

# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



**6/2008**

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 2008**

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

Сдано в набор 14.11.08 г.  
Подписано в печать 3.12.08 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](mailto:tsnigri@tsnigri.ru)  
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2008

**Недропользование****Subsoil Use**

*Беневольский Б.И., Витковская Л.И., Голеньев В.Б., Конкина О.М., Пономарев А.Ю., Шаповалов В.С.*

Минерально-сырьевая база цветных металлов России - прогноз обеспеченности потребностей цветной металлургии на ближайшую перспективу

5

*Benevolsky B.I., Vitkovskaya L.I., Golenev V.B., Konkina O.M., Ponomarev A.Yu., and Shapovalov V.S.*

Russian mineral base of non-ferrous metals: How does it meet future industrial requirements?

**Прикладная металлогения****Applied metallogeny**

*Склярлова Г.Ф.*

Закономерности развития и перспективная оценка стратиформного свинцово-цинкового оруденения на территории Дальнего Востока

16

*Sklyarova G.F.*

Stratiform Pb-Zn mineralization in the Russian Far East: Formative regularities and prospectiveness

*Швецов А.Д., Абрамов В.В.*

К проблеме прогнозирования золотонности черносланцевых толщ Воронежского кристаллического массива на стадии региональных геологоразведочных работ

22

*Shvetsov A.D., Abramov V.V.*

Black shale sequences of the Voronezh Arch: On the problem of their region-scale gold potential prediction

**Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений****Exploration, estimation, and development of mineral deposits: Techniques and methods**

*Лобач В.И., Тучина М.В., Корчагин А.У.*

Концентрационная неоднородность месторождения комплексных руд

31

*Lobach V.I., Tuchina M.V., and Korchagin A.U.*

The concentration inhomogeneities of multicomponent ores

**Строение рудных месторождений****Architecture of ore deposits**

*Варгунина Н.П.*

Специфика состава и строения геохимических ореолов на флангах месторождения Бозанг, Северная Осетия

36

*Vargunina N.P.*

Bozang, N. Ossetia: Chemical and structural specialties of geochemical halos

*Вах А.С., Степанов В.А., Авченко О.В.*

Березитовое золото-полиметаллическое месторождение: геологическое строение и состав руд

44

*Vakh A.S., Stepanov V.A., and Avchenko O.V.*

A beresite-related gold-base metal deposit, its geology and composition of ores

*Кочергин А.В.*

Взаимоотношения и последовательность формирования железооксидных пигментных руд Зигазино-Комаровского рудного района, Южный Урал

55

*Kochergin A.V.*

Inter-relations and formative sequence of Fe-oxide pigment ores, the Zigazino-Komarovsk trend, South Urals

*Орсоев Д.А.*

Платиноносность сульфидных руд Байкальского медно-никелевого месторождения (Йоко-Довыренский дунит-троктолит-габбровый массив)

62

*Orsoev D.A.*

Platinum potential of the Baikalsk Cu-Ni sulfide deposit, the Yoko-Dovyrensk dunite-troctolite-gabbro pluton

*Голубев С.Ю.*

Условия локализации рудных тел Наталкинского месторождения золота

72

*Golubev S.Yu.*

Formative environment of the Natalkinskoe gold deposit

*Остапенко Л.А.*

Условия минералообразования на золоторудных месторождениях в терригенно-сланцевых толщах Центральной Колымы

76

*Ostapenko L.A.*

Mineral deposition environments of lode gold deposits hosted by terrigenous shale sequences, the Central Kolyma region, Russia

#### **Памятные даты**

#### **Memorable dates**

90-летие П.Ф.Иванкина

84

P.F.Ivankin: 90th anniversary

#### **Поздравляем с юбилеем**

#### **Our congratulations**

Е.С.Заскинда, А.И.Кривцова, А.П.Лихачева, В.Н.Новикова, Н.А.Прусакову, С.Ф.Стружкова

85

E.S.Zaskind, A.I.Krivtsov, A.P.Likhachev, V.N.Novikov, N.A.Prusakova, S.F.Struzhkov

**Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 2008 году**

89

**Rudy i Metally (Ores and Metals): List of publications-2008**

# НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ



УДК 553.43/48.042 (470+571)

© Коллектив авторов, 2008

## МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ РОССИИ — ПРОГНОЗ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НА БЛИЖАЙШУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

**Б.И.Беневольский, Л.И.Витковская, В.Б.Голенев, О.М.Конкина, А.Ю.Пономарев, В.С.Шаповалов (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)**

*Минерально-сырьевая база цветных металлов России, созданная в основном в предшествующие годы, достаточна для наращивания добычи на ближайшую перспективу, удовлетворения потребностей отечественной промышленности, замещения импорта свинца и увеличения экспорта других металлов. Расширение добычи цветных металлов возможно за счет подготавливаемых к освоению и наиболее ликвидных месторождений нераспределенного фонда, вовлечения в переработку отвалов, скопившихся за многие десятилетия добычи в старых горно-рудных регионах, решения проблем повышения извлечения полезных компонентов и комплексного использования руд, положительной реализации прогнозных ресурсов на флангах и глубоких горизонтах эксплуатируемых объектов, выявления новых месторождений с богатыми рудами в благоприятных горно-геологических и географо-экономических условиях.*

Минерально-сырьевая база (МСБ) цветных металлов России занимает ведущее место в мировом минерально-сырьевом секторе, сохраняя фундаментальное значение для отечественной экономики, как важнейшее сырье для промышленности и экспорта. По запасам никеля и цинка страна занимает первое (табл. 1), а меди, кобальта и свинца — второе место в мире. В добыче Россия лидирует только по никелю и кобальту, а по меди, свинцу и цинку уступает США, Индонезии, Австралии, Канаде, Китаю и другим странам, занимая 6–10 места.

Минерально-сырьевая база цветных металлов (см. табл. 1), созданная в основном еще во времена плановой экономики, при условии сохранения высоких цен на сырье достаточна для наращивания добычи на ближайшую перспективу, удовлетворения потребностей отечественной промышленности, замещения импорта свинца и увеличения экспорта других металлов.

Сырьевая база меди представлена комплексными существенно медными месторождениями (медно-никелевые, медно-цинковые колчеданные, медистые песчаники). Основные из них — ранее разведанные и в значительной мере вовлеченные в эксплуатацию хорошо известные объекты в освоенных горно-рудных районах Южного и Среднего

Урала, Таймыра, Кольского полуострова. Балансовые запасы меди учтены в 126 месторождениях и составляют 87 млн. т (категория АВС<sub>1</sub> 74,5%), в том числе 23% запасов меди заключено в Удоканском месторождении, МСБ которого и перспективы промышленного освоения в современных условиях уточняются.

Запасы никеля учтены в 43 месторождениях (из них 14 только с забалансовыми запасами). В 21 месторождении сульфидных медно-никелевых руд и 19 силикатных никель является основным компонентом, в двух кобальтовых и одном медно-сульфидном он учтен как попутный компонент. В отличие от большинства стран-производителей никеля, где наибольшее промышленное значение имеют силикатные руды, в России 89% разведанных запасов категории АВС<sub>1</sub> и 92% добычи обеспечивается сульфидными медно-никелевыми рудами. Основу МСБ никеля составляют три месторождения Норильского района Красноярского края — Норильск-1, Талнахское и Октябрьское, содержащие более 68% балансовых запасов металла.

Балансовые запасы кобальта учтены в трех собственных (0,9% запасов) и 57 кобальтсодержащих месторождениях. Последние разделяются на две группы: с освоенной технологией извлечения ко-

## 1. Минерально-сырьевая база цветных металлов России на 01.01.07

Металл	Запасы ABC <sub>1</sub> C <sub>2</sub> , млн. т / доля ABC <sub>1</sub> , %	Доля распре- деленного фонда недр для запасов ABC <sub>1</sub> C <sub>2</sub> , %	Добыча, млн. т / уровень 1991 г.	Доля, % / место в мире		Число основ- ных пред- приятий / их доля в добыче	Валовая обеспечен- ность добы- чи запасами ABC <sub>1</sub> , лет	Доля прогноз- ных ресурсов (усл. кат. C <sub>2</sub> ) от запасов ABC <sub>1</sub> C <sub>2</sub> , %
				Запасы	Добыча			
Cu	87 / 74	68	0,79 / 1,0	9,8 / 2	5,1 / 6	8 / 0,9	82	16
Ni	-* / 73	91	0,36 / 1,1	-* / 1	24,8 / 1	4 / 1,0	-*	-*
Co	-* / 66	81	0,016 / 1,1	-* / 2	25,2 / 1	4 / 0,92	-*	-*
Pb	20 / 69	84	0,07 / 0,96	13,6 / 2	2,0 / 7	3 / 0,86	197	19
Zn	61 / 72	85	0,30 / 1,0	20,7 / 1	2,9 / 10	6 / 0,8	146	25

\*Сведения закрыты.

балыта и те, в которых кобальт не извлекается и концентрируется в хвостах переработки. К первой группе относятся сульфидные медно-никелевые и силикатные месторождения с запасами 67,9 и 13,8% соответственно. Вторая группа включает магнетитовые, медноколчеданные, оловянные, висмутовые и магнезитовые месторождения с запасами 17,4%.

Разведанные балансовые запасы свинца учитываются в 88 месторождениях в количестве 19,8 млн. т, из которых на категорию ABC<sub>1</sub> приходится 69%. Основу МСБ свинца России составляют собственно свинцово-цинковые месторождения (90% запасов). Среди них более 65% запасов страны сосредоточены в трех месторождениях — Озерное, Холоднинское (Республика Бурятия) и Горевское (Красноярский край). Но разрабатывается в минимальном объеме (34,4 тыс. т Pb в год) только незначительная часть Горевского месторождения, доступная для открытой добычи. Остальные 10% запасов представлены медно-цинковыми колчеданными, серебряно-полиметаллическими и оловянно-полиметаллическими рудами, из которых свинец в настоящее время не извлекается и накапливается в хвостах переработки.

Балансовые запасы цинка учитываются в 130 месторождениях в количестве 60,8 млн. т, в том числе категории ABC<sub>1</sub> — 72%. Основная масса запасов цинка в России приходится на медно-цинковые колчеданные (25,5%) и свинцово-цинковые (71%) месторождения. К последним относятся пять наиболее крупных месторождений (Холоднинское и Озерное, Павловское на о. Новая Земля, Корбалихинское в Алтайском крае, Горевское), содержащих 59% запасов цинка России. Остальные запасы представлены серебряно-полиметаллическими и оловянно-полиметаллическими рудами, из которых цинк в настоящее время не извлекается и накапливается в хвостах переработки.

Свинцово-цинковые месторождения России характеризуются относительно низким содержанием

металлов, труднообогатимыми рудами (Алтайский край), расположением значительной части запасов в неблагоприятных географо-экономических (о. Новая Земля), сложных горно-геологических (русло р. Ангара, Алтайский край) и экологических (охранная зона оз. Байкал) условиях. Это определяет относительно низкую конкурентоспособность МСБ, особенно свинца, и крайне низкую вовлеченность запасов свинца и цинка в эксплуатацию. Поэтому внутренние потребности свинца в значительной степени покрываются за счет импорта при значительных запасах и переработке вторичного сырья.

Структура МСБ (рис. 1) показывает дефицит прогнозных ресурсов (особенно категории P<sub>1</sub>), доля которых от запасов категории ABC<sub>1</sub>C<sub>2</sub> (в условной категории C<sub>2</sub>) достигает максимального значения 25% для Zn, 19% для Pb и 16% для Cu. Для никеля и кобальта доля прогнозных ресурсов еще ниже. Учитывая риск доведения прогнозных ресурсов до запасов, вероятность выявления новых месторождений реально может быть еще ниже. Сырьевая база для обеспечения потребностей цветной металлургии на дальнюю перспективу требует восполнения как традиционными, так и нетрадиционными для России промышленными типами месторождений (например, медно-порфировые руды) в районах действующих предприятий и в новых регионах.

Лидером по запасам (рис. 2) является Сибирский федеральный округ (ФО) с крупнейшими месторождениями меди (68% запасов), никеля (72%), кобальта (64%), свинца (84%) и цинка (68%). Среди них уникальные и объекты мирового класса, имеющие для России стратегическое значение, — Норильская группа, Удоканское, Горевское, Холоднинское и Озерное месторождения. В Уральском и Приволжском ФО с крупными Учалинским, Узельгинским и Гайским медно-цинковыми колчеданными, Михеевским и Томинским медно-порфировыми месторождениями, Буруктальским силикатного ни-

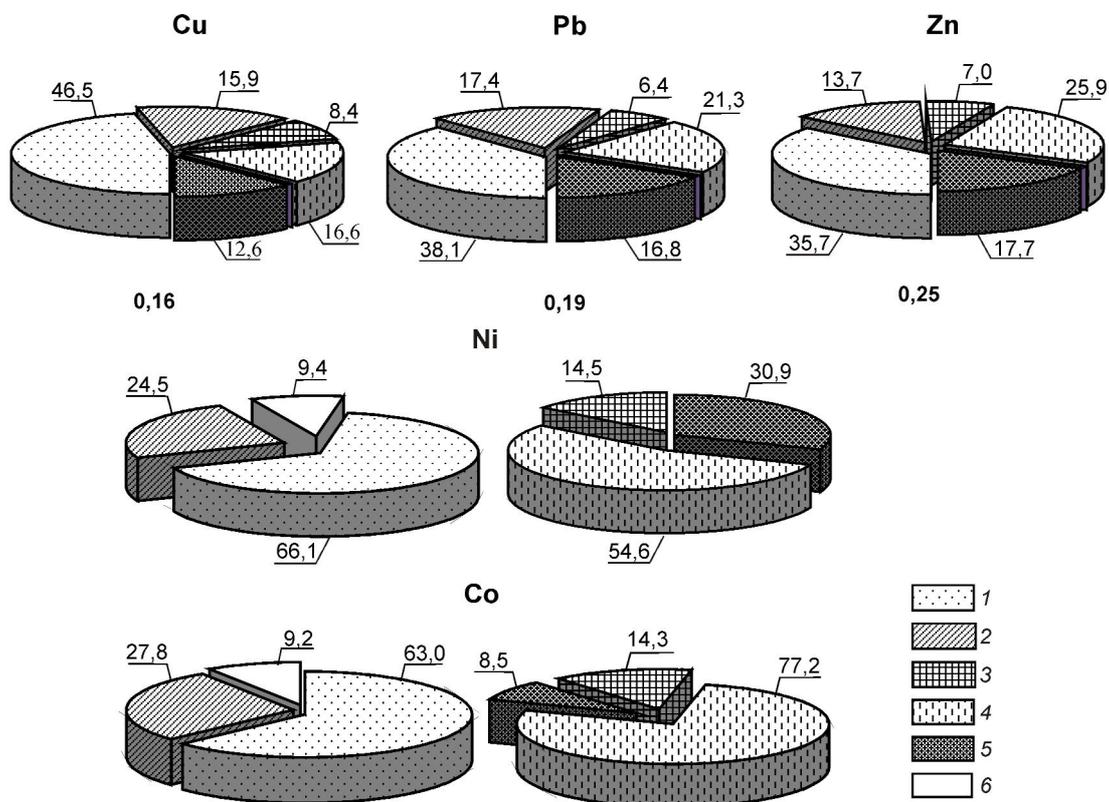


Рис. 1. Структура минерально-сырьевой базы цветных металлов России, %:

категории запасов: 1 — ABC<sub>1</sub>, 2 — C<sub>2</sub>, 3 — P<sub>1</sub>, 4 — P<sub>2</sub>, 5 — P<sub>3</sub>, 6 — забалансовые; 0,16, 0,19, 0,25 — отношение прогнозных ресурсов, выраженных в условной категории C<sub>2</sub>, к сумме запасов категории ABC<sub>1</sub>C<sub>2</sub> (для Ni и Co сведения о запасах закрыты)

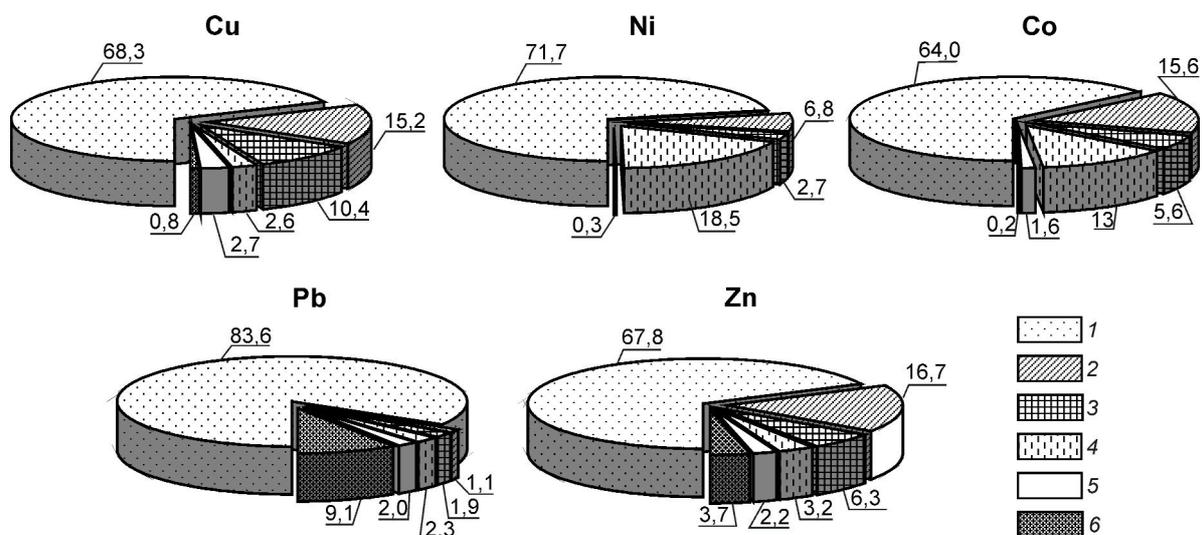
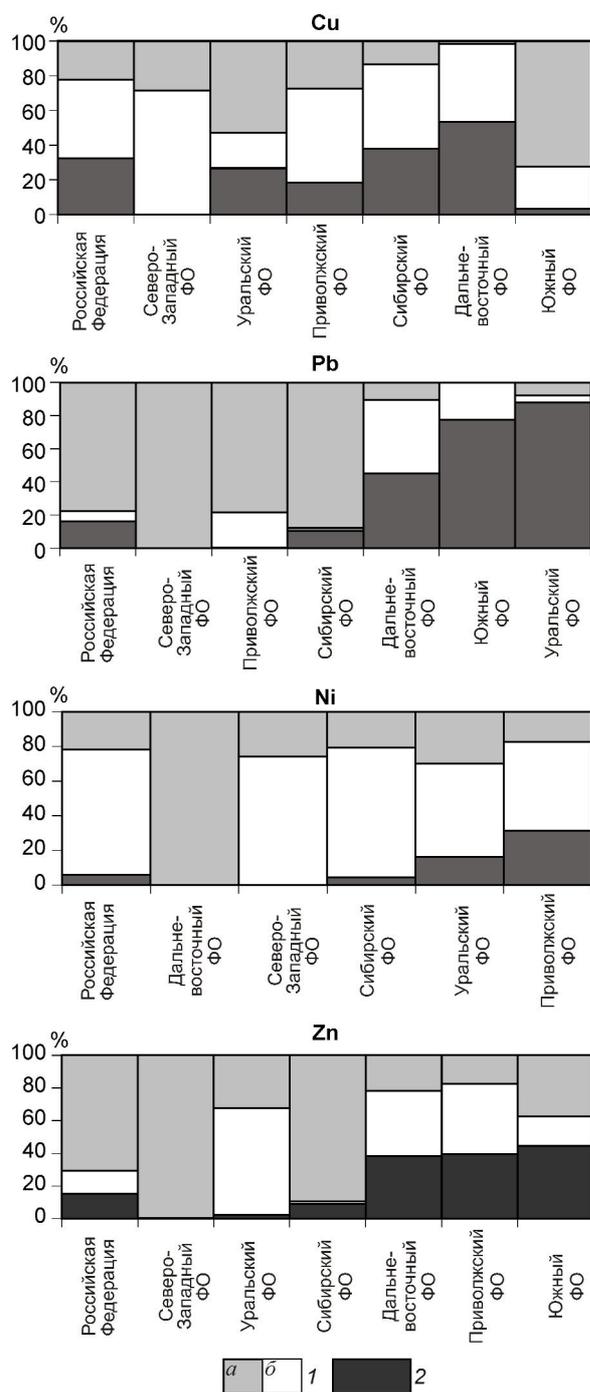


Рис. 2. Распределение балансовых запасов категории ABC<sub>1</sub>C<sub>2</sub> месторождений цветных металлов по федеральным округам России, %:

1 — Сибирский, 2 — Приволжский, 3 — Уральский, 4 — Северо-Западный, 5 — Южный, 6 — Дальневосточный



**Рис. 3.** Вовлеченность запасов категории ABC<sub>1</sub>C<sub>2</sub> месторождений цветных металлов России в лицензирование:

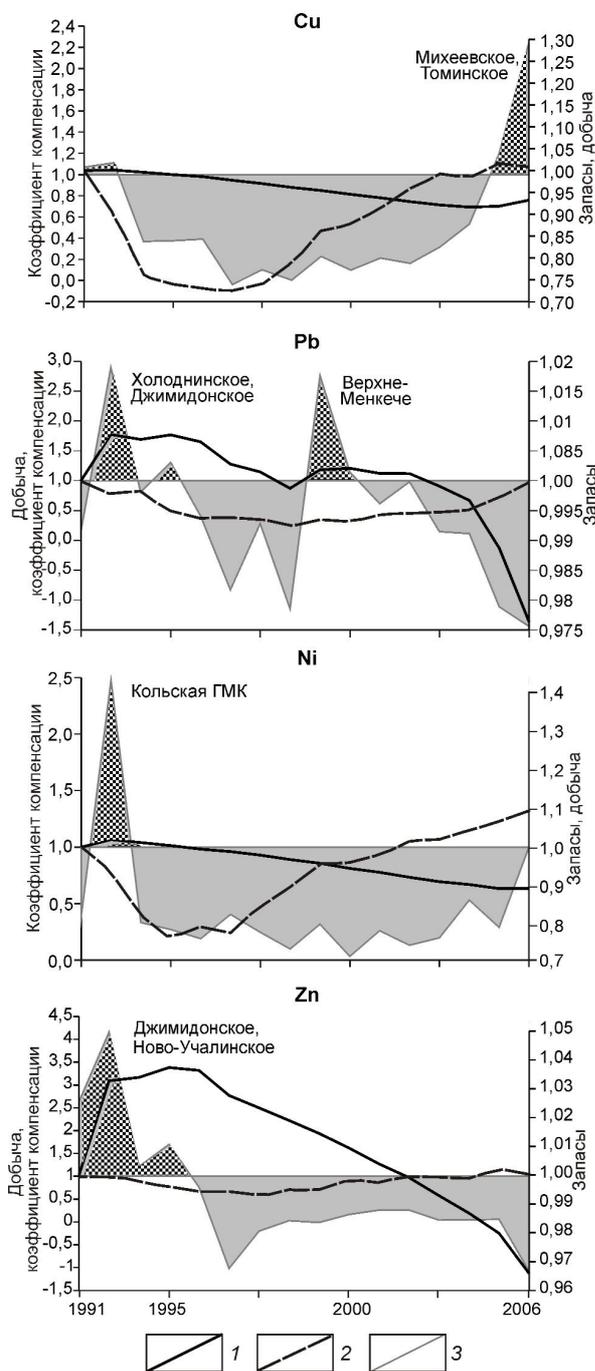
1 — распределенный фонд (а — подготавливаемые, б — разрабатываемые); 2 — нераспределенный фонд (резервные)

келя сосредоточено 26% Cu, 21% Co и 23% Zn. Основная масса прогнозных ресурсов приходится на Сибирский ФО, минимальная доля ресурсов — на

Приволжский и Уральский ФО. При этом в последних расположены значительные мощности по добыче цветных металлов, что требует усиления прогнозных и поисковых работ в этих горно-рудных регионах. Работы должны быть направлены на выявление новых геолого-промышленных типов месторождений, поскольку вероятность обнаружения в хорошо изученных регионах крупных объектов традиционных типов практически исчерпана.

Сырьевая база цветных металлов в целом характеризуется высокой степенью вовлечения в лицензирование (рис. 3). Распределенный фонд запасов составляет по Ni, Co, Pb, Zn 81–91%, по Cu 68%. Однако степень промышленного освоения сырьевой базы весьма неравномерная и по некоторым металлам крайне низкая. В целом по РФ в эксплуатации находится всего 6% запасов Pb категории ABC<sub>1</sub>C<sub>2</sub>, 14% Zn и только 46% Cu, 65% Co и 72% Ni вовлечено в отработку. Низкая вовлеченность в эксплуатацию запасов свинца и цинка обусловлена отмеченными выше особенностями МСБ этих металлов. В нераспределенном фонде меди находится крупнейшее месторождение медистых песчаников — Удоканское в Читинской области. Кроме того, нераспределенный фонд представлен, как правило, запасами месторождений, расположенных в неблагоприятных географо-экономических (Саурейское) и горно-геологических (медно-цинковые руды Урала, полиметаллические руды Алтайского края, южная часть месторождения Норильск-1) условиях, с рудами относительно низкого качества и труднообогатимыми (полиметаллические месторождения Алтайского и Приморского краев), мелких по масштабам.

Ретроспективный анализ динамики МСБ за 1991–2006 гг. показывает (рис. 4), что период перехода на рыночные отношения негативно отразился на темпах развития сырьевой базы цветных металлов. Это привело к сокращению разведанных запасов, истощению сырьевых баз ряда действующих предприятий, выбыванию мощностей в районах традиционной добычи, обесцениванию месторождений за счет избирательной отработки более качественных запасов для достижения необходимой нормы прибыли. Сегодня спад добычи 90-х годов преодолен. В 2006 г. по всем металлам добыча вышла на дореформенный уровень, и сохраняется тенденция дальнейшего роста. Но при этом добыча не компенсируется приростом запасов по всем цветным металлам. Сейчас ситуацию с воспроизводством нельзя считать катастрофической, но, учитывая высокие темпы роста добычи последних лет, убыль запасов в перспективе будет нарастать заметнее и потребует расширения объемов геолого-



**Рис. 4.** Динамика запасов категории АВС<sub>1</sub>, добычи (относительно 1991 г.=1) и коэффициента компенсации цветных металлов России за 1991–2006 гг.:

1 — запасы; 2 — добыча; 3 — коэффициент компенсации

разведочных работ как недропользователями, так и федеральными органами.

