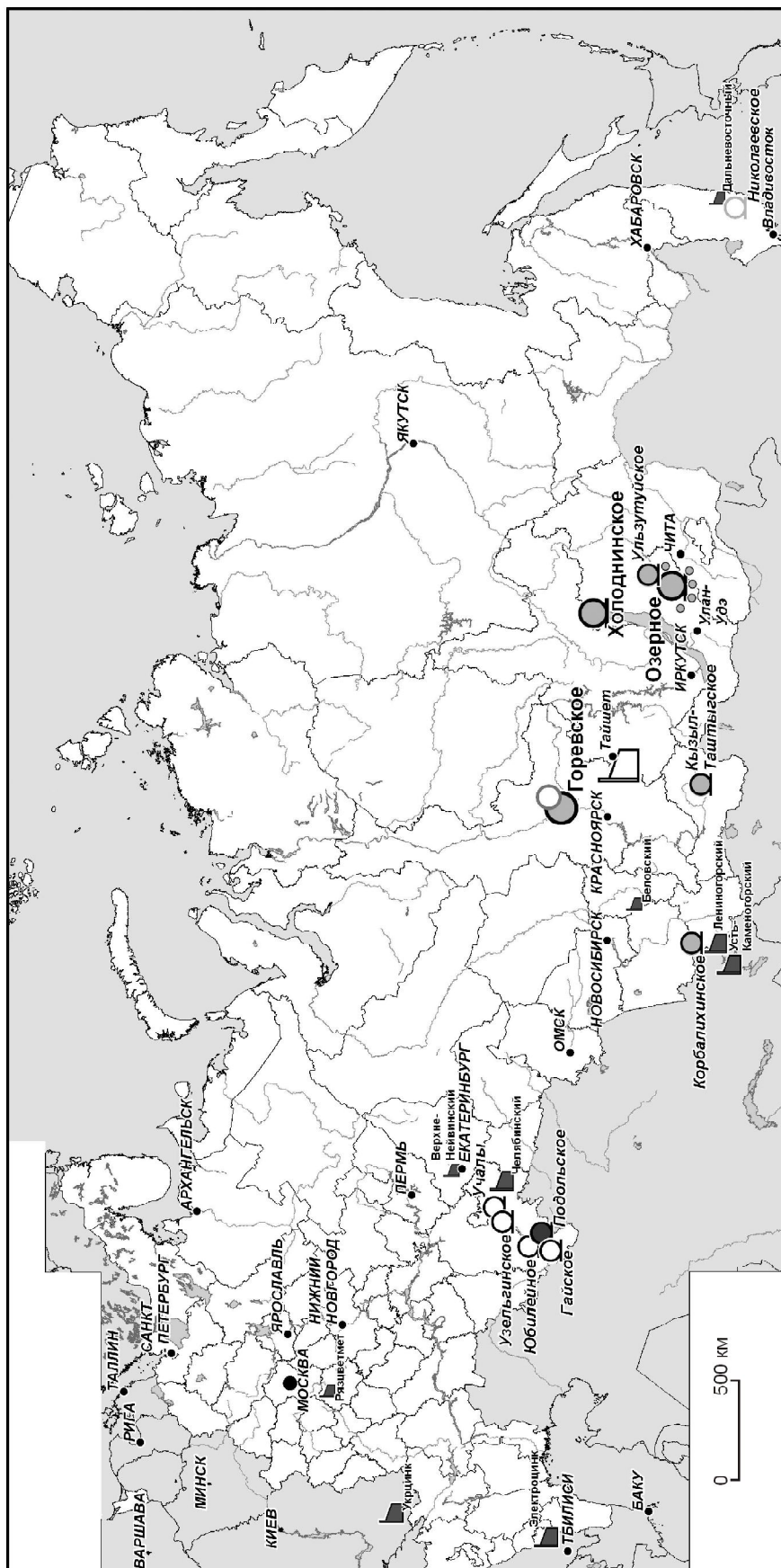


Рис. 1. Схема размещения основных медно-цинковых и свинцово-цинковых месторождений и предприятий свинцово-цинковой подотрасли:

1 — разрабатываемые месторождения; 2 — неразрабатываемые месторождения; 3 — металлургические заводы по переработке свинцовых и цинковых концентратов производительностью >100 тыс. т; 4 — то же, производительностью <20 тыс. т; 5 — медно-цинковые колчеданные месторождения; 6 — свинцово-цинковые месторождения; 7 — уникальные месторождения; 8 — крупные месторождения; 9 — средние и мелкие месторождения; 10 — рекомендуемое положение месторождения; 10 — рекомендуемое положение металлургических заводов по переработке свинцовых и цинковых концентратов месторождений Сибирского ФО

3. Запасы и ресурсы свинца и цинка Республики Бурятия

Месторождения	Типы руд	Руда, млн. т	Zn тыс. т содержа- ние, %	Pb тыс. т содержа- ние, %	Попутные компоненты
<i>Запасы, учтенные Государственным балансом (ГКЗ, ТКЗ)</i>					
Холоднинское	Колчеданно-полиметаллический	484,6	<u>21 010</u> 4,34	<u>3320</u> 0,69	Серебро, кадмий
Доватка	Полиметаллический	1,62	<u>116</u> 7,15	<u>84</u> 5,08	Серебро, кадмий
Озернинский рудный узел: Озерное	Колчеданно-полиметаллический	135,1	<u>8270</u> 6,12	<u>1564</u> 1,16	Серебро, кадмий, сера, золото, сидеритовые руды, барит, породы вскрыши
Назаровское	Полиметаллический	5,2	<u>385</u> 7,45	-	Золото, серебро, кадмий
Итого		626,52	<u>29 781</u> 4,75	<u>4968</u> 0,76	
В том числе Озернинский рудный узел		140,3	<u>8655</u> 6,17	<u>1564</u> 1,16	
<i>Ресурсы категории P₁+P₂*</i>					
Озернинский рудный узел: Ульзугуйское	Колчеданно-полиметаллический	52	<u>1500</u> 2,9	<u>250</u> 0,48	Серебро, кадмий
Солнечное	Полиметаллический	2,1	<u>20</u> 0,9	<u>60</u> 2,8	Барит, серебро
Звездное	Золото-полиметаллический пирит-галенит-сфалеритовый	8,8	<u>289</u> 3,28	<u>10,2</u> 0,38	Медь, барит, золото
		5,7	<u>152</u> 2,68	<u>62,8</u> 1,17	
Майское	Золото-полиметаллический	6,45	<u>140</u> 2,16	<u>0,2</u> 0,43	Серебро, золото, висмут, медь
Итого		75,05	<u>2101</u> 2,8	<u>383,2</u> 0,51	
Всего запасов и ресурсов		701,57	<u>31 882</u> 4,54	<u>5351,2</u> 0,76	
В том числе Озернинский рудный узел		215,37	<u>10 756</u> 5,0	<u>1947,2</u> 0,90	

* По данным Г.И.Дорошкевича (1990 г.).

месторождений в удовлетворении потребности России на период после 2015 г. может составить по Pb 17%, по Zn 83%. Таким образом, месторождения свинца и цинка, расположенные на территории Бурятии, могут рассматриваться как основная рудная база этих металлов в перспективе.

ЦНИГРИ как профилирующий по данным видам минерального сырья институт при активном участии специалистов Бурятии (Геолкома, Минэкономики, экспедиций) начиная с 1994 г. осуществлял работы по переоценке основных свинцово-цинковых месторождений республики. Основные результаты этих работ заключаются в следующем.

Озерное месторождение всегда, начиная с первого ТЭО, выполненного в 1968 г. Читинским филиалом института Цветметпроект (В.К.Чудненко и др., 1968 г.), характеризовалось положительными технико-экономическими показателями. Это обусловлено достаточно высоким качеством и благоприятными условиями залегания руд, а также весьма благоприятными горно-геологическими условиями разработки — открытый способ с низким коэффициентом вскрыши (менее 2 м³/т) при высокой производительности рудника (6 млн. т руды в год, в перспективе до 7–7,5). Географо-экономическое и экологическое положение месторождения в цент-

ральной части Республики Бурятия, за пределами охранных зон оз. Байкал, выгодно отличают его от других рудных объектов.

Озерное месторождение является комплексным. Основную промышленную ценность составляют колчеданно-полиметаллические руды, содержащие свинец, цинк, серебро, кадмий, серу, запасы которых утверждены ГКЗ СССР в 1970 г. При разведке изучены и утверждены запасы сидеритовых руд, а также скальных пород вскрыши для использования в качестве строительного материала (Н.А.Жарников, Г.И.Скалина, 1990 г.). Кроме того, на месторождении развита баритовая минерализация, а также окисленные руды, содержащие свинец, цинк и золото, не получившие геолого-экономической оценки.

Исходя из содержания барита в представительной полупромышленной пробе (2,54%), его запасы только в полиметаллических и сидеритовых рудах могут составить около 4 млн. т и эквивалентны крупному месторождению (Л.И.Самойлова и др., 1985 г.). Не меньшие запасы, но с лучшим качеством руд, следует предполагать в связи с зонами прожилково-вкрапленной минерализации, жилами и линзами барита.

Зона окисления мощностью 20–30 м развита на месторождении повсеместно. По зонам разломов она развивается до глубины 50–70 м. Содержания свинца и цинка в породах зоны от 0,3 до 20%, максимальные — над выходами богатых свинцово-цинковых руд.

Под зоной окисления выявлена зона смешанных руд мощностью от 20–30 до 50–70 м со средним содержанием Pb 0,91, Zn 4,29%.

В 1995 г. при технологических исследованиях окисленных руд способом кучного выщелачивания пробы, отобранной из керна скважин 35, 37 и 301, ЦНИГРИ выявлено золото. В технологической пробе установлено Au 0,9 г/т, Zn 0,37%, Pb 0,15%. Несмотря на низкие содержания металлов, при сернокислотном выщелачивании полезных компонентов из окисленной руды переведено в раствор 72% Zn и 60,3% Au (И.А.Карпенко, Н.И.Королев и др., 1995 г.).

На основании полученных результатов прогнозные ресурсы золота в окисленных рудах (5,9 млн. т) Озерного месторождения могут составить 5 т; запасы Zn равны 127 тыс. т, Pb — 22 тыс. т. Поскольку окисленные руды отрабатываются в карьере в первую очередь и установлена принципиальная возможность их переработки способом кучного выщелачивания, в ТЭО рассчитаны объемы и стоимость продукции при сквозном извлечении Zn 63% и Au 54%.

Важнейшим результатом, полученным ЦНИГРИ совместно со специалистами ВИМСа при переоценке Озерного месторождения, является

обоснование возможности и целесообразности применения радиометрического метода для предварительного обогащения добытых руд (И.А.Карпенко и др., 2003 г.). Использование этого метода позволяет повысить содержание свинца и цинка в руде, направляемой на флотационное обогащение, на 30% (Zn с 4,76 до 6,20%, Pb с 0,86 до 1,12%), а объем перерабатываемой руды сократить на 28%. В абсолютных цифрах масштабы переработки руды на обогатительной фабрике сокращаются с 6 до 4,3 млн. т (на 1,7 млн. т). Результаты переоценки месторождения представлены в табл. 4.

Вместе с тем, наряду с приведенными выше положительными результатами, освоение месторождения сопряжено с некоторыми трудностями, обусловленными особенностями его геологического строения и вещественного состава руд. К неблагоприятным признакам относится распределение руд в объеме объекта по содержанию свинца и цинка. Так, суммарное содержание свинца и цинка у поверхности составляет 56% от среднего по месторождению (4,09 против 7,28%). Удельный вес этих руд 31%, и они будут отрабатываться в течение первых 8–10 лет, что снижает технико-экономические показатели первого периода.

Сложные технологические свойства руд, обусловленные тонкой вкрапленностью полезных минералов (галенита, сфалерита), требуют тонкого измельчения (97–98%, класс –0,044 мм) и, соответственно, повышенных энергетических и материальных затрат. Извлечение металлов низкое — Pb 56,3%, Zn 85,2%. Качество концентратов также низкое — содержание Pb в свинцовом концентрате 45,86%, Zn в цинковом — 47,04%, что существенно ниже требований к экспортной продукции (60–65% и более). Пиритный продукт по содержанию вредных примесей некондиционен — Pb 0,53%, Zn 1,22% (в сумме 1,75% при требованиях не более 1,5%).

Суммируя изложенное, авторы считают, что для создания рациональных условий использования минерально-сырьевого потенциала Озерного месторождения необходимо следующее.

1. Внедрение с первых дней работы ГОКа рентгенорадиометрических методов предварительного обогащения, особенно эффективных, как показали результаты технологического картирования руд, на бедных рудах, залегающих у поверхности.

2. Развитие направления, заложенного в 1995 г. ЦНИГРИ для переработки окисленных руд, — технологии кучного выщелачивания (И.А.Карпенко, Н.И.Королев и др., 1995 г.).

В настоящее время во многих добывающих цветные металлы странах мира (Чили, ЮАР, Испа-

4. Техничко-экономические показатели за первый период освоения месторождений Озерное и Холоднинское по оценке ЦНИГРИ на 01.01.2006 г.

Показатели	Озерное	Холоднинское	
		Бортовое содержание 3%	Бортовое содержание 4%
Годовая мощность предприятия, млн. т: рудника (карьера) обогатительной фабрики	6,0	2,9	2,1
	4,3	1,9	1,5
Кучное выщелачивание, млн. т	1,0 (первые 6 лет)	-	-
Содержание полезных компонентов в запасах, %:	Окисленная руда		
	Смешанная + первичная руда		
Zn	2,15	4,76	6,52
Pb	0,45	0,86	1,13
Годовой объем товарной продукции: свинцовый концентрат, тыс. т	60,6	43,5	37,2
	%	45,8	46,8
в нем Pb, тыс. т	27,9	20,4	17,4
цинковый концентрат, тыс. т	521,8	265,6	235,6
	%	47	57,2
в нем Zn, тыс. т	245,2	151,9	134,8
пиритный концентрат, тыс. т	1753	660	493,5
	%	40,7	47,3
щебень, млн. м ³	1,0	-	-
Au, кг	437,4	-	-
Годовая стоимость товарной продукции, млн. дол.: свинцовый+цинковый концентраты	287	187	166
	305	194	171
	316	-	-
Извлекаемая ценность 1 т руды, дол.: свинцовый+цинковый концентраты	47,8	64,5	79,0
	50,8	66,9	81,4
	52,7	-	-
свинцовый+цинковый+пиритный концентраты			
вся получаемая продукция			
Полная себестоимость 1 т руды, дол.	23,8	43,4	48,7
Капитальные вложения ГОКа, млн. дол.	420	350	320
Срок строительства, лет	4-5	4	4
Срок окупаемости капитальных вложений после выхода предприятия на проектную мощность, лет	3-4	5-6	5-6
Затраты на единицу товарной продукции, ед.	0,50	0,67	0,62

ния, Монголия, Намибия) широко распространена технология выщелачивания («экстракции») и электролиза (Solvent Extraction Electrowinning – SX-EW). Технология применяется для извлечения из руды меди, цинка с получением (при электролизе) первичного рафинированного металла. Последний имеет высокое качество, сопоставимое с требованиями, предъявляемыми к сорту особо высококачественного металла. Во всем мире в настоящее время с применением данной технологии производится около 20% Cu, в том числе из бедных руд, отвалов рудников, отходов обогатительных фабрик.

В Намибии англо-американской компанией *Skorpion zink* по описанной технологии в 2003 г. построен комплекс производительностью 150 тыс. т Zn в год. В конце 2004 г. предприятие предполагает освоить 95% капитальных вложений и производить 119,2 тыс. т Zn ежегодно с извлечением 89,9%.

В настоящее время аналогичная технология успешно реализуется на Удоканском медном месторождении. В результате переработки данным способом около 15 тыс. т руды на опытно-промышленной установке непосредственно на месторождении получена медь высокой чистоты.

Данная технология может быть применена на Озерном месторождении для переработки окисленных и смешанных, вкрапленных и брекчиевых первичных руд, доля которых составляет 30%, различных продуктов радиометрического обогащения (отсев, отходы). Объем перерабатываемой флотационным способом продукции с выпуском свинцового и цинкового концентратов в этом случае на обогатительной фабрике составит не более 3,0 млн. т, т.е. 50% от объема добычи. Остальная продукция может перерабатываться по технологии «экстракция-электролиз» с получением на месторождении особо чистых металлических свинца и цинка. При этом будет повышено общее сквозное извлечение этих металлов.

Учитывая перспективность данного метода, необходимо при подготовке месторождения к промышленному освоению провести соответствующие исследования и при положительных результатах внедрить данную технологическую схему.

3. Совершенствование кондиций и расширение сырьевой базы. Кондиции по Озерному месторождению утверждены еще в 1969 г. для подсчета балансовых запасов первичных колчеданно-полиметаллических руд при бортовом содержании условного цинка 2% и пересчетном коэффициенте содержания свинца в условный цинк 1,2. В соответствии с современными ценами на эти металлы для ранее принятой флотационной технологии обогащения пересчетный коэффициент в настоящее время равен 0,4, в связи с чем прежние кондиции должны быть пересмотрены.

Применение рекомендуемых технологий (радиометрического обогащения, кучного выщелачивания и др.), учет новых цен и затрат приведут к необходимости уточнения остальных параметров кондиций для первичных руд.

В связи с новыми технологиями следует посчитать и поставить на баланс запасы бедных свинцово-цинковых руд (при содержании Pb и Zn от 2 до 1–0,7%), которые должны рассматриваться как попутно добываемые. В последнем случае такой подход, в частности, по золоторудному месторождению Сухой Лог позволил подсчитать около 30% запасов золота дополнительно к утвержденным и с учетом применения прогрессивных технологий переработки технико-экономическими расчетами обосновать их балансовую принадлежность. За счет попутной добычи и переработки бедных колчеданно-полиметаллических руд (в интервале содержаний 2–0,7%) может быть получено 20–25% товарной стоимости в свинцовых и цинковых концентратах.

Как отмечалось выше, на месторождении выявлены окисленные золотосодержащие, баритовые

и сидеритовые руды, не получившие геолого-экономической оценки. Укрупненная экспертная оценка показывает, что при разработке месторождения можно дополнительно получать ежегодно около 250 тыс. т баритового концентрата и 1,0–1,4 млн. т сидеритового обожженного (КОС) с содержанием Fe в нем 48%. При минимальных на конец 2005 г. ценах на эту продукцию (60 дол. за 1 т баритового концентрата и 21 дол. за 1 т КОС) суммарная дополнительная стоимость товарной продукции составит около 45 млн. дол. в год. С учетом ранее принятой в ТЭО ЦНИГРИ стоимости золота и цинка из окисленных руд и щебня из пород вскрыши общий объем только попутной продукции составит 56 млн. дол. — около 20% дополнительно к товарной стоимости свинцового и цинкового концентратов.

Таким образом, при реализации намеченных предложений возможно получение дополнительно 40–45% товарной продукции при самой низкой себестоимости, что резко повысит рыночную стоимость месторождения.

4. Наряду с Озерным месторождением, в пределах рудного узла выявлено еще пять полиметаллических — Назаровское, Ульзутуйское, Звездное, Майское и Солнечное (Г.И.Дорошкевич, 1990 г.) (рис. 2). Степень их разведанности соответствует стадии поисково-оценочных работ. В связи с намечаемым освоением Озерного месторождения встает вопрос о доизучении этих месторождений и их геолого-экономической оценке как дополнительной сырьевой базы Озерного ГОКа, на основании которой может разрабатываться последовательность их промышленного освоения. Представляется, что Ульзутуйское месторождение, исходя из масштаба его запасов и условий отработки (открытый способ), по очередности разработки предпочтительнее Назаровского (см. табл. 3).

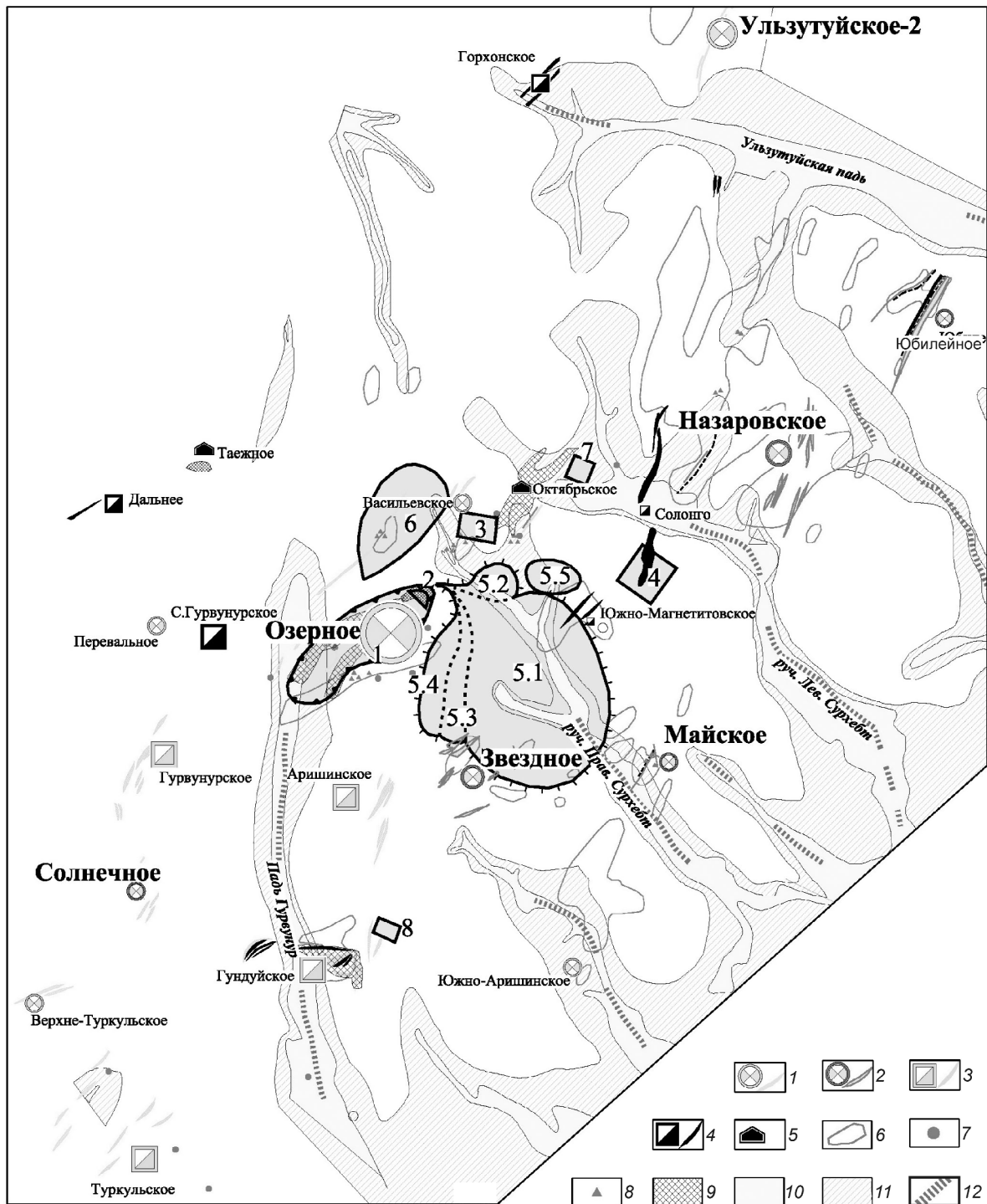
Актуальность проблемы своевременного доизучения и геолого-экономической оценки рудного узла становится очевидной, если учесть, что ряд месторождений (Звездное, Майское, а также железорудные месторождения Солонго, Аришинское, Марганцевое, Октябрьское и др.) располагаются на флангах Озерного и могут быть погребены под отвалами пород вскрыши и других отходов производства или заняты сооружениями строящегося ГОКа, что впоследствии может вызвать осложнения и дополнительные затраты.

При рассмотрении вопроса безрудности площадок под объектами ГОКа следует также учитывать потенциальную и установленную золотоносность аллювиально-делювиальных отложений и кор выветривания рудного узла (см. рис. 2).

Перспективы россыпной золотоносности были обоснованы И.А.Карпенко, Г.И.Дорошкевичем, А.Г.Петрашем в проекте по обоснованию поисково-оценочных работ на золото на площади Озернинского рудного узла в 2001 г. В том же году при выполнении полевых работ по проекту А.Г.Петрашем, Н.М.Ивановым проведено шлиховое лотковое

опробование руслового аллювия, ранее пройденных канав, траншей и строительного карьера и установлена россыпная золотоносность рыхлых отложений.

В настоящее время часть запасов россыпного золота силами старательских артелей на отдельных участках разведана по категориям C_1 и C_2 ; при



опытно-промышленной эксплуатации добыто 150 кг золота.

Таким образом, проблемы рационального недропользования на территории Озерного месторождения должны решаться на основе его доизучения и глубокой геолого-экономической оценки. При этом учитываются комплексный характер месторождения с технологически сложными для переработки рудами, внедрение передовых технологий, обеспечивающих полное наиболее высокое извлечение всех металлов (Pb, Zn, Ag, Cd, Au) и полезных компонентов (серы, сидеритовых и баритовых руд, скальных пород вскрыши).

Соответствующая работа должна быть выполнена до начала промышленного освоения месторождения с постановкой на государственный баланс перечисленных видов минерального сырья на основе соответствующих кондиций, обоснованных результатами научно-исследовательских и опытно-промышленных работ.

Колчеданное свинцово-цинковое *Холоднинское месторождение*, как и Озерное, уникально по масштабу. Однако существенно отличается от последнего по ряду принципиальных позиций. Месторождение располагается в пределах первой охранной зоны оз. Байкал, характеризуется низким качеством руд в утвержденных ГКЗ СССР в 1985 г. запасах, неблагоприятными условиями разработки.

Расчет технико-экономических показателей его освоения и определение оптимальных параметров кондиций для подсчета запасов выполнен Читинским филиалом ВНИПИГОРцветмет и рассмотрен ГКЗ СССР в 1984 г. Проект учитывал комбинированный способ разработки месторождения: верхней части до отметки +850 м (250–300 м от дневной поверхности) — открытым способом (около 20% запасов руды и 15% запасов свинца и цинка) в течение 18 лет, нижней — подземным. Производительность рудника 6,5 и 6 млн. т руды в год соответственно. Оценка месторождения выполнена по про-

дукции металлургического передела, так как при расчете на концентрат освоение месторождения при заданных в проекте условиях становилось убыточно. Срок окупаемости капитальных вложений в целом (открытый и подземный способы разработки) определен в 32,5 года при сроке обеспеченности запасами 45 лет, в том числе для открытого способа разработки — 24 года при обеспеченности запасами 18 лет.

Таким образом, числящееся на госбалансе Холоднинское месторождение с запасами, утвержденными ГКЗ СССР в 1985 г., не представляет промышленного интереса и не обладает инвестиционной привлекательностью. Освоение по ранее принятым решениям экономически нецелесообразно и экологически недопустимо.

Анализ результатов оценки Холоднинского месторождения показывает, что низкая рентабельность его разработки обусловлена, прежде всего, низким качеством руд, что предопределено несовершенством принятых при подсчете запасов кондиций.

Решения о вскрытии и разработке месторождения, а также переработке руд, заложенные в ТЭО 1984 года, недостаточно проработаны с позиций требований к охране природной среды. Реализация открытого способа разработки приведет, помимо нарушения ландшафта, к изъятию значительных площадей земель под карьер, отвалы пород и руд. Появится угроза интенсивного загрязнения местности при буровзрывных работах отвалами минерализованных пород и руд, кислотными подотвальными водами, сброс которых будет осуществляться в р. Холодная и далее в оз. Байкал, работой автотранспорта и др. Детальная оценка воздействия разработки Холоднинского месторождения на состояние природной среды, выполненная ФГУП СБ ГРЭ в 2002 г., свидетельствует о неприемлемости открытого способа с позиции охраны среды в условиях оз. Байкал (Н.В.Рыболов, Е.А.Шимбаев и др., 2002 г.).

Рис. 2. Взаимоотношение сооружений Озерного ГОКа и рудных площадей:

рудно-формационные типы оруденения: 1 — колчеданно-полиметаллический слабо золотоносный, 2 — полиметаллический золотоносный, 3 — медно-магнетит-скарновый золотоносный (линзовые, жиллообразные залежи); 4 — магнетит-(гематит, сидерит)-сульфидно-скарновый золотоносный; 5 — залежи окисленных железных, железо-марганцевых руд слабо золотоносных; 6 — вторичные ореолы золота; 7 — аномальные содержания золота в гидрохимических пробах; 8 — места отбора штучных проб с содержаниями золота; 9 — площадные коры выветривания — «железные» шляпы; 10 — аллювиальные отложения (суглинки с гальками и гравием, галечники с суглинистым заполнением); 11 — нерасчлененные аллювиально-пролювиально-делювиальные отложения (суглинки с дресвой и глыбами, щебенисто-глыбовые осадки с дресвяно-песчано-глинистым заполнением); 12 — шлиховые ореолы и россыпи золота; объекты промплощадок Озерного месторождения: 1 — карьер Озерного месторождения, 2 — рудоконтрольная станция (РКС), 3 — промплощадка Озерного рудника, 4 — обогатительная фабрика; 5 — отвалы: 5.1 — пустых пород, 5.2 — отходов РКС, 5.3 — строительного камня, 5.4 — сидеритовых руд, 5.5 — минерализованных (баритовых) пород; 6 — площадка кучного выщелачивания окисленных руд и промпродуктов РКС первичных и смешанных руд; 7 — дробильно-щебеночный завод; 8 — склад ВВ

Вместе с тем, имеются следующие предпосылки для промышленного освоения Холоднинского месторождения.

1. Уникальные масштабы и большие добычные возможности месторождения, позволяющие решать на его базе вопросы удовлетворения внутренней и экспортной потребности России в свинце и цинке в настоящее время, на ближнюю и дальнюю перспективы (см. табл. 1).

2. Необходимость развития производительных сил и экономического потенциала Восточной Сибири и интенсификации хозяйственной деятельности в зоне БАМ. На сегодняшний день доходы от эксплуатации БАМ покрывают менее 50% затрат на содержание дороги. Только Министерству путей сообщения БАМ приносит прямые убытки в размере более 1 млрд. руб. в год. Вместе с тем, транспортировка грузов по БАМ от Тайшета до Тынды сокращает время перевозки на 5 ч в сравнении с аналогичным маршрутом по Транссибу за счет сокращения расстояния на 490–500 км.

3. Положение месторождения на трассе БАМ благоприятно для экспорта его продукции в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, которые характеризуются стабильно высокими темпами промышленного развития, опережающими другие регионы мира по темпам роста потребления свинца и цинка в связи с интенсивным развитием автомобильной и смежных отраслей промышленности.

Условием востребованности запасов Холоднинского месторождения может стать доказательство экономической эффективности его освоения с учетом положения объекта в буферной экологической зоне Байкальской природной территории, в пределах которой хозяйственная деятельность жестко регламентирована. С этих позиций ЦНИГРИ совместно со специалистами ГИРЕДМЕТА, ВИМСА, ФГУП СБ ГРЭ, Геолкома Республики Бурятия выполнена полная геолого-экономическая переоценка месторождения (И.А.Карпенко, А.П.Пчельников, Н.Г.Петраш и др., 2002 г.).

В связи с положением месторождения в буферной экологической зоне Байкальской природной территории вопросы охраны окружающей среды были приоритетными при выработке решений по освоению месторождения. Большинство решений принято исходя из необходимости минимизации негативных последствий разработки месторождения на состояние окружающей среды, несмотря на дополнительные затраты, неизбежно возникающие при этом. Основными из предложенных решений авторы считают следующие:

отказ от открытого способа разработки месторождения в пользу подземного;

сокращение объемов добычи руды с 6,0 до 2,1–2,9 млн. т в год, что снизит в целом нагрузки на природную среду;

применение подземного способа разработки при минимальном количестве вскрывающих выработок;

отработка запасов системами с последующей закладкой выработанного пространства. Закладку выработанного пространства планируется производить породой от проходки, хвостами рентгенометрической сепарации, хвостами обогатительной фабрики (класс +0,04 мм), что позволит сохранить поверхность (рельеф, ландшафт) от обрушения и загрязнения отходами рудника и обогатительной фабрики;

создание временного охранного целика до глубины 30–50 м от дневной поверхности, препятствующего нарушению ландшафта дневной поверхности и проникновению атмосферных осадков в отработываемое пространство;

применение предварительного обогащения на основе экологически чистых физических методов обогащения (рентгенометрической сепарации), что позволит уменьшить габариты фабрики, объемы водо-, энерго-, теплотребления и хвостов флотации;

размещение промплощадок рудника на удалении от р. Холодная;

размещение хвостохранилища за пределами буферной экологической зоны оз. Байкал;

установка специальных фильтров на выходах исходящей струи шахтного воздуха, строительство очистных сооружений, рекультивация, мониторинг окружающей среды и др.

Основные итоговые результаты по оценке влияния разработки месторождения на состояние окружающей среды в сравнении с решениями ТЭО-1984 представлены в табл. 5.

Для обеспечения экономической эффективности освоения Холоднинского месторождения предложены и реализованы следующие решения.

1. Повышение качества добываемой руды. Данная задача решалась по нескольким направлениям — совершенствование кондиций, снижение потерь и разубоживания, применение предварительного обогащения руд.

За счет повышения бортового содержания цинка при оконтуривании рудных тел содержание суммы свинца и цинка в запасах возрастает на участке отработки первой очереди с 4,30 до 7,65–8,9%, т.е. в 1,8–2,1 раза.

Применение подземного способа разработки с полной закладкой выработанного пространства позволило снизить потери и разубоживание на 20%

5. Сравнительные физические показатели воздействия на окружающую среду

Объект	ТЭО-1984	ТЭО-2002
Площади изымаемых земель для строительства и эксплуатации, га:	2180,0	735,0
отвалы	170,0	6,6
промплощадка	96,0	7,9
прирельсовая база и автоуклон	88,0	5,0
хвостохранилище	620,0	170,0
Выбросы вредных веществ в атмосферу, т/год:	29 913,0	248,0
подземные горные работы+отвалы		7,6
карьер+отвалы	3400,0	11,8
котельная	7655,0	211,0
Отходы:		
отвалы вскрыши (рудный и известняковый карьеры), тыс. м ³ /год	11 500,0	83,0
хвосты обогатительной фабрики, тыс. т/год	4008,0	1042,0
шахтные воды, млн. м ³ /год		3,9
отходы автотранспорта (шины, аккумуляторы), т/год	1413,0	705,0

в сравнении с ТЭО-1984, что также способствовало сохранению качества руд в запасах.

В технологию переработки свинцово-цинковых руд месторождения введена стадия предварительного обогащения товарной руды радиометрическим методом, что позволит вывести в отвальный продукт 25–29% слабоминерализованной породы и повысить содержание свинца и цинка в 1,26–1,33 раза в обогащенном продукте, подаваемом на глубокое обогащение.

2. Поэтапное освоение месторождения. Масштабы месторождения обеспечивают работу предприятия на срок 80 лет и более. По ТЭО-2002 технически возможно увеличение производительности в 2–2,5 раза путем ввода в эксплуатацию участков первой и второй очередей одновременно. Вместе с тем, единовременное строительство предприятия на максимально возможную производительность в

настоящее время лимитируется чрезмерной нагрузкой на окружающую среду, объемом потребности в свинце и цинке, размером капитальных вложений, длительными сроками строительства предприятия, что ухудшит технико-экономические показатели в первый период. Поэтому в проекте 2002 года рассматривается поэтапное освоение месторождения с учетом условий залегания запасов, степени их разведанности и возможности последовательного развития предприятия. По этим признакам на месторождении выделены участки освоения первой, второй и третьей очередей (рис. 3), запасы руд в которых составляют 26, 44 и 30% соответственно.

Участок отработки первой очереди имеет более благоприятные условия залегания рудных тел, достаточно большие запасы руды — обеспеченность на 22 года при положительных технико-экономических показателях (см. табл. 4).



Рис. 3. Схема очередности освоения Холоднинского месторождения с учетом условий залегания и распределения запасов:

контуры запасов: 1 — утвержденных ГКЗ СССР 29.03.85 категории В+С₁+С₂, 2 — подсчитанных по результатам поисково-оценочных работ (вне контуров утвержденных ГКЗ СССР) категории С₁+С₂, 3 — принятых для составления ТЭО в 2002 г.; 4 — контур карьера по ТЭО-1984

Таким образом, разработка Холоднинского месторождения в соответствии с выполненным проектом будет экономически эффективна уже на стадии реализации свинцового и цинкового концентратов.

Разработка ТЭО-2002 осуществлена в период самых низких за 15 лет (с 1987 г.) цен на свинец и цинк, которые составили по Pb 460 дол., Zn — 772 дол. за 1 т. После 2002 г. начался интенсивный рост цен на металлы (рис. 4). Стало целесообразно решать вопрос о корректировке бортового содержания цинка в сторону снижения и вовлечения в отработку части запасов, ранее отнесенных к забалансовым. Поскольку колебания цен в современной экономике перманентны, соответствующие корректировки необходимо осуществлять постоянно, соблюдая баланс денежных потоков, корректируя налоговую составляющую предприятия.

В соответствии с изложенной концепцией для определения реальной рыночной стоимости и условий безопасного для окружающей среды промышленного освоения Холоднинского месторождения необходимо осуществить его переоценку, утвердить новые кондиции и запасы.

3. Переработка концентратов. Эффективность освоения рассмотренных месторождений может существенно повыситься при организации метал-

лургической переработки свинцовых и цинковых концентратов в этом же регионе. Высокая обеспеченность детально разведанными запасами (многие десятки лет) рассматриваемых месторождений, а также положительная прогнозная оценка перспектив выявления новых свинцово-цинковых месторождений в этом регионе, включая месторождения с более богатыми рудами, гарантируют стабильную загрузку металлургических заводов на длительный период (до 100 лет и более).

Образовалась диспропорция в размещении сырьевой базы и перерабатывающих предприятий: практически все запасы неразрабатываемых месторождений располагаются в восточных регионах России, основные металлургические предприятия по переработке свинцовых и цинковых концентратов (Челябинский, Владикавказский заводы) — в западных и центральных районах. Мощности действующих металлургических заводов по производству свинца и цинка обеспечены местными или импортными производителями и недостаточны для обеспечения перспективной потребности России в этих металлах (см. рис. 1). В этой связи переработку свинцовых и цинковых концентратов предлагается осуществлять в районе г. Тайшет, который географически находится в «центре тяжести» запасов месторождений Сибирского Федерального округа — Горевского свинцово-цинкового (Красноярский край), Корбалихинского и Рубцовского (Алтайский край), Кызыл-Таштыгского (Республика Тыва), Озерного и Холоднинского (Республика Бурятия), Нерчинского ПМК (Читинская область).