Добыча основных металлов полностью обеспечивает внутренние потребности и экспорт. Только

потребление свинца зависит от импорта. Добыча цветных металлов (78% Ni, 73,5% Co, 71% Pb, 62% Cu) сосредоточена в Сибирском ФО (рис. 5). И лишь цинк получают в основном на предприятиях Приволжского и Уральского ФО (49 и 30%). Здесь же сосредоточена значительная добыча Cu (34%) и Co (16%).

Добыча меди в 2006 г. составила 793,5 тыс. т. Традиционно для России главными продуцентами металла остаются медно-никелевые месторождения (60% добычи) Норильской группы (Октябрьское — 414,7, Талнахское — 49,7, Норильск-1 — 14,2 тыс. т) и медно-цинковые колчеданные объекты (30% добычи) Приволжского и Уральского ФО (Гайское — 63,8, Сафьяновское — 36,4, Узельгинское — 25,9, Учалинское — 20,1, Летнее — 21,8, Джусинское — 18 тыс. т). Восемь предприятий обеспечивают 90% добычи России. Поддержание высокого уровня добычи на этих месторождениях в последние годы обеспечивается преимущественной обработкой богатых руд. Качество добываемой руды примерно в половине разрабатываемых объектов, как правило, заметно (в 1,2–1,5 раза) превышает качество балансовых запасов, особенно на крупнейших Норильских месторождениях — Октябрьском и Талнахском (более чем в 3 раза).

Никель (360 тыс. т в 2006 г.) и извлекаемый кобальт (16 тыс. т) добываются главным образом из сульфидных медно-никелевых месторождений Сибирского (Норильская группа — 78,2% Ni, 72,2% Co) и Северо-Западного (Мурманская область — 13,7 и 10,4%) ФО. Только 8% Ni и 16% Co добывается из силикатных руд Урала. Вся добыча никеля и кобальта сосредоточена на четырех предприятиях (табл. 2), на балансе которых находится также и более 90% подготавливаемых к освоению запасов этих металлов.

Добыча свинца в 2006 г. составила в России 70,6 тыс. т. Из добытого не извлечено 11% свинца из медно-колчеданных, серебряно-полиметаллических и оловянно-полиметаллических руд. Весь свинец получен из 13 свинцово-цинковых месторождений. Три предприятия Сибирского и Дальневосточного ФО обеспечивают 87,4% добычи России (см. табл. 2).

В 2006 г. в России добыто 303 тыс. т цинка. Основное количество металла (80,7%) получено из 20 медно-цинковых колчеданных месторождений Приволжского и Уральского ФО. Из 13 свинцово-цинковых месторождений добыто 19,1% Zn. По запасам наблюдается обратное соотношение: 71% запасов цинка — в свинцово-цинковых месторождениях. При обработке серебряно-полиметаллических и оловянно-полиметаллических месторожде-

## 2. Основные предприятия — производители цветных металлов России на 01.01.07

Предприятие	Субъект федерации	Эксплуатируемые месторождения	Металл	Доля добычи в РФ, %	Обеспеченность запасами по добыче 2006 г., лет
ОАО «ГМК Норильский никель»	Красноярский край	Норильск-1, Октябрьское, Талнахское	Cu	60,3	95, в том числе руды: сплошные — 19, «медистые» — 26, вкрапленные — >100
			Ni	78,2	
			Co	72,2	
ОАО «Кольская ГМК»	Мурманская область	Ждановское, Заполярное, Каула–Котсельваара, Семилетка	Cu	2,9	26
			Ni	13,7	
			Co	10,4	
ОАО «Сафьяновская медь–Медин»	Свердловская область	Сафьяновское	Cu	4,6	17
ОАО «Учалинский ГОК»	Республика Башкортостан, Челябинская область	Камаганское, Учалинское, Узельгинское, Молодежное, Талганское	Cu	7,9	20
			Zn	45,5	
ОАО «Гайский ГОК»	Оренбургская область	Гайское, Осеннее	Cu	8,7	89
			Zn	7,2	
ЗАО «Ормет»	То же	Джусинское	Cu	2,3	10
			Zn	8,3	
ОАО «Комбинат Южуралникель»	«	Буруктаьское	Ni	2,1	>100
			Co	4,6	
	Челябинская область	Сахаринское	Ni	2,7	9
			Co	2,4	
ОАО «Уфалейникель»	Свердловская область	Серовское	Ni	3,2	30
			Co	2,0	
	Челябинская область	Черемшанское	Ni	0	3*
			Co	0	
ОАО «Горевский ГОК»	Красноярский край	Горевское (открытая добыча)	Pb	48,7	3
			Zn	3,3	
ОАО «Сибирь-Полиметаллы»	Алтайский край	Рубцовское	Pb	22,4	8
			Zn	9,6	
ОАО «ГМК Дальполиметалл»	Приморский край	Партизанское, Порфиристовая зона, Южное, Николаевское, Майминоское	Pb	16,3	63
			Zn	5,9	

\*С 2004 г. не обрабатывается, обеспеченность по уровню максимальной добычи в 2001 г.

ний цинк полностью теряется (0,2% добычи). Основную добычу цинка (80%) обеспечивают шесть предприятий (см. табл. 2). Следует отметить относительно низкое извлечение цинка (не более 71%) из медно-цинковых колчеданных руд и высокое его содержание (до 1,22%) в отходах переработки таких руд [3].

Валовая обеспеченность запасами цветной металлургии по достигнутому уровню добычи впечатляющая: более 50 лет по никелю и 60 лет по кобальту, 82 года по меди, 197 лет по свинцу, 146 лет по цинку. Однако по отдельным предприятиям она варьирует в широком диапазоне. Так, до 2025 г. выбывают действующие мощности горнодобывающих производств (по металлу), %: медного — 46,

никелевого — 47, кобальтового — 42, свинцового — 85, цинкового — 64.

Проблема восполнения сырьевой базы крупных действующих предприятий наиболее остро стоит в старых горно-рудных районах Южного, Уральского, Приволжского и Сибирского ФО, где сосредоточена основная добыча цветных металлов. Выбывающие мощности в этих районах могут быть восполнены резервными, наиболее ликвидными месторождениями распределенного (подготавливаемыми к эксплуатации) и нераспределенного фонда недр, еще весьма значительного. Но, как правило, эти месторождения находятся в более сложных горно-геологических условиях, на глубинах,

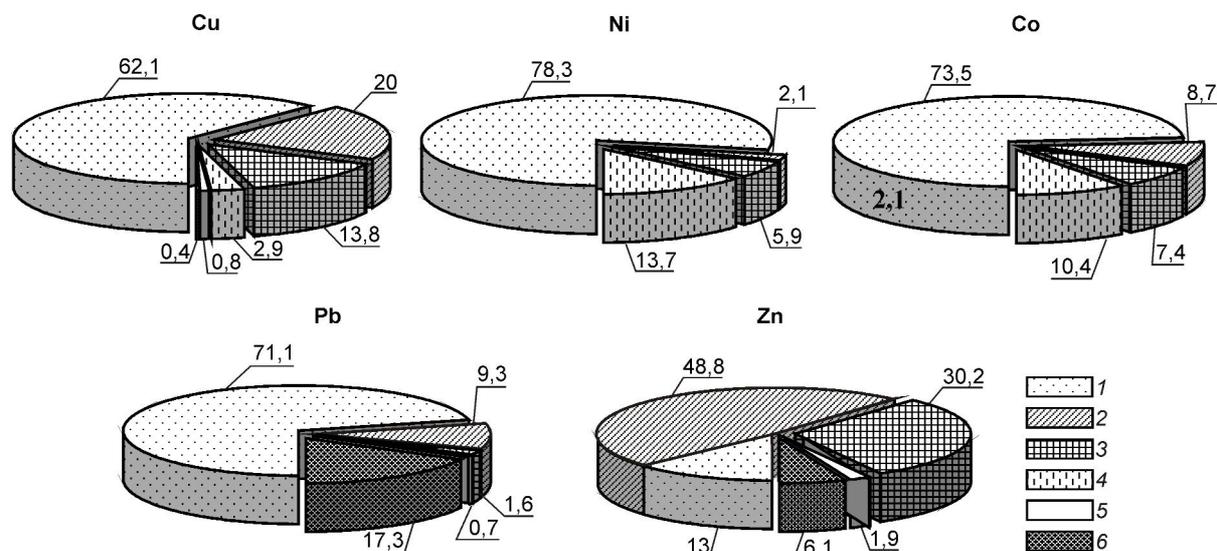


Рис. 5. Структура добычи цветных металлов России по федеральным округам, %:

усл. обозн. см. рис. 2

доступных только для подземной отработки, или характеризуются низким качеством руд по сравнению с разрабатываемыми. Это позволяет вовлекать их в разработку только при высоких ценах на цветные металлы.

В таких районах особенно актуальны следующие проблемы:

реализация прогнозных ресурсов на флангах и глубоких горизонтах практически всех обрабатываемых объектов;

поиски и разведка новых, пусть даже мелких месторождений, но с богатыми легкообогатимыми рудами, пригодными для открытой отработки;

вовлечение в переработку отвалов, которые за многие десятилетия деятельности горно-рудных предприятий заняли громадные площади (в том числе и сельскохозяйственных земель), негативно влияют на экологию окружающей среды и сами превратились в техногенные месторождения;

совершенствование технологии переработки руд для повышения извлечения цветных металлов и полноты использования комплексных руд.

Многими предприятиями цветной металлургии уже сейчас ведутся работы по восполнению сырьевой базы в этих направлениях. Безусловным лидером является ОАО «ГМК Норильский никель», производящее 78% никеля, 72% кобальта, 60% меди, 95% МПГ России. Уровень добычи этих металлов в 2008–2025 гг. в стране во многом будет определяться стратегией производственно-технического развития данной компании.

Сырьевую базу комбината составляют разрабатываемые (65,1%) и подготавливаемые к освоению (34,9%) запасы сплошных, вкрапленных и «медистых» руд месторождений Норильск-1, Талнахское и Октябрьское, обрабатываемых семью рудниками. В разрабатываемых запасах сплошные руды составляют 10%, вкрапленные — 81%, «медистые» — 9%. Наибольший интерес представляют сплошные руды, характеризующиеся высокими содержаниями Ni (3–6%), Co (до 0,2%), Cu (до 5–10%), МПГ (9–32 г/т и более). Селективная система отработки месторождений, сложившаяся еще в советское время, направлена на преимущественную добычу сплошных руд — более 50% валовой добычи (83,6% Ni, 86,3% Co, 46% Cu). Обеспеченность текущей добычи всеми разрабатываемыми запасами руд (категории ABC<sub>1</sub>) более 100 лет, сплошных — менее 20 лет (см. табл. 2). При сохранении текущего объема производства в 2018–2020 гг. наступит исчерпание запасов сплошных руд шахтных полей Комсомольского и Октябрьского рудников, обеспечивающих более 47% валовой добычи Ni, 43% Co и 66% Cu.

Выбывающие объемы добычи из сплошных руд (220 тыс. т Cu, 119 тыс. т Ni, 4866 т Co в год) могут быть компенсированы загрузкой до проектной мощности введенного в эксплуатацию в 2006 г. рудника Скалистый, подготавливаемыми мощностями рудников Глубокий и Северный, а также переключением высвобождаемых мощностей Октябрьского и Комсомольского рудников на вкрапленные и «ме-

дистые» руды. Кроме того, резерв проектных мощностей рудников по состоянию на 01.01.07 позволяет увеличить суммарную добычу «медистых» и вкрапленных руд на 7,1 млн. т или на 35–70 тыс. т никеля в год с учетом среднего содержания его в рудах (0,5% вкрапленные и 1,1% «медистые»).

Таким образом, сырьевая база ОАО «ГМК Норильский никель» позволяет не только сохранить, но и увеличить достигнутый уровень добычи меди, никеля и кобальта из медно-никелевых руд месторождений Норильского района.

Основной объем добычи ОАО «Кольский ГМК» обеспечивается рудником открытых работ Центральный, разрабатывающим месторождение Ждановское: 47% Cu, 56,7% Ni и 67% Co от валовой добычи предприятия. Рудник Центральный обеспечен запасами менее чем на два года. Остальную часть добычи меди, никеля и кобальта обеспечивают подземные рудники Северный (месторождение Заполярное) и Каула-Котсельваара (месторождения Котсельваара и Семилетка). При сохранении достигнутого уровня добычи исчерпание запасов наступит в 2026 г. на руднике Заполярный и в 2028 г. на руднике Каула-Котсельваара. В настоящее время на Кольском полуострове строится рудник Северный-Глубокий проектной мощностью 6 млн. т руды в год для отработки подземным способом месторождений Ждановское, Тундровое, Спутник, Быстринское и Верхнее. Ввод его компенсирует выбывающие мощности действующих рудников и позволит сохранить добычу комбината на достигнутом уровне 23 тыс. т Cu, 47–50 тыс. т Ni и 1600–1700 т Co на длительную перспективу.

ОАО «Комбинат Южуралникель» обрабатывает открытым способом участок III Буруктальского месторождения в Оренбургской области и часть запасов Сахаринского месторождения в Челябинской области. Обеспеченность предприятия по фактической добыче составляет 87 лет, в том числе Буруктальского рудника — более 100 лет, Сахаринского — 9 лет.

Сырьевая база ОАО «Уфалейникель» представлена запасами, разрабатываемыми и подготавливаемыми к освоению, Серовского месторождения (Свердловская область) и законсервированными с 2004 г. Черемшанского месторождения (Челябинская область). Обеспеченность Серовского рудника запасами по фактической добыче 30 лет. Черемшанский рудник запасами по проектной мощности обеспечен на три года. Резервом для наращивания добычи никеля и кобальта и компенсации выбывающих запасов Черемшанского месторождения служат подготавливаемые к освоению запасы участков 3 и 4 Серовского месторождения. Ввод

рудника планируется в 2009 г. с производительностью 5,2 тыс. т Ni и 480 т Co. Выход на проектную мощность в 12 тыс. т Ni и 1090 т Co в 2010–2011 гг.

Выбывающие к 2020 г. мощности (30,8 тыс. т Cu и 91,6 тыс. т Zn в год) Камаганского, Учалинского, Талганского месторождений ОАО «Учалинский ГОК» могут быть восполнены при вовлечении в разработку запасов Ново-Учалинского, Озерного и Западно-Озерного месторождений (1,6 млн. т Cu, 3,3 млн. т Zn). На последнее уже получена лицензия, а для первых двух объявлено проведение аукционов в начале 2008 г. Планируется проведение за счет собственных средств геологоразведочных работ на известных проявлениях медно-цинковых колчеданных руд в районе старого Сибайского месторождения. Положительные результаты позволят укрепить сырьевую базу предприятия. Прорабатываются варианты вовлечения в хозяйственный оборот хвостов Учалинской обогатительной фабрики, в которых за полувековую историю комбината сформировалось крупное техногенное месторождение, заключающее 140 тыс. т Cu, 350 тыс. т Zn, 76 т Au, 1000 т Ag, а также редкие элементы — Se, Te, In, Tl и др. [1].

ОАО «Гайский ГОК» приступило к реализации проекта освоения запасов глубоких и сверхглубоких горизонтов Гайского месторождения. Это даст возможность поднять производительность подземного рудника с 4 до 7 млн. т, увеличив, соответственно, добычу меди и цинка.

Почти половина добычи свинца РФ (48,7%) обеспечивается открытым способом ОАО «Горевский ГОК» на Горевском месторождении в Красноярском крае. Однако запасов для этого способа добычи осталась всего на три года. Дальнейшее производство свинца в России во многом будет зависеть от решения к 2010 г. горно-технических проблем при освоении подземным способом запасов (7,75 млн. т Pb, 1,89 млн. т Zn) под руслом р. Ангара. Успешное их преодоление позволит увеличить добычу свинца предприятием с 34,4 до 65,0 тыс. т в год.

Для восполнения выбывающих к 2015 г. мощностей по добыче свинца и цинка на Рубцовском месторождении ОАО «Сибирь-Полиметаллы» подготавливает к освоению подземным способом Корбалихинское (0,5 млн. т Pb, 2,4 млн. т Zn) и Зареченское (0,03 млн. т Pb и 0,04 млн. т Zn) месторождения, оформляются лицензии на Степное и Таловское месторождения. В непосредственной близости от объектов компании проводятся поисковые работы на полиметаллические руды за счет средств федерального бюджета (Змеиногорский и Рубцовский рудные районы). При положительных результатах компания может участвовать в аукционе на получе-

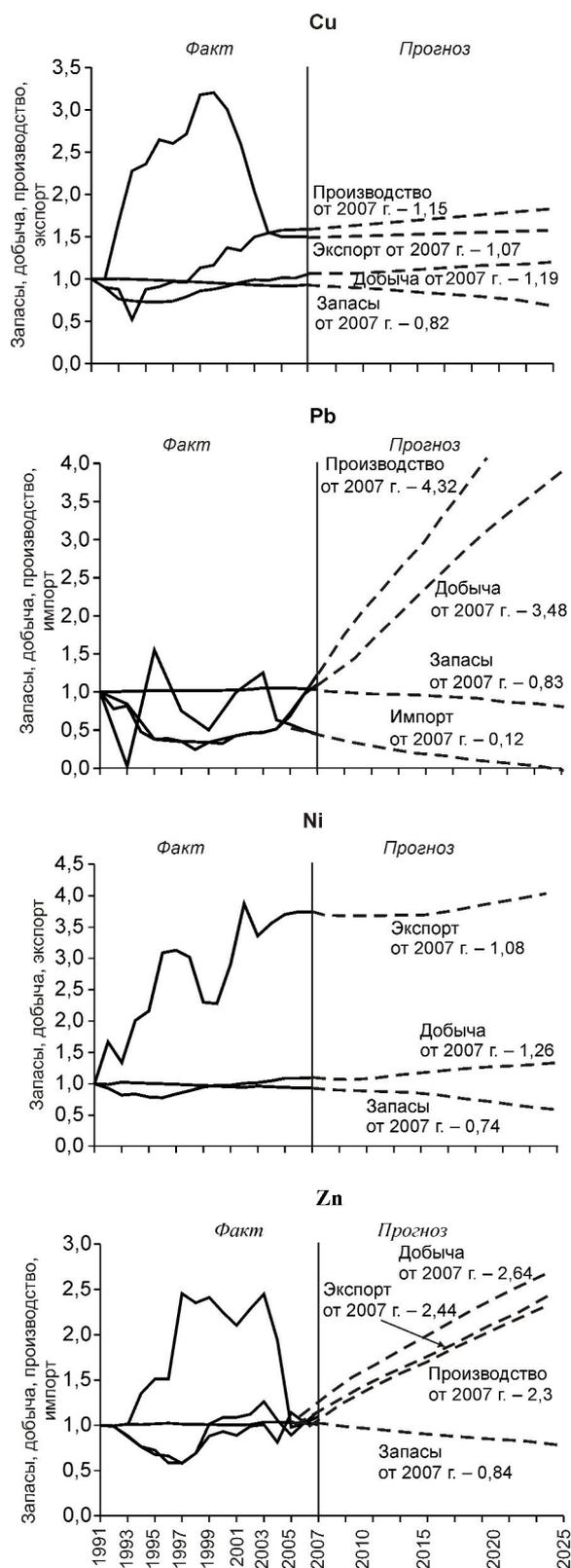


Рис. 6. Динамика запасов, добычи, производства, экспорта, импорта цветных металлов России за 1991–2006 гг. и прогноз до 2025 г. (1991 г.=1)

ние лицензии на геологическое изучение с последующей разработкой новых объектов.

ОАО «ГМК Дальполиметалл» ведет подготовку к освоению месторождений Светлый отвод, Красногорское и Силинское. За счет собственных средств оцениваются перспективы и локализируются прогнозные ресурсы на флангах Смирновского месторождения и участке Кварцевый. Все это в комплексе с оценочными и разведочными работами на флангах и глубоких горизонтах обрабатываемых месторождений, содержащих значительное количество апробированных прогнозных ресурсов, позволит не только компенсировать выбывающие к 2010 г. мощности на месторождении Порфиритовая зона, но и повысить уровень добычи. В 2007 г. с положительным результатом завершены поисково-оценочные работы на полиметаллические руды на Южно-Солонцовом участке, проводимые за счет средств федерального бюджета и повысившие ресурсный потенциал в сфере деятельности компании на 260 тыс. т Pb и 342 тыс. т Zn.

ОАО «Первая горнорудная компания» положительно оценила возможность получения свинцового концентрата из серебрено-полиметаллических руд для последующей его металлургической переработки по технологии «Austel» на строящемся заводе в г. Сорск (Хакасия). Это позволит перевести в активные запасы и прогнозные ресурсы свинец серебрено-полиметаллических руд, при переработке которых в РФ до сих пор данный металл не извлекался, получать в перспективе свинец из отвалов ранее отработанных месторождений. Аналогичные работы планирует проводить ОАО «ГМК Дальполиметалл» для оловянно-полиметаллических руд на примере Силинского месторождения.

Успешная реализация намеченных проектов даст возможность не только компенсировать выбывающие в ближайшие годы мощности предприятий цветной металлургии, но и существенно превзойти достигнутый уровень добычи.

Кроме компенсации выбывающих мощностей, для оценки перспектив развития МСБ необходимо учитывать прогнозируемый рост внутреннего потребления цветных металлов (рис. 6), возможности расширения экспорта для удовлетворения бурно развивающихся экономик ряда зарубежных стран и замещения импорта свинца. Согласно прогнозируемым темпам развития цветной металлургии (Минпромэнерго, 2007 г.) к 2025 г. добыча должна вырасти от добычи по состоянию на 01.01.07: по меди в 1,2 раза, никелю в 1,3 раза, свинцу в 3,5 раза (при этом часть свинца должна быть получена за счет роста объемов переработки вторичного сырья), цинку в 2,6 раза. Такой рост добычи вполне обеспе-

чен созданной ранее и находящейся сегодня в резерве МСБ цветных металлов.

Рост объемов добычи медных руд возможен за счет освоения объектов как традиционных геолого-промышленных типов нераспределенного фонда (Ново-Учалинское и Озерное на Урале), так и новых для России медно-порфириновых руд (Томинское и Михеевское в Челябинской области, Быстринское в Читинской области), восполнения запасов в результате доразведки, эксплуатационной разведки и поисково-оценочных работ на флангах и глубоких горизонтах действующих объектов. Позитивным примером последнего служат работы, проводимые ОАО «Учалинский ГОК» по расширению МСБ предприятия [1]. Весьма важный фактор, способствующий повышению производства меди, — внедрение эффективных технологических схем и методов обогащения относительно бедных руд и отвалов старых горно-рудных производств. Использование, в частности, предварительного обогащения малосульфидных и некондиционных медноколчеданных руд Учалинского района методом радиометрической сепарации позволило заметно (до 80%) повысить извлечение полезных компонентов [1].

ОАО «ГМК Норильский никель» осуществляет крупные программы по развитию МСБ никеля Восточно-Саянской никеленосной провинции. На разведку на юге Красноярского края Кингашском месторождении планируется строительство карьера с годовой производительностью 10 млн. т руды, 17 тыс. т Cu, 39 тыс. т Ni и 1700 т Co; обеспеченность запасами около 22 лет. Месторождение расположено в Канской металлогенической зоне, в пределах которой это предприятие в последние годы проводит геологоразведочные работы в целях получения прироста запасов никеля, которые могли бы обеспечить создание новой сырьевой базы. Прогнозируемые запасы Ni 8–10 и Cu 3–4 млн. т.

ЗАО «НПК Геотехнология» подготавливает к освоению запасы никеля рудной залежи 1 Шанучского месторождения в Камчатском крае. Отработка карьером будет производиться до глубины 430 м с годовой производительностью 140 тыс. т руды, 1,2 тыс. т Cu, 7,8 тыс. т Ni, 209 т Co; обеспеченность запасами 2,5 года. Остальные запасы будут отрабатываться подземным рудником с такой же производительностью; обеспеченность 7,5 лет.

ООО «Буруктальский металлургический завод» для создания собственной сырьевой базы никеля и кобальта подготавливает к вводу в 2009 г. запасы силикатных руд участка 1 Буруктальского месторождения в Оренбургской области с производительностью 500 тыс. т руды, 3 тыс. т Ni и 340 т Co.

Предприятием будет использована новая технология добычи и переработки окисленных руд электротермическим способом, применяемая на зарубежных месторождениях, а также освоена технология получения ферроникеля.

ОАО «Комбинат Южуралникель» в 2005 г. приступило к переработке никеля собственных соленакопителей, сформировавшихся за 60 лет работы комбината (1,2–1,8 тыс. т Ni в год). По оценкам комбината запасы никеля в соленакопителях составляют 8–12 тыс. т при средних содержаниях 11%. В ближайшее время комбинат намерен увеличить объемы переработки этого сырья.

Таким образом, вовлечение в промышленное освоение всех объектов распределенного фонда обеспечит к 2025 г. дополнительную добычу в количестве 195 тыс. т Ni и 11 282 т Co, в том числе из сульфидных руд — 180 тыс. т и 9850 т, силикатных — 15 тыс. т и 1400 т. Это не только полностью компенсирует выбывающие в 2009–2020 гг. мощности по добыче 170 тыс. т Ni и 6750 т Co, но и обеспечит ее прогнозируемый рост.

При условии успешного решения проблем, возникших при подготовке к промышленному освоению Павловского, Горевского (подземный рудник), Корбалихинского, Холоднинского и Озерного месторождений, выпуск свинца может быть увеличен в 3 раза (до 214,1 тыс. т в год), а цинка в 2,7 раза (до 812,5 тыс. т в год). Ввод этих мощностей приведет к существенным структурным изменениям в производстве цинка. Центр по его добыче сместится с медно-цинковых колчеданных руд Приволжского и Уральского ФО на свинцово-цинковые руды Сибирского и в меньшей степени Северо-Западного ФО. Кроме того, за счет наиболее перспективных месторождений нераспределенного фонда Северного Кавказа, Алтайского и Приморского краев можно еще больше повысить уровень добычи свинца и цинка на предприятиях этих старейших горно-рудных районов России. Вовлечение в освоение медно-цинковых колчеданных месторождений нераспределенного фонда Уральского и Приволжского ФО позволит увеличить мощности по производству меди и цинка.