Площадка в районе г. Тайшет попадает на участок сочленения крупнейших железнодорожных магистралей — Транссибирской и БАМ, обеспечена электроэнергией генерирующих станций и сетей Иркутской области и Красноярского края, квалифицированной рабочей силой, характеризуется достаточно благоприятными для России природно-климатическими условиями. Создание производств по глубокой переработке сырья цветных металлов — наиболее эффективное решение для развития экономики этого региона. Реализация его будет способствовать вовлечению в эксплуатацию более мелких месторождений Сибири.

По оценке специалистов-металлургов для эффективной работы минимальная мощность свинцового завода должна быть 100 тыс. т и более рафинированного свинца в год, цинкового завода — более 200 тыс. т металлического цинка в год.

Республика Бурятия отличается благоприятным геополитическим положением, обладает уникальной по масштабу и разнообразию ликвидных и

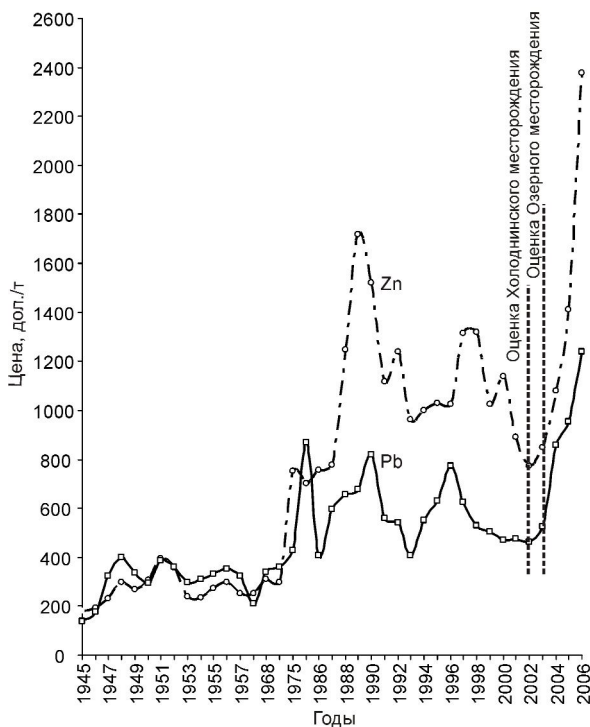


Рис. 4. Динамика среднегодовых цен на свинец и цинк

дефицитных видов полезных ископаемых минерально-сырьевой базой. Это определяет существенные ее преимущества перед другими регионами России. Свинцово-цинковые месторождения республики по извлекаемой ценности занимают лидирующее положение. Их потенциал, как следует из представленных материалов, существенно недооценен. Поэтому комплексная оценка минерально-

сырьевой базы с целью определения ее современной полной рыночной стоимости и на этой основе оптимальных условий недропользования — главная задача администрации республики. Авторы предлагают свое видение основных направлений и путей решения этой задачи, включая вопросы охраны окружающей среды.

УДК 553.411 (571.61/.62)

© А.Е.Пересторонин, В.А.Степанов, 2007

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТИПЫ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРИАМУРЬЕ

А.Е.Пересторонин (ФГУГП «Амургеология»), В.А.Степанов (НИГТЦ Камчатского НЦ ДВО РАН)

Рассмотрены типы золото-сульфидных месторождений Приамурья. Показана тесная взаимосвязь золото-сульфидного и золото-кварцевого оруденений, локализованных в единых рудных полях и месторождениях. Приведены геолого-геофизические модели типовых золото-сульфидных месторождений, а также данные, свидетельствующие о высоких перспективах Приамурья на золото-сульфидное оруденение.

В Приамурье широко известны золото-кварцевые месторождения различных генетических типов, выявленные на ранних стадиях изучения региона. Руды этих месторождений содержат свободное золото и легкообогатимы. Такие месторождения уже длительное время осваиваются золото-добывающей промышленностью, и их ресурсный потенциал близок к истощению. Золото-сульфидные месторождения менее известны, так как относятся к трудно выявляемым из-за наличия неконтрастных руд и зоны окисления. В промышленное освоение они не вовлекались. В других регионах России и за рубежом известны [2, 6] крупные и уникальные месторождения золото-сульфидных руд (Майское, Олимпиада, объекты Карлинского тренда, Сухой Лог). Многие из них эксплуатируются.

Общеизвестно, что золото-сульфидное и золото-кварцевое оруденения обычно соседствуют и

часто находятся в единых месторождениях и рудных полях. Объясняя этот факт, Н.В.Петровская с соавторами [9] утверждают, что в определенных условиях происходит концентрация сернистых соединений металлов, при этом в кварцевых жилах возникают локальные скопления сульфидов, а во вмещающих породах — зоны золотоносных сульфидов, пространственно оторванные от кварцевых жил. А.А.Сидоровым [10] выделен золото-сульфидный ряд рудных формаций, на основе которого разработана схема базовых формаций (зоны золотоносной сульфидизации, обрамляющие очаги гранитизации) для золото-кварцевых объектов. По В.А.Буряку и Ю.И.Бакулину [3], выпадение золота в свободной форме происходит в условиях высокой активности кислорода, поэтому близповерхностные месторождения характеризуются убогосульфидным золото-кварцевым составом руд. Золото в сульфидах отлагается в восстановительной обста-

новке на глубоких уровнях, где существует дефицит кислорода. М.М.Константиновым с соавторами [6] высказана гипотеза о бимодальных оксидно-сульфидных системах. Суть ее в том, что совместное нахождение золото-сульфидных и золото-кварцевых месторождений предполагает существование длительно развивающихся рудообразующих систем, в процессе эволюции которых происходило разделение сульфидных и оксидных составляющих и формирование соответствующих месторождений.

Приамурье располагает значительными прогнозными ресурсами коренного золота. Золотое оруденение размещается в пределах Становой складчато-блоковой, Амуро-Охотской складчатой систем и Буреинского срединного массива (рис. 1). Им соответствуют три золотоносные провинции — Становая, Джагинская и Буреинская [8], в пределах которых золоторудные объекты различного ранга контролируются системами региональных разломов и образуют протяженные пояса (металлогенические зоны).

Гидротермальные золоторудные месторождения Приамурья принадлежат к разнообразным генетическим типам и их сочетаниям (плутоногенному, вулканогенному, метаморфогенному). Формировались они длительное время, основное оруденение относится к позднему мезозою [11].

По содержанию сульфидов и связи с ними золота в рудах месторождения Приамурья относятся к золото-кварцевому убогосульфидному (Покровское, Прогнозное, Буринда), золото-кварцевому малосульфидному (Токур, Харгинское, Унгличиган, Сагур, Бамское, Пионер), золото-кварц-сульфидному (Березитовое, Кировское, Золотая Гора) и золото-сульфидному (Нонинское, Маломирское, Ворошиловское, Колчеданный Утес) типам. На многих месторождениях в той или иной мере имеет место совмещение золото-сульфидной и золото-кварцевой минерализаций, являющихся производными единых золоторудных систем. Так, на нижних горизонтах Бамского месторождения (Северо-Становая зона) наблюдается раннее золото-сульфидное оруденение. На Пионерском рудном поле (Северо-Буреинская зона), наряду с золото-кварцевыми рудами, известны и золото-сульфидные. Для многих золоторудных объектов Селемджино-Кербинской зоны характерно сонахождение золото-кварцевых жил и золото-сульфидных минерализованных зон (Сагур, Токур, Харга, Афанасьевское месторождения, Софийское рудное поле). Потенциал таких зон не оценен и представляется высоким.

Месторождения Маломир и Нони, как наиболее масштабные среди известных золото-сульфид-

ных, выделены в качестве типовых для Приамурья. Они отличаются по генезису и располагаются в различных геотектонических структурах, но обладают рядом сходных черт. Оба имеют аналоги. Для месторождения Маломир это Сухой Лог в Восточной Сибири, Глухое в Приморье, Бадран в Якутии. Ближайшие аналоги месторождения Нони — Малиновское в Приморье и Болотистое в Северном Сихоте-Алине.

Месторождение Маломир (рис. 2) расположено на северо-востоке Амурской области, в западной части Селемджино-Кербинской зоны (см. рис. 1), сложенной палеозойскими углеродистыми толщами (Амуру-Охотская складчатая система). Локализовано в узле пересечения региональных разломов субширотного и субмеридионального простирания. Изучалось В.Н.Лебедевым, К.Ф.Клыжко, А.Е.Пересторониным, В.А.Буряком, А.В.Эйришем, В.Г.Невструевым, С.Г.Парадой и другими исследователями.

Поле силы тяжести на участке рудного поля выражено градиентом, обусловленным экзоконтактной зоной крупного массива гранитоидов мелового возраста. Уровень магнитного поля равномерно пониженный с локальными аномалиями (ΔT до 100 нТл). Региональный уровень электрического сопротивления высокий 15 000–18 000 Ом·м, но непосредственно в пределах Маломирского рудного поля он понижен до 10 000 Ом·м.

Рудовмещающие верхнепалеозойские углеродистые толщи ($C_{\text{орг}}$ 0,2–2,6%) златоустовской свиты метаморфизованы до филлитовой и зеленосланцевой фаций. В их составе выделены нижняя (подрудная), средняя (рудосодержащая) и верхняя (надрудная) пачки. Они представлены (см. рис. 2) соответственно рассланцованными кварцитовидными песчаниками, метакремнями с подчиненными прослоями углеродистых кварц-полевошпат-слюдяных сланцев (C_2zI^1), углеродистыми кварц-полевошпат-слюдяными сланцами, кремнистыми сланцами с прослоями известковисто-глинистых сланцев, известняков, зеленых сланцев (C_2zI^2), углеродистыми кварц-полевошпат-слюдяными сланцами с прослоями метапесчаников (C_2zI^3).

Магматические породы, встречающиеся в пределах рудного поля, разделены на три разновозрастных комплекса:

позднепалеозойский (в составе златоустовской свиты) — метаморфизованные породы основного состава (зеленые сланцы), которые часто служили экранами для рудоносных растворов;

позднепалеозойско-раннемезозойский — динометаморфизованные плагиогранит-порфиры, гранодиорит-порфиры, превращенные в катаклази-

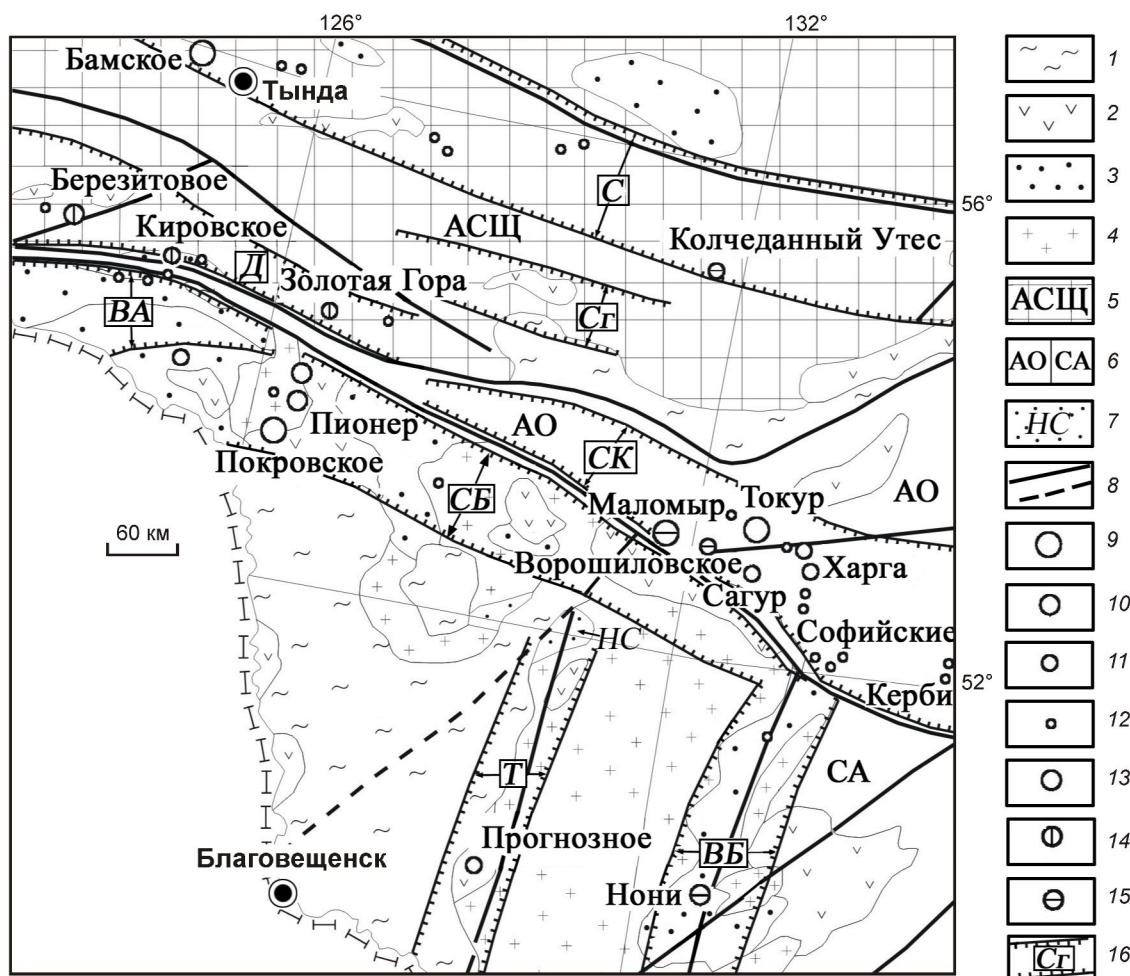


Рис. 1. Схема геолого-структурного районирования и золотоносности Приамурья, по Л.И.Красному и др., 1986, 1999; В.Г.Моисеенко, Л.В.Эйришу, 1996 с дополнениями авторов:

1 — неотектонические рифтогенные впадины, K_2-KZ ; 2 — орогенно-активизационные комплексы и структуры, K_{1-2} ; 3 — система периферических прогибов Алдано-Станового и Амурского геоблоков, PZ, T_3-K_1 ; 4 — выступы фундамента Буреинского срединного массива; 5 — Алдано-Становой щит; 6 — складчатые системы: AO — Амуро-Охотская, PZ, CA — Сихотэ-Алинская, MZ ; 7 — Норско-Сухотинский внутрикратонный прогиб; 8 — региональные разрывные нарушения, в том числе скрытые под рыхлыми отложениями; месторождения золота: 9 — крупные, 10 — средние, 11 — мелкие; 12 — рудопроявления золота; типы месторождений: 13 — золото-кварцевые, 14 — золото-сульфидно-кварцевые, 15 — золото-сульфидные; 16 — металлогенические зоны: C — Северо-Становая, C_2 — Сугд-жарская, D — Джагдинская, BA — Верхнеамурская, CK — Селемджино-Кербинская, CB — Северо-Буреинская, T — Туранская, BB — Восточно-Буреинская

ты, бластомилониты, очковые, гнейсовидные сланцы (златоустовский комплекс), слагающие небольшие в плане тела ($0,5-1 \text{ км}^2$) и часто содержащие золото-сульфидную и золото-кварцевую минерализацию;

раннемеловой — дайки и субвулканические тела диоритовых порфиров, гранодиорит-порфиров, андезитов (унериканский комплекс), в дайках изредка встречается убогая золото-серебряная минерализация.

Структура рудного поля определяется субширотной складчатостью и взаимопересекающимися

разломами различных порядков. Главные зоны разломов (см. рис. 2): широтная крутопадающая (вдоль р. Маломыр на севере рудного поля), меридиональная крутопадающая (вдоль р. Нижняя Стойба на западе рудного поля), северо-восточная пологопадающая (Диагональная). Оруденение локализуется в блоке, ограниченном вышеуказанными зонами, при этом главное рудовмещающее значение имеет Диагональная мощностью $100-300 \text{ м}$. Она представлена серией сближенных зон катаклаза и дробления, падающих на северо-запад под углами $15-30^\circ$. В всячем боку к ней причленяется

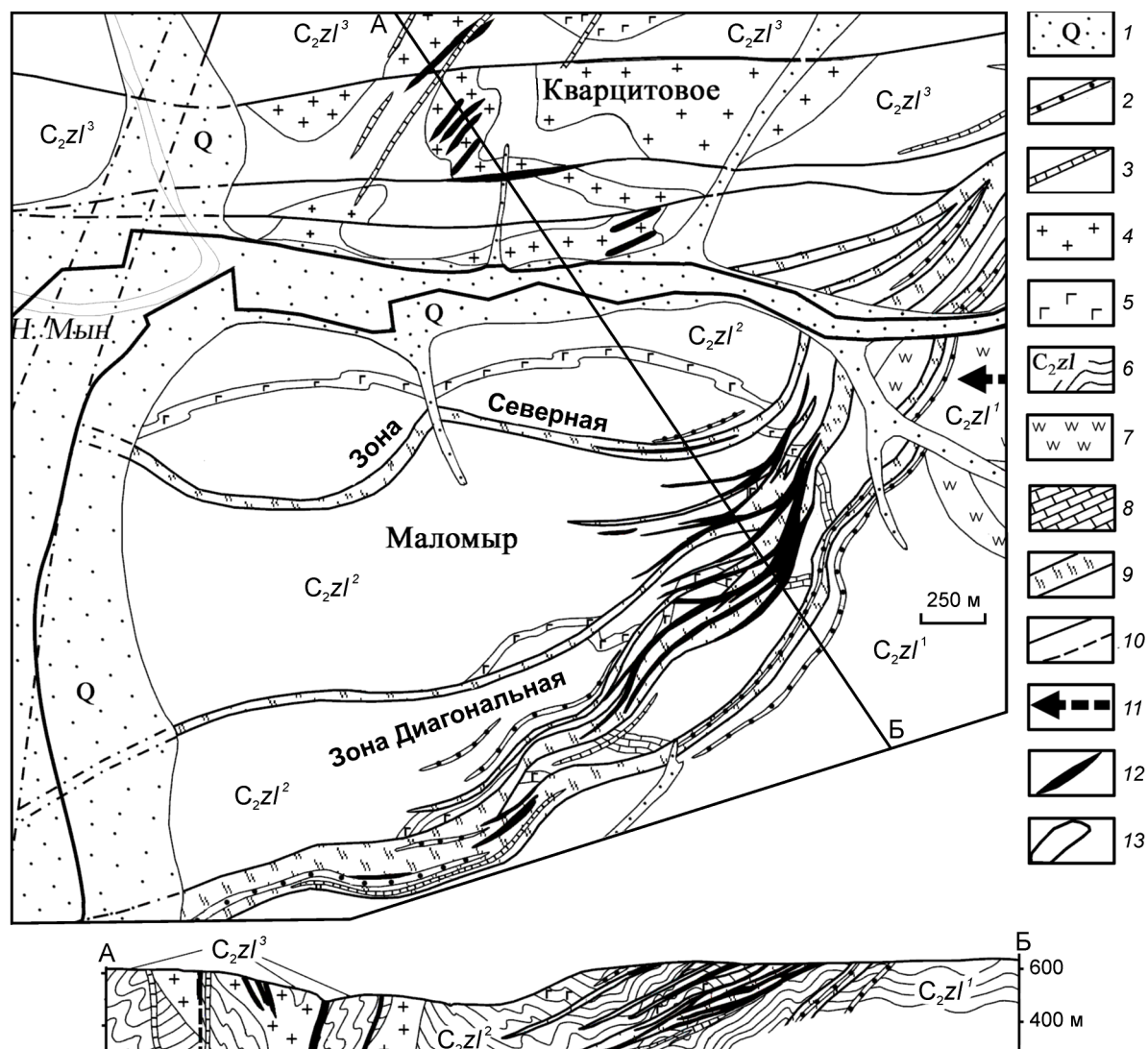


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Маломирского рудного поля, по К.Ф.Клыжко, 1982; А.Е.Пересторону, 1993; И.Ю.Громаковскому, 2001:

1 — аллювиальные отложения; 2 — дайки гранодиорит-порфиров, K_1 ; 3 — дайки диоритовых порфиров, андезитов, K_1 ; 4 — плагиигранит-порфиры, гранодиорит-порфиры, PZ_3-J_1 ; 5 — метагаббро, PZ_3 ; 6 — златоустовская свита (углеродистые кварц-полевошпат-слюдяные, известковисто-глинистые сланцы, метапесчаники, зеленые сланцы, известняки, кварцитовидные сланцы); 7 — горизонты кварцитовидных сланцев; 8 — горизонты известняков; 9 — зоны дробления, катаклаза, вкрапленной сульфидизации; 10 — прочие разрывные нарушения, в том числе скрытые под рыхлыми отложениями; 11 — осевая плоскость Маломирской антиклинали; 12 — золото-сульфидные залежи; 13 — контур россыпи

широко ориентированная, меньшая по масштабу Северная зона.

По кинематической природе Диагональная зона это система сопряженных чешуйчатых взбросо-сдвигов (надвигов), диагонально пересекающих западное замыкание Маломирской антиклинали первого порядка (см. рис. 2). На этом участке вмещающие толщи осложнены складчатостью мелких порядков с крутым падением крыльев ($40-90^\circ$), гете-

рогенная по составу средняя пачка златоустовской свиты сменяется более однородной верхней. К этой части и приурочено главное золото-сульфидное оруденение.

Среди метасоматических изменений выделяются следующие:

окварцевание разной степени интенсивности (от слабого до кварцитов, состоящих из кварца с примесью альбита и серицита) охватывает весь

объем рудного поля. Окварцованные породы иногда содержат вкрапленность пирита и обычно слабо золотоносны;

березитизация развита преимущественно вдоль зон разрывных нарушений. Полнопроявленные серицит-кварцевые, серицит-карбонат-кварцевые березиты встречаются в пределах Диагональной зоны. Они содержат тонкую вкрапленность арсенопирита и пирита. Содержания Au в березитах составляют $0,0n-0,1n$ г/т, As — $0,0n-0,1n\%$;

кварц-альбитовые метасоматиты (Na 4–9%) распространены несколько севернее Диагональной зоны, а также на глубоких горизонтах, в ее висячем боку. Состоят из агрегата кварца и альбита с импрегнациями арсенопирита. Содержат Au $0,0n-1$ г/т, As $0,0n-0,1n\%$;

кварц-адуляровые метасоматиты (K 4–9%) пространственно тяготеют к верхним частям Диагональной зоны и сопряжены с поздними стадиями рудообразования. Содержат вкрапленность пирита и арсенопирита. Состоят из переменных количеств адуляра (20–70%), кварца и серицита. Содержат Au $0,1n-1,5$ г/т, As $0,1n\%$, Ag $0,1n-5$ г/т.

Кварцевые прожилки нескольких генераций, секущие измененные породы, часто содержат сульфиды, в том числе и золотоносные. Кварцевые жилы мощностью $0,3-1,5$ м, обычно слабо золотоносны (Au $0,0n-0,1n$ г/т, редко до 2 г/т).

Золото-сульфидное оруденение приурочено к зонам максимальной метасоматической проработки с наложенной сульфидно-кварц-прожилковой минерализацией. Сульфиды (2–5%) в таких зонах развиваются в виде тонких и мелких вкраплений, линзовидных прожилков. Оруденение имеет прожилково-вкрапленный и вкрапленно-брекчиевый характер. Рудные тела локализуются в катаклазированных осадочно-метаморфических породах Диагональной тектонической зоны (месторождение Маломир) и в катаклазированных гранитоидах (месторождение Кварцитовое).

Для месторождения Маломир характерны пологое падение рудных тел, сложная, ветвящаяся их форма и относительно равномерное распределение золота. Протяженность рудных тел по простира-

нию и падению от 150 до 1000 м, мощность до 28 м, средняя — 5 м. Содержания Au от десятых долей грамм на 1 т до 15 г/т (среднее 2,2 г/т).

Месторождение Кварцитовое расположено в 1,5–2 км севернее месторождения Маломир. Крутопадающие золотоносные прожилково-вкрапленные зоны сосредоточены в хрупких гранитоидах, прорывающих пластичные сланцы. Форма рудных тел близка к небольшим линзам и залежам изменчивой мощности. Протяженность их первые десятки метров до 300 м, мощность до 9,5 м. Содержания Au от $0,1n$ до 15 г/т, среднее 2,4 г/т. Распределение золота более неравномерное, чем на месторождении Маломир.

Вещественный состав руд относительно простой. Руды представлены сульфидизированными брекчиями и катаклазитами кварц-альбитовых, серицит-кварцевых, кварц-адуляровых метасоматитов с наложенным тонкопрожилковым кварцем нескольких генераций. Наиболее продуктивен серый тонкозернистый кварц с тонко распыленными в нем золотоносными сульфидами. Кроме этого, выделяется поздний крупнозернистый сереброносный кварц (с аргентитом), развитый в зонах кварц-адулярового метасоматоза. Выделены три стадии рудообразования: золото-сульфидная, золото-кварцевая и золото-серебряная. Первая стадия разделена на две подстадии: раннюю золото-пирит-арсенопиритовую и позднюю золото-кварц-пирит-арсенопиритовую. Рудные минералы на 95–99% представлены пиритом и арсенопиритом двух генераций. Прочие рудные минералы (халькопирит, галенит, сфалерит, шеелит, блеклая руда, аргентит) находятся в резко подчиненном количестве.

Геохимический тип руд — золото-мышьяковый, серебросодержащий. Наиболее высокие содержания Ag достигают 57 г/т, As — первые проценты. Обнаружены платина и палладий [4]. Средний состав руд приведен в табл. 1.

Золото месторождения Маломир имеет преобладающий размер в тысячные доли миллиметра и менее (фазовый анализ проводился в ДВИМСе, ЦНИГРИ). Оно заключено главным образом в арсенопирите и пирите, частично — в кварце. В первич-

1. Средний состав руд Маломирского рудного поля, г/т

Объекты	Число проб	Au*	Ag	Pt**	Pd	W	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Sn	Mo
Маломир	218	2,4	3,5	0,5–10,0	0,2–7,1	47	72	63	48	2950	17	1,7	1,4
Кварцитовое	45	4,5	4,5			15	44	35	29	2150	3	5	2,5

*Au и Ag — атомная абсорбция, остальные элементы — спектральный анализ (лаборатория ПГО «Таежгеология»).

**Pt и Pd определены в Томском политехническом институте инверсионно-вольтамперметрическим методом.

ных рудах доля тонкодисперсного золота составляет в среднем 76%. На месторождении Кварцитовое преобладает золото размером в сотые доли миллиметра, а средняя доля тонкодисперсного — 42%. Это связано с более широким развитием золото-кварцевой минерализации. Проба золота колеблется от 780 до 880, кроме Ag в нем установлены примеси Fe, Mn, Cu, As и Hg.

Зона окисления имеет мощность 5–15 м от поверхности. Содержания Au в зоне окисления обычно в 1,5–2 раза выше, чем в первичных рудах, а доля тонкодисперсного золота в среднем составляет 30,5%, соответственно, доля свободного более высокая.

По генезису Маломырское рудное поле рассматривается как длительно развивавшаяся конседиментационно-метаморфогенно-магматогенная рудная система, локализованная в экзоконтакте крупного гранитоидного плутона. Рудное поле можно представить и как полигенно-полихронную эндогенно-экзогенную рудноэнергетическую систему [7]. Намечается минимум три этапа рудообразования: гидротермально-осадочный (PZ₃), метаморфогенно-гидротермальный позднекладчатый (PZ₃-MZ₁) и плутоногенно-вулканогенно-гидротермальный (K₁). Месторождение Маломыр отнесено к сухоложскому золото-сульфидному типу формации «черных» сланцев [4] с особенностями, позволяющими рассматривать его как менее глубинную разновидность этого типа. Основная масса золота связана с сульфидами, хотя на некоторых участках рудного поля в большей мере проявлена золото-кварцевая минерализация со свободным золотом (месторождение Кварцитовое).

Месторождение Нони (рис. 3; см. рис. 1) расположено в юго-западной части Хабаровского края. Изучалось А.И.Лобовым, А.Е.Пересторониным, В.А.Буряком [5] и другими исследователями. Месторождение локализовано в зоне северо-восточных и меридиональных глубинных разломов Восточно-Буреинской металлогенической зоны. Оно приурочено к южному сегменту Нонинской интрузивно-купольной структуры (ИКС), принадлежащей раннемеловому иороханскому магматическому комплексу габбро-диорит-гранодиоритовой формации и локализованной в южной части мезозойского Буреинского прогиба. Интрузивно-купольная структура расположена несколько юго-западнее Баджальской вулканической зоны и отделена от нее выступом фундамента.

В гравитационном поле месторождение Нони находится в зоне градиента, разграничивающего различные по составу блоки фундамента (гранит-метаморфического и базитового). Магнитное поле

резко дифференцированное (ΔT 150–(+300) нТл, но в целом пониженное за счет интенсивных гидротермально-метасоматических изменений. Поле сопротивлений характеризуется низкими значениями (700 Ом·м и менее).

Стратифицированные образования разделяются на два структурных этажа: нижний — кристаллические сланцы, амфиболиты, мраморы саганарской свиты (AR₂), в той или иной мере гранитизированные; верхний — субгоризонтально залегающие углистые алевролиты, песчаники, гравелиты с прослоями каменных углей (ургальская свита нижнего мела).

Магматические породы раннемелового гипабиссального иороханского комплекса слагают многофазный массив диаметром 4–5 км (Нонинская ИКС), в составе которого выделяются: центральная часть (массив габбро-диоритов), окаймляющие субгоризонтальные силлы диоритовых порфиритов и секущие дайки андезитов, риодацитов.

Структура месторождения определяется узлом пересечения северо-восточных и меридиональных разломов, вмещающих оруденение. Разломы представлены зонами дробления, брекчирования мощностью 3–30 м. В интервалах их сочленения происходило приоткрывание трещин и образование участков, благоприятных для локализации рудных тел. Падение разломов обоих направлений повсеместно крутое под углами 65–90° в западных румбах. Широтные разломы небольшой мощности (первые метры) ограничивают рудные тела, а также разрывы других направлений.

Золото-сульфидное оруденение приурочено к рудоносной зоне шириной 30–400 м северо-восточной до субмеридиональной ориентировки. В пределах зоны породы ургальской свиты представлены пологозалегающими пластами мощностью 70–150 м, заключенными между силлами диоритовых порфиритов вертикальной мощностью 30–130 м. Пласты осадочных пород пронизаны более мелкими силлами андезитов и диоритовых порфиритов мощностью 0,5–10 м. Характерно, что наиболее представительные рудные тела локализуются в пределах силлов диоритовых порфиритов, в случае продолжения рудного тела в осадочные породы их параметры ухудшаются.

Основные типы метасоматических изменений от ранних к поздним следующие.

1. Обширные ореолы пропилитизации шириной сотни метров. Краевые части их сложены хлоритовой и хлорит-карбонатной ассоциацией, центральные — эпидот-хлорит-карбонатной и эпидот-хлоритовой. Для пропилитов характерна рассеянная вкрапленность пирротина, пирита, арсенопирита. Содержания Au низкие (0,00n–0,0n г/т).

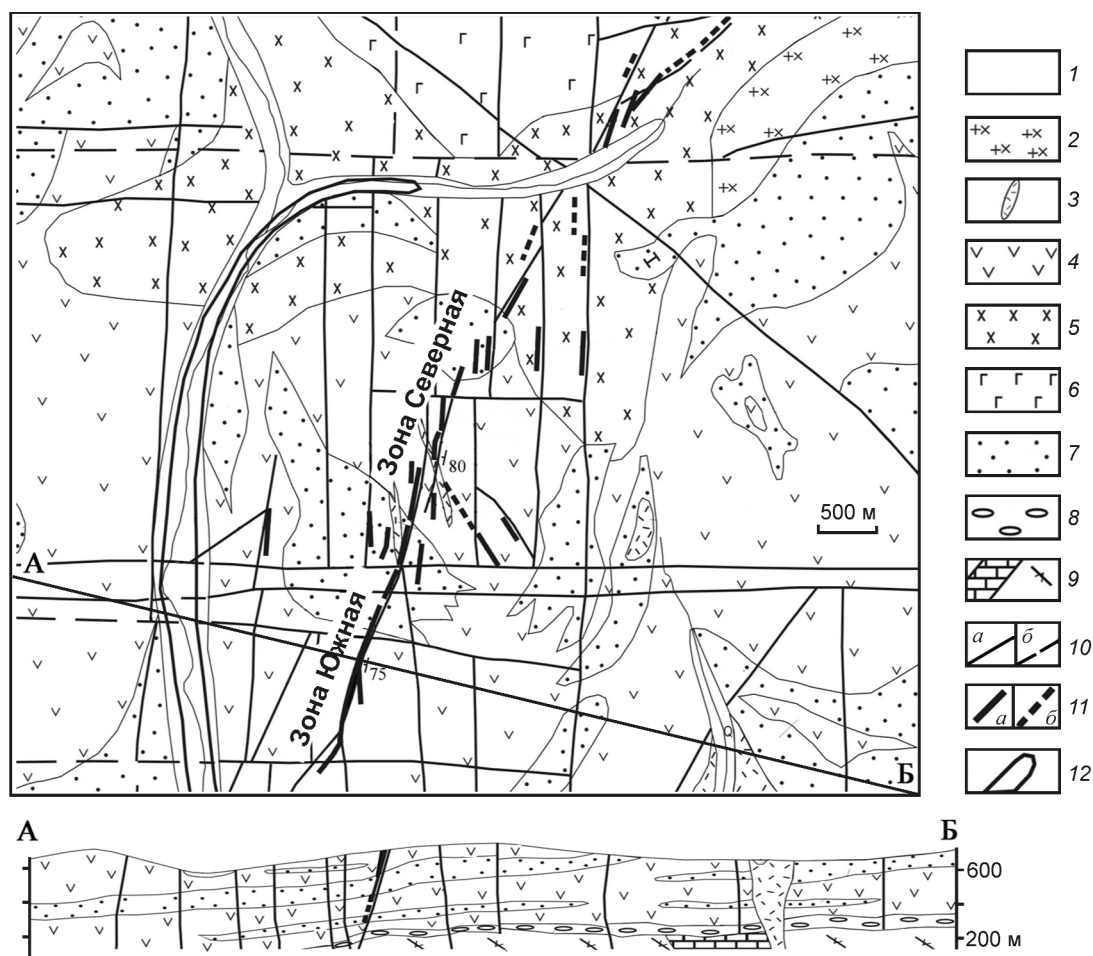


Рис. 3. Схематическая геологическая карта месторождения Нони, по А.И.Лобову, 1988; А.Е.Пересторонину, 1990:

1 — аллювиальные отложения; иороханский магматический комплекс, K_1 ; 2 — гранодиорит-порфиры; 3 — дайки и экструзии риодацитов; 4 — диоритовые порфиры, андезиты (силлы); 5 — диориты; 6 — габбро, габбро-диориты; стратифицированные образования: 7 — ургальская свита, K_1 (песчаники, алевролиты, гравелиты, каменные угли), 8 — базальные конгломераты, K_1 , 9 — саганарская свита, AR_2 (кристаллосланцы, амфиболиты, мраморы); 10 — разрывные нарушения (а — достоверные, б — предполагаемые); 11 — золото-сульфидные рудные тела (а — вскрытые канавами, б — предполагаемые); 12 — контур россыпи золота

2. Ореолы березитизации шириной десятки метров, обычно приуроченные к внутренним частям пропиловых ореолов, сложены кварц-серицитовой и более поздней — кварц-серицит-гидрослюдисто-карбонатной минеральными ассоциациями. Повсеместно березиты содержат вкрапленность пирита, арсенопирита, реже халькопирита. Концентрация в них Au $0,0n-0,1n$ г/т.

3. Ореолы аргиллизации (кварц-серицит-гидрослюдистая и кварц-каолинит-гидрослюдистая фации) шириной от первых метров до 20–30 м, располагающиеся обычно в центральных частях общей метасоматической колонки. Прослежены бурением до глубины 120 м. Содержания Au в аргиллизитах рудоносных зон $0,0n-0,1n$ г/т. Характерна сульфид-

ная вкрапленность (пирит, арсенопирит, реже галенит). Наиболее продуктивные золото-сульфидные рудные тела закономерно приурочены к центральным частям полнопроявленной метасоматической колонки (от пропилов к аргиллизитам).

Золотое оруденение сосредоточено в рудных телах трех основных типов:

1. Умеренно золотоносные (2–11 г/т) сложностроенные линзообразные крутопадающие тела брекчиево-вкрапленных (карбонат)-кварц-сульфидных руд с содержаниями сульфидов 20–90%. Мощность 0,1–11 м, протяженность по падению и простиранию 10n–100n м.

2. Слабозолотоносные (0,3–3 г/т) зоны прожилково-вкрапленной минерализации (сульфиды

1–5%, редко более), сопровождающие рудные тела первого типа в виде сопряженных ореолов мощностью 3–20 м и более. Слабо изучены, но имеют большие перспективы.

3. Более поздние слабозолотоносные (0,01–2 г/т) кварцевые и карбонат-кварцевые жилы и малосульфидные прожилки, секущие и брекчирующие золото-сульфидные руды, а также развитые за их пределами.

Основные запасы золота сосредоточены в двух сходных по строению рудоносных зонах — Южной и Северной, разделенных широтными разломами (см. рис. 3). Оруденение прослежено до глубины 360 м.

Вещественный состав руд сложный. Выделены две стадии рудообразования: ранняя — золото-колчеданно-полиметаллическая и поздняя — золото-кварцевая. Первая разделена на две подстадии: раннюю — золотосодержащую колчеданную арсенопирит-пирротин-пиритовую и позднюю — золото-кварц-полиметаллическую.

Сульфиды представлены двумя ассоциациями, соответствующими стадиям: крупнозернистые массивные с колломорфной структурой пирит, арсенопирит, пирротин, марказит, халькопирит (сульфиды-1); тонко- и мелкозернистые пирит, арсенопирит, халькопирит, галенит, блеклая руда, сфалерит, буланжерит, висмутин (сульфиды-2). Вариации содержания сульфидов самые различные. Сульфиды-1 составляют 5–95% от общего количества сульфидов, сульфиды-2 — 5–50%. Наиболее распространены пирит, арсенопирит и пирротин, халькопирит встречается реже, прочие сульфиды составляют 0,1–5%. Иногда отмечаются джемсонит, козалин, молибденит, вольфрамит, висмутин, самородные медь, мышьяк, цинк, серебро.

Золото в рудах связанное. Золотоносны сульфиды-2, например, среднее содержание Au в пирите-1 по 14 пробам составило 1,6 г/т, в пирите-2 по 18 пробам — 50 г/т. По данным амальгамации доля свободного золота составляет 13,5%. Характерно, что при наложении кварцевой минерализации на золото-сульфидные руды происходит их обеднение (за счет «разбавления» кварцем). Наряду с этим, золото укрупняется и частично переходит в свободную форму. В участках развития прожилков кварца отмечаются золотины размером до 0,5 мм. В сульфидных рудах золото, как правило, тонкое и дисперсное (тысячные–сотые доли миллиметра). Проба гипогенного золота 650–900, в среднем 800–850. Элементы примеси (кроме Ag) — Fe, Cu, Ti, Bi, Hg.

Геохимический тип руд — золото-полиметалльный (табл. 2). Основные полезные компоненты — Au, Ag и Cu. Распределение Au и Ag в рудах относительно равномерное. Серебро заключено в основном в галените, в меньшей мере — в теннантите и кварце. Медь связана с халькопиритом, иногда находится в самородном виде. Геохимическая зональность выражена в увеличении в рудах золото-серебряного отношения и уменьшении содержания Ag, As, полиметаллов, Bi по мере приближения к центру Нонинской ИКС (см. табл. 2).

Зона окисления на месторождении Нони хорошо проявлена. Окисленные руды прослеживаются до глубины 30–100 м, частично окисленные — до 50–240 м. В окисленных рудах возрастает доля свободного золота. Проба его повышается по сравнению с гипогенным в среднем на 50 единиц.

По генезису месторождение Нони рассматривается как полигенное – плутоногенно-вулканогенное средних глубин [5]. В отличие от месторождения

2. Средний состав руд месторождения Нони (средневзвешенные содержания по рудным сечениям в буровых профилях, расположенных с юга на север к центру ИКС)

Номера профилей	Au	Ag	Au/Ag	Cu	As	Pb	Zn	Bi	Sb	W	Co
	г/т			%							
XXa	1,3	37,9	0,03	0,17	1,4	0,75	0,28	0,02	0,02	0,002	0,004
XX	4,8	70,3	0,08	0,33	3,45	0,07	0,29	0,06	0,02	0,05	0,01
Oa	4,95	30,4	0,25	0,65	5,75	0,14	0,03	0,03	0,04	0,04	0,01
O	8,63	54,2	0,15	0,82	2,1	0,25	0,20	0,11	0,03	0,01	0,02
I	11,38	41,1	0,30	0,56	2,68	0,06	0,24	0,05	0,04	0,03	0,02
Ia	8,8	42,1	0,22	0,35	1,25	0,04	0,08	0,07	0,03	0,04	0,009
III	9,8	20,7	0,44	0,66	0,78	0,003	0,27	0,005	0,04	0,04	0,005
IV	6,5	8,2	2,42	0,41	0,94	0,001	0,2	0,002	0,005	0,04	0,007
V	2,5	3,4	0,74	0,21	1,1	0,001	0,01	0,001	0,009	0,009	0,02
VI	8,2	5,2	1,48	0,65	0,57	0,003	0,03	0,04	0,02	0,08	0,005

*Анализы выполнены в лаборатории ПГО «Таежгеология: Au и Ag — атомная абсорбция, As — рентгеноспектральный, остальные элементы — спектральный анализы.

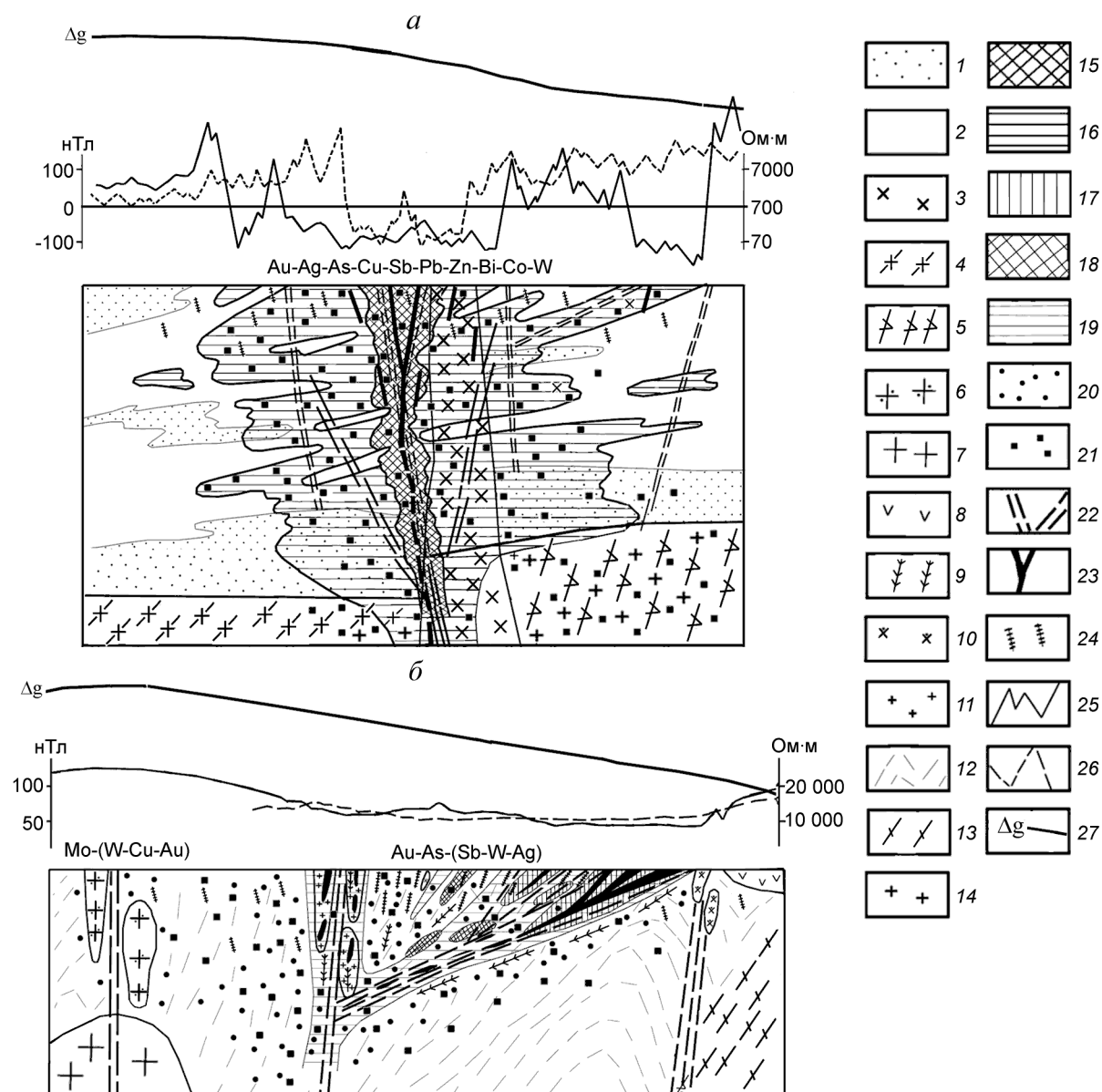


Рис. 4. Типовые геолого-геофизические модели месторождений Нони (а) и Маломыр (б):

вмещающие породы месторождения Нони: 1 — песчаники, алевролиты, J-K₁, 2 — диоритовые порфиры, K₁, 3 — диориты, габбро-диориты, K₁, 4 — гранит-метаморфический фундамент, AR-PR, 5 — фундамент основного состава, AR-PR; вмещающие породы месторождения Маломыр: 6 — гранит-порфиры, гранодиорит-порфиры субвулканические, K₁, 7 — граниты, K₁, 8 — андезиты покровные, K₁, 9 — дайки диоритовых порфиритов, гранодиорит-порфир, K₁, 10 — диоритовые порфиры субвулканические, K₁, 11 — граниты, PZ₂, 12 — осадочно-метаморфические толщи, PZ₃, 13 — метаморфизованные вулканиты основного состава, PZ₃; 14 — гранитизация; гидротермально-метасоматические изменения месторождения Нони: 15 — березит-аргиллизитовые, 16 — березит-пропилитовые; гидротермально-метасоматические изменения месторождения Маломыр: 17 — кварц-адуляровые, 18 — кварц-альбитовые, 19 — березитизация, 20 — окварцевание; 21 — рассеянная сульфидизация; 22 — разрывные нарушения; 23 — золото-сульфидные рудные тела; 24 — кварцевые жилы; 25 — характерный уровень магнитного поля; 26 — уровень кажущегося сопротивления; 27 — характер изменения гравитационного поля

Маломыр оно сформировалось в более короткий промежуток времени — в период меловой тектономагматической активизации.

Общие черты типовых золото-сульфидных месторождений Приамурья сводятся к следующему:

месторождения локализуются в градиентных зонах поля силы тяжести, связанных либо с границами блоков фундамента различной основности, либо с экзоконтактовыми зонами крупных, преимущественно скрытых гранитоидных плутонов;

основной объем оруденения сформирован в период позднемезозойской тектономагматической активизации;

рудные поля представлены зонами дислокаций, в пределах которых совмещены проявления тектонических, магматических, гидротермально-метасоматических процессов; оруденение контролируется сложнопостроенными зонами тектонитов; улучшение параметров оруденения связано с экранированием;

рудные тела относятся преимущественно к прожилково-вкрапленному и брекчиево-вкрапленному типам;

березитизация (кварц-карбонат-серицитовые метасоматиты) развита на всех рудных объектах; специфика маломырского типа — щелочные изменения (натровые и калиевые), нонинского — пропилитизация и аргиллизация;

промышленную значимость месторождений определяет масштаб продуктивной сульфидной минерализации, более позднее золото-кварцевое оруденение не имеет промышленной значимости;

геохимическая связь Au в рудах с As, Ag, W, Sb, Pb, Cu и тесная связь его с сульфидами, тонкий и дисперсный размер, относительно равномерное распределение в рудных телах, невысокие содержания, средняя проба 750–850, примеси Fe, Cu, Hg;

руды упорные, труднообогатимые;

среди сульфидов преобладают арсенопирит и пирит в разных соотношениях; сульфиды в процессе формирования месторождений образуются многократно с повышением степени их золотоносности от ранних к средним стадиям;

в зоне окисления происходит высвобождение золота из сульфидов, что улучшает показатели обогащения руд.

Геолого-геофизические модели типовых месторождений Нони и Маломыр, разработанные на основе вышеприведенного материала, приведены на рис. 4. Их можно ассоциировать с золоторудными системами в понимании Ю.И.Бакулина [1] и Л.В.Эйриша [12]. Модели отражают основные закономерности геологического строения, распределения гидротермально-метасоматических образований и параметров геофизических полей, а также наиболее важные поисковые критерии, которые могут быть приняты за основу при составлении рационального прогнозно-поискового комплекса, ориентированного на поиски золото-сульфидного оруденения в Приамурье.

Маломырский тип золото-сульфидного оруденения характерен для районов распространения углеродистых толщ с меловым магматизмом — складчатых систем и краевых наложенных проги-

бов. В Приамурье, в пределах Амуро-Охотской складчатой системы, перспективна, в первую очередь, Селемджино-Кербинская структурно-формационная зона, в том числе и в контурах известных рудных полей с золото-кварцевым оруденением. Перспективна также часть Янкано-Тукурингской структурно-формационной зоны южнее Кировского месторождения, где известны проявления золото-сульфидного типа. Среди наложенных структур можно выделить Ольдойский прогиб, а в его пределах Мадаланский золото-россыпной узел, отличающийся высокой продуктивностью россыпей и наличием золото-сульфидных проявлений (Улягир, Читкан, Сивагли).

Нонинский тип характерен для мезозойских внутриконтинентальных и окраинно-континентальных вулканоплутонических поясов и связан с дифференцированными магматическими комплексами габбро-диорит-гранодиоритовой формации. Перспективны на выявление подобных месторождений восточная и северная части Буреинского срединного массива (Восточнобуреинская и Северобуреинская зоны). В пределах первой широко развиты субвулканические тела и вулканоплутонические структуры раннемелового иороханского комплекса, известны рудопроявления золото-сульфидного типа (Иорик, Ковун, Нальды и др.). В Северобуреинской зоне также известны рудоносные магматические комплексы (буриндинский, талданский), с которыми связаны рудопроявления золото-сульфидного или близкого к нему типа (Бургали, Ясненское, Ангалинское, Томское и др.).

Поскольку резерв эксплуатируемых золото-кварцевых месторождений Приамурья близок к истощению, большое внимание следует уделять поискам и оценке золото-сульфидных месторождений, которые могут служить основой золотодобывающей промышленности Приамурья на ближайшие десятилетия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулин Ю.И. Систематизация оловоносных и золотоносных рудных систем для целей прогнозирования. — М.: Недра, 1991.
2. Бакулин Ю.И., Буряк В.А., Пересторонин А.Е. Карлинский тип золотого оруденения. — Хабаровск: ДВИМС МПР РФ, 2001.
3. Буряк В.А., Бакулин Ю.И. Металлогения Au. — Владивосток: Дальнаука, 1998.
4. Буряк В.А., Пересторонин А.Е. Маломыр — первое крупное золоторудное месторождение суходожского типа в Приамурье. — Благовещенск — Хабаровск, 2000.

5. Буряк В.А., Пересторонин А.Е. Новый золотоколчеданный тип оруденения в окраинно-континентальных вулканических поясах // Докл. РАН. 1992. Т. 325. № 1. С. 113–118.
6. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты мира. – М.: Научный мир, 2000.
7. Курбанов Н.К., Фогельман Н.А. Гетерогенность и конвергентные ряды месторождений золотоносных рудноэнергетических систем // Отечественная геология. 1996. № 4. С. 11–20.
8. Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996.
9. Петровская Н.В., Сафронов Ю.Т., Шер С.Д. Формации золоторудных месторождений // Рудные формации эндогенных месторождений. М., 1976. Т. 2.
10. Сидоров А.А. Рудные формации и эволюционно-исторический анализ благороднометального оруденения // Тр. ДВО РАН. Магадан, 1998.
11. Степанов В.А. Этапы формирования и генезис золоторудных месторождений Приамурья // Докл. РАН. 2005. Т. 403. № 1. С. 1–5.
12. Эйриш Л.В. О золоторудных системах Амурской области (Россия) // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. № 5. С. 21–24.

УДК 553.4 (479.25)

© Ф.Г.Шамцян, 2007

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОЛОТОНОСНОСТИ НОВОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО ТИПА В РЕСПУБЛИКЕ АРМЕНИЯ

Ф.Г.Шамцян (Горно-металлургический институт, Республика Армения)

В протяженной тектонической зоне гидротермально измененных пород Дилижан-Тандзутского рудного поля показана возможность выявления промышленных золотых руд карлинского типа.

Большая часть золоторудных месторождений Республики Армения затронута древними отработками. В них более или менее крупные вкрапления золота нередко присутствуют в свободном виде. Такое золото древние рудокопы могли улавливать в шлихах (в том числе и искусственных), а затем определять и коренные источники.

Вместе с тем, на некоторых месторождениях вкрапления золота очень тонкие или присутствуют в дисперсном виде. Золото трудно фиксируется при микроскопических наблюдениях, даже при больших увеличениях. Рудные тела, содержащие тонкое золото, трудно выявляются, их оконтуривание проводится только по данным непрерывного опробования. При прочих равных условиях подобные объекты, как правило, обнаруживаются позже. Так, карлинский тип оруденения, где золото присутствует в

основном в дисперсном виде, выявлен в Америке позже всех других геолого-промышленных типов.

Среди золоторудных полей Республики Армения одно из перспективных — Дилижан-Тандзутское, где по следам древних отработок выявлен и изучен ряд круто- и пологопадающих золотоносных зон. Крутопадающие зоны расположены в сводовой части антиклинальной складки, разбитой вдоль оси крупным разломом. Разлом на отдельных участках фиксируется выходами минеральных источников, покровом травертинов, интенсивно трещиноватыми и брекчированными породами. Мощная зона тектонических брекчий обнажается на правом борту р. Агстев между Фиолетовским и Тандзутским месторождениями. Среди ряда минерализованных участков перспективным представляется Фиолетовское месторождение, изученное с по-

верхности и на одном штольневом горизонте, где среднее содержание Au 7–8 г/т, Cu 0,5–0,6%. Нижние горизонты, ниже р. Агстев, изучены скважинами в конце 70-х годов прошлого века. В трещиноватой дробленной зоне с низким выхода керна содержание Au в основном не превышает 2–2,5 г/т. Однако в некоторых сечениях с выходом керна 65–70% оно составляет от 15,8 до 59,0 г/т на мощность 2,0–2,5 м. Крутопадающие (80–85°) зоны залегают среди порфировидных гранодиоритов и пород кровли, сложенной среднеэоценовой вулканогенно-осадочной толщей. Пологопадающие (10–15°) зоны также залегают среди этих пород, но расположены на южном крыле антиклинальной складки (рисунок).

В середине 70-х годов прошлого века на южном фланге Фиолетовского месторождения в приконтактовой полосе терригенно-карбонатной толщи сенона (битуминозные известняки, мергели, песчаные известняки и проч.) со среднеэоценовой вулканогенно-осадочной толщей (туфопесчаники, туфобрекчии) нами была вскрыта зона гидротермального изменения с вкрапленностью, а иногда и с гнездами сульфидов (пирит, халькопирит, галенит), которые частично окислены. По данным анализов десяти бороздовых проб, отобранных через 20–25 м, содержания Au колебались от 0,9 до 4,1 г/т (в среднем 2,5 г/т).

В зоне общей мощностью около 100 м отдельные кварцевые жилы и жильные зоны не выделяются. При макро- и микроскопических исследованиях видимое золото не обнаружено. Не установлено оно и в искусственных шлихах при промывке хвостов проб. Древние выработки в зоне не выявлены, хотя рядом в круто- и пологопадающих зонах они установлены в большом количестве, а по данным технологических проб, изученных в ЦНИГРИ, свободного золота в них до 50%. Поэтому автор предполагает, что в мощной пластообразной зоне гидротермального изменения, расположенной между круто- и пологопадающими зонами, золото присутствует в тонковкрапленном или дисперсном виде.

К северо-западу зона перекрыта наносами, а затем обнажается на отроге Памбакского хребта. Здесь известняки содержат обильную примесь туфогенно-терригенного материала, на отдельных участках они битуминозны и лишены микрофауны [5]. На этом участке зона не изучена, но ниже по склону нами найдены брекчированные окварцованные обломки с вкрапленностью халькопирита и борнита. Далее к северо-западу зона гидротермального изменения обнажается на участке Поперечный Бугор, где по данным опробования канав и шурфов Гамзачиманской партией среднее содержание Au 2–2,5 г/т, и только в одной пробе оно составило

34,5 г/т. Видимое золото не установлено [2]. Северо-западнее известняки полого погружаются под наносы и торфяники, и на Тандзутском месторождении серного колчедана и золота они не обнажаются, однако здесь нами найдены плитчатые обломки известняков.

На Тандзутском месторождении, кроме запасов серы, подсчитаны запасы Au и Cu при средних содержаниях 1,0 г/т и 0,25%. Более высокими содержаниями Au и Cu характеризуются межлинзовые пространства (около 2,0 г/т и 0,5%). Особенности распределения оруденения здесь изучены нами [6]. На восточном фланге Тандзутского месторождения (участок Лермонтово) под покровом наносов данная зона подсечена скважинами (таблица).

В конце 70-х годов прошлого века на территории между Фиолетовским и Тандзутским месторождениями проведены геофизические исследования методом вызванной поляризации. В зоне гидротермального изменения пород выявлены аномалии. Профили вызванной поляризации были проложены вкрест простираения основных структур через 80 м, и надо полагать, что при плотной сети наблюдений получены достоверные результаты.

Таким образом, по данным наземных выработок, скважин и геофизических исследований золотоносная зона гидротермально измененных пород прослеживается на расстоянии не менее 2 км при мощности около 100 м. На восточном фланге в районе Фиолетовского месторождения она падает под углом 45°, а на западном (участок Лермонтово) — перекрыта наносами. На рядом расположенном Тандзутском месторождении линзы серного колчедана также падают под углом 40–45° на юго-запад.

Скважина 20 Хндзурт-Маймехской поисково-съемочной партии, остановленная в руде, пройдена не для прослеживания золотоносной зоны, а для характеристики в целом зоны гидротермально изме-

Среднее содержание Au и Ag в зоне гидротермального изменения по керну скважин на участке Тандзут, г/т

Номера скважин	Интервал опробования, м	Число проб	Среднее содержание	
			Au	Ag
С-20	24–50,0	6	2,1	10,8
24-т	186–186	1	1,0	4,2
24-т	196–199,0	1	2,2	7,0
25-т	57–58,5	1	2,0	Следы
26-т	20–32,5	4	0,4	43,5
27-т	35,5–43,0	4	2,3	17,8
28-т	21–25,0	2	1,8	7,1
С-80	54–56,2	1	3,5	9,0

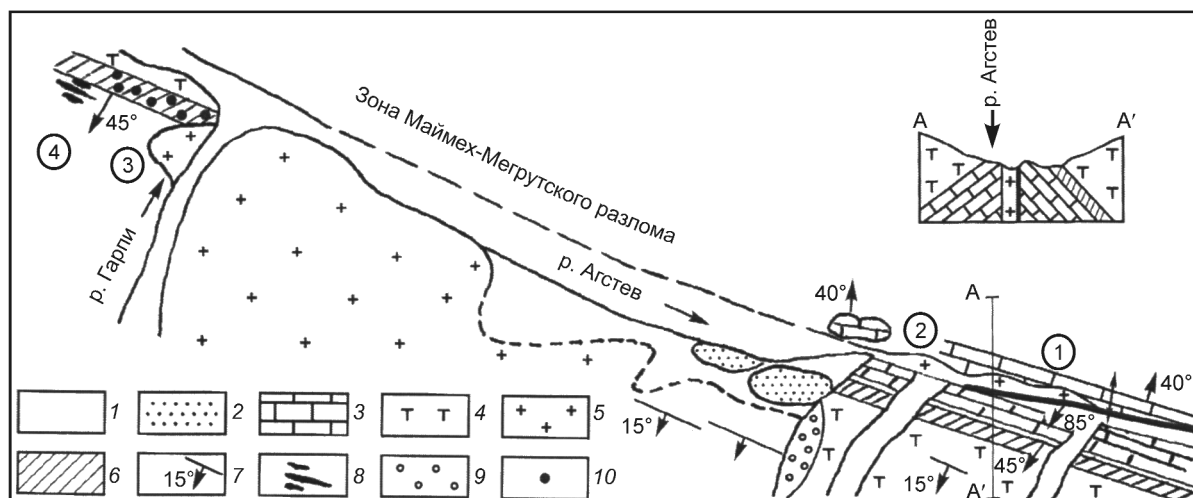


Схема расположения золотоносных зон между Фиолетовским и Тандзутским месторождениями золота:

1 — аллювиально-делювиальные отложения; 2 — торфяники; 3 — битуминозные известняки, мергели, песчанистые известняки (сенон); 4 — вулканогенно-осадочная толща среднего эоцена; 5 — порфировидные гранодиориты; 6 — пластобразные золотоносные зоны гидротермально измененных пород; 7 — круто- и пологопадающие золоторудные зоны; 8 — линзы серного колчедана; 9 — участки ороговикования; 10 — скважины (пройденные); цифры в кружках — участки: 1 — Фиолетово, 2 — Поперечный Бугор, 3 — Лермонтово, 4 — Тандзут

ненных пород. По простиранию золотоносные зоны прослежены скважинами на 650–700 м. Однако последние не увязываются по простиранию и падению. Поэтому нам представляется, что золотоносна вся зона гидротермального изменения, и в таком случае мощность ее около 100 м. Отметим, что выход керна был низкий, а на отдельных интервалах керна вообще не получен, так как между тектоническими нарушениями породы в зоне интенсивно раздроблены.

Подчеркнем, что приконтактовая полоса терригенно-карбонатных пород со среднеэоценовой вулканогенно-осадочной толщей протягивается к юго-востоку на многие километры, и не исключено, что при благоприятных геолого-структурных условиях вдоль нее могут быть выявлены новые золотоносные участки. Так, на южном фланге Соткского месторождения (участок Катар) в приконтактовой полосе известняков сенона с вулканогенно-осадочной толщей при поисках на благородные металлы армянской партией КИМСа установлена зона гидротермального изменения мощностью около 50 м. Верхнемеловые породы интенсивно раздроблены. К этой же зоне приурочены дайкообразные тела липаритов, которые также гидротермально изменены. По данным восьми бороздовых проб содержания Au 1–4,2 г/т, Ag 2–97,7 г/т. Среднее содержание Au 2,1 г/т, Ag 24,7 г/т. Видимое золото не установлено (Л.С.Асланян, Г.Е.Оганесян, 1985).

Таким образом, в центральной и южной частях Республики Армения выявлена однотипная золотая

минерализация. Поскольку она слабо изучена, можно только предполагать, что обнаружены минерализованные золоторудные зоны карлинского геолого-промышленного типа.

По Е.М.Некрасову [4], специфика месторождений рассматриваемого типа (часто называемого карлинским по названию месторождения золота Карлин в США) заключается в следующем:

оруденение часто представлено пластовыми залежами большой мощности;

состав руд очень простой, золото преимущественно низкопробное невидимое, нередко дисперсное, часто заключено в сульфидах;

руды обычно характеризуются невысокими содержаниями золота, промышленный контур рудных тел выделяется по данным непрерывного опробования;

золотоносные залежи приурочиваются к пластам карбонатных и глинисто-карбонатных пород (известковым сланцам, мергелистым известнякам), отличающихся повышенной концентрацией углерода. Углерод связан с углистым веществом или битуминозными остатками органического происхождения.

В советский период подобные месторождения не представляли промышленного интереса. При установленной в 70–80-е годы цене за 1 г золота и традиционных методах добычи и переработки руд они не могли рентабельно осваиваться. В середине прошлого века и до конца 80-х годов в стране ос-

новное внимание уделялось поискам и разведке жильных месторождений золота с относительно высоким качеством руд при более или менее крупных запасах (Сотк, Меградзор и др.).

С ростом цен на золото на мировом рынке и в связи с широким внедрением в практику метода кучного выщелачивания интерес к объектам с низким качеством руд значительно возрос. В настоящее время в ряде капиталистических стран и в некоторых странах СНГ эти руды добываются открытым способом и перерабатываются на месте кучным выщелачиванием с большой эффективностью.

Сравнительный анализ капитальных и эксплуатационных затрат для объектов, работающих по традиционному методу и методу кучного выщелачивания, выполнен канадскими специалистами для условий Северной Америки. При одной и той же производительности при методе кучного выщелачивания капитальные затраты на 13%, а эксплуатационные — на 36% меньше. Для южных регионов эти затраты будут ниже.

В характеризуемой нами зоне при установленных примерных параметрах и при глубине оруденения не менее 250 м предполагаются значительные прогнозные ресурсы золота категории P_1 даже при низком коэффициенте рудоносности.

Рудное поле расположено в благоприятных географо-экономических условиях, а зона гидротермального изменения характеризуется благоприятными горнотехническими условиями отработки и поэтому может представлять значительный промышленный интерес. В этой связи считаем необходимым отметить, что некоторые более или менее перспективные объекты, которые по тем или иным причинам не получили положительной оценки, че-

рез каждые 10–15 лет следует подвергать ревизии не только потому, что за этот период меняются технико-экономические показатели и требования промышленности к качеству сырья, но и потому, что геологическая информация, если даже она не пополнялась новыми данными, должна быть пересмотрена и переосмыслена с точки зрения новых представлений и материалов по другим аналогичным регионам.

Поиски и разведку месторождений карлинского типа в Республике Армения надо считать актуальной задачей, особенно если учесть, что на основе ряда данных [1, 3] этот тип оруденения может быть выявлен и в южной части республики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Амирян Ш.О.* Золоторудные формации Армянской ССР. – Ереван: АН АрмССР, 1984.
2. *Мадатян Э.М.* Геология и металлогения Севано-Амассийской зоны Армянской ССР. – Ереван: Айгестан, 1973.
3. *Малхасян Э.Г., Сейранян В.Б.* Перспективы локализации золотого оруденения в стратиморфных толщах Армении // Геология, прогнозирование и технологическая оценка месторождений полезных ископаемых Кавказа. М., 1991. С. 162–169.
4. *Некрасов Е.М.* Зарубежные эндогенные месторождения золота. – М.: Недра, 1988.
5. *Саркисян О.А.* Палеоген Севано-Ширакского синклинария. – Ереван: Митк, 1966.
6. *Шамцян Ф.Г., Руднева А.Д.* О характере распределения оруденения меди и золота на Тандзутском месторождении серного колчедана // Уч. зап. ЕГУ. 1973. № 2. С. 90–97.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ СПЕКУЛЯРИТА В ГОРНОМ АЛТАЕ

А.И.Гусев (Бийский государственный педагогический университет)

Впервые для Горного Алтая проведено обобщение материалов по спекуляриту. Гематитовая минерализация в Горном Алтае имеет широкое распространение. Промышленные масштабы ее связаны с девонскими магмо-рудно-метасоматическими системами, относящимися к месторождениям трех типов железо-оксид-медно-золоторудного класса (IOCG): Кируна, Олимпик Дэм, Клонкарри. По наиболее перспективным рудным узлам оценены прогнозные ресурсы спекулярита.

Спекулярит представляет собой пластинчатую разновидность гематита, известную также под названиями «железная слюдка», «железный блеск», «железная роза». Минерал обладает высокой стойкостью к действию щелочей и кислот. Благодаря химической стойкости, пластинчатой форме выделений он широко применяется в производстве антикоррозионных лакокрасочных материалов для покрытия металлических поверхностей крупногабаритных изделий, эксплуатируемых в агрессивных условиях морской среды и промышленной атмосферы (мосты, морские суда и буровые платформы, опоры ЛЭП, ангары, крупные емкости-хранилища и т.д.). Областью применения антикоррозионных покрытий на базе спекуляритового пигмента могут быть подвижной железнодорожный состав, а также нефте- и газопроводы, которые в огромных масштабах сооружаются на территории России и за ее пределами.

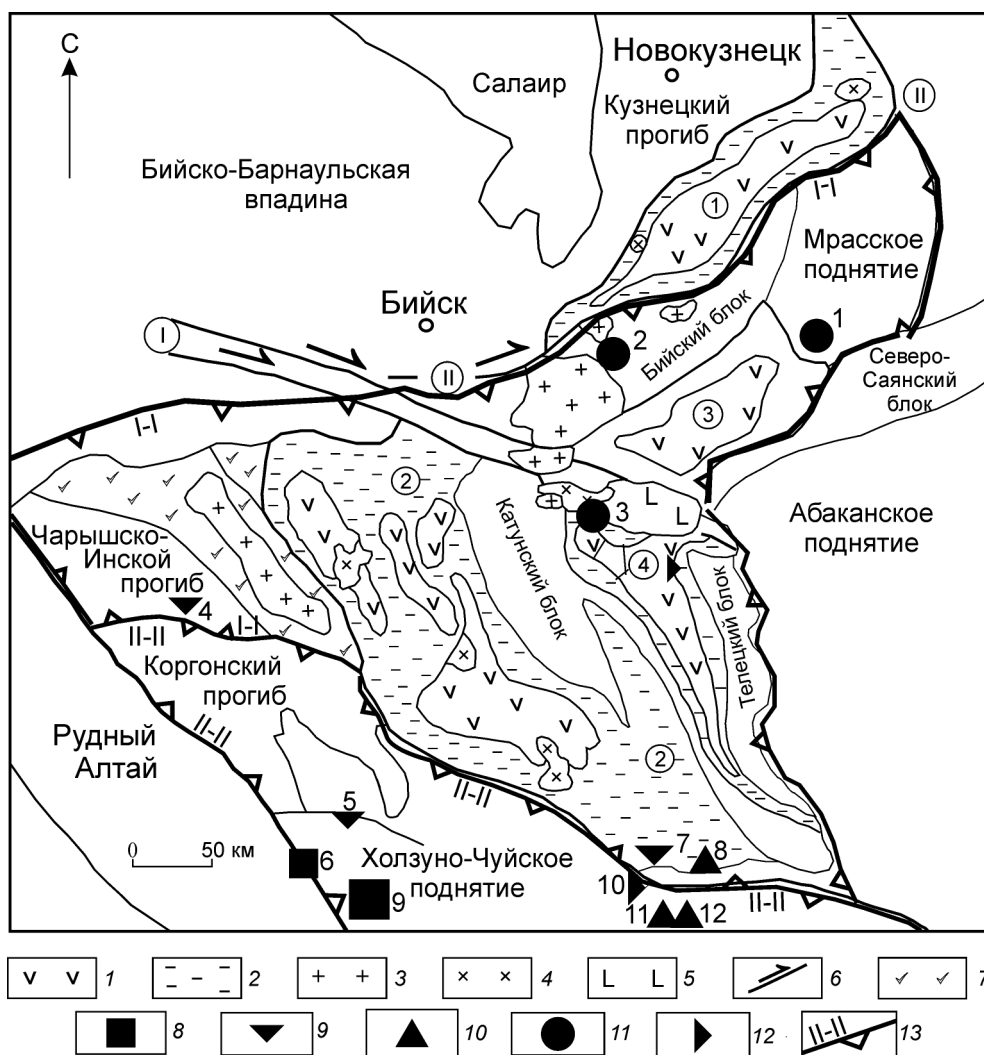
В Горном Алтае спекулярит встречается на многих месторождениях и проявлениях, обнаруживая пространственную и парагенетическую связь с различными вулканогенными и интрузивными образованиями. Формирование месторождений происходило в обстановке трансформной континентальной окраины, инициированной плюмтектоникой [1]. Спекулярит в регионе найден в разнообразных типах месторождений: апатит-магнетитовых с гематитом (Холзун), гидротермальных магнетит-гематитовых (Рудный Лог), медно-порфириновых с гематитом (Уландрык, Шибетинское, Кокоринское), гидротермальных гематит-медно-золоторудных (Локтевское, Светлинское, Шельдянское), эпитеpmальных золото-серебряных с ртутью (Коксаирское), эпитеpmальных золото-серебряных (Коно), медно-золото-скарновых (Ульменское, Синохинское), золото-железородно-скарновых (Майское) (рисунок).

Наибольшее значение спекулярит имеет в объектах первого, второго и третьего типов. Примечательно то, что наиболее значительные его объемы обнаруживаются в месторождениях железо-оксид-медно-золоторудного класса, активно изучаемых в последнее время в Австралии, Канаде, Бразилии, Чили, Перу, Китае, США. В настоящее время это признанный геологической общественностью класс месторождений, в котором по признакам близости (удаленности) от магматического источника выделяются шесть типов оруденения. Четыре из них связаны с интрузиями известково-щелочного ряда (железорудные скарны, апатит-магнетитовые типа Кируна, Олимпик Дэм и тип Клонкарри), два — с магматическими образованиями щелочно-карбонатитового ряда (Палабора и Баян-Обо) [3].

Рассмотрим наиболее значительные типы спекуляритового оруденения региона, сформировавшиеся в девоне.

Тип Кируна определяется по своему прототипу — месторождениям железорудной провинции Кируна в Северной Швеции — как монометалльные, низкотитановые магнетит-апатитовые месторождения с невысокими содержаниями Au и Cu, вплоть до их полного отсутствия. Эти месторождения по возрасту и генетически связаны с вмещающими их вулканическими и плутоническими породами. Железорудное оруденение связано с Na и Na-Ca метасоматозом, предвестником возможной Au-Cu минерализации как во внутрикратонной обстановке, так и в континентальных дугах. Железорудные тела могут служить благоприятной средой для формирования более поздней IOCG-минерализации другого типа (например, типа Клонкарри).

Типичным представителем IOCG-месторождений типа Кируна является Холзунское месторождение на границе России и Казахстана. К этому же



Схематическая металлогеническая карта западной части Алтае-Саянской складчатой области на этапе функционирования трансформной континентальной окраины (O_1-P_1):

1 — вулканогенные образования D_1-D_2 (базальты, трахибазальты, андезиты, риолиты и их туфы); 2 — туфогенные образования $O-D_1$ (конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты); 3 — граниты, умеренно щелочные граниты, кварцевые сиениты D_2 ; 4 — габбро, диориты, тоналиты, граниты S_1-D_1 ; 5 — габбро, плагиограниты C_2 ; 6 — трансформные разломы: I — Бийский, II — Тельбесский (ответвление Бийского); 7 — кремнисто-метабазальтовые океанические образования (C_3-O); типы оруденения: 8 — апатит-магнетитовый типа Кируна, 9 — гидротермальный железо-оксид-медно-золоторудный типа Клонкарри, 10 — гидротермальный железо-оксид-медно-золотой типа Олимпик Дэм, 11 — скарновые (медно-золоторудный и железо-золоторудный), 12 — эпитермальный золото-серебряный; прогибы: 1 — Тельбесский, 2 — Ануйско-Чуйский, 3 — Лебедской, 4 — Уйменский; 13 — границы минерагенических таксонов: I-I — Северо-Алтайско-Горношорская, II-II — Южно-Алтайско-Монгольская; месторождения и проявления: 1 — Майское, 2 — Ульменское, 3 — Синохинское, 4 — Локтевское, 5 — Шельдянское, 6 — Коксинское, 7 — Кубадринское, 8 — Кокоринское, 9 — Холзунское, 10 — Коксаирское, 11 — Рудный Лог, 12 — Шибетинское

типу относятся месторождения Волковское (Россия), Маркакульское (Казахстан), Абагонг, Мынку (Китай).

Холзунское месторождение находится на водораздельной части Холзунского хребта с абсолютными отметками 1700–2000 м. Холзунский участок сложен эффузивно-осадочной толщей коргонской свиты раннего-среднего девона. В ее составе пре-

обладают кислые лавы и их туфы с прослоями туфогенных и полимиктовых песчаников и линзами известняков. В последних содержится фауна верхнеэффузивных кораллов. Эффузивно-осадочная толща смята в крутые (до 70°) линейные складки северо-западного простирания и прорвана двумя гранитными интрузиями. В сотне метров восточнее участка расположена небольшая вытянутая в се-

ро-западном направлении интрузия гранит-порфи-ров предположительно майорского комплекса (D_2), западнее — более крупная изометричная интрузия биотитовых порфировидных гранитов предположительно синюшинского комплекса (P_2-T_1). С майорскими гранитоидами связаны альбитизация, амфиболитизация и хлоритизация вмещающих пород, с синюшинскими — ороговикование и скарнирование. И те и другие метаморфизуют руды, превращая гематит в магнетит. Рудоносный горизонт приурочен к терригенным разностям пород. Он представлен пластами и линзами магнетитовых и магнетито-гематитовых руд и зонами вкрапленных магнетитовых и реже гематитовых руд. Гематит повсеместно представлен несколькими генерациями спекулярита. Мощность его около 120 м. Рудные тела залегают нередко с постепенными переходами к вмещающим породам и отделяются от них только по анализам. В северном и северо-западном направлениях заметно увеличивается роль спекулярита в рудах относительно магнетита вплоть до сплошных гематитовых образований.

В составе руд преобладает магнетит в виде сплошных зернистых масс или густой вкрапленности. Из нерудных минералов доминирует кварц, встречаются полевые шпаты, амфиболы, пироксены, минералы группы хлоритов, слюды, гранатов, карбонаты, иногда — обломки кислых вулканогенных пород. С железными рудами ассоциируют выделения марганца, приуроченные к глинистым и песчаным породам.