Но вовлечение в промышленное освоение запасов месторождений подготавливаемых и нераспределенного фонда возможно при сохранении высоких цен на цветные металлы и проведении предварительной геолого-экономической и технологической переоценки применительно к современным условиям [2]. Для ряда стратегических месторождений цветных металлов, имеющих федеральное значение, такая переоценка уже ведется (Удоканское, Холоднинское, Озерное). Требуется постанов-

ка таких работ и для подземного рудника Горевско-го месторождения.

Прогнозируемые высокие темпы роста производства цветных металлов приведут к сокращению запасов без их простого воспроизводства по меди на 18%, никелю на 26%, свинцу на 17%, цинку на 16%. В результате обеспеченность введенных мощностей составит 40–50 лет по свинцу и цинку, еще меньше по меди и особенно никелю и кобальту. Это предельно допустимые сроки для крупных производств, каковым является отечественная цветная металлургия — производитель и поставщик на внутренний и мировой рынки цветных металлов. Поэтому задача компенсации добычи при простом воспроизводстве МСБ цветных металлов уже сейчас весьма актуальна. Ее решение возможно по следующим основным направлениям:

интенсификация геологоразведочных работ в районах действующих и строящихся горнодобывающих предприятий в целях получения прироста запасов для удержания и наращивания достигнутого уровня добычи цветных металлов (особенно актуально для МСБ свинца, цинка, меди Урала и Северного Кавказа);

развитие МСБ в районах, определенных в качестве центров экономического роста (Полярно-Уральский, Приангарский, Забайкальский, Южно-Якутский);

выявление новых сырьевых баз с высоким качеством руд и благоприятными горно-геологическими и географо-экономическими условиями (особенно актуально для свинца в целях снижения зависимости от импорта и повышения конкурентоспособности рудной базы Северного Кавказа, Алтайского и Приморского краев);

выявление новых рудных районов и месторождений для роста запасов на дальнюю перспективу (медно-порфировые месторождения Южного Урала и Забайкалья, платино-медно-никелевые в Восточно-Саянской провинции, медно-цинковые колчеданные на Урале и Северном Кавказе, свинцово-цинковые в Красноярском крае, Иркутской и Читинской областях, на Северном Кавказе);

вовлечение в освоение отходов переработки серебряно-полиметаллических, оловянно-полиметаллических, медно-цинковых колчеданных и руд силикатного никеля;

разработка эффективных технологий, обеспечивающих полное использование полезных компонентов серебряно-полиметаллических, оловянно-полиметаллических, медноколчеданных и других руд;

развитие МСБ для обеспечения геополитических аспектов национальной безопасности России в дальневосточных регионах и республиках Северного Кавказа (поддержание мощностей добывающих предприятий и создание новых, обеспечение занятости населения).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдрахманов И.А., Григорьев В.В., Чадченко А.В., Пирожок П.И.* ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат»: на пороге новых свершений // Недропользование — XXI век. 2007. № 5. С. 23–30.
2. *Бавлов В.Н., Михайлов Б.К.* Основные результаты геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в 2006 г. и задачи на 2007 г. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2007. № 3. С. 22–31.
3. *Машковцев Г.А.* Современное состояние минерально-сырьевой базы отечественной металлургии // Минеральные ресурсы России. 2007. № 5. С. 16–25.



## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА СТРАТИФОРМНОГО СВИНЦОВО-ЦИНКОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Г.Ф.Склярова (Институт горного дела ДВО РАН)

*На основе анализа закономерностей развития и размещения многочисленных месторождений и рудопроявлений свинца и цинка в стратифицированных разновозрастных (от архея до неогена) и литологически разнородных (карбонатных, карбонатно-терригенных, терригенных, вулканогенно-терригенных) толщах на территории Дальнего Востока выделены стратиформные рудно-формационные типы и подтипы свинцово-цинковых руд, оценены их прогнозные ресурсы.*

Стратиформные месторождения цветных металлов — колчеданные в вулканогенно-осадочных и свинцово-цинковые в карбонатно-терригенных и терригенных формациях — составляют около 90% мировых запасов и добычи свинца и цинка. Они служат также источниками попутного извлечения меди, серебра, золота и некоторых рассеянных элементов.

В 1984–1987 гг. сотрудниками Дальневосточного института минерального сырья (Г.Ф.Склярова, 1986, 1995 гг., под руководством Г.В.Ручкина) проводились тематические работы по выявлению и изучению закономерностей развития стратиформных типов свинцово-цинкового оруденения на территории Дальнего Востока [2]. К стратиформным отнесены рудные месторождения, которые по условиям образования и положению подчинены напластованию вулканогенно-осадочных и осадочных слоистых стратифицированных толщ [3]. Для объектов стратиформного типа характерны широкое площадное развитие согласно общему простиранию вмещающих пород, приуроченность к определенным литолого-стратиграфическим горизонтам, отсутствие прямых связей с интрузиями, выдержанный минеральный состав руд, своеобразная морфология рудных тел. На основе палеотектонического и формационного анализов разновозрастных комплексов пород с рудопроявлениями свинца и цинка (около 600 проявлений в основном с промышленными содержаниями полезных компонентов и параметрами развития) по характерным рудо-

контролирующим признакам с использованием результатов полевых и лабораторных исследований руд, метода аналогии с известными стратиформными месторождениями, а также общепринятых классификаций [4] на территории Дальнего Востока выделены следующие рудно-формационные типы стратиформных месторождений и проявлений цветных металлов: в карбонатных толщах (миргалимсайский, тяньшаньский подтипы), в терригенных и вулканогенно-терригенных толщах (мансфельдский, филизчайский, малокавказский — «куроко» подтипы). С их учетом проведено прогнозно-металлогеническое районирование территории (таблица, рисунок) с определением прогнозных ресурсов перспективных площадей.

**Стратиформные свинцово-цинковые руды в карбонатных толщах.** *Миргалымсайский подтип* ассоциируется с карбонатно-терригенными формациями, слагающими платформенный или посторогенный чехол при отсутствии заметной связи с магматическими образованиями. К нему относится самая многочисленная группа свинцово-цинковых проявлений, локализующихся в разновозрастных (от позднего протерозоя до девона) отложениях, развитых в районах Чукотского, Охотского, Приколымского массивов, Приколымской, Омудевско-Полоусненской зон, Сетте-Дабанского и Шевлинского перикратонных прогибов.

Рудный материал в известняках локализован в зонах и горизонтах брекчирования, дробления, пи-



Рудно-формационные типы стратиформных месторождений свинца и цинка Дальнего Востока

Тектоническое положение	Палеотектоническая позиция	Формационный тип рудовещающих отложений, возраст	Минеральный состав руд	Содержания, %	Рудопроявления
1	2	3	4	5	6
<i>Миргалымский</i>					
Чукотский массив	Чехол среднего массива	Карбонатно-терригенный (углисто-кремнистый), D	Галенит, сфалерит, пирротин, пирит, халькопирит	Pb 25,2, Zn 21,0, Cu 11,9, Ag 139 г/т	Чегуйнская группа, Итыквеемское, Мечигменская группа
Омолонский массив	Чехол Прикольм-Омолонского массива	Карбонатно-терригенный (подчиненно вулканогенный), D	Галенит, пирит, сфалерит, халькопирит	Pb 10,0, Zn 0,57, Ag 100 г/т	Рудопроявления Олойской зоны
Прикольмская зона	Перикратонно-авлакогенная зона	Карбонатно-терригенный (с кварцитами), PR <sub>2</sub> -O	Галенит, сфалерит, пирротин, пирит, халькопирит, халькозин	Pb 19,0, Zn 7,77, Ag 10,6 г/т	Эджекал, Ромашка
	Чехол Прикольм-Омолонского массива	Карбонатно-терригенный, D <sub>2+3</sub>	Галенит, сфалерит, халькопирит, пирит	Pb 6,37, Zn 1,0, Cu 1,64, Ag 3,5 г/т	Более 30 точек рудной минаерализации
Охотский массив	Чехол среднего массива	Карбонатно-терригенный, D	То же	Pb 5,0, Zn 3,0, Cu 1,25, Ag 332 г/т, Au 6 г/т	Ульбейская группа проявлений
Омулевско-Полуосненская зона	Перикратонный прогиб	Карбонатно-терригенный, O	«	Pb 0,36, Zn 3,33	Группа точек рудной минаерализации
	То же	Карбонатно-терригенный (тип-соносный), S-D	Галенит, сфалерит	Pb 12,8, Zn 7,3	Урульгунское
Сетте-Дабанский прогиб	«	Карбонатный, С	То же	Pb 83,81, Zn 46,30	Дугун-Пуханильская группа проявлений
Шевлинский прогиб	«	Карбонатно-терригенный (флиш-шпидный), PR <sub>2</sub>	«	Pb 33,97, Zn 61,19	Майское
<i>Тяньинский</i>					
Чукотский массив	Геосинклинальный прогиб	Карбонатно-терригенный (вулканогенно-баритовый), PR <sub>2</sub>	Галенит, сфалерит, пирротин, пирит, халькопирит	Pb 28,9, Zn 22,53, Cu 1,46, Ag 480 г/т, Au 27 г/т	Сердце-Камень, Сешан, Горная
	То же	Карбонатно-терригенный, PR <sub>2</sub> -С	Сфалерит, галенит, пирит, пирротин, халькопирит	Pb 6,0, Zn 25,4, Cu 1,0	Чагойн-Джурканское, Мельгинское
Бурейский прогиб	Приосиенский прогиб	Карбонатно-терригенный (вулканогенный), D	Галенит, сфалерит, пирит	Pb 16,84, Zn 29,4, Au 4,19 г/т, Ag 2700 г/т	Зейско-Урканские проявления

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
Ханкайский массив	Геосинклинальный прогиб	Карбонатно-терригенный, $PR_2$ - $\epsilon$	Галенит, сфалерит, пирротин, шпирит, халькопирит	Pb 12,0, Zn 6,46, Au 4,97 г/т, Ag 11 г/т	Курханское, Кабаргинское
Становая система	Эвгеосинклинальный прогиб	Карбонатно-терригенный, $AR_3$	Галенит, сфалерит	Pb 10,83, Zn 103,4, Cu 1,0	Большой Бургален, Мутюки-Макит и др.
<i>Маньчжурский</i>					
Прикольмская зона	Перикратонный прогиб	Терригенный (с межпластовыми дайками метабазитов), $PR_2$	Халькопирит, шпирит, галенит, сфалерит	Cu 23,0, Au 1,2 г/т, Ag 150 г/т	Ороек, Тенистое
<i>Филиппинский</i>					
Охотский массив	Окраинный прогиб	Терригенный (карбонатный, вулканогенный), P	Галенит, сфалерит, шпирит, халькопирит	Pb 7,4, Zn 3,5, Ag 10 г/т	Дикого и точки минерализации
Чукотская складчатая система	Геосинклинальный прогиб	Терригенный (флишодный), T	Галенит, сфалерит, халькопирит	Pb 65,82, Zn 3,16, Cu 10,0	50 точек рудной минерализации
Амуро-Охотская складчатая область	То же	Вулканогенно-терригенный (углеродисто-кремнисто-карбонатный), $PR_2$	Пирит, халькопирит	Cu 10	Янкано-Джалиндинские проявления
Верхояно-Кольмская складчатая система	«	Терригенный, T	Галенит, сфалерит, халькопирит, пирротин, флюорит	Pb 33,75, Zn 41,4, Ag 3 г/т	Булунга, Тектоническое
		Терригенный, P	Галенит, сфалерит, шпирит, пирротин	Pb 10, Zn 9,5, Ag 1700 г/т	Токичанское
<i>Курок</i>					
Курило-Южно-Камчатская островная дуга	Островодужный геосинклинальный прогиб	Вулканогенно-терригенный (липарито-дацит-андезитовый), $P_3-N_1$	Сфалерит, галенит халькопирит, шпирит	Zn 35,3, Pb 18, Cu 6,0	Курильские острова (Валентиновское, Докучаевское, Чистое и др.)

ных отложениях, известных в пределах Чукотского, Буреинского и Ханкайского массивов, а также Чукотской и Становой складчатых систем.

**Стратиформные свинцово-цинковые и полиметаллические руды в терригенных и вулканогенно-терригенных толщах.** Мансфельдский подтип рудопроявлений («медистых песчаников») ограниченно развит в пределах Приколымского поднятия в составе карбонатно-терригенной с кварцитами геосинклинальной формации в бассейне р. Колыма. Серия минерализованных зон, сближенных прожилков и жил характеризуется прожилково-вкрапленными рудами. Среди рудных минералов преобладают халькопирит и халькозин, в подчиненном количестве присутствуют галенит и сфалерит. Содержания Cu достигают 1–5, иногда 23%, редко встречаются Au до 1,2 г/т, Ag до 10–150 г/т.

*Филизчайский подтип* характерен для проявлений свинца и цинка, формирующихся в глубоководных окраинно-континентальных прогибах терригенных вторичных эвгеосинклиналей с незначительным развитием базальтоидного вулканизма. К нему отнесены проявления колчеданных руд, локализующиеся в геосинклинальных верхнепротерозойских вулканогенно-осадочных толщах в Амурско-Охотской складчатой области, в триасовых и пермских флишоидно-терригенных толщах в Чукотской и Верхояно-Колымской геосинклинально-складчатых системах, в терригенных образованиях Гродековского и Инского краевых прогибов.

К проявлениям *малокавказского подтипа* («куроко») с полиметаллическим оруденением отнесены островодужные металлогенические зоны, наложенные на относительно мелкие фрагменты континентальной коры. Месторождения данного типа генетически связаны с палеоген-неогеновой подводной вулканической деятельностью. Пространственно рудные тела приурочены к выдержанным горизонтам туфов и лав дацитито-андезито-риолитового состава, выделяемых в формацию «зеленых туфов», образуя единую рудно-формационную зону с аналогичным типом промышленных руд Японских островов.

Полиметаллическая рудоносность типа «куроко» в пределах протяженной металлогенической зоны проявлена на островах Большой Курильской дуги: Кунашир (месторождение Валентиновское), Итуруп (проявление Чистореченское), Уруп (ряд рудопроявлений), Парамушир (Рифовое проявление). В миоценовых эффузивно-терригенных образованиях, прорванных гранитоидами и липаритами, локализованы рудные тела с пластовой, линзовидной, куполовидной морфологией, однотипным минеральным составом (главные рудные минералы — сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, вто-

ростепенные — халькозин, борнит, церуссит, англезит, ковеллин, нерудные — барит и кварц, гипс в окolorудных зонах).

Сравнительный анализ промышленных полиметаллических месторождений Японии [1] и проявлений Курильских островов выявляет их полную аналогию. Рудоносные толщи вулканогенно-терригенной базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формации приурочены к горизонтам гидротермально измененных пород (окварцевание, хлоритизация, серицитизация, пиритизация). Месторождения и рудные поля сосредоточены в локальных вулканогенных прогибах и поднятиях со стратовулканами. Идентичны форма рудных тел (линзы, штокверки, жилы, пласты), текстуры руд (массивная, вкрапленная), состав руд (в разных соотношениях галенит-сфалерит-халькопирит-пиритовый), присутствие в окolorудных зонах барита, гипса, кварца, количественные содержания полезных компонентов (Zn >10%, Pb до 5–8%, Cu до 4–6%, повышенные количества попутных Ag, Cd, иногда Au).

**Оценка прогнозных ресурсов стратиформного оруденения свинца и цинка.** Дальневосточный регион располагает значительным ресурсным потенциалом свинца и цинка. Месторождения свинцово-цинковых и полиметаллических руд скарнового, в меньшей степени жильного типов освоены в Дальнегорском районе Приморского края, комплексные оловянно-полиметаллические руды — в Комсомольском районе Хабаровского края. Объекты оценки стратиформного оруденения — площади с прямыми (месторождения с запасами по авторским расчетам, проявления, точечные рудопроявления свинца и цинка) и некоторыми косвенными рудоконтролирующими признаками, выделенные в число перспективных для постановки поисковых и разведочных работ. В Хабаровском крае к ним относятся Юдомская и Майская площади, в Амурской области — Зея-Урканская и Чагоянская, в Сахалинской — Курильская.

*Юдомская перспективная площадь* находится в междуречье Юдомы и Май, в зоне палеозойской складчатости Сетте-Дабана, охватывающей западную часть Юдомо-Майского перикратонного прогиба. Район сложен синий-нижнекембрийскими терригенно-карбонатными породами. В составе юдомской свиты в пределах Лугун-Пуханильского рудного узла выявлено более 50 проявлений галенит-сфалеритовых руд, которые приурочены в основном к горизонту метасоматических и перекристаллизованных доломитов, прослеженному по простиранию на расстояние порядка 250 км при ширине 80 км. Форма рудных тел пластовая, гнездовидная. Прожилково-вкрапленные руды по сос-

таву галенит-сфалеритовые, галенит-смитсонит-сфалеритовые. Содержания Pb от десятых долей до 83,8%, Zn от 1–3 до 47%, в примесях присутствуют Cu до 0,2%, Cd до 0,8%, Ge до 0,005%, редко Au и Ag (до 104,5 г/т). При анализе проб отмечается прямая корреляция между количеством примесей и содержаниями основных рудогенных элементов.

Прогнозные ресурсы Юдомского района определены в количестве по 250 тыс. т Pb и Zn (при средних содержаниях соответственно 3,47 и 4,15%). Район находится на севере Хабаровского края и в промышленном отношении не освоен. Принимая во внимание его близость к Сардан-Уруйскому району Якутии, где в одновозрастных отложениях развито стратиформное промышленное свинцово-цинковое оруденение, перспективность площади не утрачивает своего значения.

Майская перспективная площадь выделена в среднем течении р. Май Половинной (левый приток р. Уда). Майское свинцово-цинковое месторождение локализовано в пиритизированных участках зон дробления мраморизованных известняков. Ширина зон несколько сотен метров, протяженность >1000 м.

Прожилково-вкрапленная и гнездово-прожилковая минерализация представлена галенитом, сфалеритом, пиритом, в подчиненном количестве — арсенипиритом, пирротином, халькопиритом и блеклыми рудами; жильные минералы — в основном кальцит, реже кварц. Средние содержания Pb 21%, Zn до 23–27%, во вкрапленных рудах от 0,6 до 21%, в целом по месторождению — Pb от 3 до 7%, Zn от 4,2 до 22,19%. Запасы Майского месторождения (Главная зона), по данным автора: Pb 5,58, Zn 20,94 тыс. т; прогнозные ресурсы Майского рудного района по категории P<sub>1</sub> — Pb 20, Zn 60 тыс. т.

Суммарные прогнозные ресурсы (тыс. т) Хабаровского края учтены по категориям P<sub>1</sub> — Pb 20, Zn 60, P<sub>2</sub> — по 250 Pb и Zn.

В Амурской области наиболее перспективны свинцово-цинковые проявления миргалимсайского типа в северной и северо-западной частях Буреинского массива, сгруппированные в Зeya-Урканской зоне и Чагоян-Джурканском рудном узле.

*Зeya-Урканская рудная зона* площадью 750 км<sup>2</sup> расположена к западу от с. Овсянка. Многочисленные рудопроявления свинца и цинка (Желтый Утес и др.) локализованы в терригенно-карбонатной толще. При прогнозируемых содержаниях Pb 1%, Zn 3% ресурсы стратиформных свинцово-цинковых руд зоны оцениваются в 1500 тыс. т. Минеральный состав руд галенит-сфалеритовый. Содержания полезных компонентов по проявлению Желтый Утес: Pb от 0,1 до 42,2%, Zn 2–29%, Ag от 10–300 г/т, Au от 0,1 до 4,19 г/т. Отмечен литолого-тектонический

контроль, выражающийся в приуроченности повышенных рудных концентраций к прослоям, обогащенным углеродистым и карбонатным веществом, и к преобладающим разрывам субширотного простирания.

*Чагоян-Джурканский рудный район* площадью порядка 10 км<sup>2</sup> включает Чагоянское месторождение (500 тыс. т Pb+Zn), Джурканское проявление (35 тыс. т), а также более 40 свинцово-цинковых геохимических аномалий. Литолого-стратиграфический контроль оруденения выражается в приуроченности рудопроявлений, геохимических аномалий к зоне аркозовых песчаников в контакте с известняками. Прямых связей с магматическими образованиями не наблюдается.

Суммарные ресурсы по Амурской области (тыс. т) по категориям P<sub>1</sub> — Pb 9, Zn 26, P<sub>2</sub> — Pb 416, Zn 1249, P<sub>3</sub> — Pb 400, Zn 1100.

В Сахалинской области по условиям развития полиметаллического оруденения, приуроченного к самому молодому олигоцен-миоценовому рудогенному уровню, уникальна Курило-Восточно-Камчатская металлогеническая провинция. Основные перспективы определяются развитием колчеданно-полиметаллических стратиформных руд типа «куроко» на всех островах Курильской дуги. Руды тяготеют к горизонтам туфов и лав дацито-андезито-риолитового состава, выделяемых в промышленно-рудоносную формацию «зеленых туфов», как и на Японских островах (месторождения Мацумине, Эдзури и др.). По наименованию островов Курильской дуги выделены перспективные площади, оцененные по степени их изученности. При геолого-съемочных работах установлено более 30 проявлений свинца и цинка с промышленными содержаниями.

На *Кунаширской площади* расположены месторождение Валентиновское и более 12 полиметаллических рудопроявлений. На Валентиновском месторождении до 1945 г. японские промышленники проводили разведочно-эксплуатационные работы. В 50–60-е годы оно изучалось многими исследователями. Оруденение локализовано в нижнемиоценовой эффузивно-туфогенной толще и сопряжено с тектонической зоной гидротермально измененных пород. Линзообразное тело, сложенное массивными черными рудами, мощностью 2–5 м прослежено на 100 м. В составе руд преобладают халькопирит, галенит, пирит, сфалерит, из второстепенных — халькозин, борнит, ковеллин и др., из нерудных — барит и кварц. Содержания полезных компонентов в пробах достигают: Pb до 18, Zn 17, Cu 4, Ag 0,1% и более. При оценке ресурсов Валентиновское месторождение принято за типовое. Прогнозные ресурсы Кунаширской

площади (422 км<sup>2</sup>) по категории P<sub>2</sub> составляют Pb 220, Zn 3000 тыс. т.

На *Итурунской площади* известно Чистореченское проявление. В полосе на протяжении 1,5 км фиксируются оруденелые породы. В рудах содержания (%) Zn 13,6–26,44, Pb 8,3–8,7, Cu 0,41–4,67, Ag 0,1, Cd до 0,3. Прогнозные ресурсы перспективной площади (335 км<sup>2</sup>) по категориям P<sub>2</sub> — Pb 130, Zn 1500, Cu 450, Cu 880 тыс. т, P<sub>3</sub> — соответственно 100, 2000, 600 тыс. т.

*Шумиу-Парамуширская площадь* (202 км<sup>2</sup>) включает месторождение Рифовое и более десяти рудопроявлений с содержаниями в массивных рудах Zn до 35,3%, Pb до 9,87%. Прогнозные ресурсы (тыс. т) по категории P<sub>3</sub> — Pb 260, Zn 4500, Cu 1400 при средних содержаниях соответственно 0,52, 9,68, 2,56%.

*Урупская площадь* (438 км<sup>2</sup>) имеет прогнозные ресурсы по категории P<sub>3</sub> — Pb 160, Zn 1900, Cu 700 тыс. т.

Суммарные по Курильской металлогенической зоне прогнозные ресурсы (тыс. т) составляют по категориям P<sub>2</sub> — Pb 220, Zn 3000, Cu 880, P<sub>3</sub> — соответственно 650, 9900, 3150.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геология* и минеральные ресурсы Японии / Под ред. Н.А.Беляевского. – М.: ИЛ, 1961.
2. *Ручкин Г.В., Склярова Г.Ф.* Металлогенические формации стратиформных месторождений цветных металлов ДВ СССР // Тихоокеанская геология. 1992. № 3.
3. *Смирнов В.И.* Фактор времени в образовании стратиформных рудных месторождений // Геология рудных месторождений. 1970. Т. XII. № 6.
4. *Справочник* по поискам и разведке месторождений цветных металлов / А.И.Кривцов, И.З.Самонов, Е.И.Филатов и др. – М.: Недра, 1985.

УДК 553.411.078 (470.324)

© А.Д.Швецов, В.В.Абрамов, 2008

## К ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА НА СТАДИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

**А.Д.Швецов (ТЦ «Тамбовгеомониторинг»), В.В.Абрамов (Воронежский государственный университет)**

*Сопоставлены геолого-структурное положение и рудоносность черносланцевых толщ Воронежского кристаллического массива и Южно-Тяньшаньской золоторудной провинции Западного Узбекистана. Рассмотрены некоторые пути регионального прогнозирования золоторудных зон в перекрытых терригенных толщах Воронежского кристаллического массива.*

Центрально-Черноземный регион в границах Воронежского кристаллического массива на рубеже текущего столетия получил статус новой золотоносной области России с перспективами открытия в черносланцевых толщах крупных и уникальных золото-платинометаллических месторождений [13]. Серьезного опыта в прогнозировании и поисках золоторудных объектов, перекрытых отложениями чехла или скрытых, в мировой практике нет. Авторами рассматриваются некоторые особенности регио-

нального прогнозирования месторождений благородных металлов в частично перекрытых терригенных толщах с учетом накопленного опыта компьютерных технологий количественного прогнозирования полезных ископаемых на основе комплексной интерпретации геологической информации [6, 8, 11].