Рудное поле Холзунского месторождения соответствует магнитной аномалии протяженностью около 9 км при ширине до нескольких сотен метров. Она простирается в северо-северо-западном направлении согласно с геологическими структурами района и подразделяется на три участка — Северный, Перевальный и Тургусунский.

Рудная зона Перевального участка имеет длину более 1500 м, ширину до 250 м. Линзо- и пластообразные рудные тела, согласные с напластованием вмещающих пород, имеют мощность до 100 м, протяженность по простиранию и падению 700 м и более. Среднее содержание валового железа в рудных телах 28–29%. Соотношение магнетита к спекуляриту в рудах 1:0,7.

На Тургусунском участке рудная зона распадается на три крупных блока, вероятно, в связи со складчатостью и разрывами первичного рудного горизонта. Линзовидные рудные тела имеют мощность до 70 м при протяженности по падению более 700 м. Реликтовая слоистость в рудах и вмещающих породах местами пересекается сланцеватостью и отдельными телами переотложенных руд.

Среднее содержание железа несколько выше, чем в рудах Перевального участка (около 33%). Соотношение магнетита к спекуляриту 1:0,3.

На Северном участке длиной более 1000 м и шириной около 100 м рудные тела имеют пластообразную форму, мощность до 50 м. Руды апатит-магнетит-спекуляритовые, спекуляритовые. В рудных телах соотношение магнетита к спекуляриту 0,5:1. Среднее содержание железа в рудах 25–28%.

Основу промышленных запасов железных руд составляют гидросиликатно-магнетитовые с повышенным содержанием апатита. Относительно богатые руды Тургусунского участка (56% разведанных запасов руд месторождения) имеют актинолит-биотит-магнетитовый состав при подчиненной роли альбита, гематита. Наиболее бедные биотит-альбит-магнетитовые с гематитом руды развиты на Перевальном участке. К бедным относятся также карбонат-гидросиликат-магнетитовые руды с гематитом, составляющие в сумме 25% запасов. Остальные типы руд (сульфидно-магнетитовые, апатит-магнетитовые и др.) имеют подчиненное значение. Апатит-магнетитовые руды в виде жил залегают на юго-западном фланге рудного поля среди порфири-тов подрудной пачки.

Второстепенные минералы руд — эпидот, хлорит, кварц, доломит, цеолиты, ангидрит. В виде примеси отмечены сфен, турмалин, ортит, монацит, роговая обманка, диопсид, гранат гроссуляр-андрадитового ряда, барит, гипс, халькопирит и др.

Запасы руд месторождения Холзун составляют 407,6 млн. т категорий $A+B+C_1$, 272,5 млн. т категории C_2 со средним содержанием железа 28,9%. Запасы спекулярита промышленных категорий 102 млн. т.

В 2005 г. при проведении специализированных металлогенических исследований в пределах Холзунского рудного поля нами переопробован нижний рудоносный горизонт Тургусунского участка, где в 1969–1970 гг. Э.Г.Кассандровым обнаружено проявление ортита. В пробах-протоколках и в шлифах помимо апатита установлены ортит и монацит, нередко ассоциирующие с цериевым эпидотом и калиевым полевым шпатом. Содержание иттрия в штучных пробах 0,52–1,34%. Аналогичные руды с ортитом и монацитом выявлены нами на Северном участке Холзунского рудного поля в тесной ассоциации с апатитом, эпидотом, спекуляритом. В рудных телах Северного участка найдены пирит-галенит-сфалеритовые руды в глинистых углеродистых сланцах, классифицируемых типом SEDEX. По латерали от них установлены гипогенные виллемитовые руды с редкими выделениями пирита и сфалерита. В этой связи определенный интерес предс-

тавляют вся полоса распространения рудоносного горизонта от Холзуна до Коргона и проявления железа оксидного типа на предмет выявления спекуляритового, редкоземельного и других типов оруденения.

В Коргоно-Кедровском рудном узле имеются перспективы открытия новых месторождений железа и марганца. Площадь рудного узла 900 км². Прогнозные ресурсы спекулярита категории Р₃ оценены в 230 млн. т.

Тип Олимпик Дэм имеет своим прототипом одноименное месторождение в Австралии. Руды представлены трубообразными или неправильной формы брекчиевыми телами с магнетит-гематитовым матриксом, ассоциирующими с гранитами анорогенного А-типа. Комплексное Cu-Au-U-Ag-REE оруденение по возрасту и пространственно связано с железоксидной брекчиевой постройкой, ядро которой состоит из гематит-кварцевых, а периферическая часть — из гематит-гранитовых брекчий, окруженных ореолом слабо измененных брекчированных гранитов. Брекчии формировались в близповерхностных условиях. Калиевые метасоматиты с гематитом, серицитом, хлоритом, карбонатами±сульфиды Fe-Cu, ±уранинит. REE-минералы преобладают и местами наложены на магнетит-биотитовые образования.

Представителем рудной системы IOCG-типа Олимпик Дэм в регионе является Уландрыкский железо-медно-редкоземельный рудный узел на границе России и Монголии. В региональном плане оруденение приурочено к Аксайской вулканоплутонической структуре девонского возраста (50×30 км в поперечнике), сложенной субщелочными (высококалиевыми) риолит-андезитами и туфами, прорванными субвулканическими телами субщелочных лейкогранитов аксайского комплекса. В пределах узла развито золоторудное, железоредкоземельно-медное и спекуляритовое оруденение. По периферии располагается цепочка малых урановых месторождений и рудопроявлений (Буратинское, Шибетинское, Аксайское и др.). Ранее нами месторождение Рудный Лог по условиям образования сопоставлялось с месторождением Канделярия в Чили, которое также относится к типу Олимпик Дэм [2].

Месторождение Рудный Лог находится в пределах северных отрогов хребта Сайлюгем (см. рисунок) на высоте 2200–2400 м над уровнем моря. Оно приурочено к Аксайской вулканоплутонической структуре, сложенной эффузивными и вулканогенно-осадочными образованиями аксайской свиты и субвулканическими комагматами (трахиандезиты, кварцевые латиты, дациты, риолитоиды).

Кроме месторождения Рудный Лог, в пределах структуры известны еще несколько проявлений спекулярита в ассоциации с медной (Уландрыкское) и урановой (Аксайское, Шибетинское) минерализацией. По масштабам и качеству руд они аналогичны Рудному Логу и тяготеют к разрывным нарушениям в контактовых ореолах среднедевонских субщелочных лейкогранитных массивов (Аксайского и Уландрыкского). Геофизические данные (гравиметрия, магнитометрия) свидетельствуют о том, что массивы являются выступами кровли крупного интрузива лейкократовых гранитов с ведущей геохимической ролью фтора во флюидах. Последнее обстоятельство подчеркивается широким развитием флюоритовой минерализации как в пределах массивов, так и всей вулканоплутонической структуры, под которой по геофизическим данным залегает основная часть интрузива. Для всего поля структуры характерны также первичные ореолы меди, молибдена, олова. Месторождение Рудный Лог локализуется в пределах кварц-гематитовой зоны в дугообразной разрывной структуре северо-западного простирания, протяженностью 8 км, мощностью до 100 м. Она рассекает кислые образования аксайского вулканоплутонического комплекса (лавы и туфы риолитов, трахириолитов) и отчетливо опоясывает северный контур Аксайского гранитного массива в непосредственной близости от него (100–800 м). Вблизи рудоносной структуры лавы и туфы альбитизированы. Контактная часть массива представлена эруптивными брекчиями с многочисленными обломками гранитов и эффузивов, сцементированных криптозернистой массой кварца с пылевидным гематитом и флюоритом.

Месторождение Рудный Лог тяготеет к юго-восточной оконечности кварц-гематитовой зоны протяженностью 1,7 км при мощности до 100 м. Северо-западный фланг месторождения пережимается, расщепляясь на 2–3 составляющие, юго-восточный — выклинивается на поверхности и, вероятно, погружается на глубину согласно с кровлей гранитного массива. Канавами и буровыми скважинами (до глубины 200 м) вскрыта западная часть месторождения. Установлена пластообразная морфология рудоносной структуры, характеризующаяся зональным внутренним строением. Во внешних частях она сложена слабоизмененными эффузивами с жилами и прожилками безрудного кварца мощностью от 5 до 70 м. Местами в жильном кварце содержатся обломки вулканогенных пород. Ближе к центральным частям находится зона средне-мелкозернистого кварца с редкой вкрапленностью гематита и маломощными гематитовыми жилами, которая далее к центру постепен-

но переходит в зону брекчиевых руд — интенсивно катаклазированного кварца, сцементированного мелкопластинчатым гематитом. Трещины в основном северо-западного простирания, местами сливаются и пересекаются друг с другом, образуя сложную сетку, в которой локализованы жильные тела. В центральной части рудной зоны залегает пластовое тело массивных кварц-спекуляритовых руд, прослеженное на 1,5 км при выдержанной мощности 25–30 м.

Рудные тела представлены кулисообразно расположенными линзами, разделенными безрудными кремнистыми или слабооруденелыми интервалами. В большинстве случаев руды сложены массивными и брекчиевыми разностями. В последних обломки эффузивов и кремнистых пород сцементированы чешуйчатым гематитом. Встречаются также полосчатые, гребенчатые и шаровые текстуры. В составе руд месторождения Рудный Лог выделяются следующие ассоциации минералов: гидротермальная жильная, гидротермально-метасоматическая, реликтовая и гипергенная. Гидротермальная жильная ассоциация представлена в основном кварцем и слюдястым гематитом (спекуляритом), редко встречающимися магнетитом, пиритом, рутилом и флюоритом; гидротермально-метасоматическая — минералами измененных эффузивов, вмещающих рудные жилы (кварцем и спекуляритом (главные), карбонатом, каолинитом, серицитом, лейкоксеном и хлоритом); реликтовая — минералами исходных пород, не измененными при гидротермальном метасоматозе эффузивов (кварц, плагиоклаз, апатит, ильменит, циркон); гипергенная — в основном гетитом и гидрогетитом.

Главные минералы руд — кварц и спекулярит, составляющие более 90–95% их объема. Спекулярит представлен тремя генерациями. Наиболее ранняя и преобладающая образует мелкочешуйчатые агрегаты в ассоциации с кварцем первой генерации. Размеры выделений спекулярита первой генерации варьируют от 0,1 до 1,5 мм. Парагенный кварц первой генерации формирует гетерогенный агрегат аллотриоморфных зерен размером от 0,3 до 3 мм, характеризуется блоковым и волнистым угасанием. Содержит многочисленные первичные газовой-жидкие включения, в которых иногда отмечаются дочерние тонкие выделения зеленоватого флюорита и фтор-apatита. В зальбандах кварцевых прожилков и жил первой генерации отмечаются альбит, хлорит, турмалин, апатит.

Спекулярит второй генерации более крупночешуйчатый (размеры выделений от 1 до 3,5 мм), наблюдается в брекчиевых рудах, где он иногда присутствует в цементирующей массе в ассоциации с кварцем второй генерации и сидеритом. Гомогенизация

первичных газовой-жидких включений в кварце второй генерации проходила в интервале 190–175°C.

Третья генерация спекулярита отмечена в виде прожилков крупночешуйчатых выделений, секущих брекчиевые руды. Кроме того, она фиксируется в зальбандах рудной залежи среди кварцевых жил. Местами отмечается кварц третьей генерации (1–2 мм в размере), имеющий эвгдральный облик. Травление таких кристаллов кварца показало их зональное строение. В ядерных частях выделений кварца встречаются редкие первичные газовой-жидкие включения и почти отсутствуют вторичные, а в периферических зонах вторичные включения обильны. Гомогенизация газовой-жидких первичных включений осуществлялась в интервале температур 170–140°C.

В рудах повышены содержания, г/т: Sn до 144, W до 80, Co до 86, V до 148, Y до 400, Yb до 40, La до 111,5, Zn до 86. Другие рудные элементы содержатся в пределах кларка или превышают его в 2–3 раза. Геохимические особенности спекулярита изучены нами ранее. Установлен тетрадный эффект распределения РЗЭ, который, вероятно, обязан активной роли летучих компонентов и, в первую очередь, фтора с образованием фтор-комплексов РЗЭ и других элементов, показывающих значительные изменения в процессе эволюции гидротермальных парагенезисов [2].

Запасы спекулярита по категории С₂ составили 20 млн. т. Прогнозные ресурсы спекулярита оценены А.Л.Пономарёвым по Рудному Логу в 37 млн. т руды, Уландрыкскому месторождению — 21 млн. т, Шибетинской зоне — 43 млн. т. Суммарные прогнозные ресурсы спекулярита категории Р₃ по Уландрыкскому рудному узлу составляют 101 млн. т.

В целом геологическая обстановка и само месторождение Рудный Лог обнаруживают большое сходство с месторождениями рудного поля Канделярия-Пунто побережья чилийских Кордельер, где оруденение, как и на месторождении Рудный Лог, представлено порфировым типом со спекуляритом и связано с субвулканическим порфировым гранитоидным массивом [4]. Запасы железо-медно-золото-порфирового месторождения Канделярия составляют 470 млн. т руды с содержаниями Cu 0,95%, Au 0,22 г/т, Ag 3,1 г/т. Общие черты сходства обнаруживаются с такими месторождениями, как Олимпик Дэм (Австралия) и Баян-Обо (Китай).

Tun Klonkarri имеет своим прототипом одноименное месторождение в Австралии. Au-Cu минерализация наложена на более древние железняки или на более ранние железоксидные образования и связана с мощными зонами сдвиговой кинематики. Руды вкрапленные стратиформные в виде брек-

чий или приразломных минерализованных зон. Вторичные изменения — калиевые (калиевый полевой шпат, биотит). Рудная минерализация — комплексная: Cu, Au, Ag, Bi, Co, W. Характерны широкое распространение карбонатного жильного материала и преобладание в составе флюидных включений CO₂. Рудная система связана с эволюцией бедных серой, обогащенных металлами водно-углеродных рассолов.

К типу Клонкарри относятся проявления Локтевского и Светлинско-Шельдянского железо-оксид-медно-золоторудных узлов, месторождения Кубадринское, Кокоринское, Тод-Тугемское.

В пределах Локтевского рудного узла весьма широко распространено оруденение железо-оксидного медно-золоторудного типа, приуроченного к оперяющим разломам Северо-Восточной зоны смятия глубинного заложения. Выявлено более 20 проявлений с широкой вариацией мощностей минерализованных зон прожилково-вкрапленного и жильного оруденения. Их мощность от нескольких метров до 50 м и более, видимая протяженность от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Они увязываются в единый Локтевский рудный узел шириной до 3 км и протяженностью более 20 км параллельно вышеупомянутой зоне смятия северо-северо-западного простирания. Минерализованные зоны имеют сложный состав и сопровождаются дайками различного состава от габброидов до гранит-порфиров. Рудолокализирующие разломы сопровождаются широкими зонами сдвиговой кинематики, выполненными брекчиями, милонитами и бластомилонитами. Вмещают руды силурийские роговики по терригенным породам. Роговики эпидотизированы по прожилкам мощностью от 0,5 до 1 см. На эпидотизацию наложена карбонатизация, также имеющая прожилково-вкрапленный характер. Мощности прожилков кальцита и сидерита варьируют от 0,5 до 3 см. ореол ороговикования связан с западным пологим контактом гранитоидов усть-беловского комплекса (D₃).

Зоны минерализации представлены линейными штокверками, среди которых отмечаются мощные жилы кварц-карбонат-гематитового, кварц-пирит-халькопиритового составов (мощностью 0,5–3 м), линзы массивного спекулярита (0,5×2 м). Местами наблюдаются гематитовые брекчии, в которых тонкочешуйчатые спекуляритовые руды раннего этапа раздроблены и сцементированы мелкозернистыми агрегатами гематита. В цементе иногда встречаются кварц и сидерит. Размеры обломков брекчий варьируют от 0,5 до 5 мм.

В жильной матрице рудных зон присутствуют кварц, кальцит, сидерит, барит, скаполит, турмалин,

хлорит, эпидот, в подчиненном количестве — борнит, халькозин, тетраэдрит, галенит, сфалерит, пирит, пирротин, золото (?). Рудные минералы образуют вкрапленность, прожилки, линзы, гнезда и массивные выделения спекулярита нескольких генераций и халькопирита. Выявлены взаимоотношения гематитовой и сульфидной минерализации. Последняя формировалась позднее спекулярита. К завершающим по времени относятся прожилки и гнезда розового кальцита и цеолита.

Ранние кварц-гематитовые руды характеризуются крайне варьирующим составом. Намечается такая последовательность минералообразования. К наиболее ранним относятся сидерит с гематитом, кварц первой генерации с гематитом и спекуляритом первой генерации в виде тонких игл; местами гематит содержит трещинки растрескивания, связанные с раскристаллизацией его из геля, редкие гнезда скаполита, хлорита размерами 0,5×2,5 мм. Позднее кристаллизуется эпидот в прожилках мощностью от 1 мм до 0,8 см, иногда с кварцем второй генерации, еще позднее — кварц третьей генерации гетерогранобластовый, чаще стебельчатый и гребенчатый со спекуляритом второй генерации. К наиболее поздним минералам относится сульфидный агрегат халькопирита, пирита с кварцем четвертой генерации. Кварц четвертой генерации гребенчатый, со слегка удлинненными формами. Халькопирит нередко ассоциирует с тетраэдритом, борнитом. В северо-восточной части Локтевского рудного узла зоны с галенитовой минерализацией зонально распределены относительно шва Северо-Восточной зоны смятия: гематитовые → гематит-халькопиритовые → гематит-сфалерит-галенитовые.

Некоторые мощные зоны сопровождаются кварц-эпидотовыми метасоматитами и эпидозитами на периферии и фельдшпатолитами иногда с биотитом, а также скарнированными породами в приконтактных частях зон. В метасоматитах отмечается вкрапленность пирита, магнетита, гематита. Формирование руд происходило при относительно высоких температурах, на что указывает наличие скаполита в рудах и участков скарнирования пород. Содержания Cu в рудах варьируют от 0,3 до 4,5%, Au от 0,1 до 2 г/т.

Прогнозные ресурсы спекулярита категории R₃ для Локтевского рудного узла (аналог — рудный узел Клонкарри, Австралия) составляют 122 млн. т.

Таким образом, в Горном Алтае спекулярит встречается в различных типах руд. Наибольшее значение он имеет в объектах мирового класса месторождений, аналогичных типам Кируна, Олимпик Дэм, Клонкарри.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гусев А.И.* Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во СГТУ, 2003.
2. *Кременецкий А.А., Гусев А.И., Говердовский В.А.* Геохимия спекулярита Горного Алтая // Природные ресурсы Горного Алтая. 2005. № 2. С. 79–84.
3. *Gandhi S.S.* Magmatic-hydrothermal Fe oxide±Cu±Au deposits: classification for a digital database and an overview of selected districts // IAVCEI General Assembly 2004, Pucon, Chile, CD-ROM. Abstracts 01a. P. 169.
4. *Marschik R., Fontbote L.* The Candelaria — Punta del Cobre Iron Oxide Cu-Au (Zn-Ag) Deposits, Chile // Econ. Geol. 2001. Vol. 96. P. 1799–1826.

АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 553.43:622.12

В.О.Коньшев, 2007

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ОПРОБОВАНИЯ РУД С КРУПНЫМ ЗОЛОТОМ

В.О.Коньшев (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

В процессе научно-методического сопровождения геологоразведочных работ, проводимых ОАО «Берег» в пределах Федоровско-Магызы-Калтасской зоны (Кузнецкий Алатау, Горная Шория), выполнены технологические исследования золотых руд. В лабораторных технологических пробах (ЛТП) с участка Кедровский определены близкие к истинным содержания золота для корректировки средних содержаний, рассчитанных по пробирным анализам рядовых борздовых проб для рудных пересечений.

Необходимость проведения технологических исследований на рудопоявлениях Федоровско-Кедровского рудного поля показана в ряде работ [1–3], базирующихся на опыте разведки крупнообъемного месторождения Федоровское-1. Полупромышленными и лабораторными технологическими испытаниями руд этого месторождения установлено, что близкие к истинным содержания золота занижались данными пробирного анализа рядовых борздовых проб в 2,85–5,58 раза. Причина такого несоответствия, по мнению автора указанных работ, заключалась в том, что в рудах месторождения Федоровское-1, имеется 64% золота класса +3 мм. Достоверно оценить содержание крупного золота невозможно без извлечения его из представительных проб массой 120–500 кг. Участок Кедровский расположен в 800 м к западу от месторождения-аналога и приурочен к тому же горизонту рудоносных песчаников.

В данной работе предпринята попытка выявления абсолютной погрешности при определении содержания золота пробирными анализами в рядовых борздовых пробах. Ставилась также задача по разработке методики для коррекции данных рядового опробования при оценке прогнозных ресурсов на основании экспериментальных данных.

Достоверностью опробования считается вероятность определения истинного содержания золота в пробах тем или иным видом анализа. Экспериментальным коэффициентом коррекции (K_d) на достоверность рядового опробования является отношение

фактически извлеченного золота в продукты гравитационного обогащения к среднему содержанию металла, полученному по пробирным анализам рядовых борздовых проб, характеризующих представительную технологическую пробу. Коэффициент коррекции достигает высоких значений по рудам с бонанцами, гнездами и крупными выделениями золота, попадание частиц которого в навески массой 50 г для пробирных анализов маловероятно.

Методические приемы составления и основные характеристики заверочных технологических проб. Для выявления K_d по одному из заведомо промышленных рудных пересечений (видимая мощность по полотну поисковой канавы 32,7 м) со средневзвешенным содержанием Au 4,06 г/т по 31 борздовой пробе (пределы колебаний от 0,2 до 74,25 г/т) составлена ЛТП № 1-кедр массой 343,4 кг. Геологическая позиция рудного пересечения, охарактеризованного этой пробой, приведена на рис. 1. В состав ЛТП поступил измельченный до класса –1 мм материал всех борздовых проб, оставшийся после отбора от каждой рядовой пробы усредненных навесок массой 1 кг, по которым были выполнены пробирные и другие виды анализов.

Руда представлена ороговикованными, окварцованными, анкеритизированными, хлоритизированными, серицитизированными граувакковыми песчаниками и черными сланцами с редкой вкрапленностью пирита, пирротина, халькопирита, магнетита, блеклых руд, оксидов железа и прожилками

карбонат-кварцевого состава. Золото присутствует в самородном состоянии в виде зерен различной крупности, а также в значительных количествах в сульфидах и магнетите.

Принципиальная схема гравитационного обогащения ЛТП № 1-кедр. Обогащение пробы проведено 20–22 декабря 2005 г. в непрерывном производственном режиме по гравитационной схеме, представленной на рис. 2. Схема цепи аппаратов непрерывного обогащения показана на рис. 3. Первоначально проба пропусклась через грохот с размером сита 1 мм. Материал крупностью +1 мм общей массой 4,5 кг промывался на лотке. Масса выбранного из шлиха золота составила 0,231 г. Остальной материал шлиха в количестве 40 г был направлен на минералогический анализ, а хвосты крупной фракции — в классификатор для последующего обогащения.

Руда крупностью –1 мм из бункера 3 через дозатор поступала в мельницу 5 для измельчения. Производительность по руде составляла 50 кг/ч. Слив мельницы поступал на отсадочную машину 6. Концентрат отсадки перечищался на концентрационном столе 10. Хвосты стола от перечистки направлялись на доизмельчение в мельницу, а промпродукт возвращался на перечистку на стол. В результате было получено два конечных продукта: золотая «головка» и концентрат I.

Слив отсадочной машины поступал в спиральный классификатор 7. Пески из классификатора (+0,2 мм) возвращались шнековым питателем 8 в мельницу, а слив крупностью –0,2 мм направлялся на обогащение в короткоконусный гидроциклон (ККГЦ). Концентрат (пески) ККГЦ поступал на концентрационный стол для перечистки. В результате получен концентрат гравитации II. Промпродукт концентрационного стола направлялся шламовым насосом в классификатор. От хвостов ККГЦ и стола отбирали отсечки материала через каждые 30 мин для составления средних проб. Так как в золотой «головке» и концентратах присутствует магнетит, то все эти продукты обрабатывали на электромагнитном сепараторе марки 138Т с получением магнитной и немагнитной фракций. Магнитные фракции, полученные от всех продуктов, были объединены. Концентраты и золотую «головку» сушили, взвешивали.

По завершении испытаний производили зачистку оборудования, в основном классификатора, мельницы и отсадочной машины. Материал от зачистки промывался на лотке. Из шлиха выделено 0,181 г свободного золота. Аналогичным способом из золотой «головки» фракции +0,5 мм также выделено 0,309 г свободного золота. В процессе обога-

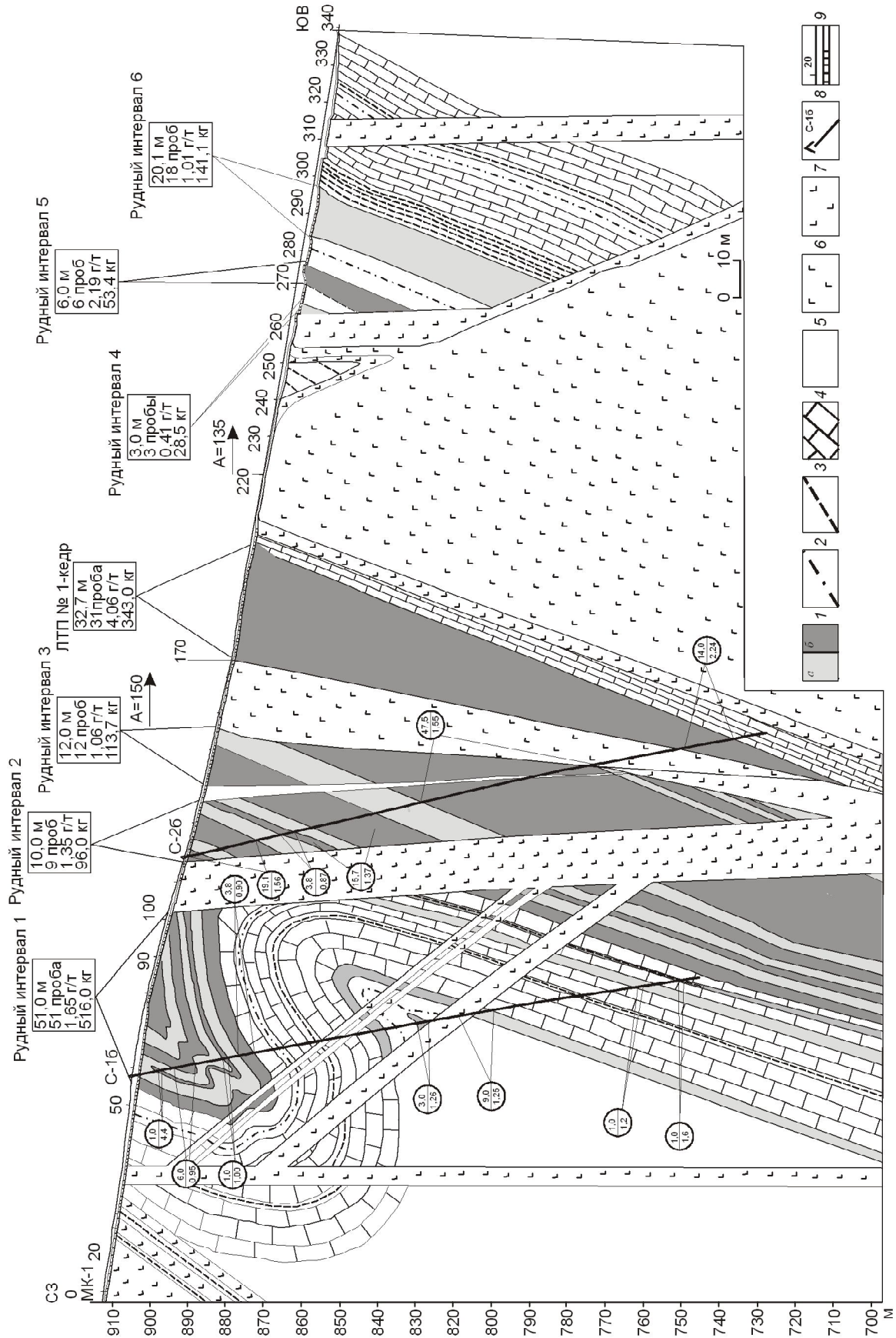
щения всего выделено 0,721 г свободного лигатурного золота крупностью более 0,5 мм. Средняя проба золота определена на пробирном камне Л.В.Шатиловой (ЦНИГРИ), которая составила 782‰ по 23 зернам при колебаниях от 760 до 800‰.

Технологические показатели гравитационного обогащения ЛТП № 1-кедр. Из всех полученных продуктов обогащения отобраны средние пробы для определения в них содержаний металла пробирным методом анализа. Определения содержаний золота в продуктах обогащения сначала выполнялись по навескам 25 г. По ним получены (табл. 1) значительные расхождения результатов, превышающие допустимую погрешность пробирных анализов в 10–20%. Поэтому массы корточек золота по навескам 25 г были объединены, и содержания пересчитаны на навески 50 г. Дополнительно выполнены пробирные анализы по навескам 50 г каждого из продуктов обогащения. Для расчета балансовых содержаний золота приняты средние значения по двум сопряженным навескам 50 г.

Технологические показатели гравитационного обогащения ЛТП № 1-кедр по данным пробирных анализов полученных продуктов (см. табл. 1) с учетом выделенного свободного золота (21,55%) удовлетворительные. Суммарное извлечение металла гравитацией в концентраты, отвечающие требованиям металлургических заводов, достигло 87,19% при выходе концентратов 2,85%. Балансовое, близкое к истинному среднее содержание золота в исходной технологической пробе составило 7,62 г/т. Получен коэффициент коррекции на достоверность опробования $7,62:4,06=1,88$.

Заверка данных пробирных анализов и технологические показатели гравитационного обогащения по результатам цианирования его продуктов. При сличении результатов пробирных анализов по двум навескам 50 г выявлены в основном допустимые погрешности определений содержаний. Тем не менее, учитывая методическую важность работы, исполнители пришли к выводу о необходимости заверки результатов пробирных анализов другими методами по более представительным навескам.

По формуле Ричардса Чететта ($Q=KD^2$, где Q — масса навески для анализа, кг; D — диаметр частиц золота, мм) определяем, что однородными для выделений золота в концентратах, после грохочения на сите с ячейкой в 0,5 мм, будут навески массой 250 г при $K=1,0$. Для выполнения этого условия от большинства продуктов обогащения были отобраны усредненные заверочные навески массой по 400 г каждая. По двум продуктам обогащения, массы которых были небольшими, в заверочных расче-



1. Технологические показатели гравитационного обогащения ЛТП № 1-кедр с использованием данных основного и дополнительных пробирных анализов

Продукты	Результаты пробирных анализов, г/т				Выход продуктов		Извлечение Au		
	дополнительных		основного по навеске 50 г	Среднее по двум навескам 50 г	кг	%	мг	%	
	по навескам 25 г	по навеске 50 г							
Химически чистое Au (721 мг·782‰)							563,82	21,55	
Магнитная фракция	-	-	-	168,0	168,0	0,0343	0,01	5,76	0,22
Золотая «головка» +0,5 мм	615,0	546,0	580,5	615,0	597,8	0,1372	0,04	82,02	3,14
Золотая «головка» -0,5 мм	554,0	1115,0	834,5	854,0	844,25	1,372	0,4	1058,31	44,27
Концентрат I	52,0	61,0	56,5	63,4	60,0	6,517	1,9	391,02	14,94
Концентрат II	40,0	54,0	47,0	46,8	46,9	1,715	0,5	80,43	3,07
Хвосты стола	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	59,0	17,2	47,20	1,80
Хвосты ККГЦ	1,6	1,4	1,5	0,6	1,05	274,2	79,95	287,94	11,01
Руда	Среднее по двум пробирным анализам каждой из 31 бороздовых проб — 4,06 г/т					343,35	100,0	2616,5	100,0
Балансовое содержание Au					7,62				
K_d					1,88				

таж использовались данные ранее полученных пробирных анализов.

В заверочных навесках выполнено растворение золота в цианистых растворах. Условия цианирования концентратов: масса навески 400 г, отношение Ж:Т=2:1, концентрация NaCN 2 г/л, извести 0,3 г/л, продолжительность 36 ч. Выщелачивание золота из концентратов и золотой «головки» класса -0,5 мм проводили без сорбента. В итоге из концентратов получены и проанализированы на золото по два продукта: золотосодержащий раствор и хвосты цианирования.

Условия цианирования хвостов гравитационного обогащения: масса навески 400 г, отношение Ж:Т=2:1, концентрация NaCN 1 г/л, извести 0,2 г/л,

продолжительность 24 ч, загрузка смолы 2% от объема. Цианирование хвостов стола и ККГЦ проводили в присутствии сорбента АМ-2Б с получением трех продуктов: сорбента, раствора и хвостов цианирования.

Содержания золота в растворах определялись атомно-абсорбционными анализами, а в хвостах цианирования и сорбенте — пробирными. Для удобства цианирования и определения содержаний исходная навеска продукта обогащения делилась пополам (по 200 г), каждая часть цианировалась и анализировалась отдельно. Результаты цианирования продуктов обогащения приведены в табл. 2.

Содержания в исходных пробах рассчитывались по формуле:

Рис. 1. Геологический разрез участка Кедровский, по В.О.Конышеву [4], с параметрами рудных интервалов, вошедших в состав ЛТП № 1-кедр и ЛТП № 2-кедр:

вулканогенно-терригенно-карбонатная флишевая толща ботомского века раннего кембрия (нижняя пачка верхней подсвиты мрасской свиты $\epsilon^2_1mr^1_2$): 1 — пласты рудоносного горизонта граувакковых песчаников с прослоями черных сланцев, туфов и известняков (содержания Au: *a* — до 0,8 г/т, *b* — >0,8 г/т), 2 — алевролиты темно-серые с прослоями серых песчаников и черных сланцев, 3 — черные сланцы с прослоями алевролитов, песчаников и мергелей, 4 — черные и пятнисто-полосчатые мраморизованные известняки, 5 — породы неизвестного литологического состава; 6 — порфиоровидное габбро; 7 — базальты (диабазы); 8 — поисковые скважины; 9 — поисковая магистральная канава МК-1 (штрих с цифрой — пикеты; интервал между двумя верхними линиями — делювий; неравномерная вертикальная штриховка между двумя нижними линиями — положение бороздовых (короткий интервал) и литохимических (удлиненный интервал) проб между неопробованными участками); цифры в кружках — параметры рудных интервалов по скважинам: в числителе — мощность, м, в знаменателе — содержание Au, г/т; в квадратах — параметры шести рудных интервалов, вошедших в состав ЛТП № 2-кедр, и рудного интервала, характеризующего ЛТП № 1-кедр: первая строка — видимая мощность, вторая — число бороздовых проб, взятых с интервала, третья — средневзвешенное содержание Au, четвертая — суммарная масса материала дубликатов бороздовых проб интервала, взятая для составления ЛТП

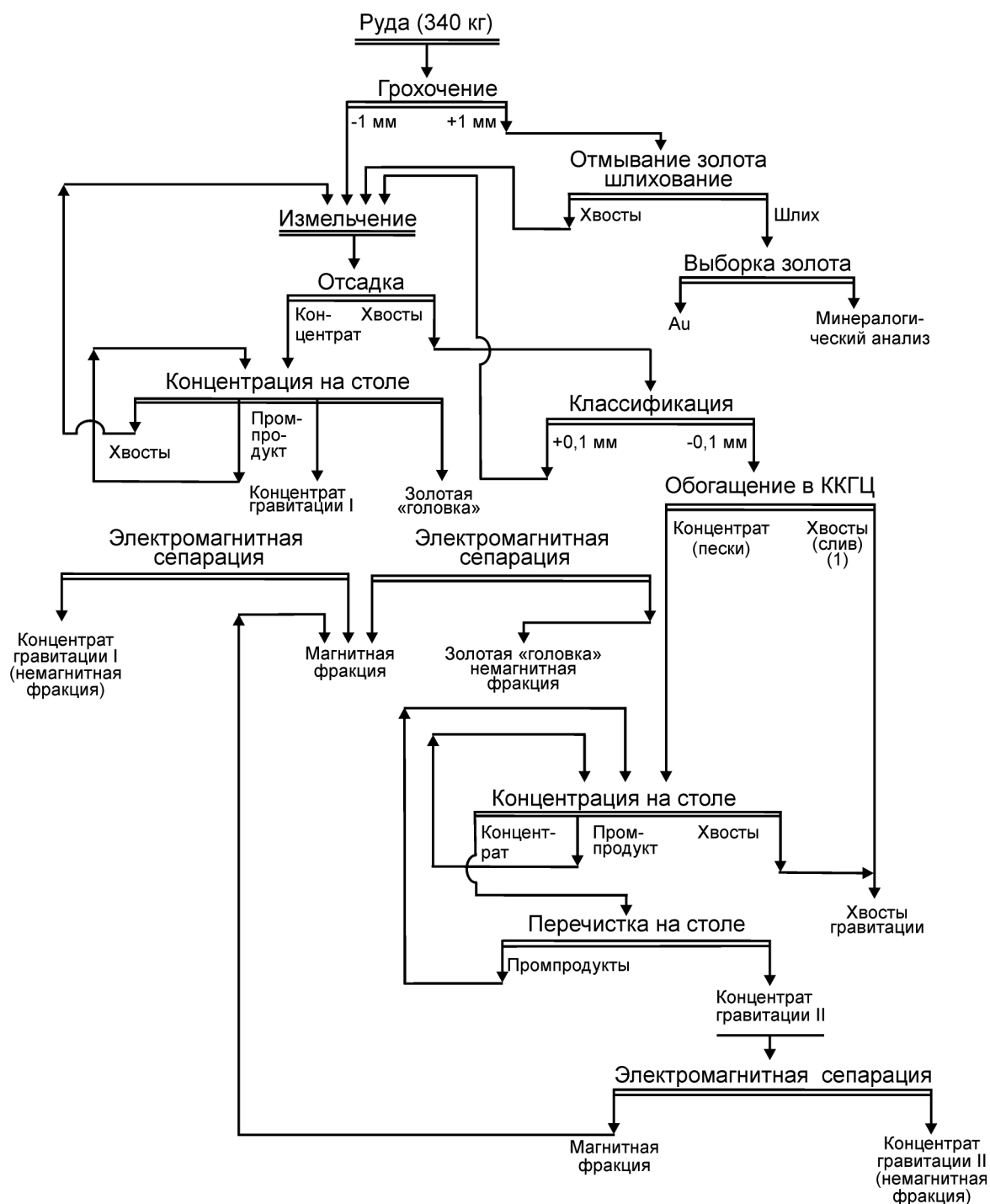


Рис. 2. Технологическая схема гравитационного обогащения ЛТП № 1-кедр

$C = [C_1 \cdot 0,8 \text{ л} + C_2 \cdot 0,4 \text{ кг} + C_3 + C_4] : 0,4 \text{ кг}$, мг/кг (г/т),
 где C_1 — среднее содержание золота в растворе, мг/л;
 C_2 — среднее содержание золота в хвостах цианирования, мг/кг (г/т); $C_3 + C_4$ — суммарное количество золота, извлеченное двумя навесками сорбента, мг.

Цианирование концентратов показало незначительное отличие содержаний, определенных пробирными анализами. В частности, по золотой «головке» пробирным анализом завышены содержания на 9,3% (71,85 г/т), по концентрату I — на 6,2%

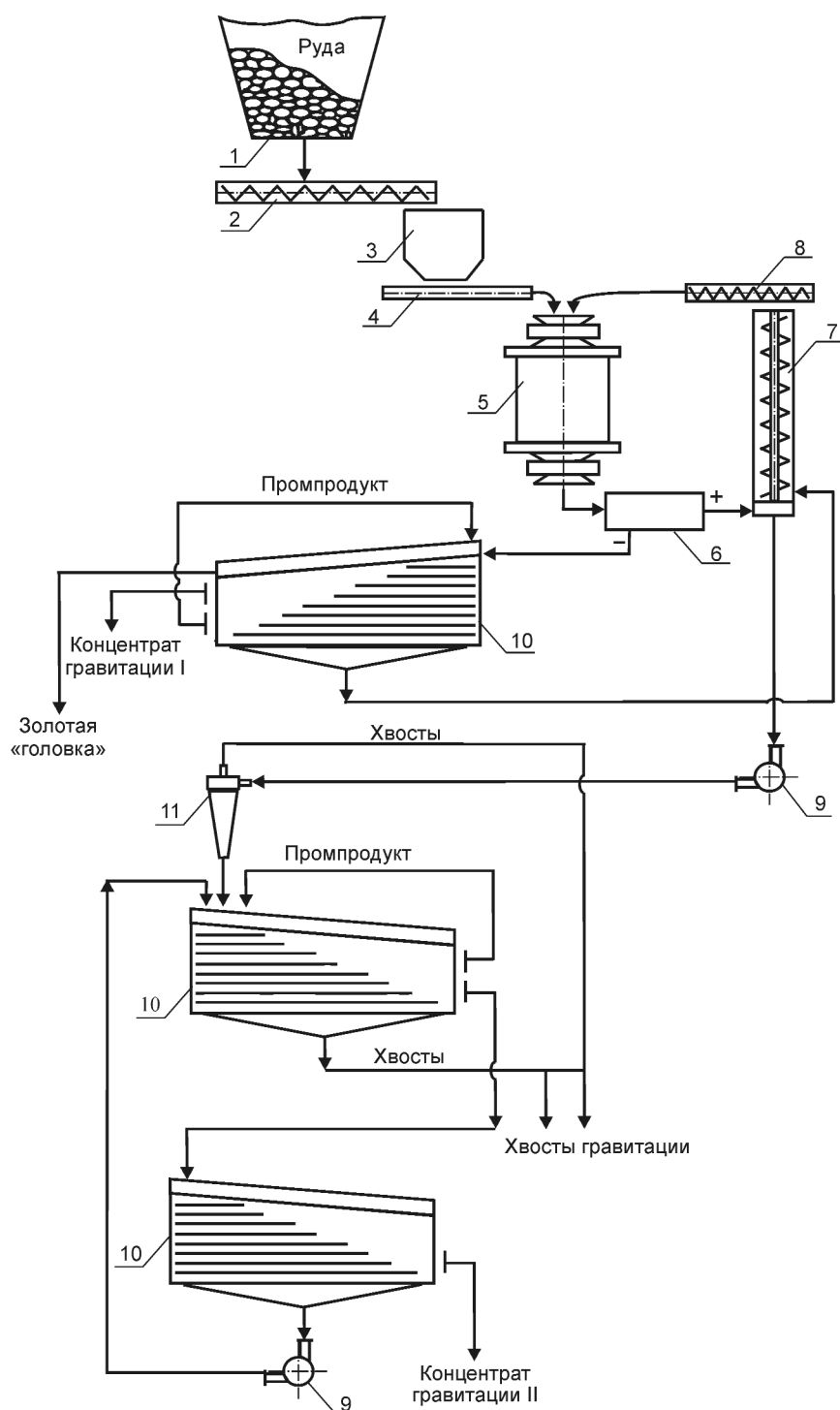


Рис. 3. Схема цепи аппаратов полупромышленных испытаний:

1 — бункер для дробленой руды $V=4 \text{ м}^3$; 2 — питатель шнековый 1500×200 мм; 3 — промежуточный бункер $V=0,06 \text{ м}^3$; 4 — питатель ленточный 200×200 мм; 5 — мельница шаровая 400×400 мм; 6 — отсадочная машина ОМСК-2; 7 — классификатор спиральный 150×600 мм; 8 — питатель шнековый 1200×150; 9 — насос НП-1; 10 — стол концентрационный СК-0,5; 11 — гидроциклон 50 мм, 20°

(3,5 г/т), по концентрату II занижены на 6,8% рждены данные пробирных анализов по концентратам. Несходимость данных по хвостам в настоящий

2. Результаты цианирования продуктов обогащения

Исходные продукты	Номера определений	Содержание Au				Извлечение Au в раствор, %
		Раствор, мг/л	Хвосты, мг/кг	АМ-2Б, мг	В исходном продукте, г/т	
Золотая «головка» класса –0,5 мм	1	352,0	6,0			99,2
	2	414,4	6,0			
	Среднее	383,2	6,0		772,4	
Концентрат I	1	28,1	0,7			98,8
	2	27,7	0,7			
	Среднее	27,9	0,7		56,5	
Концентрат II	1	23,5	1,1			97,9
	2	25,8	1,0			
	Среднее	24,65	1,05		50,35	
Хвосты стола	1	0,28	0,4	0,17		На смолу и в раствор 99,2
	2	0,28	0,6	0,17		
	Среднее	0,28	0,5	$\Sigma=0,34$	1,91	
Хвосты ККГЦ	1	0,04	0,6	0,33		На смолу и в раствор 77,1
	2	0,04	0,4	0,31		
	Среднее	0,04	0,5	$\Sigma=0,64$	2,18	

3. Технологические показатели гравитационного обогащения с использованием данных определения содержаний по результатам цианирования

Продукты	Выход		Содержание Au, г/т	Извлечение Au	
	кг	%		мг	%
Химически чистое Au (721 мг·782‰)				563,82	19,59
Магнитная фракция	0,0343	0,01	168,0	5,7624	0,20
Золотая «головка» +0,5 мм	0,1372	0,04	615,0	84,378	2,93
Золотая «головка» –0,5 мм	1,372	0,4	772,4	1059,7328	36,81
Концентрат I	6,517	1,9	56,5	368,2105	12,79
Концентрат II	1,715	0,5	50,35	86,3502	3,00
Хвосты стола	59,0	17,2	1,91	112,69	3,92
Хвосты ККГЦ	274,2	79,95	2,18	597,756	20,76
Руда	343,35	100,0	4,06	2878,70	100,0
Балансовое содержание Au в руде			8,38		
K_d			2,06		

момент не находит должного объяснения. Так, по хвостам гидроциклона пробирными анализами занижены содержания Au на 51,8% (1,13 г/т), а по хвостам стола — на 58,1% (1,11 г/т).

В табл. 3 представлены технологические показатели гравитационного обогащения с использованием результатов цианирования для определения содержаний золота. С учетом выделенного свободного золота, в данном случае составляющего 19,59%, суммарное его извлечение гравитацией достигает 75,32% при выходе концентратов 2,85%. Балансовое содержание золота в пробе составляет 8,38 г/т. Получен коэффициент коррекции на достоверность опробования $8,38:4,06=2,06$.

Из двух значений (1,88 и 2,06) экспериментального коэффициента коррекции на достоверность

опробования рекомендовалось принять средний ($K_d=1,92$), а среднее балансовое содержание золота в руде оценить в 8,00 г/т.

Технологические показатели гравитационного обогащения концентратов ЛТП № 1-кедр. Для определения форм золота в концентратах составлена групповая проба из остатков материала концентрата I (4,241 кг), концентрата II (0,536 кг) и золотой «головки» класса +0,5 мм (0,035 кг) общей массой 4,812 кг с расчетным содержанием 62,45 г/т по данным пробирных анализов или 59,75 г/т по данным цианирования.

В ЦНИГРИ под руководством А.И.Никулина проба объединенного концентрата подверглась обогащению в целях извлечения свободного золота. Ее измельчили до класса –0,16 мм с предварительной

классификацией и извлечением золота из надситовой фракции, а затем подвергли обогащению на центробежном концентрате «Бегущая волна». В результате получены концентрат БВ массой 0,17665 кг и хвосты массой 4,635 кг. Автоматически из хвостов производилась непрерывная отсечка материала на пробирный анализ общей массой 50 г.

Остальную массу хвостов высушили, отквартвали навеску массой 1 кг и измельчили ее в стержневой мельнице. От измельченной пробы отквартвали две навески по 50 г. Автоматически отсеченная навеска и две навески, отквартованные из хвостов, показали по пробирным анализам идентичные результаты: 14,18; 13,72 и 14,32 г/т (среднее 14,08 г/т). Среднее содержание по хвостам БВ 14,08 г/т.

Концентрат БВ подвергся разделению в тяжелых жидкостях. В результате получены легкая фракция концентрата БВ массой 0,16977 кг и тяжелый шликс массой 0,00688 кг. Из последнего под бинокляром было выбрано 0,24908 г лигатурного золота различной крупности (с учетом зерен золота, полученных на сите при измельчении исходной пробы). В пересчете на химически чистое золото при средней пробе 782‰ количество извлеченного самородного металла оценено в 0,19478 г.

Остаток шлика массой (0,00688–0,00024908)=0,006632 кг поступил на пробирную плавку. Из него выплавили корточку золота массой 65,51 мг. Содержание золота в этом остатке составило 9581,62 г/т. От легкой фракции концентрата БВ общей массой 0,16977 отквартвали навеску 50 г на пробирный анализ, который показал содержание Au 29,85 г/т.

Результаты обогащения пробы объединенного концентрата приведены в табл. 4. Выход концентрата БВ составил 3,68% с содержанием 150,22 г/т. В него извлекается 80,28% Au. Причем в самородном состоянии с частицами крупнее 0,076 мм извлекает-

ся 59,93% всего золота. Небольшая часть золота, конечно, еще содержится в самородном состоянии в виде частичек размером менее 0,076 мм, выбрать которые под бинокляром из тяжелой фракции затруднительно. Значительная часть золота концентрата БВ (19,62% всего золота) связана с рудными минералами тяжелой фракции, в которой присутствуют золотосодержащие галенит, сфалерит, блеклые руды, пирит, арсенопирит, халькопирит, борнит, гётит.

Количество свободного золота в хвостах БВ оценено амальгамированием. Масса хвостов, в отличие от остатков концентрата БВ, для этого метода была достаточной. Амальгамации подверглись две параллельные навески по 300 г каждая. Навески помещались в двухлитровые бутылки, в которые были добавлены по 30 г ртути и 600 г воды. Содержимое бутылок 2 ч перемешивалось на агитаторе. Отстоявшаяся амальгама отмывалась, и ее капли собирались серебряной пластинкой. Для контроля полноты сбора амальгама взвешивалась. Далее амальгама разваривалась в 50–100 мл 30%-ной азотной кислоты. Ртуть растворялась, и в осадок выпадала рыхлая золотая корточка. Осадок отфильтровывался, фильтр с осадком взвешивался и поступал на пробирную плавку. Корточка золота после пробирной плавки имела массу 5,93 мг. Содержание свободного золота в хвостах концентрата БВ составило 9,89 г/т, в хвостах амальгамирования — 4,34 г/т.

Количество свободного тонкого золота (плавучие чешуйки) в хвостах центробежного концентрата БВ составило 69,5%, а связанного в кварце и других силикатах, из которых оно не освободилось при измельчении до –0,16 мм, — 30,5%. При балансе 14,23 г/т абсолютная ошибка определения содержания золота в хвостах составила 14,23–14,07=0,16 г/т.

Необходимо помнить, что в концентраты при обогащении было извлечено 0,782 г шлихового

4. Показатели обогащения объединенного концентрата ЛТП № 1-кедр на концентрате «Бегущая волна» с применением тяжелых жидкостей для извлечения свободного золота

Продукты	Выход		Содержание Au, г/т	Извлечение Au	
	кг	%		г	%
Гравиконцентрат БВ	0,17665	3,68	150,22	0,26536	80,28
В том числе: шлиховое Au, г тяжелая фракция легкая фракция	0,24908	0,0052	0,782	0,19478	58,93
	0,006632	0,14	9581,62	0,06551	19,82
	0,16977	3,53	29,85	0,00507	1,53
Хвосты БВ	4,635	96,33	14,07	0,06521	19,72
Сумма	4,812	100		0,33057	100
Среднее содержание			68,70		

(58,93% всего золота) и 19,82% Au, связанного с рудными минералами тяжелой фракции. Поэтому полученные при амальгамировании цифры следует распространять на оставшуюся часть (21,25%) тонкого и связанного с силикатами золота хвостов и легкой фракции концентрата БВ. Общая доля шлихового, мелкого и тонкого золота в исходной пробе составляет $58,93+(21,25 \cdot 0,695)=73,70\%$, связанного с гидроксидами железа и сульфидами — 19,82%. Золото в сростках с силикатами, не раскрытое при крупности измельчения до класса $-0,16$ мм, составляет 6,48%.

Проведенные исследования показали, что в пробе объединенного концентрата с расчетными (по различным методам анализов) содержаниями Au 59,75–62,45 г/т реальное его содержание — 68,7 г/т. Это подтверждает надежность выявленного нами усредненного коэффициента коррекции на достоверность опробования $K_d=1,92$ и близкого к истинному усредненного содержания Au 8,00 г/т в ЛТП № 1-кедр.

В целом гравитационным обогащением руды выявлена систематическая ошибка пробирных анализов рядовых бороздовых проб, равная по абсолютной величине 3,94 г/т. В результате близкие к истинным содержания золота занижены почти в два раза.

О природе экспериментальных коэффициентов коррекции и рекомендуемая методика для их теоретического вычисления. Согласно действующей инструкции ГКЗ [5], данные рядовых пробирных анализов должны заверяться контрольными анализами. В случае несходности результатов рядовых и контрольных анализов должны выполняться арбитражные анализы. По их результатам определяются систематические ошибки, которые должны учитываться при подсчете запасов.

Данные, полученные нами при обогащении ЛТП № 1-кедр, по представительности опробования и массе пробы (343,4 кг) превышают требования к арбитражным анализам. По указанной причине усредненный экспериментальный K_d , учитывающий систематическую абсолютную погрешность определения золота пробирными анализами в рядовых бороздовых пробах, может использоваться для коррекции средних содержаний в геологических блоках при оценке прогнозных ресурсов.

В практике геологоразведочных работ коэффициенты коррекции к данным пробирных анализов принимались минимальными и оценивались первыми десятками процентов. Теоретически возможные коэффициенты коррекции на достоверность рядового опробования при этом не определялись. В.О.Конышевым установлена зависимость K_d от гранулометрического состава золота в технологи-

ческой пробе и предложена методика расчета его вероятностного теоретического значения.

Лигатурное золото, извлеченное из продуктов обогащения ЛТП № 1-кедр, рассеивалось на фракции на стандартном комплекте сит. Зерна фракции +1 мм дополнительно измерялись по средней оси под биноклем и подразделялись на более крупные фракции. Гранулометрический состав частиц этого золота приведен в табл. 5. Он позволил составить диаграмму (рис. 4), показывающую долю гранулометрических классов свободного золота, однородных по размеру зерен для навесок 50 г, к пробирным анализам.

По приведенной выше формуле Ричардса-Чечетта для навесок 50 г однородными будут считаться частицы золота размером 0,224 мм. Вероятность их попадания в навеску для анализа равна 100%. Масса таких частиц в ЛТП № 1-кедр составляет всего 20,7% свободного золота (см. рис. 4). Класс частиц +0,25–0,5 мм будет однородным только в навеске 250 г для анализа. Соответственно, вероятность попадания таких частиц в навеску 50 г равна 20%, что составляет в абсолютном выражении 0,94% от 4,69% массы этого класса. Вероятность попадания в навеску 50 г частиц золота класса +0,5–1,0 мм равна 0,83%, частиц класса 1–2 мм — 0,036%, частиц класса +2–3 мм — 0,069%. Самых тяжелых частиц класса +3–4 мм попадет в навеску только 0,025%, класса +4–5 мм — 0,016%, класса +5–6 мм — 0,021%, класса +6 мм — 0,013% массы каждого класса.

Сумма приведенных вероятностей попадания свободного золота в навеску 50 г для пробирного анализа равна 22,62% от всего золота. Золото, связанное с гидроксидами железа, сульфидами (19,82%) и силикатами (6,48%), не раскрытое при

5. Гранулометрический состав свободного золота, фактически извлеченного из продуктов обогащения ЛТП № 1-кедр

Классы, мм	Масса, мг	Выход, %	Средняя масса одного зерна, мг
+6	115	11,86	33,67
+5	144	14,84	27,80
+4	77	7,94	12,50
+3	78	8,04	9,50
+2	120,78	12,45	3,85
+1	28	2,89	1,17
+0,5	161,3	15,63	0,84
+0,25	45,5	4,69	0,22
+0,15	38,9	4,01	0,026
+0,1	108,9	11,23	Не определялась
-0,1	52,7	5,43	То же
Итого	970,08	100	

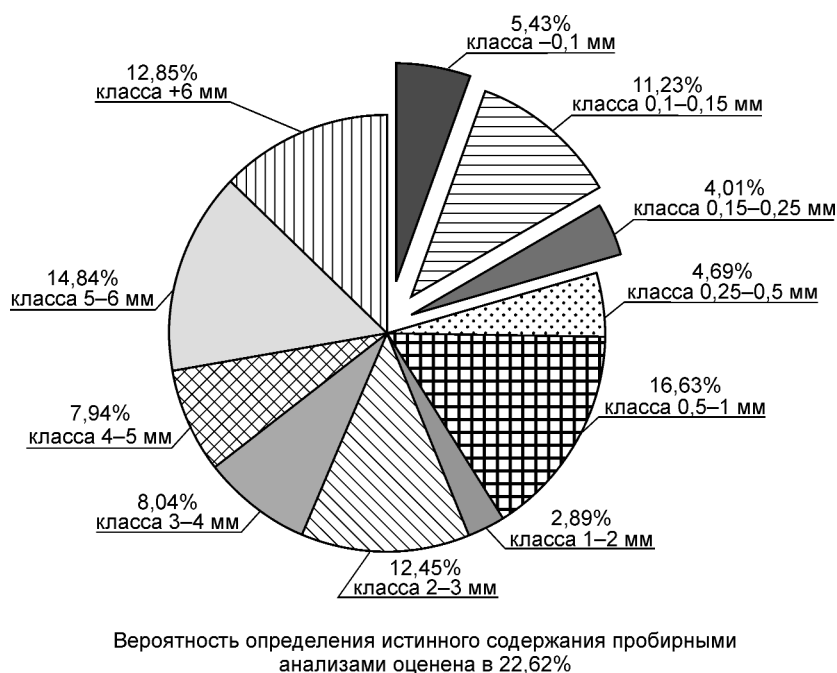


Рис. 4. Доля гранулометрических классов свободного золота участка Кедровский, однородных по величине зерен в навесках 50 г для пробирного анализа

крупности измельчения до класса $-0,16$ мм, по-видимому, участвует в пробирных анализах с вероятностью 100%. Общая вероятность (достоверность) определения золота пробирными анализами равна сумме перечисленных вероятностей и составляет 48,92% в изученных рудах участка Кедровский. Соответственно, для рядовых руд участка, представленных ЛТП № 1-кедр, теоретический коэффициент коррекции на достоверность опробования составит $100:48,92=2,04$. Он незначительно отличается от усредненного экспериментального $K_d=1,92$.

Приведенные рассуждения и построенная модель распределения золота различного гранулометрического состава в рудах позволяют теоретически объяснить занижения содержаний опробованием и оценить достоверность (вероятность) бороздового опробования на участке Кедровский в 48,92%. Такой вероятности достаточно не только для оценки прогнозных ресурсов, но и подсчета запасов по категории C_1 . Все это позволяет считать основным видом опробования бороздовое со стандартным сечением борозды, а основным видом анализа — пробирный.

Зависимость коэффициентов коррекции на достоверность опробования от богатства руд. Полученные значения K_d , позволившие почти в два раза откорректировать содержание золота в сторону увеличения по 32,7 м разведочному пересече-

нию, охарактеризованному ЛТП № 1-кедр, подтолкнули автора к мысли оценить близкие к истинным содержания в контурах всего горизонта рудоносных песчаников [4], в котором выявлены еще шесть слабозолотоносных интервалов (см. рис. 1). Для этого была составлена ЛТП № 2-кедр массой 948,9 кг из совокупности материала 95 бороздовых проб всех шести ранее не охарактеризованных рудных интервалов. Суммарная мощность рудных интервалов, разобщенных субсогласными силлами и массивами диабазов и габброидов, составила 102,1 м. Средневзвешенное содержание золота в этой технологической пробе 1,50 г/т при колебаниях от 0,1 до 17,05 г/т.

В ноябре 2006 г. ЛТП № 2-кедр подверглась гравитационному обогащению в ТулНИГП на той же установке и по той же схеме, что и ЛТП № 1-кедр. Небольшие отличия заключались в том, что для повышения однородности материала большая часть золота выделялась из шлихов концентратов до отбора навесок для производства анализов. В результате концентраты распались на ряд промежуточных продуктов. Условия обогащения на концентратном столе также позволили отделить от концентрата II золотую «головку» II. Длинный список промежуточных продуктов обогащения несколько осложнил простую гравитационную схему переработки руд, технологические показатели обогащения которой приведены в таблицах 6 и 7.

**6. Технологические показатели гравитационного обогащения ЛТП № 2-кедр,
по данным пробирных анализов продуктов обогащения**

Продукты	Выход		Содержание Au по пробирным анализам навесок 50 г, г/т			Извлечение химически чистого Au		Масса Au пробы 782‰, мг
	кг	%	1	2	среднее	мг	%	
Свободное Au из фракции руды +1 мм, мг						51,16	2,38	65,42
Золотая «головка» I	3,690	0,39			89,106	328,803	15,28	
Au класса +0,14 мм золотой «головки» «а»						57,08	2,65	72,99
Золотая «головка» «а» с Au класса –0,14 мм	0,870	0,09	291,0	266,0	278,5	242,295	11,26	
Золотая «головка» «б» класса +0,08 мм	0,080	0,01	19,0	18,0	18,5	1,48	0,07	
Золотая «головка» «б» класса –0,08 мм	2,740	0,29	10,4	10,0	10,2	27,948	1,30	
Магнитная фракция класса –0,5 мм	0,145	0,02	252,0	260,0	256,0	37,12	1,72	
Концентрат I	5,060	0,53			9,66	48,90	2,27	
Au класса +0,25 мм						18,54	0,86	23,71
Концентрат I с Au класса –0,25 мм	5,060	0,53	7,4	4,6	6,0	30,36	1,41	
Золотая «головка» II	1,365				266,048	363,155	16,88	
Шлих	0,095	0,01	44,4	47,8	46,1	4,38	0,20	
Легкая фракция	1,270	0,13	280,0	285,0	282,5	358,775	15,67	
Концентрат II	3,758	0,40	3,8	5,2	4,5	16,911	0,79	
Промпродукт II	40,3	4,25	0,6	0,8	0,7	28,21	1,31	
Хвосты	307,0	32,35	0,6	0,6	0,6	184,2	8,56	
Слив гидроциклона	570,26	60,10	0,6	0,6	0,6	342,168	15,90	
<i>Перечистка промпродуктов от перечистки концентрата I отсадки</i>								
Промпродукт III	7,025	0,74	1,2	1,0	1,1	7,728	0,34	
Хвосты II	0,687	0,07	0,6	0,6	0,6	0,412	0,02	
<i>Перечистка материала от зачистки мельницы, отсадочной машины и постели классификатора</i>								
Концентрат III	1,401				523,33	733,19	34,08	
Au класса +0,14 мм						728,57	33,86	931,68
Хвосты концентрата III	1,400	0,15	3,4	3,2	3,3	4,62	0,22	
Промпродукт	7,370	0,77	1,6	0,6	1,1	8,107	0,38	
Хвосты III	0,840	0,09	1,8	2,0	1,9	1,596	0,07	
Исходная руда	948,9				1,50	2151,66	100,0	
Балансовое содержание Au					2,268			
K_d					1,51			

По пробирным анализам продуктов обогащения с учетом свободного золота, пересчитанного на химически чистое по средней пробе 782‰ (855,35 мг — 39,55% от всего золота), суммарное извлечение металла гравитацией в концентраты с содержаниями более 50 г/т достигло 68,2%. Выход концентратов составил 6,601 кг, или 0,70% от массы исходной руды. В хвосты с содержаниями 0,6 г/т извлечено 24,48% Au при выходе хвостов 92,52%. Остальное золото (7,32%) при среднем содержании 2,45 г/т извлечено в промпродукты, выход которых составил 6,78%. Балансовое содержание золота в ЛТП № 2-кедр составило 2,27 г/т вместо 1,50 г/т по

данным рядового опробования. Коэффициент коррекции на достоверность опробования равен 1,51.

Данные пробирных анализов были заверены результатами цианирования навесок 400 г большинства продуктов обогащения. Технологические показатели гравитационного обогащения при этом изменились (см. табл. 7). Суммарное извлечение металла гравитацией в концентраты с содержаниями более 50 г/т с учетом свободного химически чистого золота (855,35 мг — 34,72% от всего золота) достигло 61,60%. Выход концентратов составил 6,601 кг, или 0,70% от массы исходной руды. В хвосты и другие продукты обогащения, содержащие менее 1,1 г/т,

7. Технологические показатели гравитационного обогащения ЛТП № 2-кедр по результатам цианирования для определения содержаний золота в продуктах обогащения

Продукты	Выход		Содержание Au, г/т	Извлечение Au	
	кг	%		мг	%
Свободное Au из фракции руды +1 мм (здесь и далее в пересчете на химически чистое при пробе 782‰), мг				51,16	2,08
Золотая «головка» I	3,690	0,39	90,56	334,152	13,56
Au класса +0,14 мм золотой «головки» «а»				57,08	2,32
Золотая «головка» «а» с Au класса –0,14 мм	0,870	0,09	290,12	252,404	10,24
Золотая «головка» «б» класса +0,08 мм	0,080	0,01	18,5	1,48	0,06
Золотая «головка» «б» класса –0,08 мм	2,740	0,29	8,2	22,468	0,91
Магнитная фракция	0,145	0,02	256,0	37,12	1,51
Концентрат I	5,060	0,53	8,65	43,789	1,78
Выделенное свободное Au класса +0,25 мм				18,54	0,75
Концентрат I с Au класса –0,25 мм	5,060	0,53	4,99	25,249	1,03
Золотая «головка» II	1,365	0,14	251,25	342,962	13,92
Шлих	0,095	0,01	46,1	4,380	0,18
Легкая фракция	1270	0,13	266,6	338,582	13,74
Концентрат II	3,758	0,40	5,38	20,218	0,82
Промпродукт II	40,300	4,25	1,07	43,121	1,75
Хвосты II	307,0	32,35	0,78	239,46	9,72
Слив ККГЦ	570,26	60,10	1,05	598,773	24,30
<i>Перечистка промпродуктов от перечистки концентрата I отсадки</i>					
Промпродукт III	7,025	0,74	1,14	8,009	0,32
Хвосты II	0,687	0,07	1,26	0,866	0,04
<i>Перечистные зачистки мельницы, отсадочной машины и классификатора</i>					
Концентрат III	1,401	0,15	524,13	733,778	29,78
Au класса +0,14 мм				728,57	29,57
Хвосты концентрата III	1,400	0,15	3,72	5,208	0,21
Промпродукт	7,370	0,77	1,41	10,392	0,42
Хвосты III	0,840	0,09	0,78	0,655	0,03
Исходная руда	948,9	100,0	1,504	2463,735	100,0
Балансовое содержание Au			2,596		
K_d			1,73		

извлечено 35,8% Au при выходе 96,99%. Остальное золото (2,6%) при среднем содержании 2,92 г/т извлекается в промпродукты, выход которых составил 2,31%. Балансовое содержание золота в ЛТП № 2-кедр по данным заверочного цианирования навесок 400 г продуктов обогащения составило 2,60 г/т вместо 1,50 г/т, установленных по данным рядового опробования. Коэффициент коррекции равен 1,73.

Усредненное, близкое к истинному, балансовое содержание золота в ЛТП № 2-кедр составило 2,44 г/т. Усредненный $K_d=1,62$. Это несколько ниже, чем по ЛТП № 1-кедр, где этот показатель равен 1,92 при усредненном балансовом содержании Au 8,00 г/т. Выявленная тенденция увеличения K_d при возрастании богатства руд подтверждается опубликованными данными [1–3], полученными при обогащении крупнообъемных и технологических проб рудных блоков месторождения-аналога Федоровское-1.

Так, полупромышленная технологическая проба № 10 массой 23,1 т, отобранная из блока 29

рудного тела б данного месторождения, при полупромышленном обогащении на фабрике ОАО «Коммунарский рудник» показала балансовое содержание 20,7 г/т. По 12 пробам среднее содержание в перемешанных исходных рудах оценивалось в 6,8 г/т с колебаниями в частных пробах от 0,5 до 36,8 г/т. ЛТП № 10 массой 100 кг, составленная из 14 проб той же руды, раздробленной до класса –8 мм, имела среднее содержание 5,03 г/т при колебаниях от 3,2 до 7,9 г/т. Балансовое содержание золота по результатам гравитационного обогащения 14,33 г/т.

Рядовое бороздовое опробование по 82 разведочным пересечениям отработанного блока 4C₁ рудного тела Карьерное (сеть 2,2×2 м) показало средневзвешенное содержание 17,4 г/т [1]. Крупнообъемное опробование этого же блока (сеть 5,7×5,7 м) 13 картировочными технологическими пробами показало средневзвешенное содержание 97,0 г/т, что в 5,58 раз выше, чем по рядовому опробованию.

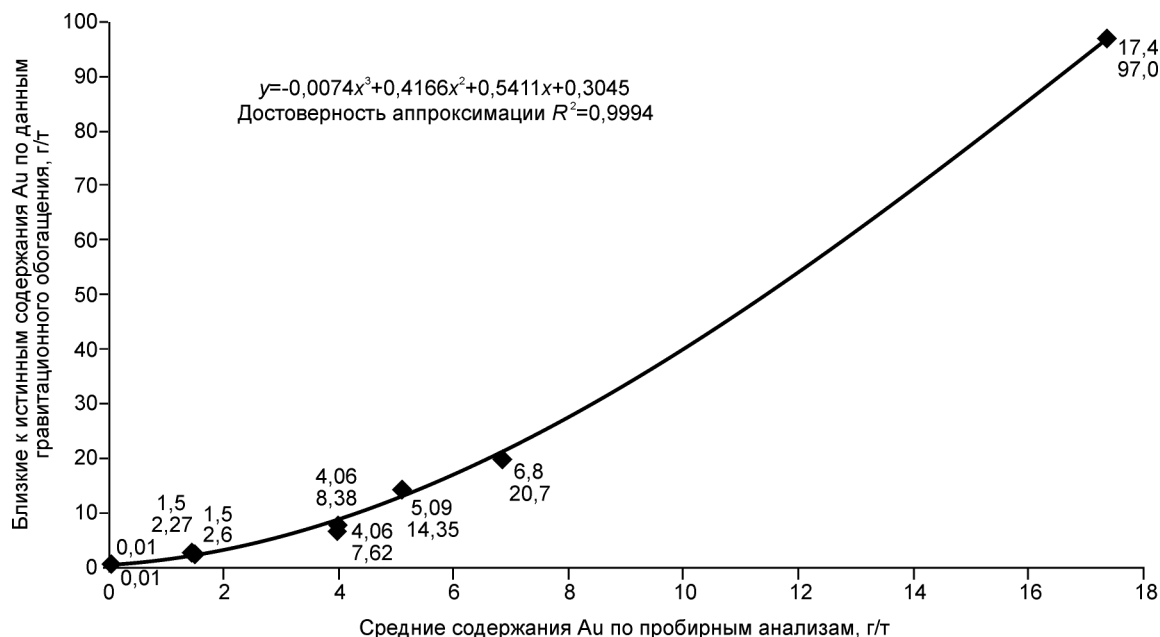


Рис. 5. Близкие к истинным содержания Au после гравитационного обогащения проб, используемые для коррекции средних содержания Au в рудных телах по рядовому опробованию, В.О.Коньшев, 2006

По перечисленным примерам и материалам технологических исследований составлены диаграммы зависимости K_d и близких к истинным содержаниям от средних содержания, определенных по данным пробирных анализов рядовых бороздовых проб. Для каждой диаграммы (рис. 5, 6) установлены формулы, которые с высокой достоверностью аппроксимации (0,9994, 0,9792) позволяют найти близкие к истинным содержания золота и K_d по определенным рядовым опробованием средним содержаниям золота в разведочных пересечениях и геологических блоках. Аналогичные данные можно получать и графическим путем. Размытые параметры K_d получили четкое количественное выражение в зависимости от богатства руд.

Практика применения K_d при оценке прогнозных ресурсов рудных зон Федоровско-Кедровского рудного поля. По уточненным технологическими исследованиями ЛТП № 1-кедр и № 2-кедр данным средневзвешенное содержание золота в горизонте 134,8 м рудоносных песчаников составило 3,79 г/т вместо 2,12 г/т, установленных по рядовому опробованию. Обобщенный $K_d=1,78$. Вновь полученные близкие к истинным содержания золота удовлетворяют оценочным кондициям, определенным геологическим заданием (минимальное промышленное содержание 2,2 г/т). Они позволяют локализовать крупнообъемную рудную залежь в естественных границах рудоносного горизонта песча-

ников, а не по контурам его отдельных частей, выявленным опробованием с невысокой достоверностью. Незначительно минерализованные силлы и массивы диабазов (см. рис. 1), разобщающие пласты горизонта рудоносных песчаников, при мощности более 4 м могут быть отработаны селективно. Поэтому они исключались из объема руд при расчете средних содержания по ЛТП. Коэффициент рудоносности, одновременно учитывающий объемы секущих даек и субсогласных силлов габброидов, оценен автором в 0,73 при разведке месторождения-аналога Федоровское-1. Поперечные дайки могут быть отдельно учтены коэффициентом рудоносности 0,8.

В пределах прослеженных автором [4] горизонтов рудоносных песчаников горными и буровыми работами ОАО «Берег» обнаружены несколько рудных пересечений с промышленными параметрами, установленными по данным пробирных анализов рядовых бороздовых проб. Это позволило ОАО «Берег» локализовать девять геологических блоков прогнозных ресурсов, оконтуренных по четырем вариантам бортовых содержаний.

Суммарные прогнозных ресурсов геологических блоков, локализованных ОАО «Берег» по результатам пробирных анализов рядовых бороздовых проб, приведены в верхней половине табл. 8. В нижней половине отражены прогнозных ресурсов с учетом откорректированных автором содержания золота. При этом близкое к истинному содержание

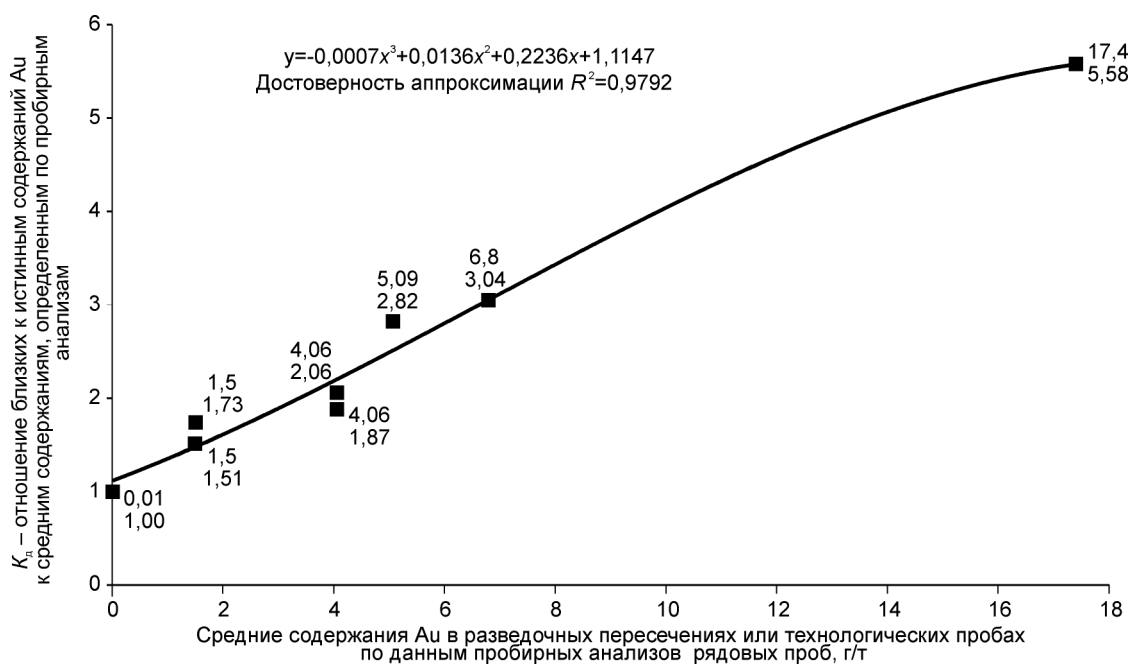


Рис. 6. Коэффициенты коррекции к средним содержаниям Au для повышения достоверности опробования, В.О.Конышев, 2006

золота и прогнозные ресурсы возросли в 1,57–1,96 раза при различных уровнях бортовых содержаний.

Изложенные в статье практические приемы выявления пределов колебаний экспериментальных коэффициентов коррекции в зависимости от богатства руд могут дать исследователям представления об инструменте переоценки многих объектов, в которых концентрации золота по разведочным пересечениям были занижены, а сами объекты ошибочно исключены из активной сферы геологоразведочных работ.

Автор выражает искреннюю благодарность И.Ф.Мигачеву, А.И.Кривцову, С.С.Вартаняну, Б.И.Беневолюскому, А.И.Никулину, руководителю

Хакаснедра В.В.Кяргину, генеральному директору ОАО «Берег» В.К.Кондрину за всестороннее обсуждение результатов, советы и поддержку направления исследований по совершенствованию методики опробования руд с крупным золотом.