В пределах изучаемого региона золото-платинометаллическое оруденение в стратифицированных углеродистых образованиях выявлено в составе большинства структурно-вещественных комплек-

сов раннего докембрия. Наиболее важные в промышленном отношении концентрации благородных металлов установлены в породах тимской свиты оскольской серии. Раннепротерозойская рифтогенная Тим-Ястребовская структура пространственно сопряжена с позднеархейским зеленокаменным поясом (комплексное золото-платинометальное оруденение тимского и кшенского типов). Подобные золоторудные проявления известны в молассоидно-флишоидной толще (с низкими ступенями метаморфизма) воронцовской серии Хоперского мегаблока [12, 13]. Вмещающие структурно-формационные комплексы имеют следующие главные особенности:

преобладание высокоуглеродистых терригенно-осадочных отложений на ранних (тимский тип) и существенный объем вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований на поздних (кшенский тип) стадиях формирования структур;

широкое развитие дифференцированных вулканоплутонических ассоциаций с отчетливой металлогенической специализацией на Cu, Pb, Zn, Au, Ag, ЭП и др.;

низкоградиентный тип метаморфизма в условиях зеленосланцевой, в меньшей мере эпидот-амфиболитовой фаций;

интенсивная складчатость и взбросово-надвиговые перемещения, разломные нарушения различных порядков со сложным структурным рисунком и сопутствующими зонами объемного катаклаза, выступающие в качестве контролирующих элементов рудообразующих систем.

Выявленные в данных структурах золото-платинометальные проявления отнесены к классу полигенных, образовавшихся при сопряженной деятельности трех источников углеродистого и рудного вещества — осадочно-хемогенного, флюидно-магматогенного и метаморфогенного.

Оруденение в основном относится к бескварцевому сульфидно-вкрапленному типу с преобладающим развитием золото-пиритовой, золото-пирит-пирротиновой и золото-пирит-арсенопиритовой парагенетических ассоциаций. В рудах также присутствуют халькопирит, сфалерит, пентландит, марказит, галенит, шеелит и другие минералы.

По геолого-структурному положению, характеру рудообразующих пород, условиям локализации и составу минеральных ассоциаций золото-платинометальное оруденение Кшенского рудного поля сопоставимо с крупными месторождениями золота Калгурли (Австралия) и Гейта (Танзания), благороднометальное оруденение тимского типа по ряду признаков — с черносланцевыми месторождениями и рудопроявлениями онежского и суходолжского

типов. Определенные черты сходства обнаруживают золоторудные объекты Воронежского кристаллического массива и Южно-Тяньшаньской золоторудной провинции Западного Узбекистана (Центральные Кызылкумы) (табл. 1).

Золоторудные месторождения Южно-Тяньшаньской провинции в пределах Центральных Кызылкумов в основном локализируются в силур-каменноугольных углеродисто-терригенных и вулканогенно-осадочных отложениях с зеленосланцевой фацией регионального метаморфизма. При повышении метаморфизма и переходе в биотитовую ступень в породах резко возрастает показатель пластичности и оруденение обычно выклинивается. В регионе широко распространены также протерозойские комплексы, преимущественно кремнисто-карбонатно-сланцевой формации, которые некоторыми исследователями золоторудных месторождений рассматриваются в качестве донорских [15]. Магматические породы представлены гранитоидными массивами и дайками пестрого состава самостоятельных малых интрузий.

На некоторых золоторудных полях установлены признаки полигенного генезиса руд с преобладанием гидротермального, что наиболее четко проявлено на месторождении Мурунтау. На этом уникальном золоторудном месторождении формирование руд по данным абсолютного возраста разнотипных метасоматитов и рудных ассоциаций длилось около 300 млн. лет (ордовик – триас). В продуктивной части разреза рудообразующих пород содержание Au в 1,6–2,5 раза превышает местные кларки золота других свит. В метапородах наблюдается двух-трехкратное увеличение концентрации золота. В контурах рудных тел они включают до 10% общих запасов.

Практически на всех золоторудных месторождениях Кызылкумов, несмотря на существенные различия в условиях формирования, основной рудный процесс протекал по одной схеме с образованием в том или ином количестве идентичных парагенетических минеральных ассоциаций от (шеелит)-золото-кварцевой через золото-арсенопирит-пиритовую и золото-полисульфидную до (золото)-серебряной с теллуридами, золото-антимонитовой и золото-киноварной. Среднее содержание Au в рудах 1,5–6 г/т, содержание Pd (Мурунтау) варьирует в пределах 0,005–1,09, Pt 0,02–1,0 г/т. В рудах присутствуют редкие земли, иттрий, торий [3].

Основное время продуктивного рудообразования соответствует позднекаменноугольно-пермскому периоду. Золотоносная область к этому времени представляла собой крупное сводовое поднятие, сохранившее устойчивое структурное положение.

**1. Типоморфные характеристики золоторудных объектов Воронежского кристаллического массива и Южно-Тяньшаньской золотоносной провинции,**  
по Н.М.Чернышовой, Р.В.Цюю, В.А.Хорькову, А.Д.Швейцарю

Типоморфные характеристики	Воронежский кристаллический массив		Южно-Тяньшаньская золоторудная провинция	
	Кленское рудное поле	Рудопроявления тимского типа	Мурунтауское рудное поле	Кокпатауское и Деугызтауское рудные поля
1	2	3	4	5
Рудная формация	Платиноидно-золоторудная	Золото-платиноидная	(Редкометалльно)-золоторудная	Мышьяково-золоторудная
Геолого-промышленный тип (сульфидность, %)	Золото-сульфидный (5–10)	Золото-сульфидный (5–10 до 20–40)	Золото-кварцевый (1–5)	Золото-сульфидный (>25)
Подтип (по морфологии минерализованных тел)	Протяженные крутонадающие минерализованные зоны дробления, милонитизации и приразломного метасоматоза с вкрапленной, редко с кварцево-жильной минерализацией	Преимущественно пластовые и лентообразные залежи с многоуровневым размещением оруденения вкрапленной минерализации	Меташтокверки, штокверки и этажно расположенные субпластовые штокверки с крутыями и пологими стержневыми жилами	Плито- и линзовидные секущие и субогласные тела с прожилково-вкрапленной минерализацией
Продуктивная парагенная ассоциация (главные рудообразующие минералы)	Золото-пиритовая, золото-пирит-пирротин-халькопиритовая, золото-пирит-арсенопиритовая, золото-кварцевая	Золото-пиритовая, золото-пирит-пирротиновая, золото-пирит-арсенопиритовая, при ограниченном развитии золото-пирит-кварцевой	(Шеепит)-золото-кварцевая, золото-арсенопирит-пирит-кварцевая	Золото-пирит-арсенопиритовая, золото-пиритовая
Среднее содержание Au в балансе рудных тел, г/т	4,8		3–6	1,5–4,5
Получные компоненты	Pd, Pt, Ag		W, Ag, Pt, Pd, Au/Ag 6:1–1:2	Ag, Au/Ag 4:1–1:1
Типоморфные особенности Au	Сравнительно высокая частота встречаемости самородного золота (0,01–0,1 мм, в единичных случаях до 0,7 мм), пылевидная вкрапленность и отдельные включения в пирите, пробыность 850–980	Самородное золото, интерметаллические соединения золота, тонкодисперсное в пирите, пирротине, халькопирите, пентландите, молибдените	Свободное в кварце, других силикатах, редко в сульфидных; размер золотинок 0,01–0,1 мм, пробыность 800–900, единичные самородки низкопробного золота	Тонкодисперсное в арсенопирите, пирите (<0,001 мм), редко мелкокрапленное в сульфидных и силикатах, пробыность 700–800
Геохимические ореолы	Для золото-платиноносных сландев характерны повышенные содержания SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, Ag, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, Ti, V, Se, La, Yb		Ореолообразующие элементы — Au, W, Bi, As, редко Sb, Ag; широкое площадное развитие (до 20 км <sup>2</sup> ) ореолов Au, W, As	Широкое площадное развитие (до 30 км <sup>2</sup> ) ореолов Au, As, Ag — важнейший элемент-индикатор золоторудных месторождений, особенно скрытых

1	2	3	4	5
Вмещающие породы	Метаэффузивы преимущественно основного состава, их туфы, углеродистые сланцы, брекчи, мигониты	Терригенно-углеродистые с ритмичным чередованием сланцев, обогащенных сульфидно-углеродистым веществом, и небольшой долей вулканитов	Углеродисто-терригенные (филионидные) песчрого состава	Углеродисто-терригенные и вулканогенно-терригенные
Региональный метаморфизм	Биотитовая субфация зеленосланцевой фации, реже эпидиот-амфиболитовая фация	Биотитовая субфация зеленосланцевой фации, реже эпидиот-амфиболитовая фация, околорудные изменения: лиственизация, березитизация, турмалинизация, биотитизация, окварцевание	Зеленосланцевая фация (хлорит-серпичитовая и хлорит-мусковитовая ступени), проявления локального плутонического и дислокационного метаморфизма	Зеленосланцевая фация
Интрузивные комплексы (породы)	Гранодиориты, граниты, дайки габбро, диоритов, фельзит-порфиритов, ридолитов, граносиенит-порфиритов, ридолитов, лампрофиритов	Широкое развитие интрузивных (габбро, диориты) и особенно субвулканических и дайковых (диоритовые порфириты, ридолиты, лампрофириты) тел	Скрытый гранитоидный интрузив, дайки сиенит-диорит-гранофировой фации (внутрирудные)	Моноцит-гранодиоритовый интрузив, дайки гипербазит-габбровой фации и щелочных базальтоидов и лампрофиритов (дорудные). В Даутыстау — одиночные дайки лампрофиритов
Тектонические условия локализации оруденения	Протяженные долговязущие разломы, зоны трещиноватости, согласные разрывы, сложноскладчатое крутое залегание вмещающих пород, зоны объемного катаклаза	Грабен-синклиналь — сложноскладчатая дислоцированная структура, внутреннее строение обусловлено многочисленными субпараллельными и поперечными разломами различных порядков и неравномерной линейной складчатостью	Складчато-разрывные дислокации пород, главные рудоуплотняющие порода на крыльях от 30 до 60°, сквозные и поперечные глубинные разломы и зоны смятия. Вертикальный разлом ограничивает мощность продуктивных свит или пачек, где надвиги и межслоевые срывы при залегании пород положе 35° часто играют экранную роль	Складчато-разрывные дислокации пород, главные рудоуплотняющие порода на крыльях от 30 до 60°, сквозные и поперечные глубинные разломы и зоны смятия. Вертикальный разлом ограничивает мощность продуктивных свит или пачек, где надвиги и межслоевые срывы при залегании пород положе 35° часто играют экранную роль
Генетический тип	Бескварцевый сульфидно-вкрапленный подтип гидротермального типа	Полигенный, источник углеродистого и рудного вещества — осадочно-хемогенный, флюидно-магматогенный и метаморфогенный	Полигенный, источник рудного вещества — корово-мангитный	Преимущественно гидротермальный

ние в мезозое и кайнозое. Оно осложнено куполовидными (термокупольными) структурами более низкого порядка, которые служили естественными границами золоторудных объектов в ранге рудных районов.

В данных тектонических условиях при формировании золоторудных объектов разных таксонов большую роль играли долгоживущие разломы, в том числе транзитные и блокоформирующие, ограничивающие площади с автономными условиями магматизма и складчато-разрывных дислокаций. К важным рудоконтролирующим элементам также относятся структурные парагенезисы, устанавливаемые по закономерным сменам сочетания локальных складок и разрывных нарушений. Некоторые золоторудные поля территории тесно связаны с формированием сложных зон смятия, которые по геофизическим признакам отождествляются с линейными зонами базификации. Они обычно сопровождаются дайковыми поясами пестрого состава. В плане такие структуры имеют полосчато-линзовидный облик с чередованием в поперечном разрезе узких зон расланцевания и изоклинальной складчатости и блоков относительно простого строения. Тектоническая активность в орогенное время сделала их проницаемыми для глубинных растворов и флюидов, что привело к образованию специфических колон метаморфизма [4]. Особенность таких структур — узловый характер проявления в их пределах эндогенных процессов, что облегчает выявление крупных золоторудных объектов.

Проведенное сопоставление золоторудных проявлений Воронежского кристаллического массива и Южно-Тяньшаньской провинции в пределах Центральных Кызылкумов, сформированных в разные геологические эпохи (см. табл. 1), позволяет говорить о некоторых чертах их сходства.

Золоторудные проявления обоих регионов относятся к одному классу полигенных месторождений черносланцевых толщ, сформировавшихся в близких геодинамических обстановках, включающих этапы коллизии и созревания континентальной коры. Для рудовмещающих формаций характерен низкоградиентный метаморфизм, осложненный локальным проявлением плутонического и дислокационного метасоматоза. Наблюдаются идентичное развитие продуктивных минеральных ассоциаций и близкий набор главных рудных минералов. По существу, подтверждается положение, отстаиваемое А.А.Кременецким [3], что все эндогенные золоторудные месторождения, независимо от возраста, состава глубинного субстрата и вмещающих пород, характеризуются стандартным набором продуктивных минеральных ассоциаций.

Воронежский кристаллический массив в каменноугольное время был преобразован в обширное сводовое поднятие, которое сохранило основные структурные элементы предыдущих эпох [9]. Это также сближает регионы по некоторым структурно-тектоническим условиям, когда главную роль в формировании рудных полей и месторождений играют долгоживущие разломы с рудоконцентрирующими и рудолокализирующими функциями.

Накопленная информация о золото-платиноносности докембрийских образований Воронежского кристаллического массива дает основание рекомендовать на его территории постановку прогнозных работ регионального уровня в м-бе 1:500 000–1:100 000 (в зависимости от участков исследований и их изученности). Это позволит конкретизировать глубинные поиски в целях выявления рудных объектов в ранге рудных полей и крупных месторождений.

В Западном Узбекистане прогнозирование с использованием компьютерных технологий проводилось практически на всех стадиях поисковых работ (табл. 2) и осуществлялось по единой комплексной программе. Общая эффективность выполнения данной программы по всей цепочке поисков составила 10–12%, что примерно в два раза выше среднего показателя по стране. В итоге к концу XX в. Республика Узбекистан вышла на четвертое место по разведанным запасам и на восьмое место по добыче золота в мире.

Автоматизированное прогнозирование (по принципу прямых аналогий) включает ряд последовательных этапов. К ним относятся формулирование цели и обоснование территории прогнозирования, сбор и систематизация первичной информации, выбор объекта (эталон) прогнозирования и создание базы данных, принятие решения о математической модели и алгоритме обработки информации, собственно прогнозирование (синтез и анализ) и оформление результатов.

Наиболее ответственный и трудоемкий этап прогнозных работ — сбор исходной информации и формирование базы данных. На стадии региональных прогнозных работ в качестве основы для организации геологических материалов используются карты рудной нагрузки и структурно-формационная.

Карта рудной нагрузки служит для обоснования эталонной выборки прогнозируемых объектов. Она включает известные месторождения и рудопроявления вне зависимости от их оценки на выполненной стадии поисковых или разведочных работ. Все рудные проявления типизируются по формационной принадлежности, а месторождения ранжируются по запасам. На заключительных этапах исследований

2. Классификационные признаки золоторудных объектов, используемые при прогнозировании и экспертизе на разных стадиях геологоразведочных работ в Западном Узбекистане, по С.Д.Шеру, В.П.Федорчуку, А.Д.Шевцову, В.А.Хорасану, Б.Я.Вихтеру

Признаки	Рудные районы, зоны и узлы (рудносные зоны и площади), 1:200 000–1:50 000	Рудные поля (рудносные площади), 1:10 000–1:5000	Месторождения (площади минерализации и минерализованные участки), 1:2000–1:500
Стратиграфо-литологические	Геологические формации, этажи, ярусы, свиты	Свиты, пачки	Седиментационные циклы (ритмы), типичные разности и структуры пород
Структурно-тектонические	Складчатые сооружения, долгоживущие разломы, скрытые разломы фундамента, очаговые тектонические структуры, надвиги и наволокы, плотность складчатых разрывных дислокаций	Складки и их элементы, рудоконтролирующие разломы и поверхности, рудомещающие разломы, внутриформационные надвиги и срывы, плотность локальных складок и разломов, тектонический режим в период рудоотложения	Элементы складок, залегание пород, морфология и строение рудомещающих разломов, поперечные (блокирующие) разломы, отслоения в контактах пород, удельная трещиноватость и растяжение, тектонические подвижки в боках разломов и контактах пород
Магматические	Интрузивные комплексы, очаговые магматические структуры, вулканоструктуры, дайковые пояса	Контактовые поверхности магматических и вулканических структур, плотность даек	Контакты отдельных магматических тел
Минералого-геохимические	Рудные формации, метаморфические и контактово-метасоматические изменения пород, полиэлементные геохимические аномалии	Минеральные типы руд, текстуры руд, метасоматические изменения пород, моноэлементные геохимические аномалии	Типоморфные минеральные ассоциации, текстуры, сульфидность, технологичность руд, предрудные и околорудные изменения пород, геохимические элементы-индикаторы
Объекты обучения (этапоны)	Рудные поля, месторождения (ранжированные по запасам), рудопроявления	Рудные тела, рудные пересечения (содержания, метрограммы)	Рудные пересечения (содержания, метрограммы), пробы (содержания)
Конечная цель работы	Геолого-структурные позиции рудных узлов (зон), полей, крупных месторождений, прогнозных ресурсов категорий Р <sub>2</sub> –Р <sub>3</sub>	Структурные типы месторождений, прогнозных ресурсов категорий Р <sub>2</sub> –Р <sub>1</sub>	Литолого-структурные ловушки рудных столбов, запасы категории С <sub>1</sub> , прогнозных ресурсы категории Р <sub>1</sub>

данная карта дополняется результатами прогнозных построений. В дальнейшем она служит основой для планирования поисковых работ.

На территории Воронежского кристаллического массива эталонные золоторудные объекты в ранге месторождений отсутствуют. Установленные генетические типы выявленных рудопроявлений свидетельствуют о значительном вертикальном размахе оруденения, его многоярусности и высокой проникающей способности рудоносных растворов. Кроме этого, золоторудный процесс не ограничивается протерозойскими комплексами. Так, по данным [7], в карбонатных породах каменноугольного возраста Воронежской антиклизы отмечается прожилково-вкрапленная минерализация. Рудные минералы представлены пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, марказитом, арсенопиритом, антимонитом и киноварью. Аналогичная минерализация в породах этого же возраста выявлена в прибортовых частях Пачелмского авлакогена. Содержание Au в минерализованных породах составляет 0,4–0,6 г/т.

В последние годы на территории Воронежского кристаллического массива в мезокайнозойских отложениях обнаружены многочисленные эгалационно-осадочные золотоносные россыпи [10]. К эталонным объектам такого генезиса отнесено месторождение Русская Журавка, локализованное в низах палеогеновых образований. В отдельных золоторудных проявлениях чехла в заметных количествах присутствуют элементы платиновой группы.

Учитывая приведенные данные, на региональном этапе исследований Воронежского кристаллического массива в эталонную выборку следует включить все известные проявления золота вне зависимости от степени их изученности, практической значимости и генетических типов. Например, россыпные проявления золота, где найдено гипергенное золото, при таком подходе могут выступать в качестве связующих звеньев между смежными рудоносными структурами. Их значение будет велико и в качестве индикаторов перекрытого оруденения. Это, возможно, снизит достоверность оценки прогнозных ресурсов, но позволит выявить долгоживущие рудоконцентрирующие структуры и более уверенно оконтурить перспективные площади в ранге рудных полей и крупных месторождений.

Структурно-формационная карта включает формационную нагрузку и структурный каркас. Формационная нагрузка позволяет выделить специализированные на золото пояса, связанные со структурно-формационными зонами, определить типы руд и ожидаемый масштаб месторождений. Структурный каркас способствует обоснованию позиций и границ рудных узлов (зон) и полей. Его главные элемен-

ты — складчатые дислокации и долгоживущие разрывные нарушения глубокого заложения.

Структурно-вещественные комплексы Воронежского кристаллического массива перекрыты чехлом платформенных отложений мощностью до первых сотен метров. Большинство структурных разрывных элементов на его территории выявлены по геофизическим данным и в редких случаях подтверждены буровыми и горными работами. В этих условиях при региональном прогнозировании резко возрастает роль материалов дистанционного зондирования.

Используя методику дешифрирования космofотоснимков разрывных структур фундамента и чехла Г.И.Раскатова [9], на начальном этапе основное внимание необходимо уделять выявлению линейных элементов. В основной своей массе они связаны с тектонической структурой региона. В силу этого карта линейных элементов имеет самостоятельное прогностическое значение и дополнительно выражается через плотность на единицу площади или иным способом.

На следующем этапе на основе анализа пространственного размещения линейных элементов и их корреляции с неоднородностями магнитных полей устанавливаются глубинные разломы фундамента. Наиболее долгоживущие разломы фиксируются по дайковым свитам, а в осадочном чехле — экзогенным процессам. Например, оползни часто приурочены к стыку структурных блоков, которые испытывают в новейшее время разнонаправленные (разноскоростные) перемещения относительно друг друга. К разломам тяготеют отдельные цепочки просадочных западин зрелой генерации. Крупные группы их узлового скопления иногда блокируются такими структурами и в этих местах имеют прямолинейные контуры распространения.

На структурно-тектонической карте следует также отражать кольцевые структуры. Структуры куполовидного типа выделяются по характерному рельефу местности, радиальному рисунку речной сети и дуговидным руслам рек в их основании.

Многолетний опыт выполнения подобных работ показывает, что на составление исходных карт для прогнозирования и формирование компьютерной базы данных уходит 2–3 года. Основной объем работ при этом приходится на информационно-накопительные работы, обоснование эталонов и анализ связи целевых и факториальных характеристик. В этот период целесообразно предусмотреть оптимальный объем работ по экспресс-оценке предположительно перспективных площадей, включая верификацию известных золоторудных объектов, и геохимические поиски.

Обратим внимание на следующую особенность локализации крупных месторождений золота Кызылкумского региона. Наиболее продуктивное золотообразование (включает до 85% запасов) в этом регионе связано с гидротермальным источником рудного вещества и по времени формирования близко к порфир-порфирировым комплексам самостоятельных малых интрузий.

Оруденение этого этапа относится в основном к секущему типу и локализуется в субпараллельных (Кокпатас) или пересекающихся (Даугызтау) относительно простых, но протяженных системах разломов или сложных по внутреннему строению зонах трещиноватости и смятия (Мурунтау), а также в межформационных и внутриформационных надвигах и срывах (Мурунтау, Кокпатас). Рудный процесс повсеместно протекал в условиях регионального тектонического сжатия с горизонтальной осью по азимуту 5–10° [14].

В результате волнистости поверхности рудовмещающих разрывных нарушений в них при сжатии образуются приоткрытые звенья, где формируются рудные столбы. Удельная трещиноватость (и прожилковая минерализация) в таких позициях изменяется от вмещающих безрудных пород к слаборудным и рудным столбам в соотношениях 1:2:7. Обычно рудные столбы составляют около 25% объема рудных тел и включают не менее 70% учтенных запасов золота. При контрастном разрезе вмещающих пород межслоевые надвиги на участках выполаживания (10–30°) образуют «структурные этажерки», где под сланцевыми нишами и зонами филлонитизации локализуются субсогласные залежи (Мурунтау).

Одна из характерных особенностей золото-платинометалльного оруденения в пределах Воронежского кристаллического массива — высокая степень интенсивности проявления складчатости, взбросо-надвиговых перемещений и разломных нарушений различных порядков, выступающих в качестве рудоконтролирующих элементов [12]. В этих условиях наиболее перспективными геологоструктурными типами месторождений и рудных полей могут быть комбинированные, включающие крупные согласные залежи в крутых изоклинальных складках и системы секущих минеральных тел в сложных разломах, сопряженных со складками. В таких позициях следует ожидать наличие рудных столбов. Среди наиболее изученных в регионе золото-платинометалльных проявлений четко выраженных рудных столбов пока не установлено или они не опознаны. Обычно они выявляются, начиная со стадии поисково-оценочных работ и далее на всех стадиях разведки, путем струк-

турного анализа условий рудообразования и количественной оценки рудоконтролирующих факторов [5, 11]. Представляется, что на ряде рудных объектов накопленные материалы такой анализ позволяют выполнить.

Есть основания полагать, что на характеризуемой территории, закрытой мощными рыхлыми отложениями, из геохимических методов наиболее эффективен и достаточно оперативен в реализации структурно-гидрохимический, основанный на изучении современных эндодинамических процессов [1]. Метод включает изучение природных гидрохимических аномалий, обусловленных промыванием подземными водами перекрытых рудоносных структур и подтоком глубинных минерализованных вод в границах ранее сформировавшихся месторождений.

Такого рода природные гидрохимические аномалии с повышенным содержанием ртути, мышьяка, таллия, селена и др. обнаружены в ряде пунктов Липецкой и Воронежской областей [10]. В Тамбовской области при гидрохимическом опробовании 132 скважин, эксплуатируемых на воду, в некоторых из них также было установлено повышенное содержание в воде отдельных элементов. В полосе сближенных долгоживущих разломов, прослеженной по космофотоснимкам от г. Инжавина до Жердевки, в состав надпороговых аномалий входят вольфрам, мышьяк, свинец, медь и другие элементы, характерные для литогеохимических аномалий золоторудных полей. Данная тектоническая зона четко дешифрируется до г. Анна (Воронежская область), где в фундаменте выявлены два рудопроявления, отнесенные к золото-платиносодержащей полиметалльной формации [12].

Собственно компьютерная технология количественного прогнозирования нами не рассматривается, поскольку она зависит от результатов подготовительных работ, избранного способа формирования базы данных, программного обеспечения и опыта исполнителей.

*Авторы выражают искреннюю признательность члену-корреспонденту РАН, профессору Н.М. Чернышову, профессору А.Д. Савко и В.А. Хорвату за помощь в подготовке рукописи к изданию.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов В.С. Науэндодинамика и минерагения, постспутниковая оценка возможного рудоресурсного потенциала недр // Руды и металлы. 2006. № 6. С. 58–65.
2. Геолого-промышленные типы месторождений золота Республики Узбекистан / Р.В. Цой, В.А. Хорва и др. // Основные проблемы геологии и развития минерально-сырьевой базы Республики Узбекистан. Ташкент, 1996. С. 45–51.