За помощь в отборе технологических проб, прослеживании рудоносных горизонтов, компьютерной верстке рисунков, изучении золота, за консультации по математической обработке результатов исследований автор признателен И.Ю.Крутошинскому, Е.А.Белоножко, А.Г.Горелову, В.И.Лобачу, С.Г.Кряжеву, С.С.Двуреченской, К.М.Минькину, А.П.Сергиевскому, Л.В.Шатиловой, И.Л.Реуту и многим другим коллегам, производственным ра-

8. Прогнозные ресурсы золота западной части Кедровского участка, оцененные по четырем вариантам бортовых содержаний без применения и с применением коэффициента коррекции на достоверность опробования

Категория прогнозных ресурсов	Бортовое содержание Au, г/т	Объем руды, тыс. м ³	Масса руды, тыс. т	K_d	Среднее содержание Au, г/т	Прогнозные ресурсы Au, кг
P_2 без коррекции K_d	0,2	7527,0	19 739,27		1,64	32 400
	0,4	6303,1	16 554,62		1,88	31 161
	0,8	4401,5	11 553,45		2,52	29 088
	1,6	2740,4	7179,22		3,42	24 560
P_2 , откорректированные K_d	0,2	7527,0	19 739,27	1,57	2,58	50 927
	0,4	6303,1	16 554,62	1,58	2,97	49 167
	0,8	4401,5	11 553,45	1,68	4,25	49 102
	1,6	2740,4	7179,22	1,96	6,73	46 162

ботникам и научным сотрудникам, с кем довелось вместе работать над проблемами Федоровско-Кедровского рудного поля.

Особо хочется поблагодарить заведующего лабораторией обогащения ТулНИГП В.В.Царева, ведущего научного сотрудника М.Н.Сычеву и технических исполнителей А.С.Тимошенко, Е.П.Михайлову, А.А.Боровлеву, Е.А.Сошникову, Е.П.Чепушканову, Н.П.Стафиевскую, А.С.Скворцову, С.А.Стародубцева и др., обеспечивших качественное обогащение технологических проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коньшев В.О.* Опыт оценки погрешностей опробования и совершенствование методологии разведки месторождения с бананцевым распределением золота // Отечественная геология. 2004. № 6. С. 22–35.
2. *Коньшев В.О.* Методология опробования на месторождении с крайне неравномерным и бананцевым распределением золота // Разведка и охрана недр. 2005. № 2–3. С. 10–18.
3. *Коньшев В.О.* О граничных условиях определения золота методом предварительного извлечения // Отечественная геология. 2005. № 3. С. 84–87.
4. *Коньшев В.О.* Федоровско-Кедровское рудное поле (литолого-стратиграфический контроль и потенциал золотоносности) // Отечественная геология. 2006. № 2. С. 22–28.
5. *Методическое руководство по применению классификации запасов к золоторудным месторождениям.* – М.: МПР РФ, ГКЗ, 1999.



ДОБЫЧА И ПОИСКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КАНАДЫ

В.И.Ваганов (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

В 2005 г. опубликован обзор «Northwest Territories. Overview», составленный при непосредственном участии и руководстве правительства Северо-Западных Территорий Канады, прежде всего, для информирования и привлечения новых потенциальных инвесторов. Приведен обширный фактический материал и сделан анализ современного состояния и ретроспективы минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых на данной площади. В России в геологических обстановках, близких к обстановкам Северо-Западных Территорий Канады (прежде всего, на Балтийском щите), в настоящее время начинаются активные поисковые работы (особенно в отношении месторождений алмазов), поэтому материалы данного обзора интересны и для российских геологов.

Добыча. В настоящее время на Северо-Западных Территориях Канады эксплуатируются три месторождения: два алмазных — Экати (Ekati) и Диавик (Diavik) и одно вольфрамовое — Кентанг (CanTung). В мае 2005 г. Совет директоров Де Бирс выделил 636 млн. дол. США на строительство горнодобывающего комплекса на алмазном месторождении Снэп Лейк (Snap Lake). Ожидается, что добыча на данном руднике на полную мощность начнется в 2007 г. Ресурсы оценены в 22,8 млн. т руды при концентрации алмазов 1,46 карат/т и их средней стоимости 76 дол. США/карат.

Месторождение площади Экати расположено в провинции Лак Де Гра. Владельцы лицензии — компании *Billiton Diamonds Inc* 80%, *C Fipke* 10%, *Blusson* 10% акций. Лицензия выдана на площадь в 344 га. В ее пределах выявлено около 150 кимберлитовых трубок, 20 из них опробовано крупнообъемными пробами, в восьми трубках установлены промышленные содержания алмазов. Добыча началась в октябре 1998 г.

Главными источниками алмазов являются трубки Коала (Koala) и Беатуз (Медвежий Зуб —

Beartooth), обрабатываемые карьерами, подземный рудник на трубке Панда (Panda), отдельные рудные столбы из карьера трубки Мизери (Misery). Подземная добыча на трубке Панда (Panda) началась в 2005 г. Запасы обеспечивают деятельность рудника на шесть лет при обработке руды в объеме 2600 т в день и годовой добыче 4,7 млн. карат высококачественных алмазов.

Ряд трубок находятся на стадии опытно-промышленной эксплуатации. Так, на трубке Фокс идет разработка карьера; начало добычи планировалось в ноябре 2005 г. Подземная добыча на трубке Коала находится в стадии проектирования.

В 2003 г. на месторождениях Экати добыто 7,4 млн. карат алмазов. Это более 5% мировой добычи по массе и около 10% по стоимости (из-за высокого качества алмазов). В 2004 г. добыча несколько сократилась (5,11 млн. карат). В настоящее время обрабатывается около 12 500 т кимберлитовой руды в день, в 2007 г. это количество планируется увеличить до 18 000 т. Предполагается, что запасы руды в восьми трубках будут погашены к 2015 г.

В течение первых девяти месяцев 2005 г. было добыто 3,3 млн. карат по сравнению с 4,7 млн. карат за аналогичный период 2004 г. Это связано с переходом к отработке более низкоалмазоносных руд в карьерах. В апреле 2005 г. начата подземная разработка трубки Панда. Предполагается, что максимум добычи будет достигнут в 2006 г. и составит 4,7 млн. карат на ближайшие шесть лет.

Месторождения площади Диавик расположены в провинции Лак де Гра в 30 км к юго-востоку от площади Экати. Владельцы лицензии — компании *Diavik Diamond Mines Inc.* 60% и *Aber Diamond Corporation* 40% акций. В пределах лицензионной территории обнаружено 63 кимберлитовых тела, из которых половина содержит алмазы. Месторождения Диавик включают четыре кимберлитовых трубки (A154 Юг, A154 Север, A418 и A21) с предвари-

тельно оцененными запасами руды 27,1 млн. т при среднем содержании 3,9 карат/т. Создание горнодобывающего комплекса обошлось в 1,25 млрд. дол. США, и было завершено в 2003 г.

Добыча алмазов началась в январе 2003 г. и составила за первый год 3,8 млн. карат (1,3 млн. т кимберлитовой руды), в 2004 г. она возросла до 7,6 млн. карат. За первые шесть месяцев 2005 г. извлечено 4,26 млн. карат. Первоначально планировалась ежегодная добыча и переработка около 1,5 млн. т руды, однако эта цифра постоянно превышалась и в 2005 г. достигла 2 млн. т.

В 2004 г. алмазы добывались из трубок A154 Южная и A154 Северная. Последняя становится главным источником алмазов. Разрабатываются планы открытой добычи на дайках A418 и A154, подземной — на трубках A418 и A154. Трубка A21 по результатам крупнообъемного опробования переведена из резервов в ресурсы; разрабатывается проект ее подземной обработки.

В 2004 г. по результатам крупнообъемного опробования трубки A154 качество алмазов (и соответственно их стоимость) превзошло ожидаемое. Их

стоимость составила 82 дол. США/карат, тогда как по предварительным данным она была 36 дол. США/карат.

Добыча на месторождении *Кентанг* остановлена в 2003 г. В настоящее время компания *North American Tungsten Corp. Ltd.* возобновила ее как в карьере, так и в подземном варианте в связи с повышением цен на вольфрам на мировом рынке до уровня более 20 дол. США за 1 кг концентрата. Добыча составляет около 900 т руды в день. Предполагается, что в ближайшем будущем годовой объем получаемого концентрата составит 400 тыс. м³, что выведет это месторождение на первое место на Западе.

Поиски месторождений алмазов на кратоне Слейв. Локальные участки поисков коренных месторождений на кратоне показаны на рис. 1.

Компания *Arctic Star Diamond Corp.* (100% акций) совместно с *Kennecott Canada Exploration Inc.* провели наземные геофизические работы и заверочное бурение 13 аномалий на площади Кредит Лейк (Credit Lake) в 32 км к юго-западу от площади Экати. Обнаруженные кимберлитовые тела не

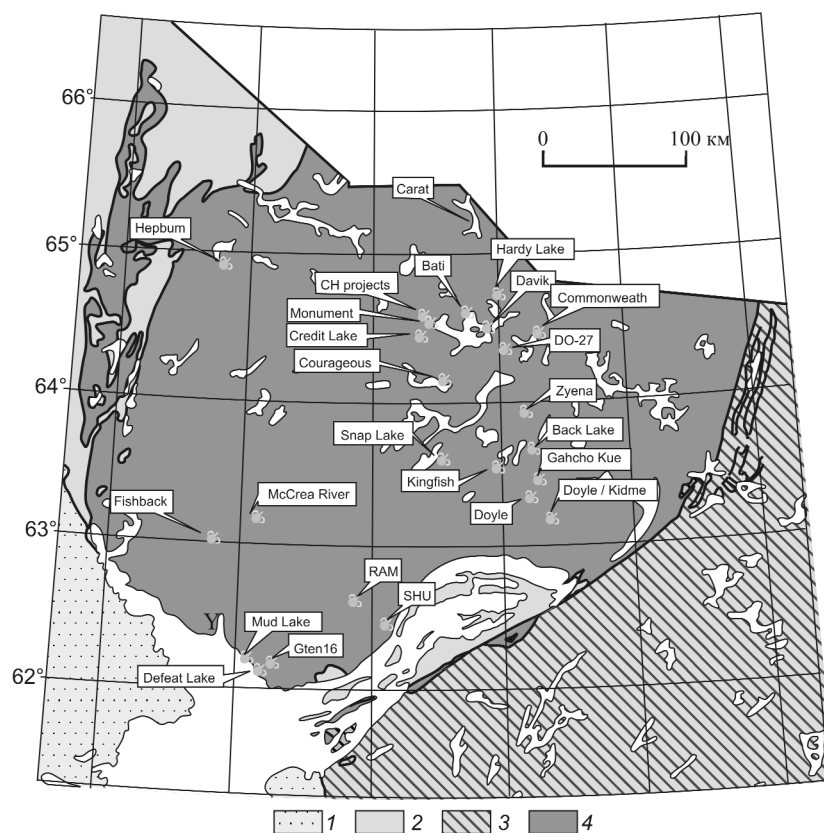


Рис. 1. Расположение площадей поисковых работ на алмазы на кратоне Слейв:

1 — внутренняя платформа; провинции: 2 — Бэар, 3 — Черчилл, 4 — Слейв

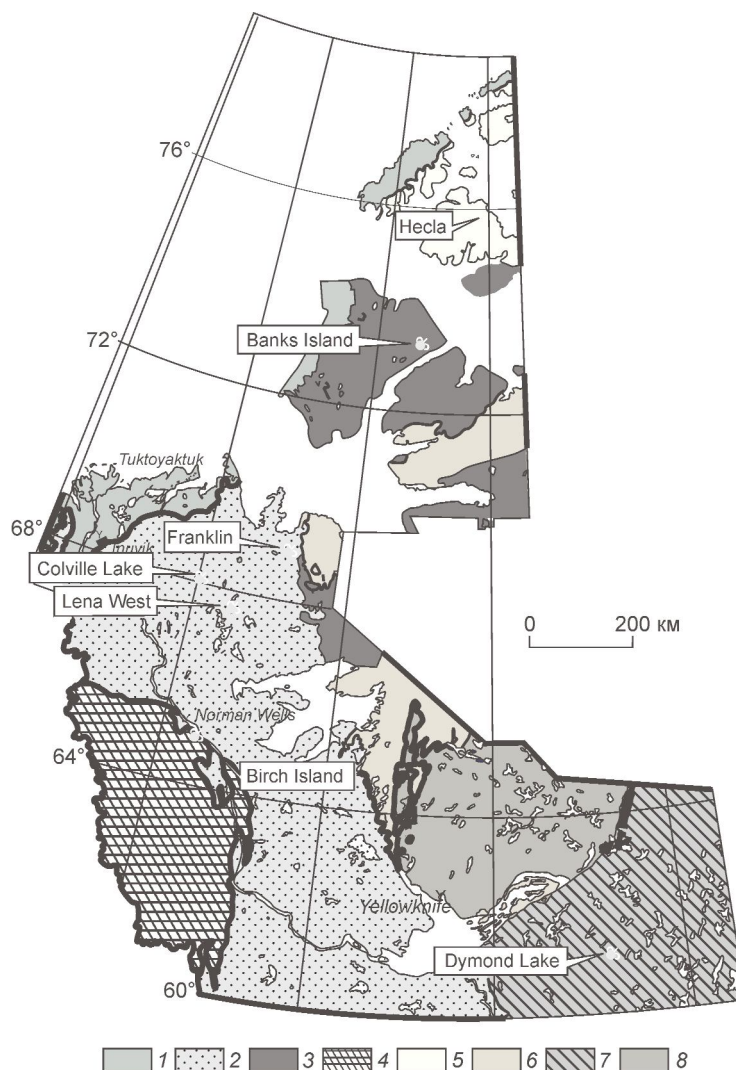


Рис. 2. Расположение площадей поисковых работ на алмазы за пределами кратона Слейв:

1 — арктический континентальный шельф; 2 — внутренняя платформа; 3 — арктическая платформа; 4 — складчатая зона Кордильер; 5 — складчатая зона Иннуитиан; провинция: 6 — Бзар, 7 — Черчилл, 8 — Слейв

представляют промышленного интереса; отобраны и изучаются 590 шлиховых проб для извлечения минералов-индикаторов и более точной оценки перспектив алмазности территории.

На площади Баффер Зоун (Buffer Zone) совместным венчурным предприятием (*BHP Billiton Diamond Inc.* 58,8%, *Archon Mineral Ltd.* 31,2%, *Charles Fipke* 10%) на лицензионной площади Экаги колонковым бурением заверены две трубки (суммарный объем бурения составил 1505 м.). Проведен определенный объем наземных магнитных и электроразведочных работ для определения геометрии нескольких уже выявленных трубок.

На территории Экаги также венчурным предприятием в составе *BHP Billiton Diamonds Inc.* 80%,

Charles Fipke 10% и *Blussen* 10% продолжались работы по опоскованию площади Core Zone. В пробе массой 73 т по одной колонковой скважине (глубиной 286 м) установлено среднее содержание алмазов 0,8 карат/т. Открыты два новых кимберлитовых тела — Рет Ист и Игл (Rat East и Eagle), в керновых пробах которых обнаружены микроалмазы. В целом в пределах двух вышеуказанных площадей установлено 154 кимберлитовых проявления.

Из центральной части кимберлитовой трубки DO-27 компанией *Peregrine Diamonds Ltd.* (54% акций) с партнерами отобрана валовая проба массой 151 т. Среднее содержание алмазов составило 0,89 карат/т, причем 21 кристалл имел массу более 0,5 карат. Тем не менее, предполагается, что из-за не-

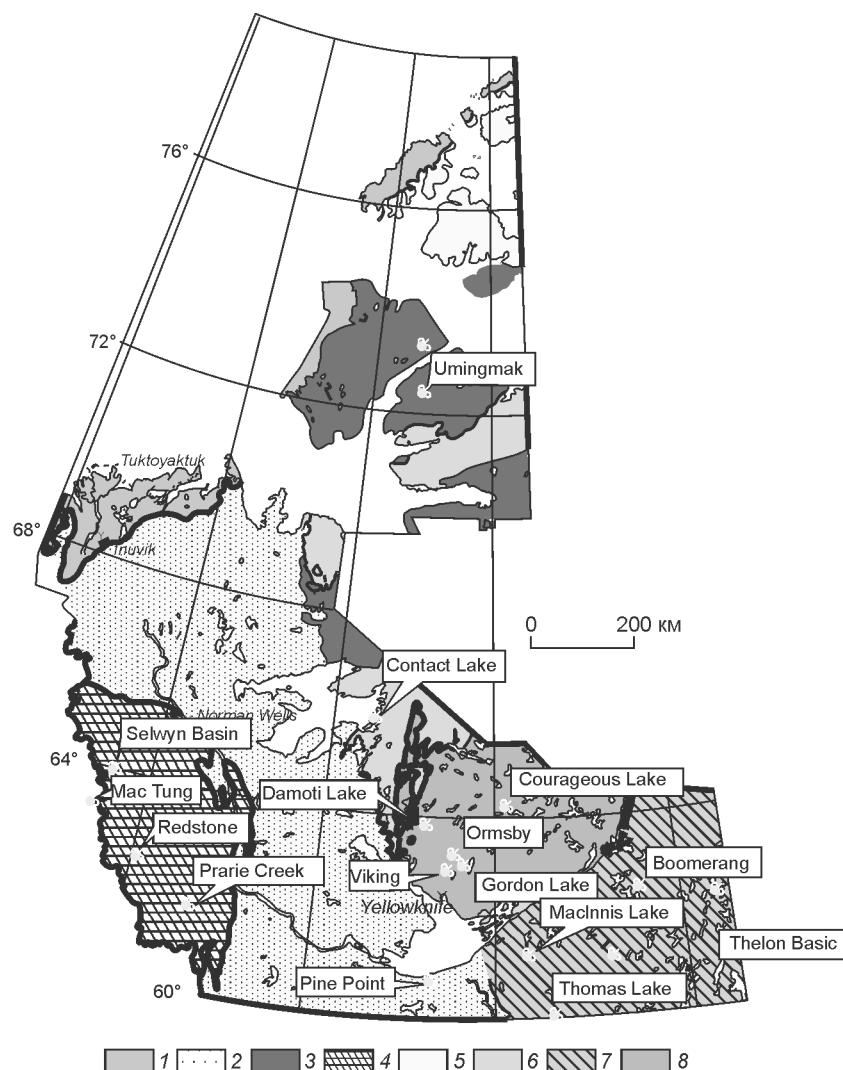


Рис. 3. Расположение площадей поисковых работ на цветные и благородные металлы:

усл. обозн. см. рис. 2

большого размера камней в целом добыча на трубке вряд ли будет рентабельной.

Поиски алмазных месторождений за пределами кратона Слейв. Лицензионные площади за пределами кратона Слейв показаны на рис. 2. Проводится довольно значительный объем аэромагнитозлектрических работ и шлихоминералогического опробования. Буровая заверка аномалий пока не дала положительного результата.

Поиски рудных месторождений. Площади поиска месторождений цветных и благородных металлов отражены на рис. 3.

Золото. На лицензионной площади Damoti (в 200 км к северу от Еллоунайфа) компанией *Anaconda Gold Corporation* завершено бурение 13

скважин общим объемом 1470 м. Цель бурения — детализация известной золотоносной зоны Horseshoe, а также заверка новых перспективных объектов. В зоне установлено содержание Au 33,88 г/т при мощности золотоносного пласта 3,6 м. На новых участках выявлены золотоносные пласты мощностью 2,5 м со средним содержанием Au 11,68 г/т.

Компанией *Boxxers Gold Corp.* пробурено 11 скважин общей длиной 522 м для заверки геофизических аномалий между Главной, Южной и Общей зонами золотой минерализации на площади Gordon Lake в 110 км к северо-востоку от Еллоунайфа. Золото приурочено к кварцевым жилам в рассланцованных и окремненных аргиллитах.

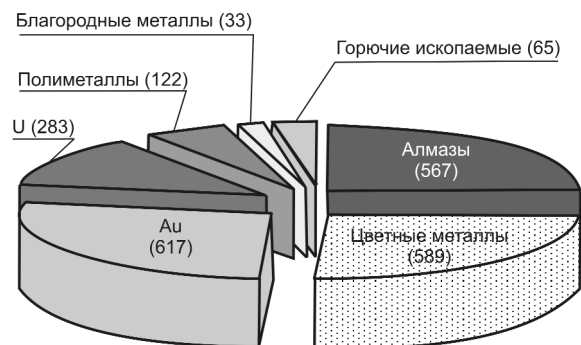


Рис. 4. Суммарное распределение числа объектов поисков различных типов минерального сырья за период 1971–2005 гг.

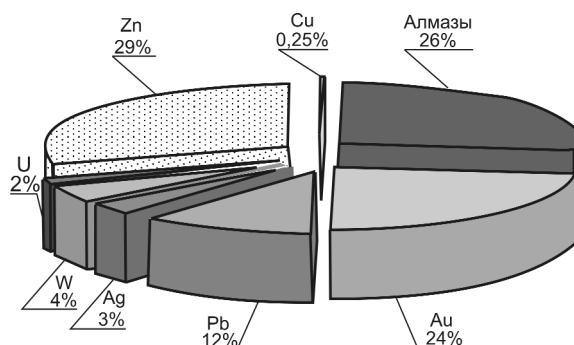


Рис. 5. Суммарное распределение различных видов минерального сырья по их товарной стоимости за период 1932–2004 гг.

Скважинами вскрыты жилы мощностью 1,45, 2,71 и 5,37 м при содержаниях Au соответственно 4,12, 20,35 и 8,8 г/т.

Компания *Seabridge Gold Inc.* пробурила ряд скважин на площади Courageous Lake к северу от ранее разрабатывавшегося месторождения Salmita. Скважины пересекли кварц-серицитовые сланцы с прослоями кислых пепловых туфов. По результатам опробования переоценен золотоносный потенциал площади. Подсчитанные запасы составили 7,8 т, резервы — 96,5 т. Предполагается, что прогнозные ресурсы составят 146,5 т при средних содержаниях Au 2,1–2,55 г/т (бортовое содержание 0,83 г/т).

Компания *Tyhee Development Cor.* провела значительный объем поисковых работ в золотоносной зоне Ormsby в пределах полностью принадлежащей ей площади Yellowknife Gold в 88 км к северу от Еллоунайфа. Пробурено 15 скважин суммарной длиной 4832 м с поверхности и 57 скважин из ранее пройденных подземных выработок суммарной длиной 4543 м. На большей части территории выполнены аэромагнитная и электрическая съемки.

Обработана проба объемом 6800 т из подземных выработок. Ранее для данной площади потенциал золотоносности оценивался следующим образом: подсчитанные запасы — 13,4 т, резервы — 10,7 т, прогнозные ресурсы — 8,3 т Au при средних содержаниях 7,57–9,03 г/т (бортовое содержание Au 1,0 г/т). В настоящее время проводится переоценка запасов и резервов с учетом новых данных. Опытнотехнологическими испытаниями установлена извлекаемость золота более 95%. Рудник находится в стадии проектирования.

Компания *Canadian Zinc Corporation* продолжила работы на принадлежащем ей месторождении Prairie Creek (Zn-Pb-Ag тип). В ходе опытно-техно-

логических испытаний показано, что смесь всех типов руд можно эффективно обрабатывать флотацией без использования цианирования. В настоящее время ведутся конструкторские разработки по созданию рудника.

Ретроспектива. Распределение общего числа поисковых объектов по типам полезных ископаемых за 1971–2004 гг. отражено на рис. 4. До настоящего времени золото сохраняет лидирующие позиции, однако по числу объектов к нему вплотную приблизились цветные металлы и алмазы. Анализ показывает, что число действующих активных поисковых объектов несколько ниже среднего «исторического» уровня, а затраты — несколько выше, что обусловлено преобладанием перспективных на алмазы площадей с высокозатратными технологиями поисков.

Распределение товарной стоимости различных видов минерального сырья Канады за период 1932–2004 гг. показано на рис. 5. На первом месте находится цинк, суммарная стоимость которого за указанный период составила чуть меньше 8 млрд. дол., лишь немногим ему уступают алмазы — 7 млрд. дол. и золото — 6,3 млрд. дол., остальные виды полезных ископаемых составляют крайне малую долю. Предполагалось, что уже к концу 2005 г. стоимость добываемых алмазов превысит стоимость цинка.

Однако речь идет о суммарной стоимости добычи за длительный период времени. Динамика изменения стоимости отдельных видов минерального сырья по годам отражена на рис. 6. Отчетливо видно, что в 1995–1990 гг. основной вклад в стоимость принадлежал цинку, затем его добыча практически не осуществляется, и остается только золото. Начиная с 1999 г., доминирующая и резко возрастающая с каждым годом роль в добыче приходится на алмазы при второстепенной роли золота.

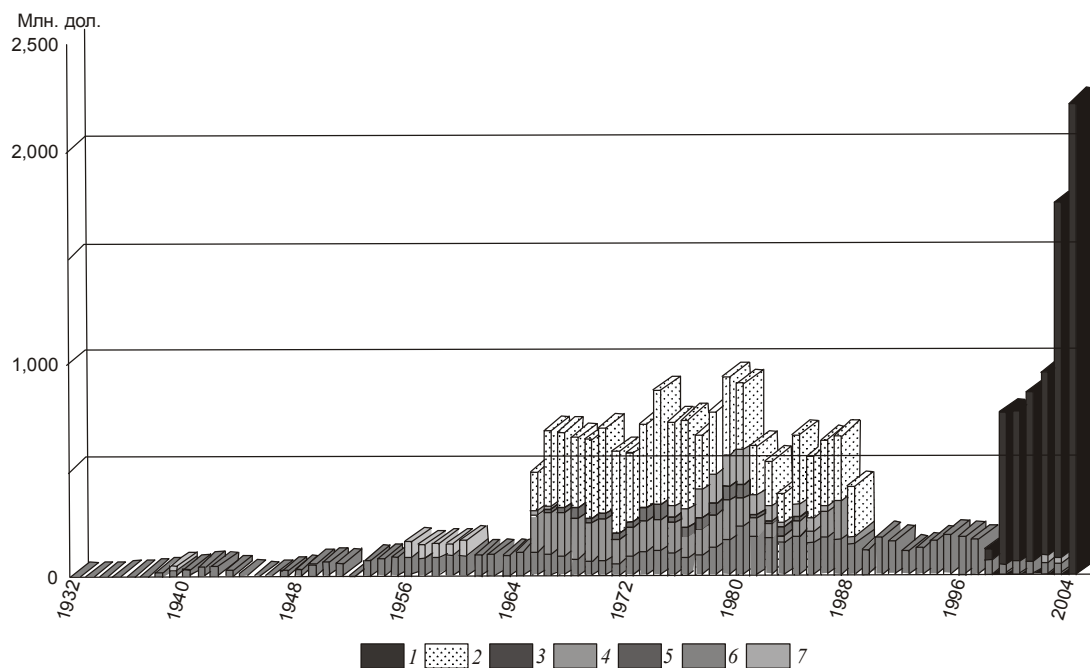


Рис. 6. Динамика изменения товарной стоимости различных видов минерального сырья за период 1932–2004 гг.:

1 — алмазы; 2 — цинк; 3 — уран; 4 — вольфрам; 5 — серебро; 6 — свинец; 7 — золото

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод, что на современном уровне изученности для территорий кристаллических щитов древних платформ северного полушария Земли,

включая Балтийский и Анабарский щиты России, именно алмазы (при подчиненной роли золота) являются приоритетным типом минерального сырья.

ÓÄÊ 548.58:549.211

© В.М.Сонин, А.И.Чепуров, Е.И.Жимулев, 2007

ОБ ОБРАЗОВАНИИ ВИЦИНАЛЬНЫХ БУГОРКОВ НА ОКТАЭДРИЧЕСКИХ ГРЯНЯХ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА ПРИ РАСТВОРЕНИИ

В.М.Сонин, А.И.Чепуров, Е.И.Жимулев (ИГМ СО РАН)

В экспериментах при высоких P-T параметрах получены частично растворенные кристаллы синтетического алмаза с вицинальными бугорками на октаэдрических гранях. Обсуждаются причины появления подобных скульптур. Сделан вывод, что присутствие вицинальных бугорков на октаэдрических гранях природных алмазов не может однозначно свидетельствовать об их происхождении при росте.

На октаэдрических гранях природных кристаллов алмаза встречаются интересные акцессорные скульптуры — пологие вицинальные бугорки с контурами, прямопараллельными контурам граней. Интерес обусловлен тем, что их образование связывается с группами винтовых дислокаций и, соответственно, считается доказательством спирально-слоевого роста природных алмазов [10, 12]. Подобные акцессории известны и на гранях синтетических кристаллов алмаза, выращенных в металл-углеродных системах при высоком давлении [11]. Известно, что одним из основных источников дислокаций в кристаллах является неравномерное вхождение примесей в решетку [2]. Вероятно, поэтому указанные акцессории наиболее часто встречаются на кристаллах, выращенных в системах с принудительным добавлением примесей, например кремния [9] или силикатов [7].

Возникновение нескольких центров роста на грани кристалла приводит к появлению подобных вицинальных бугорков и, как следствие, к полицентрическому строению грани. Полицентрическое строение граней — распространенное явление на природных алмазах и обычно возникает при росте кристаллов [1]. Данное предположение несомненно верно, но в тоже время полицентрическое строение граней обнаружено и на кристаллах алмаза, подвергнутых травлению [5]. Это обусловлено возникновением ямок травления, при разрастании и сочленении которых и формируется полицентрическое строение граней. То есть данная морфологическая особенность может образовываться и при растворении, что определяется реальным строением кристаллов, наследующимся в процессе роста.

Вопрос о возникновении тех или иных морфологических особенностей на кристаллах алмаза чрезвычайно важен для реконструкции их генезиса [3]. В

первую очередь, это касается интерпретации происхождения макроморфологии кристаллов и микроморфологии граней в результате роста или растворения. Некорректная интерпретация может приводить к неправильным выводам. Достаточно напомнить о многолетней дискуссии относительно генезиса округлых кристаллов алмаза или, в частности, так называемых тригонов на гранях октаэдра.

При растворении, кроме ребер, источниками слоев (ступеней) травления могут быть выходы дислокаций и точечные дефекты. Причем роль ребер максимальна при небольших недосыщениях, а при больших — возрастает значение микродефектов [6]. В результате форма растворения кристаллов меняется от округлого индивида (при малых недосыщениях) до индивидов с грубоячеистой формой (при больших). Иными словами, при небольших скоростях превалирует тангенциально-последовательное растворение, а при больших — нормальное к грани.

Исходя из вышеизложенного, настоящее сообщение посвящено возможности появления вицинальных бугорков на октаэдрических гранях кристаллов алмаза в процессе растворения.

С помощью оптического микроскопа МБИ-15 нами просмотрены несколько десятков кристаллов синтетического алмаза, выращенных на заправку в системе Fe-Ni-C при высоких P-T параметрах по методике, изложенной в монографии [8]. Особенностью данных кристаллов было то, что они испытали частичное растворение непосредственно в опытах по выращиванию алмазов. Это явление обусловлено наличием температурного градиента в кристаллизационной ячейке. Поэтому при расходовании источника углерода, который находится в зоне с более высокой температурой, вследствие наличия температурного градиента кристаллы начинали

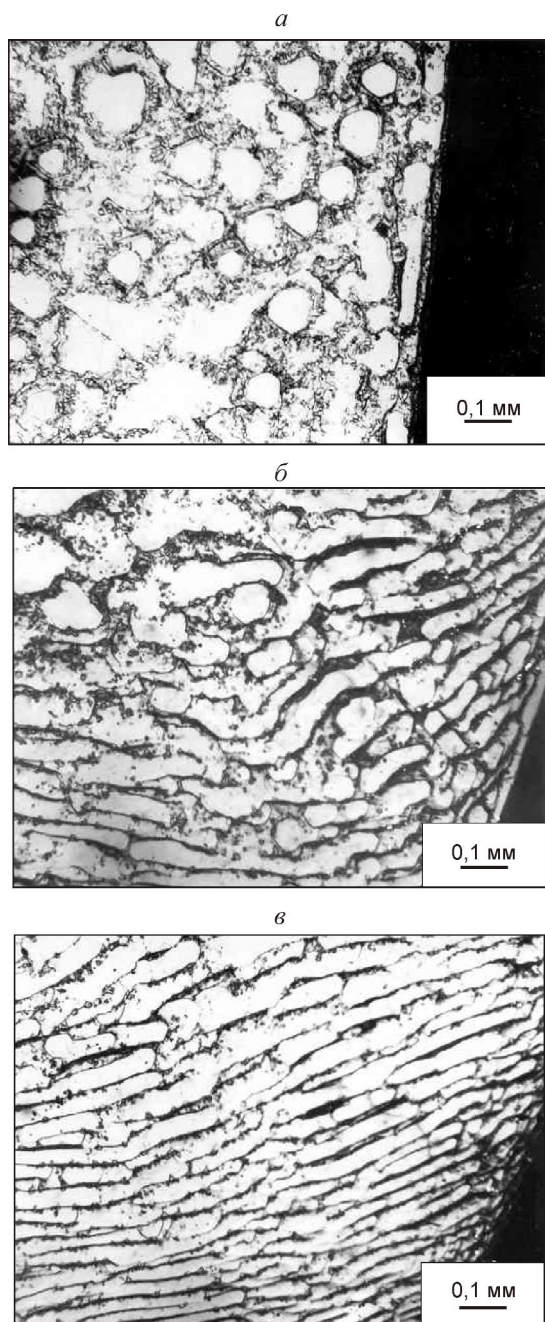


Рис. 1. Плоские бугорки (а) и слои травления (б, в) на октаэдрической грани кристалла алмаза

растворяться за счет переноса углерода от верхней части кристалла к нижней, более холодной [4]. Данные кристаллы алмаза имели явные признаки растворения — скругленные вершины и ребра, слои травления, субпараллельные ребрам.

На верхних октаэдрических гранях некоторых кристаллов, наряду с вышеперечисленными признаками растворения, присутствовали бугорки,

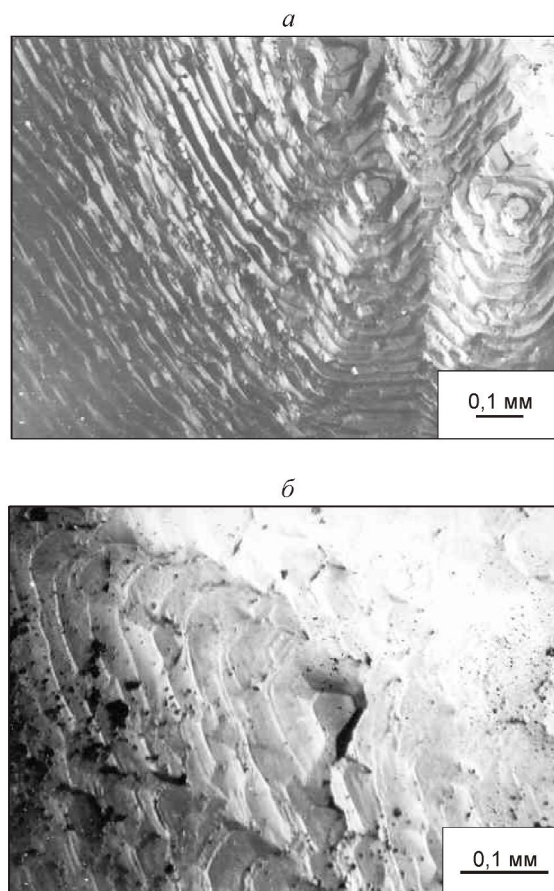


Рис. 2. Бугорки травления со ступенчатыми боковыми поверхностями на октаэдрической грани кристалла алмаза

верхние гранки которых соответствовали плоскостям $\{111\}$, а боковые — поверхностям тригон-триоктаэдра и тетрагон-триоктаэдра, причем часто боковые стенки имели ступенчатое строение. Так, на микрофотографии октаэдрической грани одного из кристаллов, испытавшего частичное (одностороннее) растворение, на округлой (отличной от плоскости октаэдра) поверхности присутствуют слои травления (рис. 1, в). При смещении от данной иррадиационной поверхности слои травления постепенно укорачиваются (см. рис. 1, б), а на поверхности, являющейся октаэдрической плоскостью фигуры травления, они представлены плоскими бугорками треугольной формы со срезанными вершинами (рис. 1, а). Длинные стороны бугорков отвечают контурам октаэдрической грани кристалла.

На поверхности другого кристалла алмаза, испытавшего более интенсивное растворение, следы травления выражены более рельефно (рис. 2). Боковые стороны присутствующих бугорков травления имеют ступенчатое строение, а по своему положе-

нию соответствуют поверхностям $\{hhl\}$ и $\{hkk\}$. Контуры верхней гранки, соответствующей плоскости октаэдра, имеют треугольную форму со скошенными вершинами.

Образование подобных фигур травления может быть связано со следующим явлением. Как указывалось выше, вицинальные бугорки на гранях кристаллов появляются в результате спирально-слоевого роста в местах выхода дислокаций, которые возникают вследствие напряжений в кристалле, вызванных захваченными при росте примесями. Но известно также, что дислокации способны притягивать примесные атомы [6], которые в процессе растворения, вероятно, могут блокировать поверхность кристалла. В результате формируется бугорок травления. Данное явление возможно только при тангенциально-последовательном растворении в условиях небольшого недосыщения, что и было реализовано в экспериментах в соответствии с данными работы [4].

Таким образом, причиной образования вицинальных бугорков на гранях алмазов, вероятно, является наличие дислокаций, возникших при росте кристаллов. Но формироваться подобные акцессории могут и в результате растворения алмазов или, что более вероятно, при наложении растворения на уже существующие ростовые бугорки. Тем не менее, только на основании присутствия подобных фигур на гранях природных алмазов нельзя однозначно интерпретировать морфологию как исключительно ростовую, точнее, существует возможность, что кристаллы алмаза испытали частичное растворение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартошинский З.В., Квасница В.Н. Кристалломорфология алмаза из кимберлитов. – Киев: Наук. думка, 1991.
2. *Выращивание* кристаллов из растворов / Т.Г.Петров, Е.Б.Трейвус, Ю.О.Пунин, А.П.Касаткин. – Л.: Недра, 1983.
3. *Генетические* аспекты морфологии алмазов / В.М.Сонин, Е.И.Жимулев, В.П.Афанасьев, А.И.Чепуров // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 4. С. 331–341.
4. *Образование* псевдомиморфных кристаллов алмаза при растворении в условиях температурного градиента / В.М.Сонин, Д.Г.Багрянцев, А.И.Туркин, Ю.В.Бабич // Зап. ВМО. 1999. № 1. С. 122–125.
5. *О формах* растворения кристаллов алмаза в силикатных расплавах при высоком давлении / А.И.Чепуров, А.Ф.Хохряков, В.М.Сонин и др. // Докл. АН СССР. 1985. Т. 285. № 1. С. 212–216.
6. *Пишеничнов Ю.П.* Выявление тонкой структуры кристаллов. Справочник. – М.: Металлургия, 1974.
7. *Чепуров А.А., Сонин В.М., Чепуров А.И.* Влияние силикатов на рост синтетических кристаллов алмаза // Зап. ВМО. 2002. № 1. С. 107–110.
8. *Чепуров А.И., Федоров И.И., Сонин В.М.* Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997.
9. *Kanda H., Oshawa T.* Growth hillocks on the $\{111\}$ surface of high pressure synthetic diamond // *Diamond Relat. Mater.* 1996. Vol. 5. P. 8–12.
10. *Sunagawa I., Tsukamoto K., Yasuda T.* Surface microtopographic and x-ray topographic study of octahedral crystals of natural diamond from Siberia // *Mater. Sci. of the Earth's Interior.* Tokyo, 1984. P. 331–349.
11. *The gemological* properties of The De Beers gem-quality synthetic yellow diamonds / J.E. Shigley, E. Fritsch, C.M.Stocton et al. // *Gem and Gemology.* 1987. Vol. 23. № 4. P. 187–206.
12. *Van Enckevort W.J.P.* Phase shifting interferometry of growth patterns on the octahedral faces of natural diamonds // *J. Cryst. Growth.* 1992. Vol. 119. P. 177–194.