3. *Золоторудное* месторождение Мурунтау / Коллектив авторов. – Ташкент: ФАН АН Республики Узбекистан, 1998.
4. *Иванкин П.Ф., Назарова Н.И.* Методика изучения рудоносных структур в терригенных толщах. – М.: Недра, 1988.
5. *Королев А.В., Шехтман П.А.* Структурные условия размещения послемагматических руд. – М.: Недра, 1965.
6. *Лось В.Л., Назаров В.Н.* Концепция и технология прогнозно-поисковых работ в Лениногорском и Зырянском рудных районах, Рудный Алтай // Руды и металлы. 2006. № 6. С. 66–72.
7. *Матвеева Е.В., Филиппов В.П., Яблокова С.В.* Комплексные титаноциркониевые россыпи центральной части Русской платформы — резерв минерально-сырьевой базы золота // Отечественная геология. 2005. № 2. С. 33–38.
8. *Прогнозно-металлогеническая* оценка Западного Узбекистана на коренное золото / А.Д.Швецов, В.А.Хорват и др. // Узбекский геологический журнал. 1997. № 3. С. 28–39.
9. *Раскатов Г.И.* Прогнозирование тектонических структур фундамента и чехла древних платформ и форм погребенного рельефа средствами геолого-геоморфологического анализа (на примере Воронежской антеклизы). – Воронеж: Воронежский ун-т, 1972.
10. *Савко А.Д., Артюхов В.Г.* Концепция биогеосферных исследований состояния и динамики природной среды в условиях интенсивного воздействия антропогенных факторов на территории Центрально-Черноземного региона // Биогеосферные исследования состояния и динамики природной среды. Воронеж, 2007. Вып. 44. С. 7–26.
11. *Федорчук В.П.* Экспертная геолого-экономическая оценка рудных месторождений. – М.: Недра, 1991.
12. *Чернышов Н.М., Молотков С.П., Рыборак М.В.* Первая прогнозно-минерагеническая карта благороднометалльного оруденения докембрия ВКМ // Вестн. Воронежского ун-та. Геология. 2002. № 2. С. 73–81.
13. *Чернышов Н.М.* Платиноносные формации Курско-Воронежского региона. – Воронеж: Воронежский ун-т, 2004.
14. *Швецов А.Д., Исаков М.У.* Организация геологических данных при прогнозировании эндогенных золоторудных месторождений на различных стадиях геологоразведочных работ (Западный Узбекистан) // Основные проблемы геологии и развития минерально-сырьевой базы Республики Узбекистан. Ташкент, 1997. С. 111–116.
15. *Шер С.Д., Вихтер Б.Я.* Принципы прогнозирования золотого оруденения (на примере Южного Тянь-Шаня) // Советская геология. 1982. № 11. С. 53–61.

# МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.491'481

© В.И.Лобач, М.В.Тучина, А.У.Корчагин, 2008

## КОНЦЕНТРАЦИОННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ РУД

**В.И.Лобач, М.В.Тучина (ЦНИГРИ Роснедра МПР России), А.У.Корчагин  
(ОАО «Пана»)**

*К решению практических задач в плане изучения особенностей локализации и морфологии обогащенных участков рудных зон, обоснования плотности разведочной сети и др. привлечен подход, базирующийся на концепции концентрационной неоднородности месторождения комплексных руд.*

Месторождение комплексных руд приурочено к базальной зоне массива протерозойских дифференцированных магматических пород. Рудовмещающие такситовые габбро-нориты закономерно чередуются с автолитами реликтовых ультрамафитов (оливиновыми норитами, пироксенитами и гарцбургитами). Для оруденения в таких массивах характерна специализация на никель, медь, ЭПГ, железо и титан с присутствием редкоземельной минерализации.

Массив, с которым связано месторождение, имеет с поверхности форму треугольника. Его основание длиной около 6 км находится на востоке, а вершина — на северо-западе. Длина массива 15 км, площадь ~45 км<sup>2</sup>. Северный контакт массива с подстилающими архейскими гнейсами и гранитогнейсами тектонический, неровный с желобообразными прогибами шириной до 1,5 км. Расслоенность пород в массиве характеризуется более крутым падением к югу в его краевой части вблизи контакта с архейскими гнейсами и выполаживается у южного контакта, где на породы массива надвинуты метавулканиты. Несколько крутопадающих разломов делят массив на отдельные блоки. Крупная безрудная тектоническая зона северо-западного простирания делит его на Западный (Большой Ихтегипахк) и Восточный (Пахкварака) участки.

Магматические породы незначительно затронуты наложенными изменениями и постинтрузивными нарушениями, за исключением подошвы массива, вдоль которой по тектоническому контакту развиты интенсивная амфиболизация и рассланцевание.

Руды месторождения включают металлы платиновой группы, связанные с сульфидами магматического происхождения (пирротин, пентландит,

халькопирит), образующими мощные протяженные вкрапленные зоны. Сульфиды встречаются в приподошвенной части интрузии (такситовые габбро-нориты, нориты) главным образом в габбро-норитах и лейкократовых разностях основных пород. Платинометальная минерализация тесно ассоциирует с медно-никелевой, распределенной неравномерно, причем концентрирующую роль играют пентландит и пирротин. В пентландите сосредоточена большая часть Pd, а также 100% Ru, Os, Ir, в пирротине — Rh. Остальная часть Pd находится в висмутотеллуридах. Платина сконцентрирована главным образом в мончеите, причем при повышенных содержаниях Pd в пентландите с ним ассоциирует мончеит. Платино-палладиевое отношение в целом постоянно и варьирует в пределах 1:4–1:5. На Западном участке сосредоточена основная часть запасов и оцениваемых ресурсов. Мощные и протяженные зоны убогой вкрапленной сульфидной минерализации прослежены до глубины 300 м — до нижнего тектонического контакта интрузии.

Участок Восточный отличается более сложной структурой, меньшей выдержанностью оруденения и непостоянством соотношений пород. Преобладает магматическая брекчия с большими блоками норитов (до десятков метров) с наложенной тектоникой. Сульфиды распределены неравномерно главным образом в виде линзовидных непротяженных тел, иногда со значительным содержанием сульфидов (вплоть до 40% массы породы), сменяющихся пустыми породами в соседних скважинах.

Линзовидно-пластообразная рудная залежь согласна с расслоенностью пород массива. Внутри нее руды увязываются в несколько сложных линзовид-

ных и пластообразных тел, совпадающих с горизонтами, наиболее обогащенными сульфидами никеля и меди. Преобладает вкрапленный тип оруденения. Границы отдельных тел, как и залежи в целом, определяются опробованием.

Большая часть запасов разведана скважинами по сети 100×(50–100) м и отнесена к категории С<sub>2</sub>. Лишь незначительная их часть в центре месторождения (участок детализации) разведана по сети 50×50 м и отнесена к категории С<sub>1</sub>.

Опробование скважин производилось в основном секциями длиной в 1 м.

По относительной ценности металлов в руде (Pd 33, Pt 30, Ni 19, Cu 14,5, Au 3,5%) и экономической значимости в порядке убывания выделяются полезные компоненты руд — Pd, Pt, Ni, Cu и Au. В связи с относительно большей экономической ценностью палладия геометризация запасов производилась по условному палладию (Pd<sub>усл</sub>).

Для изучения внутреннего строения рудной залежи комплексных руд произведена выборка скважин из участка детализации, на базе опробования которых сформирован массив из 1057 проб. Вопрос о представительности выборки не ставился. Целью было показать возможности решения важных в практическом отношении задач по оценке месторождения комплексных руд на основе предложенного подхода.

В основу подхода положена концепция концентрационной неоднородности, по которой рудный объект (месторождение, рудная залежь, рудное тело и т.д.) рассматривается как скопление полезного компонента, характеризующееся свойствами прерывистости, компактности и контрастности. Уровни и соотношение указанных свойств определяют сложность внутреннего строения и структуру концентрационной неоднородности рудного объекта. Алгоритм расчета количественной оценки сложности внутреннего строения рудных объектов приведен в работе В.И.Лобача (1998), а в табл. 1 сопоставлены качественная оценка сложности месторождений по классификации ГКЗ и предложенная количественная оценка рудных объектов, что может служить допол-

нительным обоснованием при определении группы сложности исследуемого объекта.

Распределение основных полезных компонентов подтверждает их генетическое родство (рис. 1), поэтому распределение их содержаний в совокупности, приведенной к условному палладию, оценено как приближенное к логнормальному. В связи с этим массив проб сгруппирован по классам содержаний Pd<sub>усл</sub>, г/т: 0–0,25, 0,25–0,5, 0,5–1, 1–2, 2–4 и т.д. Платиново-палладиевое отношение по указанной совокупности проб составляет в среднем 1:4,2, варьируя в классах с наиболее представительным объемом проб от 1:1,6 до 1:4,7, что подтверждает данные по этому показателю в целом по месторождению.

Изначально месторождение по геологическому строению отнесли ко второй группе сложности. Основной мотивацией служили коэффициенты вариации по мощности, составившие 76%, и по содержанию палладия по пересечениям скважин — 23%. Однако внутреннее строение рудной зоны при этом не было охарактеризовано. Не приводятся данные распределения содержаний полезных компонентов по пробам. Так, коэффициенты вариации содержаний полезных компонентов по пробам скважин из центральной части рудной залежи (участок детализации) составляют (%) — Pd 125, Pt 129, Au 103, Cu 95, Ni 89, Pd<sub>усл</sub> 104, что уже вносит сомнение при отнесении месторождения ко второй группе сложности.

В результате обработки массива проб по алгоритму расчета количественной оценки сложности внутреннего строения рудной залежи получены показатели свойств концентрирования основных полезных компонентов (табл. 2). По этим показателям месторождение можно отнести как в третью, так и во вторую группы сложности. Это же подтверждается и оценками сложности (общей, концентрационной и морфологической).

Судя по показателям количественной оценки сложности внутреннего строения залежи, концентрирование полезных компонентов на месторождении можно отнести к бонанцево-столбовому типу, о

### 1. Оценка сложности внутреннего строения рудных объектов

Показатели	Группы сложности внутреннего строения по классификации ГКЗ			
	1	2	3	4
Качественная оценка сложности внутреннего строения по классификации ГКЗ	Устойчивое	Неустойчивое	Очень изменчивое	Резко изменчивое
Количественная оценка сложности внутреннего строения, по В.И.Лобачу, 1999				
Общая сложность	До 1	1–3	3–7	>7
В том числе:				
концентрационная	До 0,5	0,5–1	1–3	>3
морфологическая	До 0,5	0,5–2	2–4	>4

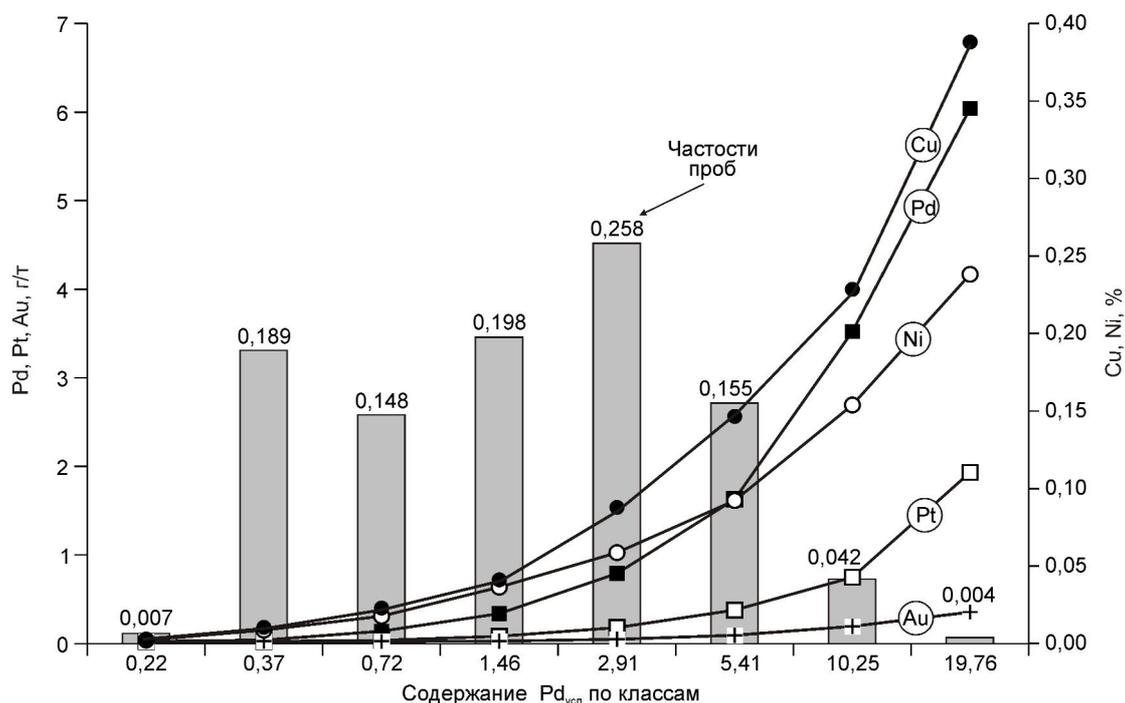


Рис. 1. Распределение средних содержаний основных полезных компонентов по классам содержаний условного палладия (1057 проб)

чем свидетельствует некоторое превышение доли морфологической составляющей сложности. В пределах залежи выделяются относительно протяженные рудные тела (столбы) и многочисленные мелкие (бонанцы). Если по скважинным пересечениям число рудных интервалов, объединяемых или увязываемых в рудные столбы, составляет 1–3, то число более мелких — не менее 20–30 при сумме около 50% от всей суммы рудных интервалов. Увязать последние между разрезами в отдельные рудные тела, как правило, не представляется возможным, в связи с чем и подсчет запасов на месторождении был выполнен с использованием коэффициента рудоносности.

Исходя из того, что оконтуривание рудных интервалов при подсчете запасов производится по бортовому содержанию с учетом минимальной мощности рудного тела ( $M_{\text{мин}}$ ) и максимально допустимой мощности некондиционных руд или пустых прослоев ( $M_{\text{макс}}$ ), проведены исследования по обоснованию указанных кондиционных лимитов, отвечающих особенностям концентрирования полезных компонентов на месторождении.

Принимая терминологию В.И.Куторгина (1992), интервалы, в пределах которых содержания по пробам выше среднего по всему опробованному интервалу скважины, отнесены в группу положительных

## 2. Характеристики внутреннего строения рудной залежи (числитель) и группа сложности (знаменатель) по данным опробования скважин

Показатели	Pd	Pt	Au	Ni	Cu	Pd <sub>ср</sub>
Прерывистость	0,271	0,286	0,265	0,238	0,263	0,253
Компактность	0,413	0,370	0,301	0,440	0,410	0,460
Сложность:						
концентрационная (контрастность)	$\frac{1,156}{3}$	$\frac{1,264}{3}$	$\frac{1,121}{3}$	$\frac{0,775}{2}$	$\frac{0,820}{2}$	$\frac{1,080}{3}$
морфологическая	$\frac{1,592}{2}$	$\frac{2,087}{3}$	$\frac{2,916}{3}$	$\frac{1,230}{2}$	$\frac{1,569}{2}$	$\frac{1,197}{2}$
общая	$\frac{2,748}{2}$	$\frac{3,351}{3}$	$\frac{4,037}{3}$	$\frac{2,005}{2}$	$\frac{2,389}{2}$	$\frac{2,277}{2}$
Доля морфологической составляющей сложности, %	58	62	72	61	66	53

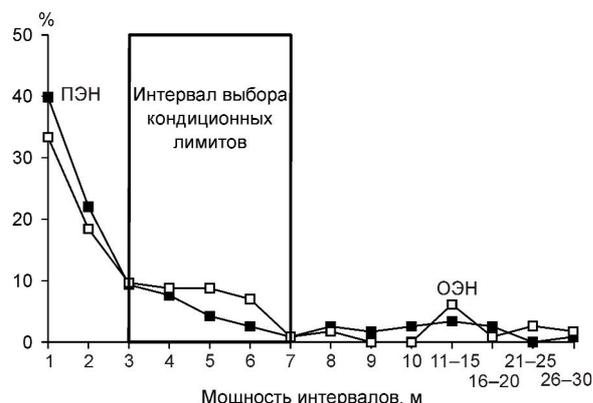


Рис. 2. Распределение ПЭН и ОЭН по условному палладию

элементов неоднородности (ПЭН), а интервалы с содержаниями по пробам ниже среднего — в группу отрицательных элементов неоднородности (ОЭН).

В распределении ПЭН и ОЭН по условному палладию (рис. 2) интервал 3–7 м разделяет области закономерного, но резкого и незаконномерного случайного характера изменений. На указанный интервал приходится выбранная высота уступа проектного карьера 5 м для отработки руд месторождения, что дает основание считать выбор высоты уступа геологически обоснованным и принять ту же размерность для  $M_{\min}$  и  $M_{\max}$ .

Выбор бортового содержания требует не только соответствующих повариантных расчетов, но и его геологического обоснования. Для этого также использован подход, основанный на концентрационной неоднородности месторождения по условному палладию. По семи вариантам бортового содержания  $Pd_{\text{усл}}$  (1,3, 1,6, 1,9, 2,2, 2,5, 3,1 и 3,7 г/т) рассчитаны показатели сложности, по распределению которых (рис. 3) варианты объединяются в три группы:

с некоторым преобладанием концентрационной составляющей сложности (1,3–1,6–1,9 г/т  $Pd_{\text{усл}}$ );

с некоторым преобладанием морфологической составляющей сложности (2,2–2,5 г/т  $Pd_{\text{усл}}$ );

с заметным преобладанием морфологической составляющей сложности (3,1–3,7 г/т  $Pd_{\text{усл}}$ ).

При бортовом содержании  $Pd_{\text{усл}}$  3,1 г/т месторождение однозначно переходит в третью группу сложности за счет относительно резкого увеличения доли морфологической составляющей. В то же время, особняком выделяющаяся группа с бортовыми содержаниями  $Pd_{\text{усл}}$  2,2 и 2,5 г/т наиболее близка по показателям сложности первоначальных их оценок (см. табл. 2) и может служить ориентиром при геологическом обосновании выбора бортового содержания для подсчета запасов в пределах рудной зоны.

Группа с бортовыми содержаниями  $Pd_{\text{усл}}$  1,6–1,9 г/т может рассматриваться в качестве граничного содержания условного палладия для оконтуривания рудной зоны, столь необходимого при подсчете запасов с применением коэффициента рудоносности. Дополнительные данные по уточнению такой границы требуют привлечения соответствующей геологической информации по распределению содержаний полезных компонентов в зависимости от состава вмещающих пород, их минералов-носителей и др. Вариант с содержанием  $Pd_{\text{усл}}$  1,3 г/т может служить для возможного выделения потенциально продуктивных зон-аналогов в исследуемом районе.

Первоначальная оценка сложности внутреннего строения рудной зоны производилась на уровне керновой пробы в 1 м. Результаты анализа распределения количества элементов неоднородности (ПЭН и ОЭН) по классам мощностей показывают, что выбранный размер секции опробования заведомо меньше размеров элементов неоднородности. Так, по отношению к суммарной мощности ПЭН и ОЭН элементы неоднородности, соответствующие размеру проб, составляют 11% по ПЭН и 7% по ОЭН. В этой связи потребовалась проверка влияния элементов неоднородностей по размерам, превышающим размер проб. Использован способ автокорреляции, предусматривающий пошаговое разрежение проб в разведочных пересечениях. На рис. 4 показано, что в интервале расстояний между пробами от 0 до 3 м коэффициент корреляции закономерно снижается и приближается к минимальному (0,122), а последующие шаги разрежения отражают его флуктуации, обусловленные проявлениями изменчивости на других уровнях строения рудной залежи, т.е. влиянием элементов неоднородностей с размерами, превышающими размеры проб. Пошаговая процедура разрежения вместе с расстоянием между пробами 1, 2, 3 м и более воздействует на элементы неоднород-

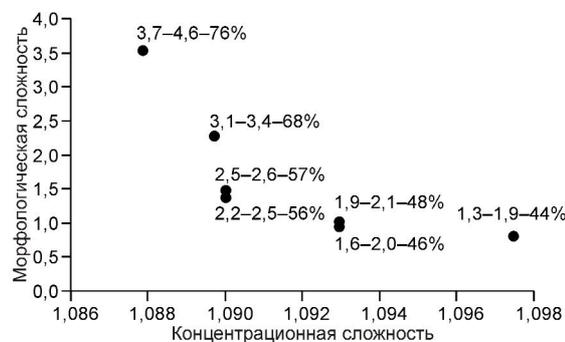
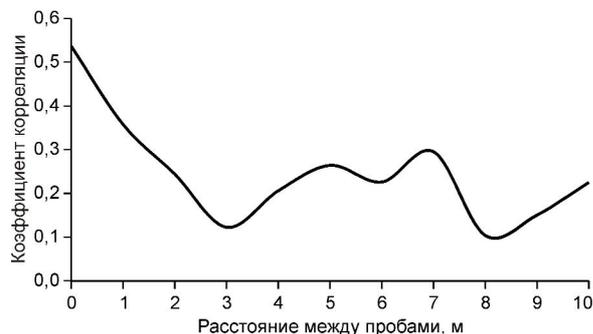


Рис. 3. Распределение показателей сложности внутреннего строения рудной зоны при бортовых содержаниях условного палладия (секции опробования 1 м):

в каждой точке показаны: бортовое содержание условного палладия — общая сложность — доля морфологической составляющей сложности

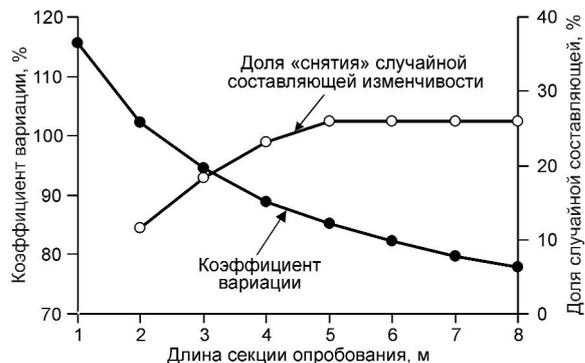


**Рис. 4. Реализация осредненной корреляционной функции содержаний условного палладия при пошаговом разрезании проб**

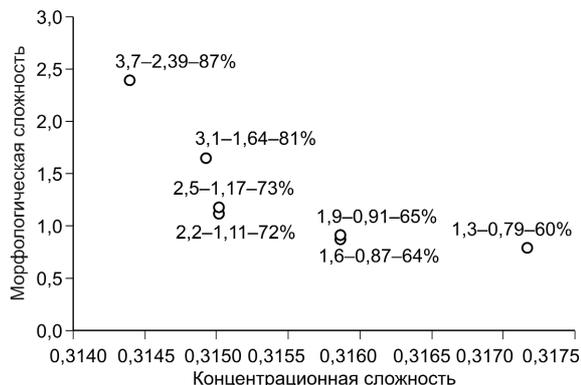
ностей с размерами больше шага на два метра (крайние пробы в каждой пошаговой процедуре), что приводит к последовательному вовлечению элементов неоднородностей, соответствующих шагу, размеров (шаг опробования, м — размер элемента неоднородности, м): 0–2, 1–3, 2–4, 3–5 и т.д. Результаты автокорреляции свидетельствуют о возможности увеличения секции опробования на месторождении в несколько раз.

Способом «скользящего окна» сформированы массивы из композитных проб (2, 3, 4, 5 м и более), результаты обработки которых показали, что с увеличением длины секции опробования снижаются коэффициенты вариации содержаний условного палладия за счет постепенного «снятия» случайной составляющей изменчивости содержаний условного палладия. При этом максимум «снятия» случайной составляющей достигается при 5-метровых композитных пробах и далее остается на одном уровне 26% (рис. 5).

Отсюда следует, что на композитных пробах секциями 5 м и более практически полностью снимается случайная составляющая изменчивости, т.е. достигается «истинное» распределение содержаний условного палладия, отвечающее его естественной неоднородности. Поэтому оценка сложно-



**Рис. 5. Динамика изменчивости содержаний условного палладия по композитным пробам**



**Рис. 6. Распределение показателей сложности внутреннего строения рудной зоны при бортовых содержаниях условного палладия (композитные секции опробования 5 м):**

пояснения к цифрам в каждой точке см. рис. 3

сти внутреннего строения рудной зоны произведена по 5-метровым композитным пробам, показатели которой приведены на рис. 6.

Если расположения точек на диаграммах рис. 6 и рис. 3 идентичны, то при композитных пробах уменьшается уровень сложности внутреннего строения рудной зоны за счет более резкого снижения (почти в 3 раза) показателя концентрационной сложности. Главную роль в сложности внутреннего строения начинает играть морфологическая составляющая (от 60 до 87% по всем вариантам бортового содержания условного палладия).

При бортовых содержаниях  $Pd_{усл}$  2,2–2,5 г/т месторождение можно отнести ко второй группе сложности, если увеличить длину секций опробования. Этому способствует достаточно большая мощность рудной зоны (200–300 м). Увеличение секции проб позволит создать условия для повышения качества аналитических работ при комплексном составе руд: с одной стороны, это снижение загрузки аналитического производства, с другой — достижение более представительных по массе аналитических навесок.

В дополнение к этому проведено сопоставление результатов оконтуривания рудных интервалов по 1-метровым (исходным) и 5-метровым (композитным) секциям опробования при бортовом содержании  $Pd_{усл}$  2,2 г/т с использованием максимально допустимой мощности прослоев некондиционных руд 5 м. Пятикратное увеличение секций опробования приводит в основном к снижению числа кондиционных интервалов (почти в 2 раза) и объединению более мощных кондиционных интервалов с одновременным увеличением их мощности, что повышает надежность их увязки между разрезами в отдельные рудные тела. При этом качество кондиционных руд практически не меняется.

# СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 550.4:553 (470.6)

©.Н.П.Варгунина, 2008

## СПЕЦИФИКА СОСТАВА И СТРОЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ НА ФЛАНГАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОЗАНГ, СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ

Н.П.Варгунина (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

*Специфика метасоматических изменений, вкрапленной и прожилковой минерализации и геохимических ореолов на флангах рудной зоны Бозанг заключается в пространственном совмещении локально проявленных продуктивных прожилковых образований и околорудных метасоматитов на фоне широкого рассеяния вкрапленной и прожилковой непродуктивной низкотемпературной минерализации, а также высокотемпературных минеральных парагенезисов, наложенных на околорудные метасоматиты. Это нашло отражение в составе, строении, пространственном положении и параметрах геохимических ореолов, которые не соответствуют продуктивным образованиям. Подобные минералого-геохимические ситуации обычно возникают в надвнутрузивной области и, скорее всего, обусловлены неоднократным проявлением магматической деятельности (дорудной, интратрудной и пострудной). В таких случаях для расшифровки и интерпретации ореолов рекомендуется использовать комплекс геолого-структурных, минералогических, метасоматических, геохимических и геофизических критериев.*

Свинцово-цинковое месторождение Бозанг находится в пределах Джимидонского рудного поля, приуроченного к одноименному поднятию в восточной части Садоно-Унальского горста. Ядро поднятия сложено метаморфическими породами буронской свиты ( $PR_3-PZ_1$ ) — амфиболитами и кристаллическими сланцами полевошпат-кварц-слюдистого и полевошпат-серицит-хлорит-кварцевого составов. На них с резким угловым несогласием залегает пачка юрских углистых базальных конгломератов. Вверх по разрезу они сменяются вулканогенными породами среднего состава садонской свиты, на которых залегают олигомиктовые кварцевые песчаники мизурской свиты. Выше расположена алевролитно-аргиллитовая толща с прослоями песчаников нижнего и среднего тоара. Магматические образования представлены позднепалеозойскими гранитами и гранодиоритами, а также гранит-порфирами юрской вулканоплутонической ассоциации, вскрытыми на глубоких горизонтах подземными горными выработками [3]. Поднятие осложнено разрывными нарушениями северо-восточного и северо-западного простирания.

Рудная зона Бозанг, имеющая северо-восточное простирание, локализована главным образом в амфиболитах и кристаллических сланцах буронской свиты (рис. 1). На отдельных участках прожилково-вкрапленная кварц-полиметаллическая минерализация проникает в конгломераты базального горизонта и в виде зон прослеживается по восстанию в вулканитах садонской свиты. В южной части нижние рудные уровни частично локализованы в среднеюрских гранитах.

Месторождение Бозанг приурочено к субмеридиональным сдвиговым тектоническим структурам доюрского заложения, пересекающим Джимидонское поднятие с севера на юг. Рудовмещающая тектоническая зона не выходит на поверхность.

Рудные зоны представлены преимущественно крутопадающими жилами, минерализованными зонами дробления и брекчирования вмещающих пород, сопровождаемыми ореолом прожилково-вкрапленной свинцово-цинковой и пирит-кварцевой минерализации.

Главные рудные минералы — сфалерит (марматит и клейофан), пирит, галенит, пирротин, халько-

пирит, второстепенные — арсенопирит, шеелит, гематит, изредка встречаются магнетит, фрейбергит, висмутин, аргентит, блеклые руды, антимонит, киноварь. Из жильных минералов преобладают кварц, кальцит и барит. Подчиненное значение имеют хлорит, мусковит, серицит, эпидот, микроклин, биотит, альбит, актинолит, диопсид, турмалин, кнебелит, доломит, сидерит и др.

Продуктивная свинцово-цинковая минерализация сформировалась на протяжении двух стадий: ранней существенно пирит-сфалеритовой и поздней кварц-галенит-сфалеритовой. К дорудным образованиям относятся ранние полевошпат-кварцевая с шеелитом и пирит-арсенопирит-кварцевая ассоциации. Завершают процесс рудообразования кварц-карбонатные прожилки с баритом и вкрапленностью медового клейофана [2]. Околорудные изменения выражены в окварцевании, хлоритизации, серицитизации и пиритизации вмещающих пород.

В результате геохимических исследований, проведенных на разных гипсометрических уровнях, разработана объемная модель геохимических ореолов месторождения Бозанг [1], на которой отражены: вертикальная зональность геохимических ореолов месторождения; многоярусное строение ореолов с волновым характером проявления вертикальной геохимической зональности; пологопадающие геохимические ореолы и проявление в них продольной латеральной и поперечной вертикальной зональности; положение крутопадающих рудных тел на пересечении с пологопадающими ореольными зонами; контрастные ореолы вольфрама на нижних уровнях зоны в прилегающих к ней пологопадающих структурах, перспективных на обнаружение вольфрамового оруденения; процессы перераспределения вещества с мобилизацией его из рудовмещающих толщ и образованием отрицательных ореолов, последующим переотложением и образованием положительных ореолов в надрудных и фронтальных частях рудоносных структур.

На основе параметров геохимической модели рудной зоны Бозанг разработаны прогнозно-поисковые критерии для данного типа оруденения:

1. Первичные и вторичные (шлихогеохимические) ореолы имеют комплексный состав (Pb, Zn, Cu, Ag, Bi, As, Au, W, Sn, Mo, Ba, B, Mn, Co, Ni, Cr, P, Zr, V, Ti) и зональное строение. Размеры и морфология ореолов соответствуют размерам и морфологии рудоносных структур.

2. Ряды ранжированных по фону элементов характеризуют типоморфные геохимические особенности рудной продуктивной минерализации на раз-

ных гипсометрических уровнях: горизонт 1684 м — Pb (2350) – Zn (980) – As (275) – Ag (236) – Bi (28) – Cu (20) – Au (14) – Sn (13) – W (9) – Mn (6) – Co (3) – Zr, Ni, Cr, V, Mo, Ba, B, Ti, P, Nb, Ga (<1); горизонт 1635 м — Pb (1880) – Zn (1024) – Ag (790) – Bi (252) – As (224) – Cu (204) – Sn (10) – W, Co (3) – Au (4) – Mn (2) – Ni, Cr, V, Mo, Zr, B, Ba, Ga, P, Ti, Nb (<1). Ряды являются количественным параметром, дают представление о геохимической специфике руды и минерально-геохимической зональности оруденения.

3. Околорудные ореолы характеризуются следующими рядами ранжированных элементов: горизонт 1684 м — As (80) – Zn (60) – Pb (19) – Au, Ag (13) – Cu (7) – W (5) – Bi (4) – Sn (3) – Cr, V, Mn (2) – Ni, Co (1,5) – Ti (1) – Mo, B, Ba, P, Zr, Nb, Ga (<1); горизонт 1635 м — Zn (134) – Pb (118) – Ag (109) – Bi (75) – Cu (61) – As (17) – Sn (5) – W (4) – Au (2,3) – Mo, Mn, B (1) – Ba, Zr, P, Ti, Co, Ni, Nb, V (<1). С учетом этих рядов типоморфная геохимическая ассоциация кварц-полиметаллической продуктивной минерализации включает Pb, Zn, Cu, Ag, Bi, As.

4. Вертикальная зональность геохимических ореолов кварц-полиметаллической продуктивной минерализации может быть выражена следующим рядом элементов: As<sub>2</sub>, Ag<sub>2</sub>, Au, B<sub>2</sub> – Pb – Zn, As<sub>1</sub>, Ag<sub>1</sub> – Cu, Bi – Sn, Mo, W – Co, Ni, Cr, B<sub>1</sub>. В ряду зональности отражено наличие двух уровней накопления для Ag, As и B, обусловленное, на наш взгляд, разными минеральными формами нахождения этих элементов на разных гипсометрических уровнях.

5. Мультипликативные показатели, представленные произведением главных рудогенных элементов Pb·Zn·Cu или Pb·Zn·Cu·Ag·Bi со значением соответственно >10 или >100, можно использовать для оконтуривания площадей, перспективных на выявление скрытых рудных зон, и околорудного пространства. За пределами развития рудной минерализации мощность мультипликативных ореолов резко уменьшается.

6. Наличие ореолов выноса из рудной зоны большого количества нетипоморфных элементов — Co, Ni, Mo, V, Ba, участвующих в зональной колонне ореолов, косвенно свидетельствует об интенсивности рудного процесса.

Дополнительную информацию к объемной геохимической модели внесло изучение восточного фланга рудной зоны Бозанг (см. рис. 1). Нами были обработаны и проанализированы предоставленные сотрудниками ФГУПП «Севостгеологоразведка» результаты геохимического опробования выработок (орты 23 и 24 штольни 47, горизонт 1635 м) и их геологическая документация.

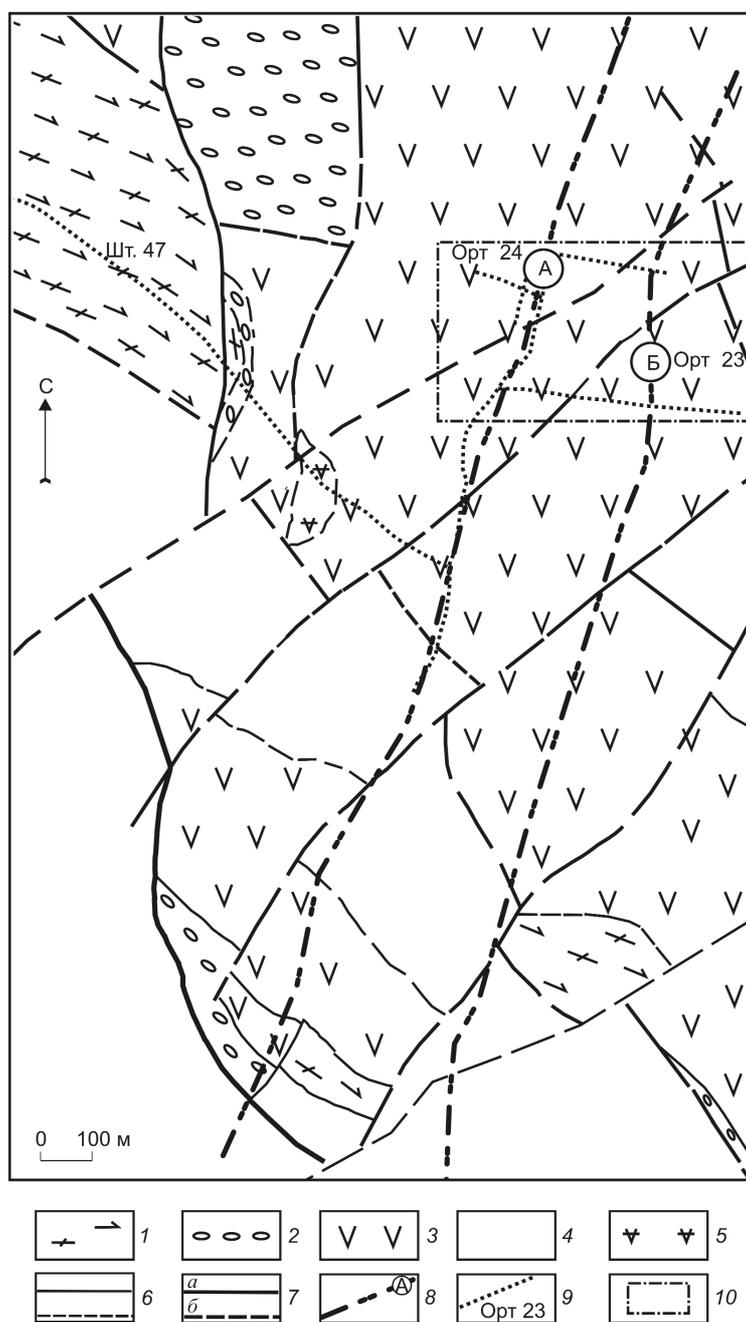


Рис. 1. Геологический план Джимидонского месторождения, по Э.И.Давыдовой, К.В.Давыдову:

породы: 1 — протерозой-нижнепалеозойские кристаллические сланцы, гнейсы и амфиболиты (буронская свита), 2 — нижнеюрские базальные конгломераты (садонская свита, нижняя подсвита), 3 — нижнеюрские покровные эффузивы среднего состава (садонская свита, верхняя подсвита), 4 — ниже-среднеюрская аргиллит-алевролит-песчаниковая толща (мизурская свита), 5 — среднеюрские андезиты (дигорский комплекс); 6 — геологические границы (пунктиром показаны предполагаемые); 7 — крупные (а) и второстепенные (б) разрывные нарушения (пунктиром даны предполагаемые); 8 — осевые части свинцово-цинковых рудных зон Бозанг (А) и Цагарсар (Б); 9 — подземные горные выработки; 10 — исследуемый участок

Рудные образования преимущественно в виде маломощных жил, прожилков и гнезд встречаются на расстоянии 20–30 м друг от друга. Ортом 24 вскрыты:

мощная около 1,5 м пологопадающая (азимут падения 95–100°) рудная жила кварц-хлорит-пирит-сфалерит-галенитового состава, которая, скорее, является апофизой основного рудного тела. Жила со-

проводится пиритизацией, тонкими прожилками, гнездами и вкрапленностью коричневого сфалерита и пирита;

кварц-пирит-сфалеритовая с галенитом жила, которая в направлении к кровле упирается в пологую зону брекчирования и не прослеживается ни в кровле, ни в северной стенке выработки. Сульфиды деформированы, сфалерит — черный тусклый;

пологопадающее тектоническое нарушение (аз. пад.  $260^\circ$ , угол  $55^\circ$ ) мощностью 3–30 см с глиной трения, вкрапленностью пирита и гнездами кварца с вкрапленностью халькопирита и клейофана;

прожилки пирит-халькопирит-сфалеритового, пирит-сфалеритового и кварц-пирит-сфалерит-галенитового составов, пересекающиеся пологими тектоническими зонами (аз. пад.  $250^\circ$  и  $335^\circ$ , угол  $15\text{--}20^\circ$ );

пологое тектоническое нарушение (аз. пад.  $220^\circ$ , угол  $20^\circ$ ) с глиной трения и кварцем с вкрапленностью клейофана;

круто падающее на север тектоническое нарушение с линзами кварца с вкрапленностью галенита и коричневого сфалерита.

В орте 23 продуктивная минерализация представлена:

крутопадающим кварц-хлорит-пирит-сфалерит-галенит-халькопиритовым прожилком мощностью 3–7,5 см (аз. пад.  $110^\circ$ , угол  $84^\circ$ );

крутопадающими тектоническими зонами с ветвящимися кварц-хлоритовыми прожилками с неравномерной вкрапленностью марматита и редкими выделениями галенита и халькопирита;

пологой (аз. пад.  $220^\circ$ , угол  $50^\circ$ ) кварц-карбонатной жилой с редкой мелкой вкрапленностью галенита и клейофана;

круто падающей на запад зоной брекчирования с кварцем, гнездами галенита и сфалерита, секущими прожилками кварца с вкрапленностью темного сфалерита и клейофана;

крутопадающей зоной мелкообломочных брекчий с кварц-карбонатным цементом, незначительной пиритизацией, редкими мелкими гнездами и вкрапленностью галенита и сфалерита;

зоной брекчирования кристаллических сланцев и кварцевых метасоматитов, сцементированных милонитом и кварцем, с вкрапленностью галенита, темного сфалерита и клейофана в кварце и кварц-хлоритовых метасоматитах;

крутопадающей зоной брекчирования и кварцевого прожилкования в амфиболитах с участками пиритизации, биотитизации, эпидот-калишпатовыми гнездами и кварцевой жилой с вкрапленностью пирита, коричневого сфалерита, галенита и реже халькопирита;

крутопадающим кварц-сфалерит-галенитовым прожилком мощностью 10 см;

крутопадающей зоной брекчирования и кварцевого прожилкования с мелкой вкрапленностью и гнездами галенита, сфалерита и халькопирита;

пологопадающим кварцевым прожилком с вкрапленностью клейофана и гнездами гематита.

Таким образом, для восточного фланга рудной зоны характерна напряженная тектоническая обстановка — обилие крутых и пологих трещин с глиной трения и зон брекчирования, смятия, дробления и милонитизации, различно ориентированных с преобладанием северо-западных, северо-восточных, реже субширотных направлений. Зоны часто минерализованы кварцем, хлоритом, карбонатом, пиритом и значительно реже продуктивными сульфидными — сфалеритом (преобладает), галенитом, халькопиритом. Характерны почти повсеместная разной интенсивности пиритизация вмещающих пород (амфиболитов и кристаллических сланцев), развитие кварцевых, кварц-карбонатных, хлорит-кварц-карбонатных гнезд и прожилков иногда с пиритом и редко со спорадической вкрапленностью сфалерита и халькопирита.

Кроме неравномерных хлоритизации, окварцевания и серицитизации, отмечаются гнезда, линзы и полосы наложенной (!) более высокотемпературной минерализации. Развита новообразования эпидота, актинолита, розового микроклина, реже граната по хлоритизированным амфиболитам, на отдельных участках проявлена их биотитизация. Наблюдаются также пострудные низкотемпературные выделения в карбонатных прожилках — розовый манганокальцит, голубовато-зеленый флюорит, изредка барит, по трещинам — примазки гематита. На отдельных участках фиксируется тонкая вкрапленность шеелита как по трещинам, так и в самих вмещающих породах, а также в виде гнезд в породах и прожилках эпидот-калишпатового состава. В последних встречены также гнезда пирротина.

Прогрессивный характер метасоматических изменений (замещение высокотемпературной минерализацией ранних низкотемпературных парагенезисов) может быть связан с положением месторождения Бозанг в надынгузивной области и наличием разновозрастных интрузивных образований. Причем, судя по разрушенному состоянию продуктивной минерализации и свежему неизменному облику высокотемпературных метасоматитов, возможно, имела место пострудная магматическая деятельность. Во всяком случае, приведенные косвенные данные позволяют ставить вопрос об этом.

Рудные образования встречаются на значительном удалении друг от друга, сульфиды часто де-

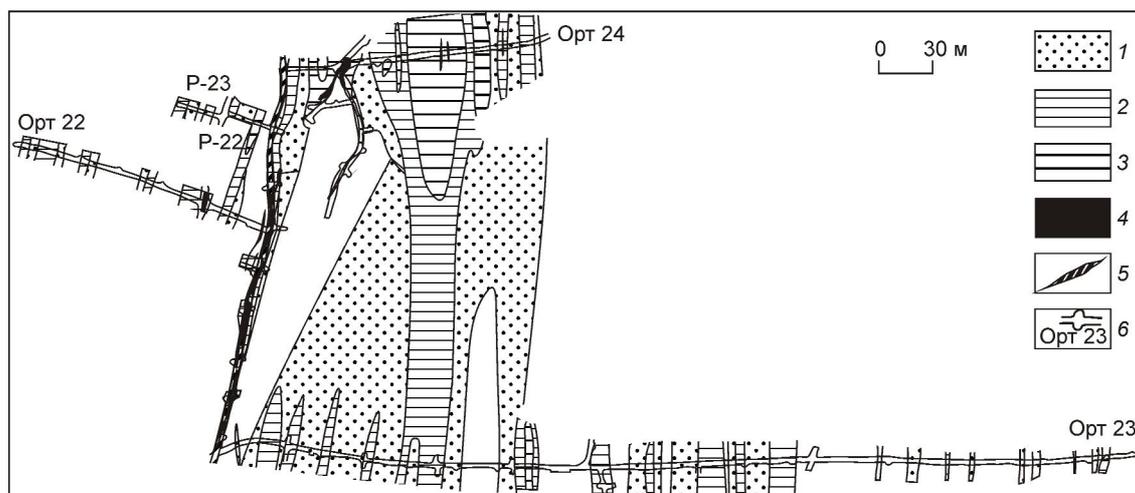


Рис. 2. Околорудные ореолы свинца. Штольня 47, горизонт 1635 м:

содержание Pb,  $10^{-3}\%$ : 1 — 5–9, 2 — 10–50, 3 — 51–490, 4 — >500, 5 — главное рудное тело; 6 — контуры горных выработок

формированы, прожилки иногда срезаются пологими минерализованными зонами, включающими пострудную минерализацию. Разновозрастный характер рудной минерализации — присутствие наряду с парагенезисами продуктивных стадий пострудных кварц-карбонатных прожилков, иногда с манганокальцитом, баритом, флюоритом, галенитом, клейофаном, халькопиритом — отразилось в строении и составе геохимических ореолов. Фланг рудной зоны представляет собой сложный в геолого-структурном и минералого-геохимическом отношении фрагмент, который дополняет объемную модель, ранее созданную для центральной части месторождения, и существенно влияет на разработку прогностико-поисковых критериев.

Геохимические ореолы, вскрытые изучаемыми выработками, имеют комплексный состав — Cu, Zn, Pb, Ag, Bi, As, Sn, Mo, W, Ba, Sr, P, Mn, Co, Ni, Ti, V, Cr.

Большинство рудных прожилков характеризуются высокими содержаниями главных рудогенных элементов, не отмечающимися за пределами самих прожилков и не определяющими размеры, состав и интенсивность сопровождающих их ореолов.

Ореолы свинца (рис. 2) в орте 23 могут быть сгруппированы в ряд аномальных полей, разделенных участками фоновых концентраций и представленных серией сближенных полос среднеконтрастных ореолов, окруженных слабоконтрастными. Аномальные поля сосредоточены преимущественно в западной и центральной частях орта.

На всем протяжении орта 23 прослеживается слабоконтрастный ореол цинка, а также два узких

значительно разобренных среднеконтрастных ореолов (рис. 3).

Полосы средне- и слабоконтрастных ореолов меди мощностью от 5 до 50 м распространены на всем протяжении орта и часто совмещены с ореолами свинца такой же контрастности. Полосы высококонтрастных ореолов меди прослеживаются в восточной части орта, где отмечается убывание размеров и контрастности ореолов большинства элементов, кроме олова и молибдена.

Ореолы серебра большей частью ассоциируют с ореолами свинца, но отличаются меньшими размерами, слабой контрастностью и преобладанием фоновых концентраций над аномальными.

Наиболее крупная аномалия висмута мощностью 30 м расположена в западной части орта, представлена тремя полосами высококонтрастных ореолов, окруженных среднеконтрастным ореолом, и пространственно ассоциирует с ореолами описанных ранее рудогенных элементов, имеющих меньшие размеры.

Высоко- и среднеконтрастные ореолы мышьяка по размерам превышают ореолы всех ранее описанных элементов. Его высококонтрастные ореолы фиксируются в контуре 1-й аномалии свинца и смещены к западу от высоко- и среднеконтрастных ореолов свинца, серебра и висмута.

Широкие полосы слабоконтрастных ореолов сурьмы, содержания которой находятся на пределе чувствительности спектрального метода ( $1 \cdot 10^{-3}\%$ ), совпадают с аномалиями свинца и распространяются восточнее их пределов, уменьшаясь в размерах.

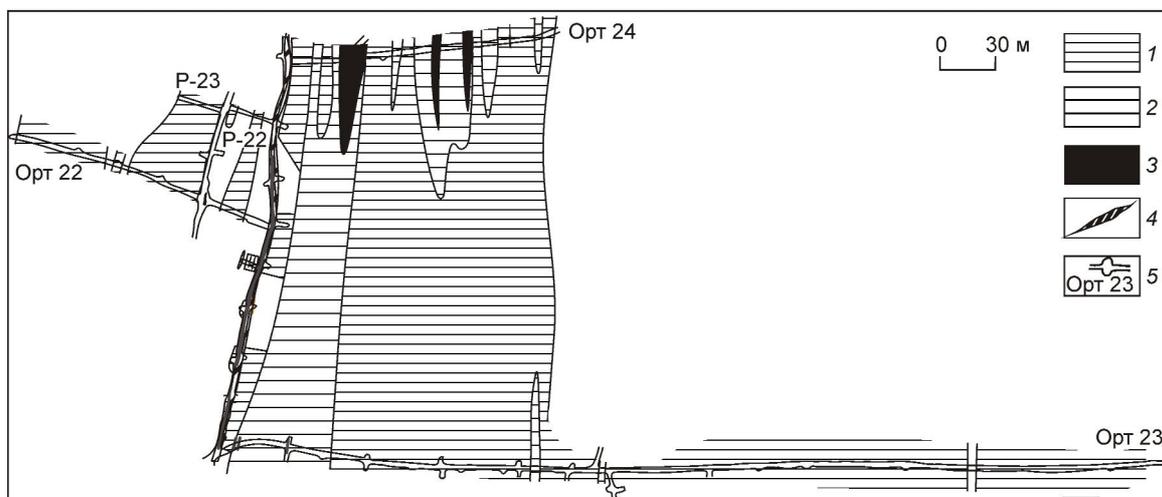


Рис. 3. Околорудные ореолы цинка. Штольня 47, горизонт 1635 м:

содержание Zn,  $10^{-3}\%$ : 1 — 10–50, 2 — 60–300, 3 — >500; остальные усл. обозн. см. рис. 2

Высоко- и среднеконтрастные ореолы бария (рис. 4), изредка с содержаниями от 1% и более, значительно превышают по размерам и контрастности проявления ореолы других элементов. Они распространены преимущественно в западной и центральной частях орта 23 и резко исчезают в восточной его части.

Полосы средне- и слабоконтрастных ореолов стронция, разделенные фоновыми участками, в целом согласуются с положением ореолов свинца, иногда отличаясь в деталях строения.

Довольно крупные по размерам (10–25 м) высококонтрастные ореолы вольфрама (рис. 5) на разных интервалах ассоциируют с высоко- и среднеконтрастными ореолами Pb, Cu, Ba, As, Bi, Sn. Размеры и контрастность ореолов вольфрама уменьшаются в восточной части орта.

Полосы среднеконтрастных ореолов молибдена мощностью 5–10 м, окруженные узкими слабоконтрастными ореолами, отмечаются в западной и восточной частях орта. На всем остальном протяжении орта отмечаются узкие полосы слабоконтрастных ореолов, иногда сближенные, но чаще значительно удаленные друг от друга.

Единичный среднеконтрастный ореол кобальта мощностью 5 м и серия слабоконтрастных ореолов мощностью 5–37 м прослеживаются в западной и центральной частях выработки. Ореолы связаны с участками пиритизации и биотитизации, с развитием кварц-карбонатных прожилков и эпидот-калийшпатовых выделений.

Высоко- и среднеконтрастные ореолы олова распространены практически на всем протяжении выработки.

Для количественной характеристики ореолов были выделены три аномалии комплексного состава: 1-я (интервал 5–130 м), 2-я (157–245 м) и 3-я (250–360 м).

Для аномалии 1 характерен следующий ряд элементов, расположенных по убыванию кларков концентрации (отношение среднеаномального содержания к фоновому): Ag (73) – Pb (11,5) – Ba (10,4) – W (9) – As (7,2) – Sn (6) – Zn (4) – Mo (3) – Cu (2,3) – Sb, Co, Bi (2) – Ni (0,9). К типоморфной геохимической ассоциации, характеризующей аномалию 1, отнесены Ag – Pb – Ba – W – As – Sn. Наличие в последней Ba, W, Sn не свойственно ореолам промышленных рудных тел.