УДК 548.736.15

© К.М.Алексеевский, 2007

ЧТО ПОКАЗАЛО ИССЛЕДОВАНИЕ КЕЛИФИТА

К.М.Алексеевский (Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН)

Исследование и моделирование келифита свидетельствует о значительной роли калия на заключительных этапах алмазогенеза.

Обнаружение первого кимберлита в Якутии поставило ряд вопросов, не возникавших у геологов Африки и Бразилии, успешно находивших алмазы, их россыпи и первоисточники. В Якутии для поиска кимберлитов родилась «пироповая дорожка» Н.Н.Сарсадских [6]. Вскоре выяснилось, что с алмазами в кимберлитах тесно связаны только кноррингитовые пиропы [7]. Геологи-уральцы выявили другие типоморфные различия граната, претендующие на генетическую связь с алмазами, возможно, иного, не кимберлитового, первоисточника [8]. Но такие взгляды не сразу принимаются задающими тон сторонниками магматического генезиса алмаза.

Изучение поисковых признаков, связанных с пиропами, показало большую роль сохранности ке-

лифитового полиминерального образования на них [1]. Исследование процесса келифитизации пиропы позволило открыть его причину — это высококальциевые флюиды [2].

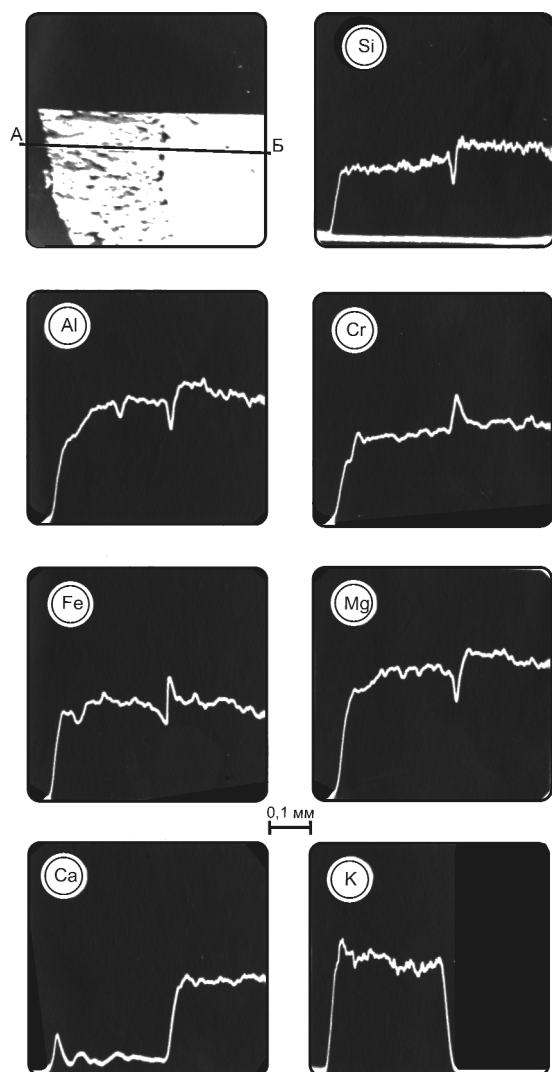
Сопоставление составов суммы узников алмазных зерен кимберлитовых трубок с кимберлитом этих трубок показывает приток калия в среде алмазогенеза (таблица, графы 1–4) на фоне продолжающегося роста кноррингитовых пиропов, не законсервированных алмазами.

Новейшие исследования эволюции алмазоматеринской среды подтверждают участие (роль пускового механизма?) калиевых флюидов в алмазогенезе и в среде эклогитового типа [5]. Однако обнаружение калиеносных корочек на алмазах показывает, что какое-то возрастание концентрации

Химическая обстановка алмазоматеринской среды, судя по массе и минералам, по [4]

Оксиды	Айхал		Мир		Айхал		Амеба		Мир		Ленгорка	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	У	К	У	К	П	Ке	П	Ке	П	Ки	Пп	Корка
SiO ₂	27,3	26,4	23,3	33,2	42,5	33,3	42,6	37,9	42,6	25,2	42,95	36,76
TiO ₂	0,18	0,4	0,18	1,46	1	0,93	0,13	0,09	0,71	0,76	0,39	0,08
Al ₂ O ₃	2,77	2,22	2,73	3,54	20,4	14,1	15,5	15	21,4	13,3	19,35	1,57
Cr ₂ O ₃	22,1	0,18	28,1	0,1	3,43	2,87	8,46	7,34	0,39	-	3,85	0,04
FeO	9,55	4,06	10,7	5,82	7	17,2	7,16	7,55	15,1	39,6	8,44	5,63
MnO	0,12	0,07	0,17	0,09	0,29	0,18	0,4	0,34	0,48	0,01	0,29	0,04
MgO	37,1	25,1	33,5	26,7	20,9	19,6	20,1	18,8	13,4	7,68	20,15	38,39
CaO	0,58	16,9	0,21	9,95	4,77	0,16	3,28	0,09	6,94	0,66	4,46	0,06
Na ₂ O	0,1	0,13	0,01	0,27	0,04	0,03	0,01	0,23	-	3,95	-	0,04
K ₂ O	-	0,32	0,01	0,36	0,01	1,66	-	11,7	-	2,86		

Пр и м е ч а н и е. 1–4 — результаты пересчета минералогических анализов на содержание оксидов; 5–12 — микрорентгеновские анализы В.В.Ермилова; У — сумма узников алмазных зерен, К — состав кимберлита, П — пиропы, Ке — келифит естественный, Ки — келифит искусственный, Пп — пироп из перидотита Ленгорки (ЧССР).



Сканирование в отраженных электронах элементов поперек контакта келифит (А) – пироп (Б), аналитик В.В.Ермилов, «Cambridge-5»

калия в среде совпадает (?) с прекращением их роста [4]. Возможно, синхронность с появлением келифитовых корочек на уже выросших «свободных» пиробах и фиксирует содержание калия, ставшего не катализатором, а разрушителем образовавшихся ранее минералов. Соответствующие изменения химической обстановки алмазоматеринской среды видны при сравнении микрорентгеновских анализов пироба и келифита по нему (см. таблицу, графы 5–10). Повышение содержания калия во флюиде, вызвавшем келифитизацию, было, по-видимому, более заметным импульсом, чем приведший к началу кристаллизации алмаза. Обильный калий стал заменять кальций в пиробах при относительном «спокойствии» главных окси-

дов, лишь слабо реагирующих на калиевую агрессию, в какой-то мере способствовавшую округлению зерен пироба. Сканирование поперек контакта пироб–келифит (рисунок) показывает пространственный ход этого метасоматического процесса [2], предшествовавшего механическому, способному переносить минералы, в том числе алмазы, обломки их и пироба, без полной переработки, уже келифитизированными с поверхности на более ранних стадиях.

Роль калия в алмазогенезе видна и на отрицательном примере. Корочка изменения на чешских пиробах неалмазоносных перидотитов Ленгорки из коллекции В.О.Ружицкого показала другой процесс. Также теряется кальций (но вместе с алюминием и не так интенсивно) за счет значительного возрастания содержания магния и, что важно, при безучастном поведении калия (см. таблицу, графы 11, 12). Напомним, что явно вторичные изменения кимберлитов фиксируются массовым появлением минералов кальция при практическом отсутствии калиевых.

В лаборатории пленку метасоматического изменения пироба можно получить воздействием бескальциевого реагента, в том числе высококальциевого, в высоких термобарических условиях [3]. Но без сравнения ее химического состава с природным образованием назвать продукт келифитом — это значит потерять поисковый признак и важный показатель характера процессов, завершающих алмазогенез. Вряд ли стоит пренебрегать без обсуждения результатами предшественников, отвергая роль калия по не геологическим соображениям.

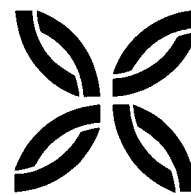
Микрорентгеноанализаторы позволяют анализировать на калий только руками умельцев, которые имеются далеко не в каждой лаборатории. В Институте литосферы РАН В.В.Ермилов с помощью присланного Н.В.Соболевым, проанализированного в Англии кноррингитового пироба освоил такой анализ на «Cambridge-5». Но если минералоги-алмазники обходятся набором из восьми элементов, изредка добавляя Na, оставляя «за бортом» K, то теряется весьма существенная информация, необходимая для изучения алмазогенеза. Приведенные примеры показывают, что келифит — важный «ключик» к секрету генезиса алмаза, не обязательно в магматических условиях, но с участием флюидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Илупин И.П.* Келифитовые оболочки на пиробе и морфология алмазов // Ученые записки НИИГА. Сер. региональной геологии. 1965. Вып. 6. С. 161–166.
2. *Келифит* на пиробе в песчаниках / К.М.Алексеевский, А.И.Боткунов, И.Г.Ганев и др. // ДАН СССР. 1982. Т. 265. № 6. С. 1475–1477.

3. *Медведев В.Я., Иванова Л.А., Егоров К.Н., Лашкевич В.В.* Процессы келифитизации гранатов в кимберлитах (Экспериментальное и физико-химическое моделирование) // *Геохимия*. 2005. № 8. С. 848–855.
4. *Олейников О.Б., Барашков Ю.П.* Особенности химического состава силикатных пленок на кристаллах алмазов из россыпного месторождения Эбелях и их генезис // *Отечественная геология*. 2005. № 5. С. 42–47.
5. *Рагозин А.Л., Шацкий В.С., Зедгенизов Д.А., Митюхин С.И.* Свидетельства эволюции среды кристаллизации алмазов в ксенолите эклогита из кимберлитовой трубки Удачная (Якутия) // *Докл. РАН*. 2006. Т. 407. № 5. С. 660–663.
6. *Сарсадских Н.Н., Попугаева Л.А.* Новые данные о проявлении ультраосновного магматизма на Сибирской платформе // *Разведка и охрана недр*. 1955. № 5. С. 11–20.
7. *Соболев Н.В.* Парагенетические типы гранатов. – М.: Наука, 1964.
8. *Шурубор Ю.В.* Статистическая обработка данных шлихового опробования с целью выявления минералов-спутников алмаза (на примере одного из алмазных районов Среднего Урала) // *Советская геология*. 1965. № 8. С. 115–125.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



Намик Курбан-Оглы Курбанов — главный научный сотрудник ЦНИГРИ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик МАМР и РАЕН, известный ученый в области металлогении, прогноза, поисков и разведки месторождений цветных и благородных металлов — отмечает семидесятипятилетие.

Н.К.Курбанов родился 29 апреля 1932 г. После окончания в 1954 г. геологического факультета МГУ его научная и творческая деятельность связана с ЦНИГРИ. Проводимые им исследования на основе рудно-формационного анализа, металлогенического районирования, прогноза и поисков месторождений направлены на расширение минерально-сырьевой базы цветных и благородных металлов в различных регионах Забайкалья, Урала, Кавказа, Средней Азии, Украины.

Важным этапом в творческой биографии Н.К.Курбанова стали исследования в Верхнеуральском и Учалинском районах Южного Урала, где им разработаны и внедрены методы структурно-формационного и палеовулканического анализов для прогноза и поисков медноколчеданных руд, изучены Учалинское, Молодежное и другие месторождения, установлена их приуроченность к определенным вулканическим комплексам, выявлена полигенно-полихронная природа колчеданных руд. При реализации прогнозных рекомендаций, разработанных совместно с коллегами, открыты Узельгинское и Талганское медноколчеданные месторождения.

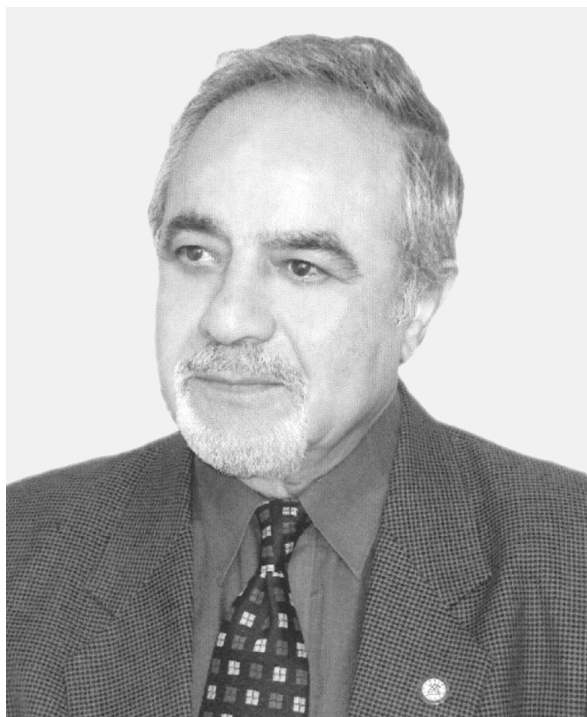
В дальнейшем под руководством Н.К.Курбанова были проведены пионерные исследования колчеданно-полиметаллических месторождений в терригенных формациях Большого Кавказа, доказавшие высокие перспективы рудоносности черносланцевых формаций, разработаны методика и приемы локального прогноза, созданы геологические основы подсчета запасов, обеспечившие удвоение запасов Филлизчайского колчеданно-полиметаллического рудного узла.

С начала 80-х годов Н.К.Курбанову были поручены исследования золотоносности Средней Азии. Новые, нетрадиционные подходы к изучению золоторудных месторождений позволили в короткие сроки создать эффективные прогноз-поисковые комплексы для месторождений золота в терригенных формациях, а также разработать систему геолого-поисковых, оценочных и геолого-генетических моделей таких месторождений, что во многом обеспечило создание устойчивой минерально-сырьевой базы золота этого региона. Не менее плодотворными были исследования докембрийских золоторудных месторождений, проведенные на Украинском щите, и золотоносности российской части Донбасса.

Н.К.Курбановым совместно с коллегами создана серия прогноз-металлогенических и металлогенических карт, в том числе карты золотоносности СССР (м-б 1:5 000 000), Урала (м-б 1:1 000 000) и Северного Кавказа (м-б 1:1 500 000). Материалы этих карт позволили существенно расширить перспективы золотоносности территории России.

Н.К.Курбанов успешно реализует ранее созданные разработки, тесно взаимодействуя с производственными организациями в рамках научно-методического сопровождения федеральных геологоразведочных работ.

Н.К.Курбановым была оказана существенная помощь геологическим службам Сирии, Ирана, Пакистана, Румынии и Чехословакии; он успешно представлял отечественную науку на международных геологических конгрессах и форумах.



Присущая Н.К.Курбанову энергия, высокие организаторские способности, глубокое проникновение в сложные научно-производственные проблемы определяют его заслуженный авторитет среди широкого круга геологов научных и производственных организаций России и других стран. Он ведет большую научно-организаторскую работу, являясь членом Ученых советов, председателем Совета ЦНИГРИ по апробации кандидатских и докторских диссертаций, руководителем теоретического семинара института. Он — член редколлегии журналов «Отечественная геология» и «Руды и металлы». Среди его учеников 12 кандидатов и три доктора геолого-минералогических наук.

Результаты исследований Н.К.Курбанова отражены во многих производственных отчетах, в 290 научных трудах, более 200 из которых опубликованы. Основные научные труды Н.К.Курбанова: «Опыт составления палеовулканических карт эвгеосинклинальных областей на примере северной части Магнитогорского мегасинклинория», 1969; «Методические основы прогноза и поисков свинцово-цинковых месторождений», 1987; «Система геологических наблюдений при прогнозе и поисках колчеданных месторождений», 1992; «Геолого-генетические модели золоторудных месторождений углеродисто-терригенных комплексов: Атлас», 1993; «Полигенно-полихронные месторождения золота», 1999; «Золотоносность Урала», 2005.

Заслуги Н.К.Курбанова перед отечественной геологией отмечены знаком «Отличник разведки недр» и званием «Почетный разведчик недр».

Поздравляем Намика Курбановича со славным юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, благополучия, дальнейших творческих успехов.

*Президиум РАН
Президиум МАМР
Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

13 марта 2007 г. исполнилось 75 лет со дня рождения и 52 года научно-производственной деятельности старшему научному сотруднику отдела конъюнктуры минерального сырья, кандидату геолого-минералогических наук **Александру Александровичу Сапрыкину**.

После окончания в 1955 г. МГУ им. М.В.Ломоносова А.А.Сапрыкин работает в ЦНИГРИ. Он прошел путь от геолога, начальника партии, старшего научного сотрудника до заведующего отделом геологии россыпей. Его исследования россыпной золотоносности Ленского района, Восточного Забайкалья, Приамурья, Чукотки и Якутии легли в основу оценки состояния и перспектив развития минерально-сырьевой базы россыпного золота этих территорий. При разработке сложных проблем региональной геоморфологии, морфоструктурного анализа, геологии кайнозойских отложений А.А.Сапрыкин проявил широкую эрудицию, высокий профессионализм и организаторские способности, что принесло ему заслуженный авторитет среди сотрудников ЦНИГРИ и производственных организаций. Предложенные им прогнозные оценки и рекомендации по направлениям геологоразведочных работ способствовали выявлению промышленных россыпей золота. Неоднократно выезжал для консультаций и геологических исследований в зарубежные страны — Республику Гвинея (1961–1962 гг.), Народную Республику Болгария (1967–1968 гг.), Республику Афганистан (1974 г.).



А.А.Сапрыкин — высококвалифицированный эксперт по оценке прогнозных ресурсов россыпного золота, участник разработки программ развития минерально-сырьевой базы и добычи россыпного золота. Он — автор более 120 научных трудов, среди которых четыре монографии и пять методических руководств по поискам и оценке россыпей. Основные опубликованные работы — «Новейшие тектонические движения и их влияние на формирование россыпей в северо-восточной части Патомского нагорья», 1965; «Особенности размещения россыпей золота на правобережье среднего течения р. Зеи», 1967; «Особенности внутренней структуры золота из древних россыпей Приамурья», 1970; «Россыпные месторождения золота», 1993.

За заслуги в научно-производственной деятельности А.А.Сапрыкин награжден медалями «Ветеран труда», «В память 850-летия Москвы», памятным знаком «300 лет горно-геологической службе России», знаком «Отличник разведки недр».

Поздравляем Александра Александровича с юбилеем, желаем ему доброго здоровья, счастья, благополучия в личной жизни, творческих успехов.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

9 марта 2007 г. **Наталья Михайловна Риндзюнская** — ведущий научный сотрудник отдела экзогенных месторождений благородных металлов, кандидат геолого-минералогических наук — отметила 70-летие со дня рождения и 47 лет трудовой деятельности.

После окончания географического факультета Московского государственного педагогического института им. Ленина Н.М.Риндзюнская с 1962 г. работает в ЦНИГРИ. Она прошла путь от техника до ведущего специалиста отдела экзогенных месторождений благородных металлов. В 1980 г. защитила кандидатскую диссертацию, посвященную особенностям кайнозойских отложений и перспективам россыпной золотоносности Северо-Байкальского района.

Н.М.Риндзюнская — ведущий специалист института в области геологии россыпей золота и кор выветривания. На протяжении многих лет она занималась прогнозированием и поисками россыпных месторождений золота в Ленском районе, Северной Бурятии, Киргизии, на Урале, на территории примыкающей к трассе БАМ. Она внесла значительный вклад в освоение Кожимского района Урала, за что ей присвоено звание «Первооткрыватель месторождения». В качестве консультанта участвовала в работах по оценке россыпной золотоносности Монголии, Чехословакии, Чили. В последние годы уделяет значительное внимание проблеме золотоносных кор выветривания. Именно ее разработки по этому вопросу позволили по-новому подойти к освоению ряда месторождений Урала. Н.М.Риндзюнская активно участвовала в разработке планов Мингео СССР и Роскомнедра РФ по развитию минерально-сырьевой базы благородных металлов, в проведении и организации крупных общепромышленных и международных совещаний и конференций, посвященных проблемам экзогенной золотоносности, пропагандируя передовые достижения ЦНИГРИ.

В 2000 г. Н.М.Риндзюнская с коллективом авторов удостоена правительственной премии за Карту экзогенной золотоносности и платиноносности РФ. Она — автор и соавтор более 150 научных работ и четырех монографий, ряда методических руководств и рекомендаций по поискам россыпей и золотоносных кор выветривания, куратор исследований золотых россыпей в ряде районов страны. Свои обширные знания в области геологии россыпей она передает геологам производственных организаций, молодым специалистам ЦНИГРИ и студентам учебных заведений. Пользуется заслуженным авторитетом среди геологов-россыпников России.

За заслуги в деле укрепления минерально-сырьевой базы Н.М.Риндзюнская удостоена звания «Почетный разведчик недр», награждена знаками «Отличник разведки недр», «Ударник XI пятилетки», медалями «Ветеран труда», «В память 850-летия Москвы», юбилейным знаком «300 лет горно-геологической службе России», почетными грамотами ЦНИГРИ и НТО «Горное».

Н.М.Риндзюнскую отличают высокий профессионализм, умение правильно поставить задачу и решать ее наилучшим образом, генерировать новые идеи и их реализовывать, заряжать своей энергией окружающих, при этом сохраняя неослабевающий энтузиазм и доброту души.

Поздравляем Наталью Михайловну с юбилеем, желаем ей доброго здоровья, благополучия, личного счастья, новых научных достижений.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

18 марта 2007 г. исполнилось 70 лет главному научному сотруднику ЦНИГРИ, доктору геолого-минералогических наук, члену-корреспонденту МАМР и действительному члену РАЕН **Юрию Михайловичу Щепотьеву**.

После окончания в 1959 г. МГРИ Ю.М.Щепотьев занимался поисками коренных и россыпных месторождений золота в Берелехском и Ягоднинском районах Магаданской области. С 1965 г. работает в ЦНИГРИ на различных должностях от младшего научного сотрудника до заместителя директора института по научной работе (1989–1993 гг.).

С конца 60-х годов Ю.М.Щепотьев возглавлял работы специалистов института по изучению закономерностей размещения и условий локализации золото-серебряных месторождений Камчатско-Курильской золотоносной провинции. В результате были получены новые данные по геологическому строению Агинского, Асачинского, Аметистового, Озерновского месторождений и др., обеспечившие создание на востоке России новой минерально-сырьевой базы, которая интенсивно осваивается в наши дни.

Результаты многолетних исследований золото-серебряных месторождений вулканоплутонических поясов Ю.М.Щепотьевым были обобщены в докторской диссертации (1987 г.), а также в монографии «Золоторудные месторождения островных дуг Тихого океана» (1989 г.).

В 1977–1998 гг. Ю.М.Щепотьев возглавлял сектор, а затем отдел геолого-экономической оценки и конъюнктуры минерального сырья ЦНИГРИ. Научные разработки и практические рекомендации использовались Мингео СССР при определении стратегии развития минерально-сырьевой базы страны и направлений геологоразведочных работ на благородные металлы. Им разработана геолого-промышленная классификация месторождений золота и серебра, используемая специалистами.

Под руководством Ю.М.Щепотьева составлены прогнозно-металлогенические карты золотоносности и сереброносности СССР и России м-бов 1:2 500 000–5 000 000. В течение многих лет в составе экспертных групп Мингео СССР он участвовал в разработке направлений ГРП на золото и серебро в важнейших регионах страны (Камчатка, Казахстан, Урал, Средняя Азия) и ряде зарубежных стран, составлял и редактировал Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов золота.

В настоящее время руководит группой экспертов, обеспечивающей научно-методическое сопровождение ГРП на Чукотке, Камчатке, Сахалине, Алтае. В Алтайском регионе при его участии выделен Северо-Алтайский золоторудный пояс, для которого составлена карта прогноза на золото, намечены рудные узлы и рудные поля традиционных и новых для региона типов месторождений, предложены основные направления ГРП на перспективу в целях создания новой минерально-сырьевой базы России.

Ю.М.Щепотьев — автор более 150 научных работ, в том числе шести монографий. В течение многих лет был редактором баланса запасов полезных ископаемых СССР и РФ (золото и серебро).

За заслуги в развитии минерально-сырьевой базы благородных металлов страны Ю.М.Щепотьев удостоен звания «Почетный разведчик недр», награжден знаками «Отличник разведки недр» и «300 лет горно-геологической службе России».

Поздравляем Юрия Михайловича со славным юбилеем, желаем здоровья, благополучия, дальнейших творческих успехов.



16 апреля 2007 г. **Валерий Иванович Ваганов** — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник ЦНИГРИ, член-корреспондент Международной академии минеральных ресурсов — отметил свое 60-летие.

В.И.Ваганов после окончания в 1970 г. геологического факультета МГУ поступил в аспирантуру на кафедру петрографии. В 1973 г. защитил кандидатскую диссертацию, и с тех пор работает в ЦНИГРИ. Он прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего отделом, с 1996 г. работает в должности главного научного сотрудника. В 1990 г. В.И.Ваганову была присуждена ученая степень доктора геолого-минералогических наук.

В.И.Ваганов — ведущий специалист в области геологии, генезиса, методов прогноза и поисков месторождений алмазов различных генетических типов. Им разработаны научно-методические и геолого-генетические основы прогноза и поисков этих месторождений, используемые в настоящее время в практике геологоразведочных работ. Им изучено уникальное по масштабу Попигайское месторождение технических алмазов (Красноярский край), установлена зависимость алмазоносности от состава пород, что позволило обосновать и реализовать эффективную систему разведки месторождения и подсчета запасов. Он создал научное обоснование прогноза на территории России алмазных месторождений лампроитового типа.

В.И.Вагановым внесен большой вклад в обоснование прогноза алмазоносности Восточно-Европейской платформы. Под его руководством составлена первая научно обоснованная карта прогноза алмазоносности данной территории. В конце 80-х годов им доказана принадлежность алмазоносных трубок месторождения им. Ломоносова к промежуточному типу между кимберлитами и лампроитами. Данное положение было подтверждено работами ИГЕМ РАН только в начале нынешнего века. Неоценим вклад В.И.Ваганова в оценку перспектив алмазоносности центральных районов России. Фактически под его руководством были начаты работы по локализации перспективных площадей и дальнейшей их разбраковке по степени перспективности.

В.И.Вагановым лично и в соавторстве составлен ряд методик и методических руководств по прогнозу, поискам и количественной оценке прогнозных ресурсов месторождений алмазов.

В различные годы в качестве эксперта он работал в Мозамбике, Монголии, США и Китае.

Результаты исследований В.И.Ваганова отражены более чем в 100 печатных работах, опубликованных в нашей стране и за рубежом, в том числе в восьми монографиях, ряде методических рекомендаций и указаний общепромышленного значения. Основная его работа «Алмазные месторождения России и мира» в настоящее время является практически настольной у геологов-алмазников. Данный труд был отмечен дипломом лауреата Всероссийского конкурса, проведенного Росгео РФ.

За высокие научные достижения В.И.Ваганов награжден знаком «Отличник разведки недр», медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени.

Сердечно поздравляем Валерия Ивановича с юбилеем, от всей души желаем крепкого здоровья, благополучия, дальнейших творческих успехов.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

18 апреля 2007 г. **Анатолий Ансович Фельдман**, старейший сотрудник ЦНИГРИ, кандидат геолого-минералогических наук, отметил свое 80-летие.

А.А.Фельдман в 1950 г. окончил Московский геологоразведочный институт им. С.Орджоникидзе. Длительное время работал в производственных организациях Главгеологии МЦМ СССР. Прошел путь от инженера-геофизика до начальника комплексной геолого-геофизической экспедиции, участвовал в поисковых и разведочных работах на месторождениях полиметаллов, ртути и золота Средней Азии.

С 1957 по 2002 гг. А.А.Фельдман работал в ЦНИГРИ, возглавляя в разные годы научно-исследовательские подразделения института: тематические партии, лабораторию и отдел геофизических исследований. Будучи специалистом высокой квалификации, выполнил ряд оригинальных разработок по научно-методическим основам прогноза и поисков месторождений алмазов, золота и цветных металлов. Эти разработки успешно реализованы на Дальнем Востоке и Северо-Востоке РФ, в Приморье, Восточной Сибири, европейской части РФ и Средней Азии.

С 1982 г. А.А.Фельдман изучал глубинное строение древних платформ, участвовал в прогнозировании месторождений алмазов кимберлитового и лампроитового типов. Под его руководством разработана система геолого-геофизических критериев прогноза разномасштабных алмазоносных минерагенических таксонов. Он — один из основных авторов карт прогноза коренной алмазоносности для ряда территорий древних платформ России и мира. Его научно-методические разработки совместно с прогнозными картами реализованы при геологоразведочных работах для оценки перспектив алмазоносности и планирования первоочередных поисковых работ в различных регионах Восточно-Европейской и Сибирской платформ.

А.А.Фельдман — автор более 140 публикаций, в том числе двух монографий.

Неоднократно отмечался правительственными почетными грамотами и наградами, в том числе знаками «Отличник разведки недр» и «Почетный разведчик недр».

Ученый-исследователь, специалист высокой квалификации, А.А.Фельдман сумел передать свой богатый научный опыт сотрудникам, с которыми он работал на протяжении многих лет.

В настоящее время, находясь на заслуженном отдыхе, А.А.Фельдман щедро делится знаниями, накопленными за годы многолетнего труда, — консультирует обращающихся к нему специалистов по комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов для решения прикладных геологических задач в различных регионах России.

Сердечно поздравляем Анатолия Ансовича с юбилеем, от всей души желаем крепкого здоровья, благополучия и долгих лет жизни.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

ДИСКУССИИ

УДК 55:519.2

© А.А.Беляев, 2007

ПАРАДОКСЫ В ГЕОЛОГИИ*

А.А.Беляев

Парадокс в научном утверждении — высказывание, несущее противоречие с общепринятым утверждением, рассуждением или выводом. Любой парадокс выглядит как отрицание некоторого мнения, кажущегося «безусловно правильным» (вне зависимости от того, насколько верно это впечатление). Нередко парадокс воспринимается как синоним слова абсурд, т.е. заведомо ложное и потому не нуждающееся в проверке утверждение. Чаще под этим словом подразумевается принципиально недоказуемое противоречие с известной теорией. И все-таки парадоксы, возникающие в научном знании, можно и необходимо изучать.

Наличие в научной дисциплине парадоксов, в буквальном смысле этого слова, свидетельствует, прежде всего, о развитой базе теоретических построений и логических доказательств. Это означает, что некоторое утверждение может быть подтверждено или оспорено на основе его логической проверки. Парадокс в логическом утверждении указывает, как правило, на скрытую подмену тезиса в ходе его доказательства или на то, что утверждение, противоположное данному, построено на иной аксиоматике. В теории относительности приводится парадокс «плоскатиелей». «Плоскатиели» — гипотетические существа, у которых органы чувств воспринимают только двумерное пространство, но живут они на сферической планете. Убедиться в сферичности планеты мог бы позволить следующий эксперимент: из одной точки планеты следовало бы последовательно строить концентрические окружности. До тех пор пока радиус окружности не превышает радиуса экватора, длина следующей окружности будет больше предыдущей. После того

как радиус превысит некоторую величину, длина каждой следующей окружности станет уменьшаться по сравнению с длиной экватора (параллели на глобусе, радиус которых отмеряется от полюса). В двумерной модели этот факт будет выглядеть парадоксальным. Анализ этого парадокса позволил бы пересмотреть «плоскатиельную» аксиоматику. В какой-то степени мы все немножко «плоскатиели»: наши теоретические модели заведомо проще изучаемых природных явлений. Поэтому обнаружение парадоксов должно свидетельствовать о том, что принятая до сих пор теоретическая модель не вмещает всех наблюдаемых фактов. Если бы многомерность пространства (искривление светового луча в гравитационном поле) была обнаружена раньше, чем появилась неэвклидова геометрия, то возник бы парадокс Эвклида. В реальности возник «парадокс» неэвклидовой геометрии: на похоронах Лобачевского никто даже не вспомнил о его открытии, чтобы «не осквернять память достойного человека его чудачествами».

Геология остается пока во многом наукой описательной и почти не знает парадоксов в буквальном смысле этого слова. В ней могут мирно уживаться (или немирно) прямо противоположные научные концепции на протяжении десятков лет. И все-таки, по мере проникновения в геологию теоретических подходов из физики, термодинамики, теории сложных систем и т.д., в ней все больше расширяется область, в которой могут возникнуть или уже возникли парадоксы. С внедрением в геологическую науку равновесной термодинамики произошел гигантский прорыв геологии из описательной в экспериментальную и теоретическую науки. Ог-

* Статья А.А.Беляева «Парадоксы в геологии» прислана в редакцию Ю.Л.Гертманом, сотрудничавшим с автором в 1970–1980 гг. при изучении рудных месторождений Средней Азии и сохранившим его научное наследие.

ромное множество наблюдаемых явлений получило строгую научную оценку. Именно здесь и сложилась основа для некоторых парадоксов. Д.С.Коржинский [4] писал: «Любой метасоматический процесс в целом необратим, неравновесен. Однако это не исключает соблюдения некоторых равновесных соотношений. ...В основу развиваемой далее теории положено *допущение* (*курсив мой.*— А.Б.) локального равновесия» (с. 8). Это допущение стало причиной появления целого ряда парадоксов. Равновесная термодинамика исключает из рассмотрения понятия времени процесса и неоднородности пространства. Парадоксы могут возникнуть там, где это допущение принимается за абсолютную и безусловную истину. Равновесная термодинамика дает неоспоримо ценные результаты в том случае, когда процесс можно разделить на стадии, каждая из которых имела продолжительность в течение актуально бесконечного времени (локальное равновесие) или когда неоднородное пространство можно разделить на изолированные однородные области (мозаичное равновесие). Любое из исследований, включающее анализ пространственной или временной эволюции, неизбежно породит выводы, парадоксальные с позиций равновесной термодинамики. Один из первых парадоксов такого рода принадлежит самому Д.С.Коржинскому: равновесная модель опережающей волны кислотности, в которой и время, и неоднородное пространство являются неотъемлемыми категориями теоретического построения. Изучение парадоксов является конструктивным подходом в современной геохимии [7].

Не менее яркий пример парадоксальности дает классическая теория сейсмологии. На заре ее создания Гуттенберг и Рихтер поставили перед собой задачу выработки однозначно определяемой аппаратурной оценки происшедших землетрясений. Аксиоматика такой оценки включала, среди прочего, утверждение, что начало сейсмического процесса совпадает с первым вступлением сейсмической волны. Для многих теоретических построений при ретроспективном анализе землетрясений такой подход дает удобную и компактную модель. Однако любое исследование, направленное на разработку сейсмического прогноза, обязательно будет приводить к результатам, парадоксальным с позиций классической теории. Главным парадоксом следует, видимо, считать тот факт, что наука, всецело связанная с изучением сейсмических волн, не включает колебательные процессы в модели возникновения самого явления.

Классическими можно считать парадоксы, существующие в теории новой глобальной тектоники. Исторически предшествовавшая ей геосинкли-

нальная теория так или иначе рассматривала колебательные процессы, происходившие и происходящие в земной коре. Теория тектоники плит не располагает моделями колебательных процессов и вынуждена прибегать к парадоксальным результатам каждый раз, когда должна объяснить колебательные явления.

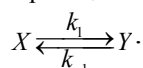
Преодолеть эти парадоксы можно двумя путями. Они могут стать обоснованием возврата к чисто эмпирическим закономерностям, утверждающим примат интуитивного знания над теоретическими моделями. Другой путь, на самом деле — единственный, состоит в том, чтобы сделать обнаруженные противоречия предметом дальнейшего теоретического изучения и, в частности, определить допустимые рамки априорных предположений. Как писал выдающийся физик, математик и философ Ж.Пуанкаре: «Наука всегда оказывается неправа. Она никогда не решает вопросов, не поставив при этом десятка новых».

Предлагаемый подход основывается на рассмотрении геологических явлений с позиций теории автоколебательных процессов. Для их возникновения требуется сочетание определенных физических условий в открытых природных системах. В химии традиционно полагается невозможность колебательных процессов. И все-таки можно найти такие условия, когда они реально возникают. С позиций равновесной термодинамики эти условия выглядят парадоксальными.

Классическим термодинамическим парадоксом может считаться термодинамически равновесная модель гидротермального процесса с опережающей волной кислотности [4]. Парадокс заключается в том, что фактор времени здесь является принципиально важным, а равновесная модель принципиально исключает его. Вот еще один из таких парадоксов: в работе «Проблемы метасоматизма» В.В.Щербина [10] отмечает парадокс избыточной железистости хлоритов в метасоматитах полиметаллических месторождений с точки зрения равновесных соотношений. Этот пример уже сам является косвенным доказательством того, что утверждение о равновесности геохимических систем не может считаться абсолютным. Еще отчетливее зависимость геохимической зональности от скоростей конкурирующих реакций выражена в парадоксе, отмеченном в работе [2]. Описанный парадокс заключается в следующем. Обычная зависимость формы нахождения химического элемента от его концентрации очень проста. Чем выше концентрация какого-либо элемента в природном процессе, тем более вероятна его способность образовывать собственные минералы. Отмечаемая авторами за-

висимость прослеживается ими на золото-серебряных месторождениях Средней Азии. Содержание мышьяка на месторождении убывает с глубиной. В то же время, на верхних горизонтах, где содержание мышьяка максимально, он присутствует только в виде изоморфной примеси в пирите. На глубине же, в зоне выклинивания, характерно появление арсенопирита. На глубине процесс минералообразования протекает медленнее, и мышьяк успевае образовать собственный минерал. Закономерность потерять свою парадоксальность, если принять, что в верхней части метасоматической колонны процесс протекает в условиях адиабатического расширения вскипающих растворов. Скорость захвата мышьяка пиритом выше, чем скорость образования арсенопирита. Влияние скоростей процессов на минералообразование подтверждается тем, что в верхних богатых частях месторождений золото присутствует только в форме очень мелких включений (0,05–0,1 мм). На глубине, где его содержание убывает, образуются значительные по величине зерна (до 50–60% тяжелой фракции из протолочек).