На основе положительных корреляционных связей выделены следующие ассоциации элементов: Pb – Ag – W – Sn, Zn – P – Mn, As – Sb – Mo, Cu – Ba – Sr, Bi – Ag – Mo, Pb – Ag – Mo, Co – Cu – Sn. Как типоморфная геохимическая ассоциация, так и корреляционные связи элементов указывают на совмещение в пространстве разновозрастных рудных и непродуктивных образований.

Ряд элементов по кларкам концентрации в аномалии 2 имеет вид: W (12,6) – Sn (10,8) – Pb (7,9) – Ag (6,6) – Bi (4,9) – Zn, As (4,7) – Cu (3,9) – Mo, Co (2,5) – Ba (2) – Sb (1,8) – Ni (0,9). Контрастное проявление вольфрама в ореолах связано с рассеянной вкрапленностью шеелита во вмещающих породах и прожилках эпидот-полевошпатового состава. К типоморфной геохимической ассоциации можно отнести W – Sn – Pb – Ag.

Положительные корреляционные связи существуют у следующих групп элементов: Pb – Zn – Ni, Pb – Zn – Ag, Zn – Cu – Ag – As, Co – Ni – Mn, Sn –

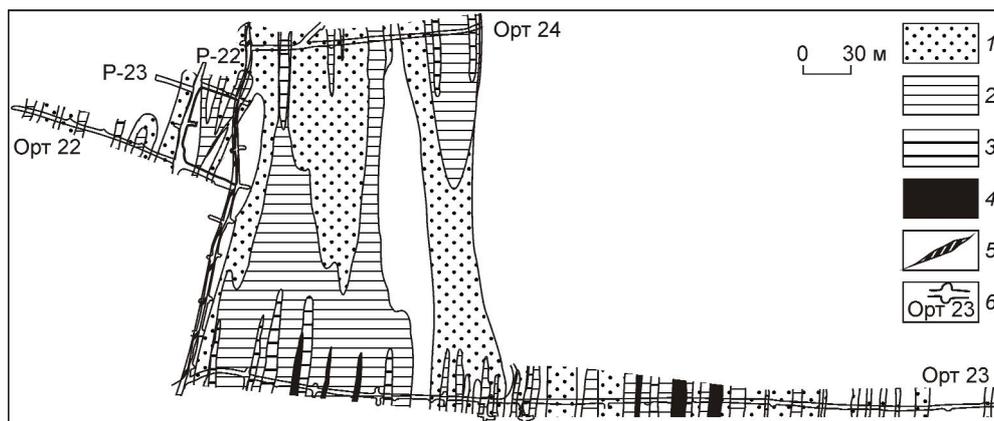


Рис. 4. Околорудные ореолы бария. Штольня 47, горизонт 1635 м:

содержание Ba,  $10^{-3}\%$ : 1 — 50–90, 2 — 100–500, 3 — 600–1000, 4 — >1000; остальные усл. обозн. см. рис. 2

Mo. Кроме того, Sb коррелирует с Co и Ni, W — с Ag, Bi, Sb.

Для аномалии 3 составлен такой ряд элементов по кларкам концентраций: W (14,9) — Sn (8,1) — Ba (6,8) — Pb, Ag (5,6) — As (5,4) — Bi (2,9) — Zn (2,6) — Mo (2,1) — Cu (1,9) — Co (1,7) — Sb (1,5) — Ni (0,98). Типоморфной геохимической ассоциацией является W — Sn — Ba — Pb. Положительные корреляционные связи имеются у следующих групп элементов: Pb — Zn, Pb — Ba — Sr, W — Zn, Ag — Bi — As, Ag — Bi — Sn, Ag — Cu — Co, Cu — Co — Mn.

Во всех трех аномалиях контрастно проявлена непродуктивная минерализация (присутствие W и Sn в типоморфных геохимических ассоциациях), пространственно совмещены высоко- и низкотемпературная непродуктивная минерализация с рудными образованиями, отмечаются положительные корреляционные связи между верхне- и нижнеруд-

ными элементами, что обычно характеризует зоны рассеянной минерализации. Во вмещающих породах наиболее интенсивно проявлены пострудные гидротермально-метасоматические процессы.

В орте 24 штольни 47 участки контрастного проявления комплекса главных рудогенных элементов объединены в две аномалии.

Аномалия 1 (интервал 13–43 м), выделенная в центральной части выработки, представлена высококонтрастными ореолами Pb, Zn, Bi, Cu, Ag, As, Sn, перечисленными в порядке убывания мощностей, среднеконтрастными — W и слабоконтрастными — Sb, Ba, Mo, Co.

Ряд элементов по кларкам концентрации имеет вид: Pb (71) — Zn (69,8) — Ag (23,6) — Bi (6,4) — As, W (6,2), Ba, Sn (5,8) — Cu (4,5) — Ag (2,4) — Mo, Co (2) — Sb (1,8) — Ni (1,2). К типоморфной геохимической ассоциации отнесены Pb — Zn — Ag — Bi — As, W —

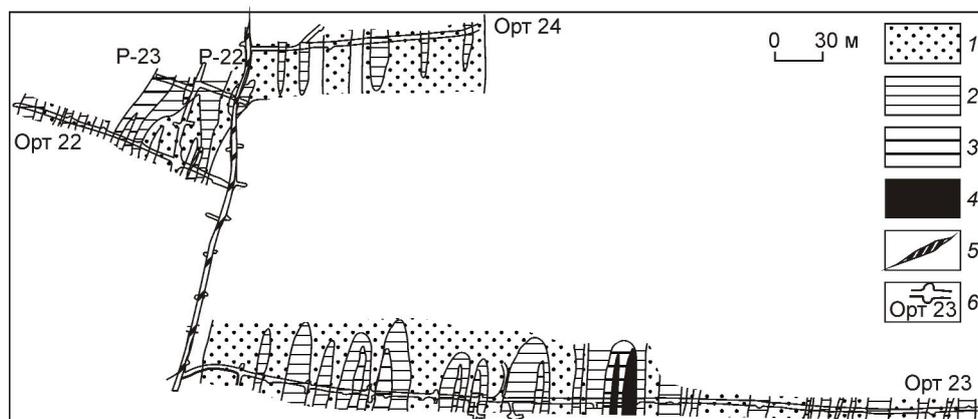


Рис. 5. Околорудные ореолы вольфрама. Штольня 47, горизонт 1635 м:

содержание W,  $10^{-3}\%$ : 1 — 0,5–0,9, 2 — 1–2, 3 — 3–5, 4 — 6–10; остальные усл. обозн. см. рис. 2

Ba, Sn – Cu – Ag. Эти элементы соответствуют проявлению продуктивной минерализации. Присутствие в типоморфной геохимической ассоциации W, Ba и Sn, скорее всего, обусловлено формированием в рудолокализирующей структуре непродуктивных парагенезисов. Положительные корреляционные связи отмечаются у следующих групп элементов: Zn – Ag – Bi, Mn – W, W – Co, Ag – Pb, Sr – Ba.

Высокая комплексность аномалии, преобладание в ней главных рудогенных элементов позволяют оценивать ее уровень как верхне-среднерудный. Судя по положению в пространстве, она, по-видимому, сопровождает рудное тело Основное рудной зоны Бозанг и его апофизу.

Аномалия 2 близко расположена к аномалии 1 (интервал 48–146 м) и имеет более крупные размеры. Она включает фрагменты рудных жил и прожилков с продуктивной минерализацией и пологие минерализованные зоны с пострудными парагенезисами.

Большую часть аномалии занимают слабоконтрастные ореолы сурьмы и высококонтрастные — свинца. С последними местами совпадают средне- и слабоконтрастные ореолы цинка. Строение ореолов меди сходно с таковым цинка. Серебро образует широкий среднеконтрастный ореол в центре аномалии, совпадающий с высококонтрастным ореолом свинца. Высококонтрастные ореолы висмута представлены четырьмя близрасположенными полосами. Среднеконтрастный ореол мышьяка мощностью 22 м включает 5-метровую полосу высококонтрастного ореола и наблюдается в центре аномалии. На восточном фланге отмечаются слабоконтрастные ореолы мышьяка. Три разобщенных полосы среднеконтрастных ореолов вольфрама окружены слабоконтрастным ореолом, занимающим всю площадь аномалии. Олово образует широкий (28 м) среднеконтрастный ореол в центре аномалии и узкий высококонтрастный в ее восточной части, переходящий в среднеконтрастный (15 м).

Остальные элементы проявлены весьма локально. В западной части аномалии повышенные содержания кобальта сосредоточены в полосе мощностью 10 м. В западной, центральной и восточной ее частях наблюдаются три узких слабоконтрастных ореола стронция. Ореолы молибдена на площади аномалии отсутствуют.

Ряд элементов, составленный по кларкам концентрации, имеет следующий вид: Pb (47,3) – Zn (28,9) – Ag (16) – Bi, W (5,7) – As (5,5) – Sn (4,6) – Cu (4,4) – Ba (3,3) – Mo (1,7) – Sb, Co (1,4) – Ni (1). Типоморфная геохимическая ассоциация представлена Pb – Zn – Ag – Bi, W – As – Sn – Cu.

На основе коэффициентов корреляции выявлено большое количество ассоциаций взаимокоррелируемых элементов: Pb – Zn – Cu – Ag – Bi; Pb – Cu – Ag – Bi – Mn; Pb – Zn – Ag – Bi – Sb; Pb – Zn – As – Sb; W – Zn – As; Ba – Sr – Sn; Mo – W – Sn; Zn – As – Mo.

Сопоставление изученных выработок показывает, что в северном направлении увеличиваются размеры ореолов, возрастают содержания главных рудогенных элементов в них и уменьшаются содержания элементов, характерных для непродуктивных ассоциаций. В орте 23 (юг) отмечается относительное накопление W, Ba, Sr, Mo, Sn, в меньшей степени — As, в орте 24 (север) накапливаются Pb, Zn, Cu, Ag, Bi. Такая зональность является, скорее всего, полистадийной и может быть связана с формированием ореолов разновозрастной минерализации в пределах единой структуры. Совместное проявление разновозрастной минерализации отразилось в развитии ассоциаций элементов, характерных для разных уровней ореолов. Контрастные значительных размеров ореолы бария, вольфрама, главных рудогенных элементов над-, средне- и нижнерудных уровней весьма затрудняют прогнозную оценку выявленных аномалий.

Вместе с тем, рудные образования имеют малые мощности и значительно разобщены в пространстве, а крупные ореолы главных рудогенных элементов и их спутников сопровождают проявление рассеянной минерализации. Рассеянный характер минерализации, отсутствие ореолов выноса нетипоморфных элементов (Ba, Co, Ni, V, Mo), обычно сопровождающих промышленные рудные тела, несоответствие значительных параметров ореолов размерам мелких рудных прожилков являются неблагоприятными признаками. Они подчеркивают нарушение закономерностей, установленных для окорудных ореолов промышленного оруденения, и, возможно, связаны с процессами площадного постмагматического гидротермального метасоматоза в около- и надынтризивной областях.

Подчеркнем, что фланговые части рудной зоны характеризуются специфическим строением геохимическим ореолов, расшифровка которых требует учета данных по геолого-структурному строению, метасоматическим изменениям пород и составу имеющейся прожилковой и вкрапленной минерализации. Геохимическими критериями при интерпретации аномалий могут служить ряды элементов, ранжированных по кларкам концентрации, и корреляционные связи элементов.

Полученные данные позволяют рассматривать геохимические ореолы фланговых частей рудной

зоны Бозанг как области широкого совместного проявления рассеянной вкрапленной и прожилково-вкрапленной разновозрастной минерализации (продуктивной и пострудной) в надынтрузивной области.

Таким образом, параметры разработанной ранее объемной геохимической модели рудной зоны Бозанг [1] могут быть дополнены данными по составу, строению геохимических ореолов и минералогическим особенностям флангов рудной зоны. Эти данные необходимо учитывать при поисках скрытых кварц-полиметаллических руд. Площадное проявление над- и околоинтрузивных минерало-геохимических ореолов может мешать выявлению полезного сигнала от скрытых промышленных залежей и приводить к ошибочной (в ту или

иную сторону) прогнозной оценке опосредованной территории.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варгунина Н.П., Данильченко В.А. Объемная модель геохимических ореолов скрытого кварц-полиметаллического оруденения на примере рудной зоны Бозанг (Северная Осетия) // Разведка и охрана недр. 2005. № 7.
2. Свинцово-цинковое месторождение Бозанг, Северная Осетия / М.М.Константинов, Х.Х.Лайпанов, Н.П.Варгунина и др. // Руды и металлы. 2004. № 4. С. 33–48.
3. Скрытые свинцово-цинковые месторождения Садонского рудного района: открытия и перспективы / М.М.Константинов, В.Т.Битаров, Н.П.Варгунина и др. // Отечественная геология. 2003. № 1. С. 31–36.

УДК 553.411 (571.61)

© А.С.Вах, В.А.Степанов, О.В.Авченко, 2008

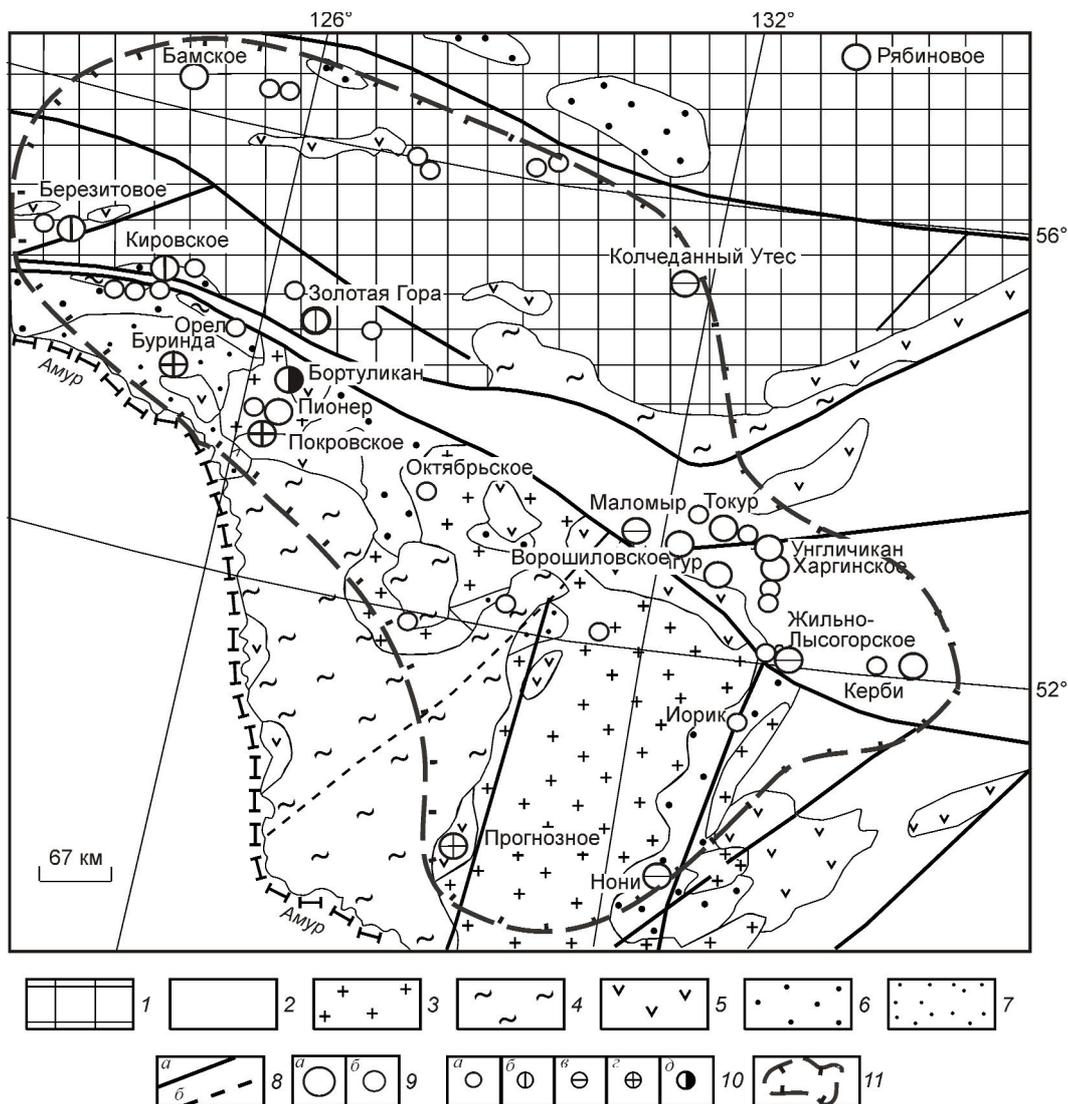
## БЕРЕЗИТОВОЕ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И СОСТАВ РУД

**А.С.Вах (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН),  
В.А.Степанов (Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО  
РАН), О.В.Авченко (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН)**

*Березитовое месторождение мезозойской Приамурской золоторудной провинции располагается в приподнятом блоке основания Алдано-Станового мегаблока, сложенного нижнеархейскими метаморфическими образованиями и раннепротерозойскими интрузивами, прорванными гранитоидами Хайктинского гранитоидного плутона и сериями даек мезозойского, преимущественно раннемелового, возраста. Рудное тело приурочено к обогащенной полиметаллами и золотом центральной части зоны гранат-турмалин-мусковит-кварцевых метасоматитов. Выделены два минеральных комплекса — золото-полиметаллический и золоторудный. Преобладают золото-полиметаллические руды. Содержания Au 2–4 г/т в пирит-галенит-сфалеритовых, 0,1–2 г/т в пирит-пирротин-сфалеритовых рудах. Золоторудный комплекс представлен ограниченно развитыми более поздними кварц-сульфидными прожилками и жилами. Заключительные стадии оруденения связаны со становлением раннемелового Хайктинского интрузивного массива.*

В 2007 г. горно-рудное предприятие ООО «Березитовый рудник», учредителями которого являются ООО «Бурятзолото» и канадская золотодобывающая компания *High River Gold*, приступило к промышленному освоению одного из своеобразных золоторудных объектов Дальнего Востока —

Березитового золото-полиметаллического месторождения. В связи с этим появилась реальная возможность его дальнейшего научного изучения. В ближайшем будущем месторождение может отойти к категории «исчезнувших» (отработанных) геологических природных объектов.



**Рис. 1. Структура Приамурской золоторудной провинции:**

1 — Алдано-Становой геоблок; 2 — Монголо-Охотский геоблок; 3 — выступы фундамента Амурского геоблока; 4 — наложенные мезокайнозойские впадины; 5 — вулканогенно-плутоногенные системы; 6 — периферические прогибы; 7 — внутрикратонные прогибы; 8 — региональные разрывные нарушения (а) в том числе под рыхлыми отложениями (б); 9 — золоторудные объекты (а — месторождения, б — рудопроявления); 10 — типы золоторудных месторождений (а — золото-кварцевые, б — золото-сульфидно-кварцевые, в — золото-сульфидные, г — золото-серебряные, д — золотосодержащие); 11 — граница Приамурской золоторудной провинции

Березитовое золоторудное месторождение расположено на северо-восточном фланге Приамурской золоторудной провинции в бассейне нижнего течения р. Хайкта, крупного правого притока р. Большой Ольдой (рис. 1). Оно выявлено в 1932 г. Ольдойским приисковым управлением в верховьях руч. Константиновский и первоначально называлось Константиновское, а позже было переименовано в Березитовое. С 1934 по 1936 гг. на его территории проводились разведочные работы Дальневосточным геоло-

гическим трестом. В 1960–1962 гг. Амурской комплексной экспедицией Дальневосточного геологического управления проведены поисково-оценочные работы м-ба 1:10 000 (Н.И.Шамбуров, 1963 г.), с 1974 по 1980 гг. — крупномасштабные разведочные работы Березитовой партией Амурской геологоразведочной экспедиции ПГО «Дальгеология». В процессе предварительной разведки (А.К.Иванищенко, 1982 г.) оценены запасы месторождения: Au 42,3 т, Ag 192,2 т, Zn 131 тыс. т, Pb 80 тыс. т.

Березитовое месторождение занимает особое место среди золоторудных объектов Верхнего Приамурья, поскольку представляет собой своеобразный промышленный тип комплексного Au-Ag-Pb-Zn оруденения, который по геологическому строению и составу рудовмещающих метасоматитов не имеет близких аналогов среди полиметаллических и золоторудных месторождений Забайкалья и Дальнего Востока. Его характерная особенность — наличие невысоких, но промышленно значимых концентраций золота (2–4 г/т) в относительно бедных свинцово-цинковых рудах.

Месторождение находится в юго-восточной части Могочинского выступа Алдано-Станового геоблока, в зоне сочленения его с образованиями северного обрамления Монголо-Охотского геоблока. Приурочено к пересечению продольной Сергачинской и поперечной Хайктинско-Лопчинской систем разломов. Структура территории сложная блоково-глыбовая, широко развит мезозойский магматизм.

Березитовое рудное поле расположено в наиболее приподнятом блоке древних метаморфических и магматических пород. С севера и юга блок ограничен соответственно Северо-Сергачинским и Южно-Сергачинским, с запада Хайктинским, с востока Больше-Иличинским разломами (рис. 2). Золоторудная минерализация в пределах рудного поля контролируется внутриблоковыми разломами северо-восточной ориентировки, залеченными серией даек мезозойского возраста. По мнению И.А.Васильева, золотое оруденение связано с раннемеловым порфировым комплексом малых интрузий и даек [1].

Большая часть рудного поля сложена раннепротерозойскими гранитоидами Хайктинско-Орогжанского массива, окаймленными с востока, севера и запада Хайктинской раннемеловой интрузией. В южной части рудного поля распространены нижнеархейские метаморфические образования и метаморфизованные интрузивные породы ультраосновного-основного состава. Метаморфические породы представлены биотит-роговообманковыми гнейсами, кристаллосланцами, реже кордиерит-

силлиманит-гранатовыми гнейсами могочинской серии нижнего архея. Метаморфизованные древние интрузивные породы, относимые к кенгуракскому комплексу раннего архея, представлены габбро-амфиболитами и кварцевыми диоритами. Габбро-амфиболиты в виде узких тектонических блоков отделяют нижнеархейские метаморфические породы от раннепротерозойских гранитоидов. Кварцевые диориты в ксенолитах и незначительных по площади останцах встречаются в апикальных частях массива раннепротерозойских гранитоидов.

Мезозойские магматические комплексы представлены небольшим штокообразным массивом гранит-порфиров, отнесенным к раннеюрскому десовскому субвулканическому комплексу, грубопорфировидными гранодиоритами и гранитами хайктинского комплекса, а также серией даек различного состава и возраста.

Хайктинский массив грубопорфировидных гранодиоритов и гранитов рассматривается как гигантский многокупольный граптолит, имеющий неровную апикальную поверхность с куполовидными выступами, чередующимися с провесами кровли [4]. В северной части рудного поля обнажаются породы Центрального выступа массива, в юго-западной — Лазаревского, в северо-восточной — Ольдойского. По результатам гравиметрических работ предполагается, что массив представляет собой полого погружающуюся на юго-восток пластину с неглубоким залеганием кровли в пределах Березитового месторождения.

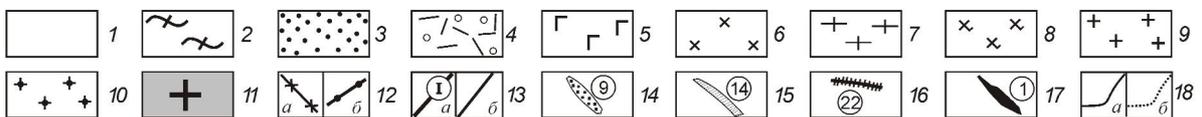
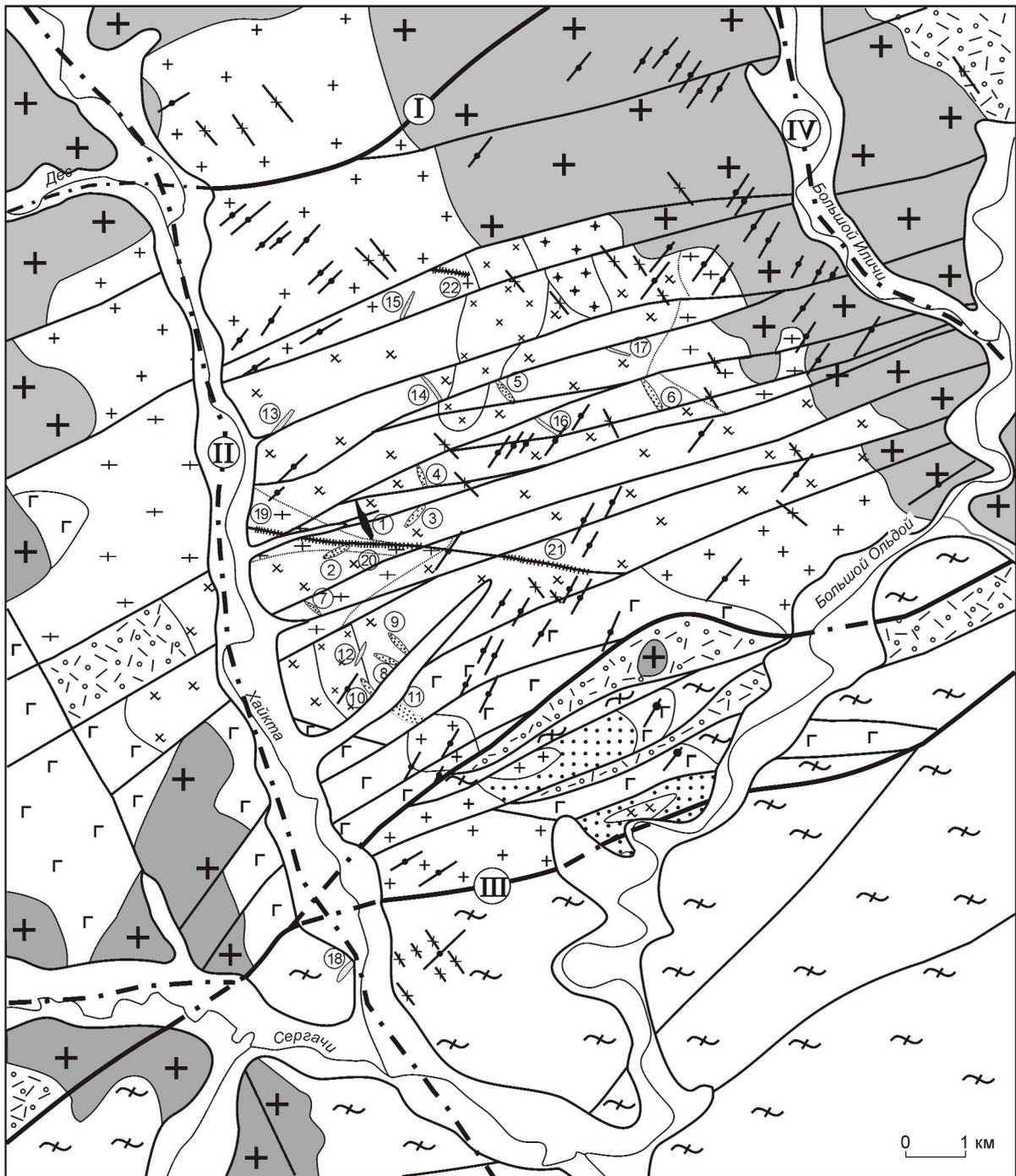
Выявлена принадлежность гранитоидов хайктинского комплекса к позднеорогенным образованиям I типа, формирование которых происходило на заключительных стадиях коллизии в условиях активной континентальной окраины со зрелой континентальной корой. Абсолютный возраст пород Хайктинского массива, основанный на изучении Rb-Sr и Ar-Ar изотопных систем в породообразующих минералах, составляет  $132 \pm 3$  млн. лет, что позволяет рассматривать их как раннемеловые магматические образования [4].