Открытые линейные неравновесные системы. Изучение рудогенеза и связанных с ним геохимических процессов невозможно без таких понятий, как источники вещества, привнос, миграция, подвижные компоненты. Без этих понятий исчезли бы главные составляющие геологического исследования. Следовательно, массоперенос является одним из главных факторов геохимического процесса. Рассмотрим, как массоперенос влияет на баланс вещества. Пусть в системе присутствуют два вещества X и Y , связанных реакцией обмена:



Реакция протекает на потоке, имеющем константу скорости g и концентрации компонентов X_0 и Y_0 . Дифференциальные уравнения, описывающие такую систему, имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= -k_1 X + k_{-1} Y + \gamma(X_0 - X), \\ \frac{dY}{dt} &= k_1 X - k_{-1} Y = \gamma(Y_0 - Y). \end{aligned} \quad (1)$$

Система имеет стационарное состояние при $dX/dt=0$ и $dY/dt=0$.

При $g \neq 0$ стационарное состояние является равновесным:

$$0 = -k_1 \bar{X} + k_{-1} \bar{Y}, \quad 0 = k_1 \bar{X} - k_{-1} \bar{Y}$$

$$\bar{X} = K \bar{Y}, \quad \bar{Y} = \frac{1}{K} \bar{X},$$

где константа равновесия $K = k_{-1}/k_1$. Если $\gamma > 0$, то, в зависимости от величины g и концентраций реаген-

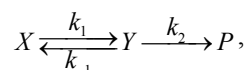
тов в резервуаре X_0 и Y_0 , их стационарные значения

$$\bar{X} = (k_{-1} \bar{Y} + \gamma X_0) / (k_1 + \gamma), \quad \bar{Y} = (k_1 \bar{X} + \gamma Y_0) / (k_{-1} + \gamma)$$

могут быть весьма далеки от термодинамического равновесия. В термодинамических исследованиях это обстоятельство обходится с помощью понятия активности, заменяющем концентрации. Нередко априори полагается, что скорость реакции всегда бесконечно велика по сравнению со скоростью массопереноса. Именно это допущение и предполагал Д.С.Коржинский как правомерное для локальных условий системы.

Ниже рассмотрены конкретные системы, в которых нельзя не учитывать, что реакция имеет вполне ограниченную скорость. Здесь же, также априори, можно показать, что скорости прямой и обратной реакций нередко различаются на многие порядки. В этом случае, даже если константа g много меньше константы скорости прямой реакции k_1 , она вполне может быть больше константы k_{-1} . Даже при $g \gg k_{-1}$ стационарное значение \bar{Y} вдвое ниже равновесного. Если равновесие смещено вправо, то может сложиться условие $k_1 \bar{X} \leq \gamma \bar{Y}_0$. Тогда нельзя пренебречь даже очень малыми скоростями оттока реагента.

Для геохимических систем принципиальное значение имеют механизмы последовательных реакций:



где исходный компонент X через промежуточный продукт Y переходит в конечный продукт реакций P . Если константа k_2 много меньше k_1 и k_{-1} , то в течение конечного отрезка времени в системе может установиться равновесие между X и Y на левом плече реакции. При этом на правом плече также долго может сохраняться сильно неравновесное состояние. В кинетическом аспекте реагент Y , отвечающий такому соотношению скоростей, носит название аррениусовского промежуточного продукта (АПП) [5]. Во второй реакции опущена константа скорости обратной реакции. Это означает, что равновесие сильно смещено в сторону образования продукта P . Пока продолжается весь процесс, правое плечо реакции является неравновесным. Равновесие на левом плече ничего не меняет в этом отношении. Левая реакция создает восполняющийся резервуар реагента Y . Если все скорости соизмеримы, то система подобна (1), в которой g — заведомо значимая величина. Нередко также такое сочетание констант скоростей, когда можно пренебречь и очень малой константой k_{-1} . В этом случае система представляет последовательные реакции без обратных скоростей.

При рассмотрении систем с АПП, также как и для системы (1), их открытость имеет принципиальное значение. Если реакции с участием АПП протекают на потоке движущихся растворов, области образования АПП и его расхода в зависимости от скорости массопереноса могут быть заметно разнесены в пространстве. Для метасоматических процессов появление АПП, видимо, очень широко распространено. Так, в центральных частях метасоматических образований могут происходить мобилизация и вынос кальция. Образуется зона «кислотного выщелачивания». Выделившийся в раствор кальций не успевает сразу образовать новые минеральные соединения и выносится в форме АПП во внешнюю зону. Там он образует зону «базификации», обогащенную минералами кальция. Если процесс оставляет временные реперы, то должно наблюдаться явление, по терминологии Д.С.Коржинского, «опережающей волны кислотности» [4]: сначала образуются минералы, обедненные кальцием, а затем — обогащенные им. Парадоксальность этого понятия тут же исчезает, как только мы включаем в рассуждения скорости процессов и время. То или иное разделение метасоматических зон свидетельствует о большей или соизмеримой скорости массопереноса по сравнению со скоростью второй реакции.

Вывод, который может быть сделан из приведенных рассуждений, состоит в следующем. Если конкретное исследование ставит своей задачей описание только вещественного состава геохимических образований, то есть возможность апеллировать к актуально бесконечному геологическому времени, и тогда методы равновесной термодинамики дают удобные средства для адекватного описания открытой линейной системы. Если же от термодинамического описания требуется учет последовательности геохимических событий, то адекватная модель должна включать кинетические уравнения.

Открытые неравновесные нелинейные системы. Неравновесные линейные кинетические модели могут в значительной мере преодолеть парадоксы, возникающие при анализе равновесных моделей. Тем не менее, остается круг вопросов, которые не могут быть решены в рамках линейных неравновесных приближений. Парадоксальные результаты могут возникать при анализе систем, имеющих несколько стационарных состояний. Неравновесная термодинамика и кинетика в их линейном приближении не допускают такого явления, поскольку описывают изменение состояния системы пересекающимися прямолинейными траекториями. Стационарное состояние в таких системах определяется единственно возможной точкой их пересечения. Предположим, что нелинейная кинетическая кривая

одной из реакций описывается, например, квадратным уравнением. В этом случае существует возможность нескольких, здесь — двух, точек пересечения траекторий, т.е. стационарных состояний. Эффекты, возникающие в подобных системах, немислимы в рамках простых линейных моделей. Это, в первую очередь, относится к моделям пульсационных процессов и ритмической зональности. В те времена, когда о волновых процессах в геохимии еще не было и речи, Н.В.Рослякова и Н.А.Росляков [8] представили многочисленные примеры ритмических околорудных ореолов. Авторы не делали никаких априорных предположений о волновом механизме их образования. Это тем более существенно, так как приводимые ими геохимические профили не только демонстрируют четкую волновую структуру, но и очень точно воспроизводят эффект биения в зоне наложения волн (рис. 1). С точки зрения классической термодинамики волновые процессы невозможны в химических системах. Сама идея такого явления категорически отвергается принципом Ле Шателье и соотношениями Онзагера. Но данные принципы справедливы только в рамках линейных приближений процессов. За этими рамками подобные теоретические вопросы могут быть решены с использованием теории сложных систем [6]. Для возникновения автоколебательных процессов необходимо выполнение в системе трех условий: система должна

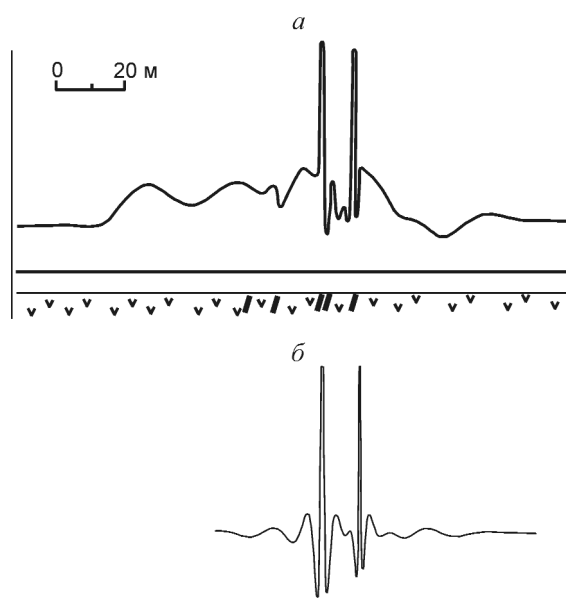


Рис. 1. Пример морфологии геохимического ореола сближенных рудных тел и модель наложения геохимических колебательных процессов:

a — геохимический разрез [8]; *б* — модель

быть открытой, находиться вдали от термодинамического равновесия и иметь нелинейную кинетику.

Подводя итог сказанному, отмечаем, что, поскольку из геохимии нельзя исключить такие понятия, как «источники вещества», «зоны выноса», «зоны переноса» и «зоны отложения», вопрос об открытости геохимических систем излишен. Наличие в природных геохимических системах процессов массопереноса и последовательных химических реакций делает весьма вероятным отклонение концентраций реагентов от термодинамического равновесия. Для возникновения сложных пространственно-временных режимов химических процессов необходимо, чтобы кинетика процесса описывалась нелинейными уравнениями. В терминах химической кинетики это математическое понятие определяется как наличие авто- или перекрестного катализа реагентов. Здесь можно назвать такие очевидные примеры нелинейной кинетики, как различные фазовые переходы или явление теплового автокатализа, возникающего тогда, когда экзотермическая реакция протекает без идеального теплообмена [6]. Существуют и специфические нелинейные геохимические процессы.

Реакции гидролиза и гидратации вмещающих пород. Принятые классификации метасоматических процессов выносят из рассмотрения реакции с участием H_2O . Однако кроме того что вода является одним из наиболее активных реагентов, реакции с ее участием протекают со значительным выделением тепла. Тепловой эффект реакций, как правило, очень велик, а концентрация реагента беспрецедентно высока (55,56 моль/л при стандартных условиях). Во многих отношениях реакции с участием воды аналогичны реакциям горения. Это создает реальные предпосылки для возникновения нелинейных эффектов, создаваемых тепловым автокатализом [1]. Ниже приведены примеры реакций с участием воды (термодинамические константы взяты из работ [11–16]).

Продукты этих реакций могут проходить через стадию образования АПП. Тогда конечные результаты процесса будут неотличимы от классических метасоматических реакций.

Если приложить к этим реакциям принципы равновесной термодинамики, то, согласно DG этих реакций, соединений, стоящих в левых частях уравнений, в присутствии даже незначительных количеств воды не должно было бы наблюдаться в природе. Наличие неизменного пироксена или плагиоклаза на дневной поверхности могло бы выглядеть как термодинамический парадокс. Тем не менее, хотя эти реакции сильно неравновесны, при нормальных условиях они практически не идут из-за очень малой скорости. Как и для реакций горения, для них требуется «запальный» импульс. В связи с этими реакциями очень существенным может быть еще один тип катализа. Среди множества возможных механизмов каталитических реакций, способных возникнуть в геохимических системах, выделим один их тип — каталитические реакции в рудных и метасоматических процессах.

Перекрестный катализ в рудно-метасоматических системах. Постановка такого вопроса определяется следующими соображениями. С одной стороны, само разделение минеральных образований на рудные и метасоматические предполагает, что последние не содержат в значимых количествах рудных элементов. С другой стороны, поскольку между этими образованиями существует повсеместно устанавливаемая связь, являющаяся важным прогностическим признаком, должна существовать и связь между процессами их генерации. Если один химический компонент влияет на интенсивность образования другого и сам стехиометрически не участвует в реакции, то, следовательно, он играет роль катализатора. Если компоненты обоюдно влияют на скорости реакций друг друга, то имеет место перекрестный катализ. Почему здесь вообще может идти речь о катализе? Предположим обратное:

Реакция			$-DG,$ кДж/моль	$-\Delta H,$ кДж/моль
3Mg ₂ Si ₂ O ₆ +3H ₂ O=	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ +2SiO ₂			
Пироксен	Серпентин	Кварц	88,56	134,06
10Mg ₂ Si ₂ O ₆ +6{CaAl ₂ Si ₂ O ₈ +NaAlSi ₃ O ₈ }+14H ₂ O=				
Пироксен	Плагиоклаз № 50		542,04	757,36
Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₁₂ (OH) ₂ +Ca ₂ Al ₃ Si ₃ O ₁₂ (OH)+3Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈ +6NaAlSi ₃ O ₈ +9SiO ₂				
Амфибол	Эпидот	Хлорит	Альбит	Кварц
4{CaAl ₂ Si ₂ O ₈ +2NaAlSi ₃ O ₈ }+KAlSi ₃ O ₈ +2H ₂ O=				
Плагиоклаз № 67	Ортоклаз		67,65	123,58
2Ca ₂ Al ₃ Si ₃ O ₁₂ (OH)+KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂ +8NaAlSi ₃ O ₈ +2SiO ₂				
Эпидот	Серицит	Альбит	Кварц	

рудогенные растворы просто содержат компоненты, необходимые для метасоматических процессов. Но компоненты, необходимые для метасоматоза, значительно более распространены, чем рудогенные. В этом случае по теории вероятностей должно было бы наблюдаться такое количество безрудных метасоматитов, при котором они перестали бы быть прогнозным признаком оруденения.

Для того чтобы рассмотреть механизм катализа, необходимо предварительно сделать ряд определений: 1) породообразующие силикаты по общей химической классификации — соли полианионных кислот (H_4SiO_4 , H_3SiO_3 и др.); 2) минералы метасоматического изменения вмещающих пород в значительном числе — продукты реакций гидратации и гидролиза этих солей (амфиболы, слюды, гидрослюды и т.п.); даже безводные минералы, такие как кварц, кальцит, полевые шпаты, могут быть также продуктами гидролиза силикатов; 3) подавляющая часть рудогенных элементов по общей химической классификации — переходные металлы с гибридными орбиталями. Исходя из этого, следует обратить внимание на одно из важных положений теории катализа [11]: ионы переходных металлов с гибридными орбиталями являются мощными катализаторами реакций гидратации и гидролиза солей полианионных кислот. Интерес вызывают и родственные группы катализаторов, например $\{Cu, Ag, Au\}^{+1}$ либо $\{As, Sb, Bi\}^{+3}$, либо $\{V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Pt\}^{+2}$. Можно легко провести параллели между этими и другими группами катализаторов, с одной стороны, и металлогеническими — с другой.

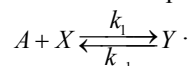
Общий процесс рудообразования и изменения вмещающих пород может быть представлен следующей схемой. Гидротермальные растворы, содержащие даже незначительное количество ионов переходных металлов, катализируют взаимодействие вмещающих пород с водой — происходит «запал» этих реакций. Образуются зоны изменения, состоящие из продуктов реакции их гидролиза и гидратации. Дальше эти реакции могут ускоряться за счет теплового автокатализа. Отравленный продуктами реакции катализатор выпадает из системы в форме рудных минералов. Образовавшаяся локальная впадина концентраций в растворе этих реагентов притягивает из окружающих растворов новые порции катализатора. Тем самым, еще больше катализируется изменение вмещающих пород, и в рудную залежь поступают новые порции отравленного катализатора. По тем же причинам, о которых говорилось выше, отравление катализатора должно происходить за счет косвенных по отношению к метасоматозу процессов, т.е. каталитически: рудные ком-

поненты практически не образуют соединений с петрогенными.

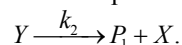
Нами рассмотрен ряд важных предпосылок для обнаружения структур самоорганизации в геохимических системах. Особый интерес представляют выявление и анализ волновых геохимических процессов, таких как пульсационная стадийность и ритмическая зональность. Анализ кинетических моделей должен показать механизмы возникновения явлений, которые должны выглядеть парадоксальными с позиций равновесной термодинамики и линейной кинетики.

Модель 1. Последовательность реакций с участием катализатора представим следующей схемой реакций.

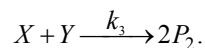
1. Обратимая реакция образования промежуточного продукта Y из твердофазного исходного вещества A с участием катализатора X :



2. Реакция образования конечного продукта P_1 и освобождение катализатора X :



3. Реакция образования общего продукта X и Y в конкурирующей реакции (отравление катализатора):



Баланс компонента Y , определяемый этими тремя реакциями, может быть записан в виде уравнения:

$$\frac{dY}{dt} = k_1X - k_{-1}Y - k_2Y - k_3XY.$$

Последнее слагаемое, определяющее скорость третьей реакции, вероятно, значительно меньше двух других, поскольку описывает скорость реакции второго порядка (в него входит произведение двух малых значений X и Y) и поэтому не вносит существенного вклада в общий баланс Y . Ниже вернемся к рассмотрению этой реакции, пока же есть основание полагать, что изменение концентрации Y с достаточной степенью точности описывается уравнением:

$$\frac{dY}{dt} \approx k_1X - k_{-1}Y - k_2Y.$$

Учитывая, что АПП Y может находиться в равновесии по первой реакции $k_1X - k_{-1}Y = 0$, последнее выражение можно упростить: $K = k_1/k_{-1}$, $Y = KX$ и

$$\frac{dY}{dt} = -k_2KX.$$

Изменение концентрации катализатора X определяется также только второй реакцией:

$$\frac{dX}{dt} = k_2Y.$$

Если система открыта и в нее поступает поток реагентов в концентрации X_0 и Y_0 из резервуара, находящегося на глубине H , то система уравнений принимает вид:

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\gamma}{H}(X_0 - X) + k_2 Y, \quad \frac{dY}{dt} = \frac{\gamma}{H}(Y_0 - Y) - k_2 K X. \quad (2)$$

В безразмерных переменных

$$\tau = \frac{\gamma}{H}t, \quad \lambda = k_2 H / \gamma, \quad x = X / X_0, \quad y = Y / X_0 \quad \text{и}$$

$y_0 = Y_0 / X_0$ система (2) принимает вид:

$$\frac{dx}{d\tau} = 1 - x + \lambda y = P(x, y), \quad \frac{dy}{d\tau} = y_0 - y - \lambda K x = Q(x, y). \quad (3)$$

Система уравнений (3) имеет стационарное состояние:

$$\bar{x} = \frac{1 + \lambda y_0}{1 + \lambda \alpha}, \quad \bar{y} = \frac{y_0 - \alpha}{1 + \lambda \alpha},$$

где $\alpha = \lambda K$.

Проанализируем, как выглядит кинетика системы вблизи стационарного состояния, введя линеаризованные отклонения: $\sigma = x - \bar{x}$, $\xi = y - \bar{y}$.

Линеаризация выполняется по общей схеме [8]:

$$\frac{d\sigma}{d\tau} = \frac{\partial P}{\partial x} \sigma + \frac{\partial P}{\partial y} \xi, \quad \frac{d\xi}{d\tau} = \frac{\partial Q}{\partial x} \sigma + \frac{\partial Q}{\partial y} \xi.$$

$$\text{Тогда } \frac{d\sigma}{d\tau} = -\sigma + \lambda \xi, \quad \frac{d\xi}{d\tau} = -\xi - \alpha \sigma. \quad (4)$$

Уравнения (4) моделируют систему с режимом затухающих колебаний — асимптотически устойчивым стационарным состоянием:

$$\sigma = \exp(-\tau) \sin \omega \tau, \quad \xi = \exp(-\tau) \cos \omega \tau,$$

где $\omega = \lambda \sqrt{K}$.

Эти колебания будут значимыми при $\omega > 1$. В этом случае будет наблюдаться пульсационная стабильность.

Модель (2–4) подобна тем, которые рассматриваются и в биохимических исследованиях, но там этот режим, как правило, не привлекает к себе серьезного внимания. В биологии основной интерес связан с незатухающими колебаниями. В геохимии, наоборот, большинство известных колебательных явлений связано с конечным, иногда очень малым, числом ритмических изменений, таких как пульсационная стабильность. Отличительной особенностью геохимических колебаний от биологических является одновременное изменение амплитуды и частоты колебаний. Рассмотрим это явление на физическом аналоге системы.

Базовая модель. Многолетние исследования показывают, что изучаемые геохимические процессы отражают, как правило, монотонное изменение параметров системы. Установлено также, что для практически важных задач это изменение можно считать линейным во времени.

Рассматривается колебательная физическая система, в которой масса маятника m является линейной функцией времени — $m = kt$. Полная энергия системы $E = K + \Pi = \text{const}$, где K — кинетическая энергия, Π — потенциальная:

$$E = \frac{m(t) \dot{X}^2}{2} + \frac{k^* X^2}{2} = \text{const}.$$

X — координата маятника, k^* — коэффициент упругости. Дифференцируя последнее выражение, находим:

$$m(t) \dot{X} \ddot{X} + \frac{\dot{m}(t) \dot{X}^2}{2} + k^* \dot{X} X = 0.$$

После сокращения система принимает вид:

$$\dot{X} + \frac{1}{2t} X \dot{X} + \frac{k^*}{k} X = 0. \quad (5)$$

Уравнение (5) может быть преобразовано в систему:

$$\dot{X} = \lambda Y, \quad \dot{Y} = -\frac{1}{2t} Y - \frac{\beta^2}{4\lambda t} X, \quad (6)$$

которая имеет решение:

$$X = \cos \beta \sqrt{t}, \quad Y = \frac{\beta}{2\lambda \sqrt{t}} \sin \beta \sqrt{t}; \quad \beta = 2\sqrt{\frac{k^*}{k}}. \quad (7)$$

Пространственные структуры. Рассмотрим, как колебания реакции во времени могут отразиться в колебательном (ритмически зональном) распределении компонентов. Перейти от колебаний во времени к пространственным ритмам можно, в частности, с помощью несложного преобразования. Пусть система имеет цилиндрическую симметрию, где фронт реакции находится на удалении $r = kt$ от центра. Потоки компонентов убывают по мере удаления от центра системы:

$$\frac{d\sigma}{d\tau} = -k \frac{\sigma}{r} + \lambda \xi, \quad \frac{d\xi}{d\tau} = -k \frac{\xi}{r} - \alpha \sigma, \quad \frac{dr}{dt} = k. \quad (8)$$

Решение системы (8):

$$\sigma = \frac{1}{r} \cos \beta \sqrt{r\tau}, \quad \xi = \frac{\beta}{2\lambda \sqrt{r\tau}} \sin \beta \sqrt{r\tau}; \quad \beta = \sqrt{\frac{\alpha \lambda}{k}}. \quad (9)$$

Нами проанализирована динамика растворимых реагентов в системе. Распределение продуктов реакций, образующих твердую фазу, может быть выведено из предыдущих рассуждений. В первой из рассмотренных моделей образование продукта P_1 происходит параллельно с освобождением катализатора X . Исходя из этого, можно записать:

$$\frac{dP_1}{dt} = \frac{dX}{dt}.$$

Для линеаризованных отклонений p_1 :

$$\frac{dp_1}{d\tau} = \frac{d\sigma}{d\tau}, \quad p_1 = \frac{1}{r} \cos \beta \sqrt{r\tau} + C_1. \quad (10)$$

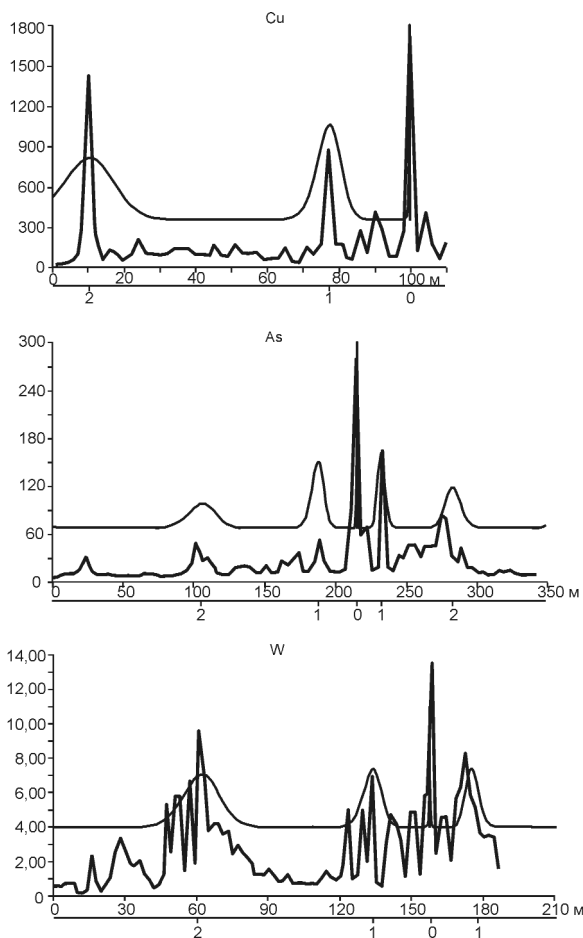


Рис. 2. Примеры ореолов рудных компонентов и их модели вида $U=A(\tau)\cos\varphi(\tau)$

При этом должна образовываться характерная ритмическая зональность (рис. 2). Она проявляется на многих рудных объектах и часто обнаруживается на Au-Ag месторождениях (см. рис. 1). Общая морфология ореолов выражается в наличии отрицательных экзоконтактовых ореолов, окружающих рудное тело. На несколько большем удалении появляются положительные ореолы, потом вновь отрицательные и т.д. Пример другой кинетики может выражаться в зависимости скорости образования продукта от скорости расхода промежуточного продукта:

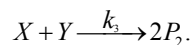
$$\frac{dP_1}{dt} = -\frac{dY}{dt}$$

Для линеаризованных отклонений p_1 :

$$\frac{dp_1}{d\tau} = -\frac{d\xi}{d\tau}, \quad p_1 = C_1 - \frac{\beta}{2\lambda\sqrt{r\tau}} \sin\beta\sqrt{r\tau}. \quad (11)$$

Морфология ореола этого типа представлена на рис. 3.

В первой модели указана возможность реакции образования конечного продукта второго порядка:



Скорость изменения концентрации P_2 определяется уравнением:

$$\frac{dP_2}{dt} = 2 \left(k_3 XY - k \frac{P_2}{r} \right)$$

или для линеаризованных отклонений p_2 :

$$\frac{dp_2}{d\tau} = 2 \left(-\frac{P_2}{r} + k_3 \alpha \xi \right), \quad p_2 = \frac{C}{r^2} \cos 2\beta\sqrt{r\tau}; \quad C = \frac{k_3}{4\lambda}. \quad (12)$$

Это решение показывает, что частота колебаний продукта реакции второго порядка вдвое выше, чем продуктов реакции первого (соответственно, вдвое меньше протяженность пространственных ритмов). В качестве продукта может быть как рудный компонент, так и метасоматическое образование. На геохимическом профиле через рудно-метасоматическую зону гидротермального месторождения показано распределение характерных элементов-«антагонистов» — меди и олова (рис. 4). Концентрации этих компонентов принципиально разного порядка. На золоторудном объекте содержания олова в пробах на несколько порядков ниже, чем содержания меди. Однако для геохимической системы, в которой имеет значение распределение компонентов с принципиально разным порядком концентраций, малая амплитуда этих колебаний не должна быть проигнорирована. Даже в логарифмическом масштабе для соразмерности колебаний пришлось отобразить их в относительном масштабе, нормируя по собственным минимумам и максимумам. Тем не менее, из графика можно видеть, что относительные повышения содержания этих «антагонистов» периодически совпадают. На основании

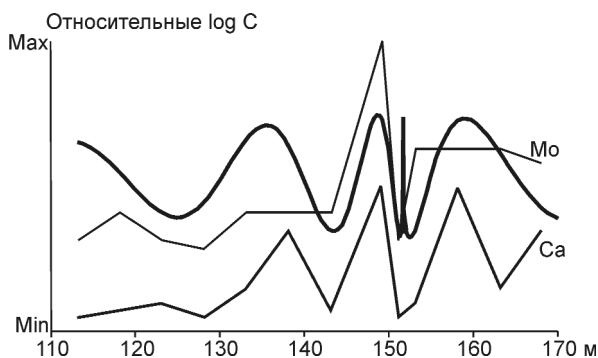


Рис. 3. Геохимический профиль (Mo, Ca) через рудно-метасоматическую зону полиметаллического месторождения (Средняя Азия) и его модель вида $U= -A(\tau)\sin\varphi(\tau)$

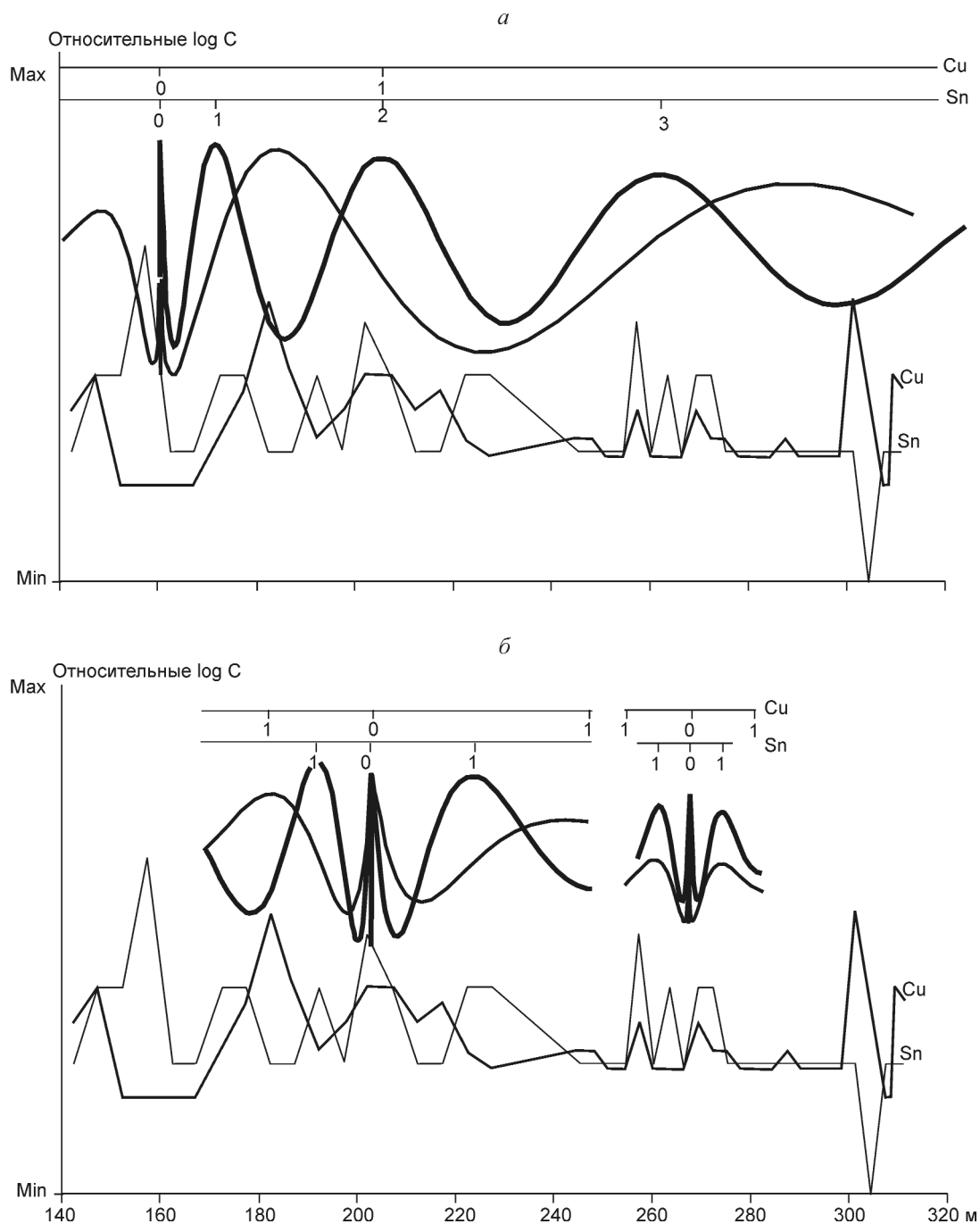


Рис. 4. Геохимический профиль (Cu, Sn) через рудное тело золото-серебряного гидротермального месторождения (Средняя Азия):

a — модель низкочастотных ритмов для Cu — $U_1 = -A(t)\sin j(t)$, для Sn — $U_2 = A(t)\cos 2j(t)$; *б* — то же, для фрагментов высоких частот

вышеизложенной модели можно отметить, что колебания содержания олова имеют вдвое более высокую частоту, чем колебания меди.

Образование ритмической зональности заставляет по-новому взглянуть на понятие компо-

нентов-«антагонистов». В случае монотонной зональности условие образования минералов одной группы должно соответствовать условиям выноса «антагонистов». При ритмической зональности образуются чередующиеся зоны отложения и вы-

носа одного и того же компонента. В этом случае модель позволяет иначе взглянуть на традиционно понимаемую проблему элементов-«антагонистов», рассматривая их как взаимосвязанные, но противофазные элементы. В самом деле, если считать корреляцию между этими элементами с учетом сдвига фазы, то корреляция будет иметь положительное значение. Этот вывод может существенно повысить результативность прогноза рудных образований на их дальнейшей периферии. В зоне отрицательного околорудного ореола в качестве элементов-индикаторов могут использоваться противофазные элементы. Наибольшую значимость для прогноза имеет тот факт, что частота ритмов закономерно возрастает к центру рудно-метасоматического образования. Немалую роль при этом может сыграть и учет кратности частот колебаний.

Основу механизма образования ритмической зональности в представленной модели составляет кинетика перекрестного химического катализа, способного возникать в рудно-метасоматических геохимических системах. Рассмотренная упрощенная модель позволяет отметить некоторые важные соотношения скоростей, влияющих на свойства геохимической системы. Так, наличие равновесных стадий процесса не снимает задачи исследования неравновесной системы в целом. Как следует из представленного решения, константа равновесной стадии влияет на частоту колебаний и длину пространственных волн. Малая скорость потоков вещества в открытой системе не может быть отброшена априори, так как от нее зависит частота пространственных ритмов: чем ниже скорость, тем меньше ширина ритмов. При очень малой скорости потоков ритмическая зональность может превратиться в тонкую полосчатость с малым затуханием интенсивности. Наоборот, увеличение этого параметра влечет за собой и увеличение размеров быстро затухающих зон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев А.А.* Тепловая модель ритмической рудно-метасоматической зональности // *Геохимия*. 1997. № 8. С. 844–850.
2. *Голованов И.М., Увадьев М.Д., Гертман Ю.Л.* Об одном парадоксе вертикальной минералого-геохимической зональности малоглубинных месторождений золота одного из районов Средней Азии // *Зап. Узб. отд. ВМО*. Ташкент, 1979. Вып. 32. С. 3–6.
3. *Жаботинский А.М.* Концентрационные колебания. – М.: Наука, 1974.
4. *Коржинский Д.С.* Проблемы метасоматической зональности. – М.: Наука, 1969.
5. *Курс физической химии*. Т. 2. / Под ред. Я.И.Герасимова. – М.: Химия, 1973.
6. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир, 1979.
7. *Поспелов Г.Л.* Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. – Новосибирск: Наука, 1973.
8. *Рослякова Н.В., Росляков Н.А.* Эндеогенные ореолы месторождений золота // *Тр. Ин-та геологии и геофизики*. Новосибирск, 1975. Вып. 182.
9. *Хенрици-Оливэ'Г., Оливэ'С.* Координация и катализ. – М.: Мир, 1980.
10. *Щербина В.В.* Особенности химизма гидротермального изменения вмещающих пород // *Проблемы метасоматизма*. М., 1970.
11. *Cox J.D., Wagman D.D., Medvedev V.A.* CODATA Key Values for Thermodynamics // *Hem. Pub. Cor.* 1989.
12. *Hemingway B.S., Haas J.L., Robinson G.R.* Thermodynamic properties of selected minerals in the system Al_2O_3 - CaO - SiO_2 - H_2O at 298.15°K and 1 bar (100 000 pascals) pressure and higher temperatures // *Geil. Survey Bul.* ¹ 1544. U.S. Government Printing Office, Washington, 1982.
13. *Holland T.J.B., Powell R.* An enlarged and updated internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: the system K_2O - Na_2O - CaO - MgO - MnO - FeO - Fe_2O_3 - Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2 - C - H_2 - O_2 // *J. Metamorphic Geol.* 1990. Vol. 8. P. 89–124.
14. *King E.G., Barany R., Weller W.A., Pankratz L.B.* The thermodynamic properties of forsterite and serpentine // *U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations*. 1967. ¹ 6962.
15. *Robie R.A., Hemingway G.S., Fisher J.R.* Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15°K and 1 bar (100 000 pascals) pressure and at higher temperatures // *Geol. Survey Bul.* ¹ 1452. U.S., Washington, 1978.
16. *Robinson G.R.Jr., Haas J.L.Jr., Schafer C.M., Haselton H.T.Jr.* Thermodynamic and thermophysical properties of selected phases in the MgO - SiO_2 - H_2O - CO_2 , CaO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O - CO_2 , Fe - FeO - Fe_2O_3 - SiO_2 chemical systems, with special emphasis on the properties of basalts and their mineral components // *US Geol. Survey, open-file Rep.* 83–79. 1982.

ПАМЯТИ НАДЕЖДЫ ВАСИЛЬЕВНЫ ЧЕРНЫШЕВОЙ
1935–2007

12 февраля 2007 г. на 72-м году жизни скончалась Надежда Васильевна Чернышева — инженер отдела обогащения минерального сырья ЦНИГРИ.

Н.В.Чернышева — старейший сотрудник института, проработала в нем 47 лет. Ее трудовая деятельность началась в 1960 г. в лаборатории алмазного бурения, где она работала техником, мастером, лаборантом.

С 1980 по 1988 гг. трудилась в отделе физико-химических методов анализа в должности инженера. Овладела современными методами анализа, участвовала в выполнении исследований различных типов минерального сырья благородных металлов и алмазов, выезжала в командировки на предприятия для внедрения разработок ЦНИГРИ.

Н.В.Чернышева контролировала состояние воздушной среды в лабораториях института, следила за соблюдением норм техники безопасности.

С марта 1988 г. работала в отделе обогащения минерального сырья, занимаясь организационно-хозяйственной деятельностью.

Надежда Васильевна была трудолюбивым и добросовестным человеком. Она с большой ответственностью относилась к любому порученному делу, на нее всегда можно было положиться. Пользовалась заслуженным авторитетом в институте, любовью и уважением коллектива.

За безупречную работу удостоена звания «Ветеран труда», отмечена благодарностями.

Н.В.Чернышева была отзывчивым и доброжелательным человеком, надежным другом. Большое жизненное и оптимизм не покидали ее до последней минуты жизни, помогали бороться с тяжелым недугом.

Светлая память о Надежде Васильевне навсегда останется в наших сердцах.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала
Друзья, коллеги*

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

В целях облегчения редактирования статей
редколлегия журнала просит авторов использовать термины и понятия
в интерпретации следующих изданий:

1. Толковый словарь английских геологических терминов. Перевод с английского. - М.: Геокарт, 2002.
2. Российский металлогенический словарь. - С-Пб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003.
3. Термины и понятия, используемые при прогнозно-металлогенических исследованиях. - С-Пб., 1991.