**Рис. 2. Геологическое строение рудного поля, вмещающего Березитовое месторождение:**

1 — четвертичные аллювиальные отложения; 2 — метаморфические породы могочинской серии нижнего архея; 3 — метаморфизованные осадочные породы раннего протерозоя; 4 — вулканогенные образования раннеюрского (?) десовского субвулканического комплекса; метаморфизованные интрузивные породы раннеархейского кенгуракского комплекса; 5 — габбро-амфиболиты, 6 — кварцевые диориты; интрузивные породы раннепротерозойского позднестанового комплекса; 7 — гнейсовидные гранодиориты, 8 — порфировидные гранодиориты и граниты, 9 — лейкократовые и аплитовидные граниты; 10 — раннеюрские гранит-порфиры; 11 — грубопорфировидные гранодиориты и граниты раннемелового хайктинского комплекса; 12 — раннемеловые дайки (а — гранодиорит-порфиры, б — спессартиты и диоритовые порфиры); 13 — разломы региональные (а), второстепенные (б); 14 — зоны метасоматитов ортоклаз-мусковит-кварцевого состава; 15 — зоны дробления, расланцевания и окварцевания пород; 16 — кварцевые жилы; 17 — Березитовое золото-полиметаллическое месторождение; 18 — геологические границы контактов пород (а) и фациальные (б)

В пределах рудного поля широко развиты дайковые комплексы, среди которых встречаются гранодиорит-порфиры и гранит-порфиры, спессартиты и диоритовые порфириты, метагранодиорит-порфиры и метапорфириты. Дайковые тела гранодиорит-

порфиров относятся к заключительной фазе хайкинского комплекса, а спессартиты и диоритовые порфириты выделены в самостоятельный дайковый комплекс нижнемеловых лампрофиров (К.Д.Вахтомин и др., 1981 г.). Возраст гранит-порфиров по ре-



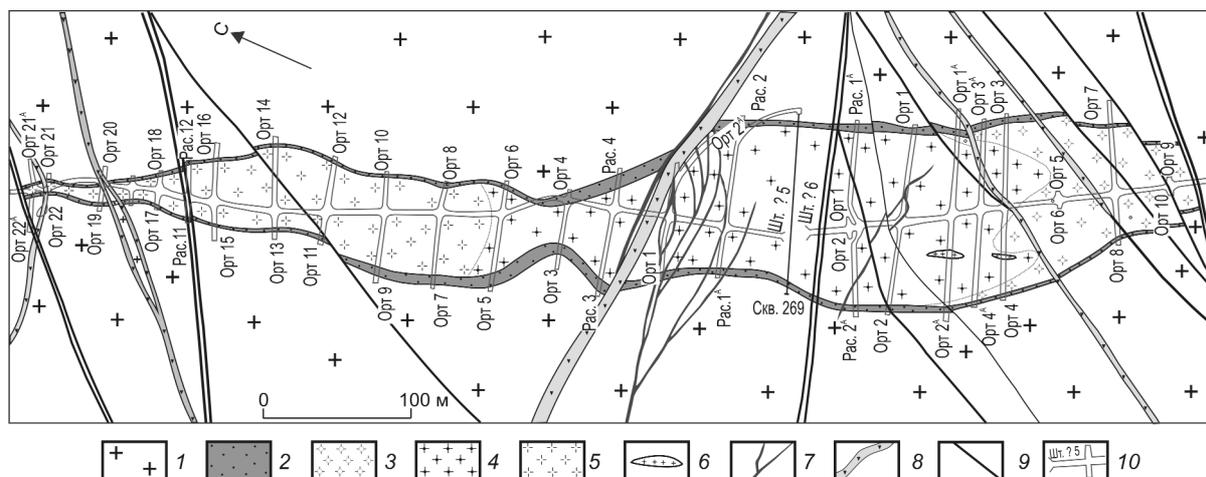


Рис. 3. Геологический план Берзитового месторождения:

1 — раннеархейские порфириновые граниты; типы метасоматитов: 2 — гранат-ортоклаз-биотит-анортит-мусковит-кварцевые, 3 — турмалин-гранат-ортоклаз-мусковит-кварцевые с пиритовой минерализацией, 4 — турмалин-гранат-мусковит-кварцевые с золото-полиметаллической минерализацией, 5 — турмалин-гранат-кварц-мусковитовые с золото-полиметаллической минерализацией; 6 — ксенолиты метасоматически измененных гранодиоритов; 7 — дайки метапорфиритов; 8 — дайки спессартитов и диоритовых порфиритов; 9 — разрывные нарушения; 10 — подземные горные выработки

зультатам единичного валового определения К-Аг методом оценивается в  $112 \pm 1$  млн лет, а спессартитов — 109–107 млн. лет.

Измененные дайковые породы, претерпевшие высокотемпературный метаморфизм, впервые выделены в самостоятельную группу Б.Л.Залищак

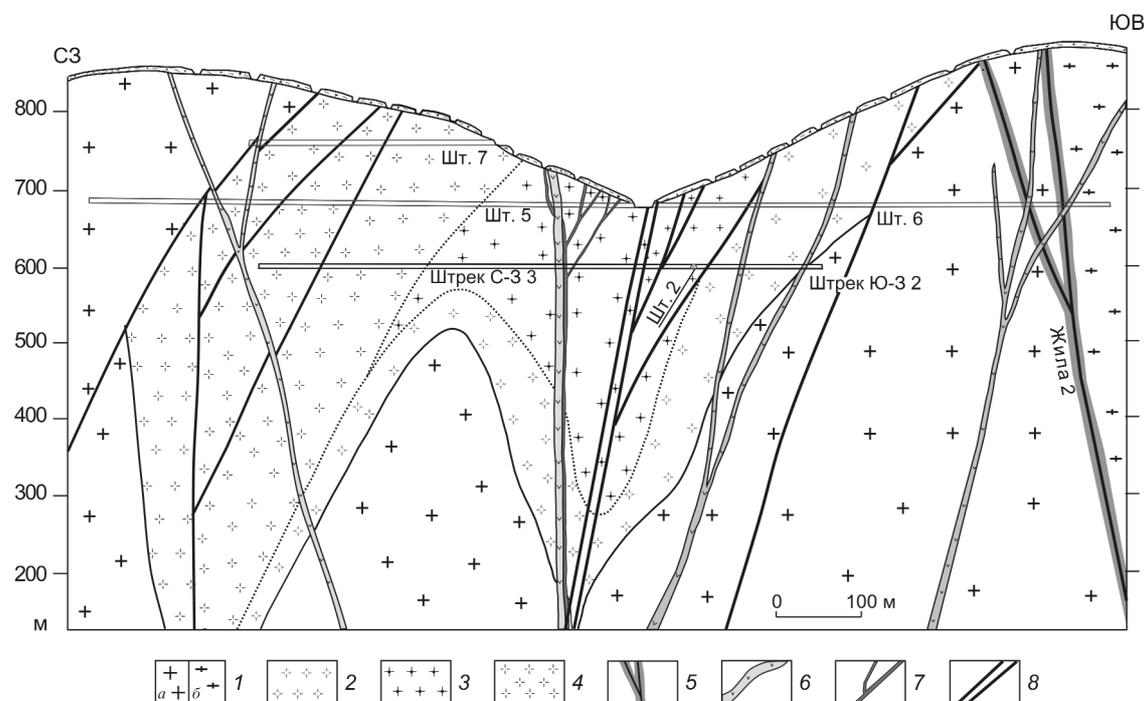


Рис. 4. Продольный разрез Берзитового месторождения:

1 — порфириновые граниты и гранодиориты (а), гнейсовидные гранодиориты (б); метасоматиты: 2 — турмалин-гранат-ортоклаз-мусковит-кварцевые, 3 — турмалин-гранат-мусковит-кварцевые, 4 — турмалин-гранат-кварц-мусковитовые; 5 — кварцевая жила и околожилные мусковит-кварцевые измененные породы; 6 — дайки спессартитов и диоритовых порфиритов; 7 — дайки метапорфиритов; 8 — разрывные нарушения; остальные усл. обозн. см. рис. 2, 3

[5] и описаны как метапорфириты и метагранодиорит-порфиры. По мнению К.Д.Вахтомина (К.Д.Вахтомин и др., 1981 г.), данные образования относятся к раннеюрскому десовскому субвулканическому комплексу.

Метасоматиты слагают линзовидные и линейные зоны субширотного и субмеридионального простириания, а также кварцевые жилы и прожилки.

Березитовое месторождение приурочено к крупной зоне рудно-метасоматических пород сложного состава, локализованной среди раннепротерозойских порфировидных гранодиоритов. В плане зона имеет линзовидную форму, субмеридиональное простириание и крутое падение ( $70-75^\circ$ ) в юго-западном направлении (рис. 3). Длина ее на поверхности достигает 950 м, мощность варьирует от 10–15 до 110 м. Зона объединяет два крутопадающих уплощенных воронкообразных тела, сопряженных вблизи поверхности, но выклинивающихся с глубиной (рис. 4). Осевые части тел локализованы в узлах пересечения субмеридиональной зоны с разрывными нарушениями субширотного направления.

Рудовмещающие породы представлены светло-серыми, зеленовато-серыми массивными, редко сланцеватыми мусковит-кварцевыми метасоматитами. В них гранат и турмалин (до 6%) образуют неравномерно рассеянную порфиробластическую вкрапленность. Иногда встречаются ортоклаз, хлорит, биотит, основной плагиоклаз, цинковая шпинель, гораздо реже эпидот, пренит, апатит, флюорит и графит. В строении рудоносной зоны выделены следующие наиболее часто встречающиеся на месторождении типы метасоматитов (минеральный состав, %):

турмалин-гранат-ортоклаз-мусковит-кварцевые (кварц 45–60, мусковит 25–40, ортоклаз 5–20, основной плагиоклаз № 70–90 3–7, гранат 1–5, турмалин до 1, реже отмечаются биотит и хлорит);

турмалин-гранат-мусковит-кварцевые (кварц 50–65, мусковит 30–45, гранат 1–5, иногда до 7–8, турмалин 1–2, реже встречаются хлорит 0–1, биотит 0–2, ортоклаз 0–3, цинковая шпинель 0–0,5);

турмалин-гранат-кварц-мусковитовые (мусковит 45–60, кварц 35–50, гранат 1–5, турмалин 1–2, хлорит 0–1, биотит 0–2, ортоклаз 0–1, цинковая шпинель, часто зональная, 0–2);

гранат-ортоклаз-биотит-анортит-мусковит-кварцевые (кварц 35–45, мусковит 20–30, анортит 10–20, биотит 5–15, ортоклаз 5–10, гранат 1–2, турмалин 0–0,5, хлорит 0–4);

гранат-мусковит-биотит-кварц-анортитовые — гранатсодержащие метапорфириты (анортит 25–40, кварц 20–30, биотит 15–25, мусковит 5–10, гранат 2–6, хлорит 1–3, изредка отмечается цинковая шпинель).

Метасоматиты первых трех типов слагают основную часть зоны. Первая разновидность характерна для южной ее части, вторая и третья соответственно для центральной и северной. Метасоматиты более сложного гранат-ортоклаз-биотит-анортит-мусковит-кварцевого состава развиты на контакте метасоматических пород первого, второго и третьего типов с вмещающими гранитоидами. Они фиксируются в виде полосы «темных» измененных пород, окаймляющих по периферии метасоматическую зону. Их своеобразие обусловлено появлением в значительных количествах новообразованного плагиоклаза, вплоть до анортита [5]. Гранатсодержащие дайки метапорфиритов распространены в центральной части зоны, образуя сложную сеть маломощных тел. В них присутствуют порфиробластические выделения граната размером до 5–6 мм, что резко отличает их от аналогичных пород рудного поля.

В пределах метасоматической зоны незначительно развиты маломощные жилы и серии прожилков кварц-сульфидного состава, а также тонкие карбонатные и флюоритовые прожилки. Зона метасоматитов рассекается редкими пострудными дайками спессартитов и диоритовых порфиритов, которые не затронуты процессами метасоматоза.

Метасоматиты месторождения содержат рудную минерализацию в виде гнезд, прожилков и рассеянной вкрапленности. К рудному телу отнесена обогащенная полиметаллической минерализацией основная часть метасоматической зоны, в которой по данным опробования содержания золота достигают установленных кондиций. На поверхности рудное тело оконтуривается в виде единой полосы субмеридионального простириания, приуроченной к осевой части зоны.

Наиболее распространенные рудные минералы месторождения представлены галенитом, сфалеритом, пиритом и пирротинитом, второстепенные — магнетитом, халькопиритом, арсенипиритом, марказитом, ильменитом и самородным золотом (таблица). К числу редко встречающихся минералов относятся станнин, шеелит, теннантит, молибденит, гематит, халькозин, самородный висмут\*, висмутит\*, сурьмянистый бурсаит\*, сурьмянистый бурсаит-козалин\*, иорданит\*, буланжерит\*, джемсонит\*. Некоторые

\* Минералы, установленные А.С.Вахом.

## Состав минеральных комплексов Березитового месторождения

Минеральный комплекс, ассоциация	Минералы		
	основные	второстепенные	редкие
Золото-полиметаллический	Пирит, пирротин, сфалерит, галенит, кварц, мусковит, гранат, турмалин	Магнетит, халькопирит, арсенопирит, марказит, ильменит, биотит, хлорит, ортоклаз, анортит, ганит, кальцит	Халькозин, ковеллин, шеелит, гематит, станнин, самородное золото, аргентит (?), эпидот, флюорит, апатит, графит
Золоторудный <i>золото-сульфидная</i>	Галенит	Пирит, халькопирит, арсенопирит, пирротин, магнетит, ильменит, марказит, самородное золото	Самородный висмут, менегинит, Bi-Sb-содержащий бурсаит-козалит, Ag-содержащая блеклая руда
<i>золото-кварц-сульфидная</i>	Пирит, галенит, кварц	Арсенопирит, халькопирит, иорданит, теннантит, сфалерит, марказит, самородное золото, турмалин, биотит	Молибденит, мусковит, кальцит, флюорит
<i>золото-кварц-гранат-сульфидная</i>	Сфалерит, галенит, кварц, гранат	Пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, ильменит, марказит, самородное золото	Станнин, буланжерит, джемсонит, турмалин

исследователи отмечают наличие патронита, шеелита, халькозина, аргентита, висмутина, самородной меди, алтаита, калаверита, киновари, касситерита. Вторичные минералы представлены ярозитом, лимонитом, гидрогётитом, малахитом, ковеллином, халькантитом, англезитом, церусситом, смитсонитом. Мощность зоны окисления на месторождении не превышает 5–7 м.

Руды подразделяются на три основных минеральных типа: пирит-пирротин-сфалеритовый, пирит-галенит-сфалеритовый и пиритовый. В их распределении в пределах зоны отчетливо проявлена горизонтальная зональность. Пирит-пирротин-сфалеритовая минерализация с соотношением в рудах Zn:Pb от 8:1 до 2:1 развита в турмалин-гранат-кварц-мусковитовых метасоматитах северной части зоны. Пирит-галенит-сфалеритовые руды с соотношением Zn:Pb примерно 1:1 локализованы в турмалин-гранат-мусковит-кварцевых метасоматитах центральной части зоны. Существенно пиритовые руды распространены в турмалин-гранат-ортоклаз-мусковит-кварцевых метасоматитах южной части зоны, в окаймляющих зону метасоматитах гранат-ортоклаз-биотит-анортит-мусковит-кварцевого состава и дайках метапорфиритов.

Основные полезные компоненты руд — золото, серебро, свинец, цинк и кадмий. Максимальные содержания в рудах Au 365 г/т, Ag 231 г/т, Zn 10%, Pb 9%. Содержания Cd в сфалерите колеблются от 0,2 до 0,35%.

Золотая минерализация в рудоносной зоне распределена неравномерно. Она локализуется в цен-

тральном и северном участках, приуроченных к узлам пересечения субмеридиональной зоны разломами субширотного простирания. Руды этих участков существенно различаются по количественным соотношениям Au, Ag, Zn и Pb. Для северного участка характерен существенно цинковый профиль руд с отношением Zn:Pb ~5:1 и Au:Ag 1:8–1:9. На центральном участке отношение Zn:Pb близко к единице, а Au:Ag 1:3–1:4. Отмечается определенная зависимость в распределении концентраций рудных элементов: максимальные концентрации Au и Ag совпадают с наиболее высокими содержаниями в рудах Zn и Pb.

В результате проведенных исследований на месторождении установлены золотоносные минеральные образования двух типов, различающихся по геолого-структурным условиям локализации, времени формирования, особенностям вещественного состава и концентрации золота. Это массивные полиметаллические руды (с сопутствующими золотом и серебром) и прожилковые — собственно золоторудные [2]. Геологическим репером, разделяющим золото-полиметаллическую и золоторудную минерализацию, служит внедрение даек метапорфириров. Они не содержат галенит-сфалеритовую минерализацию, однако рассекаются золотосодержащими прожилковыми образованиями. Дайки спессартинов и диоритовых порфириров являются пострудными. Установленные типы золотосодержащих руд отнесены к разностадийным образованиям и выделены в самостоятельные минеральные комплексы — золото-полиметаллический и золоторудный.

*Золото-полиметаллический комплекс* включает золотосодержащие рудно-метасоматические образования с пирит-пирротин-сфалеритовой, пирит-галенит-сфалеритовой и пиритовой минерализацией. Однообразные простые текстуры руд обусловлены неравномерной локализацией гнезд, прожилков и рассеянной вкрапленности сульфидных минералов в метасоматической породе. Размер сульфидных гнезд не превышает 20–30 см, прожилков — 3–5 см. Они сложены крупнозернистыми гранобластовыми агрегатами сфалерита и галенита с неравномерно распределенной более мелкозернистой массой пирита и пирротина.

Золотоносность руд комплекса различна. Наиболее высокие концентрации золота характерны для пирит-галенит-сфалеритовых руд центральной части рудного тела. Содержания Au 2–4 г/т составляют в них 48%. В пирит-пирротин-сфалеритовых рудах северного золоторудного участка концентрации золота значительно ниже. Содержания Au от 0,1 до 2 г/т составляют ~57%, Ag 16–20 г/т — ~32%. Низкие концентрации золота, в среднем от 0,2 до 0,6 г/т, характерны для пиритовых руд южной части месторождения, а также для окаймляющих зону гранат-ортоклаз-биотит-анортит-мусковит-кварцевых метасоматитов.

Таким образом, руды золото-полиметаллического комплекса отличаются сравнительно невысокой, но относительно равномерной золотоносностью. Повышенные концентрации золота (в среднем 2–6 г/т) характерны только для пирит-галенит-сфалеритовых руд центральной части месторождения.

Структуры руд комплекса разнообразны. Наиболее распространены структуры замещения за счет развития агрегатов одних сульфидов по другим. Минералы с высокой кристаллизационной способностью (пирит, магнетит, арсенопирит) часто образуют в других сульфидах метакристаллы и порфиробласты, содержащие овальные включения вмещающих агрегатов.

Наиболее ранние минералы в рудах комплекса — крупнокристаллические сфалерит и галенит. По ним часто развивается пирротин в виде различных по форме неправильных выделений с наличием отчетливых структур замещения. Иногда агрегаты пирротина в виде микропрожилков рассекают кристаллы сфалерита.

В галените, сфалерите и пирротине постоянно отмечаются агрегаты пирита. Выделяются коллоидная и две кристаллические его разновидности — пирит I и пирит II. Пирит I развит весьма незначительно. В полированных шлифах он определяется по отсутствию четко выраженных кристаллических форм. Часто этот минерал замещает-

ся пирротинном или коллоидными агрегатами пирита или марказита. Пирит II распространен в виде равномерно вкрапленных кристаллов (от 0,2 до 2–4 мм) или их сростаний. Часто его единичные идиоморфные кристаллы находятся непосредственно в пирротине и сфалерите. Последние, в свою очередь, содержат овальные включения вмещающих сульфидных минералов.

Сфалерит и пирротин повсеместно замещаются магнетитом, кристаллы которого имеют незначительные размеры (<1 мм) и округлую изометричную форму. В большинстве случаев пирит II замещается магнетитом, однако в отдельных образцах непосредственно в магнетите встречаются мелкие кубические выделения пирита II. Наиболее поздний минерал руд — халькопирит — развивается по всем вышеперечисленным сульфидам.

В рудах комплекса отчетливо устанавливается такая последовательность в смене минеральных ассоциаций: пирит I + сфалерит + галенит → пирротин → пирит II + арсенопирит + магнетит + ильменит → халькопирит. В соответствии с этим выделены два одновременных минеральных парагенезиса: ранний — пирит I-галенит-сфалеритовый и поздний — пирротин-пирит II-магнетит-халькопиритовый.

Отчетливо устанавливается наличие определенной зависимости между концентрациями золота и степенью сульфидности руд. Коэффициент парной корреляции между содержаниями Au и Pb+Zn в наиболее богатых золотом пирит-галенит-сфалеритовых рудах центрального участка составляет 0,44 (при объеме выборки 109 проб и критическом значении коэффициента корреляции >0,19). Более того, чисто сульфидные гнезда или прожилки, как правило, всегда богаче золотом, чем вмещающие их метасоматические породы с рассеянной сульфидной минерализацией.

При детальном изучении полированных шлифов наибольшее число выделений самородного золота обнаружено в агрегатах пирита II. Реже оно отмечается в пирротине и халькопирите. Как правило, самородное золото находится в сульфидах в виде единичных, округлых или каплевидных выделений, максимальный размер которых <0,1–0,2 мм. Аналогичные, но еще более мелкие агрегаты самородного золота выявлены и в магнетите. Размерность основной массы самородного золота, выделенного из полиметаллических руд путем химического растворения сульфидов в кислотах, составляет <0,05 мм, что подтверждает данные микроскопического изучения руд.

В минералах раннего парагенезиса — галените и сфалерите — выделений самородного золота не

обнаружено. Результаты пробирного анализа монофракций галенита и сфалерита также в большинстве случаев указывают на низкие содержания золота. По результатам нейтронно-активационного анализа мономинеральных фракций в пирите II концентрации Au колеблются от 0,2 до 151 г/т (среднее 15 г/т), Ag от 0,1 до 1490 г/т (среднее 80 г/т). В то же время, содержания Au в галенитах не превышают 1,2 г/т, Ag 900–2000 г/т.

*Золоторудный комплекс* представлен различными по составу кварцевыми прожилками и маломощными жилами, секущими золото-полиметаллические образования. Прожилки с высокими содержаниями золота и серебра приурочены к субширотным разрывным нарушениям и развиты в пределах центрального и северного участков. Они фиксируются не только в рудно-метасоматической зоне, но и во вмещающих ее раннепротерозойских порфировидных гранодиоритах.

В составе комплекса выделяются золото-сульфидная, золото-кварц-сульфидная и золото-кварц-гранат-сульфидная минеральные ассоциации, характеризующиеся высокой золотоносностью.

Золото-сульфидная ассоциация проявлена в дайках метапорфиров, а также во вмещающих гранитоидах. Тонкие прерывистые сульфидные прожилки приурочены к субширотным трещинам скалывания или отрыва. Их мощность редко  $>2$ –10 мм. Прожилковидные выделения сульфидов обычно сопровождаются вкрапленной минерализацией.

Содержание основного рудного минерала — галенита — в прожилках достигает 70–90%, менее развиты пирит и халькопирит, отмечаются пирротин, магнетит, ильменит, арсенопирит, сульфосоли свинца и самородное золото.

В пределах рудоносной зоны участки локального проявления золото-сульфидной ассоциации фиксируются с трудом. Наиболее отчетливо прожилковая существенно галенитовая минерализация наблюдалась только в северной части рудной зоны, где в метасоматической породе гнездовидные выделения массивных пирротин-сфалеритовых руд пересекаются линзовидными и прожилковидными выделениями мелкозернистого галенита.

Самородное золото в рудах ассоциации, как правило, находится в тесных сростаниях с галенитом, образуя в нем мелкие выделения часто округлой изометричной формы. Размер золотинок не превышает десятых долей миллиметра (редко 1–2 мм). Иногда его выделения отмечаются в виде крупных прожилковых агрегатов в микротрещинах арсенопирита, а также пирита и пирротина (рис. 5).

Золото-кварц-сульфидная ассоциация слагает серии маломощных кварц-сульфидных прожилков и

жил (мощностью от первых сантиметров до 20–80 см) в метасоматитах и вмещающих гранитоидах. Прожилки и жилы приурочены к субширотным крутопадающим маломощным зонам дробления, а также к тектоническим контактам даек метапорфиров с метасоматитами. По данным бороздового опробования содержание Au от 5–10 до первых сотен грамм на 1 т. В кварц-сульфидной жиле получено наиболее высокое в рудах содержание Au — 365 г/т. Эта проба была отобрана за контуром золото-полиметаллических руд на границе контакта метасоматической зоны и вмещающих ее гранодиоритов.

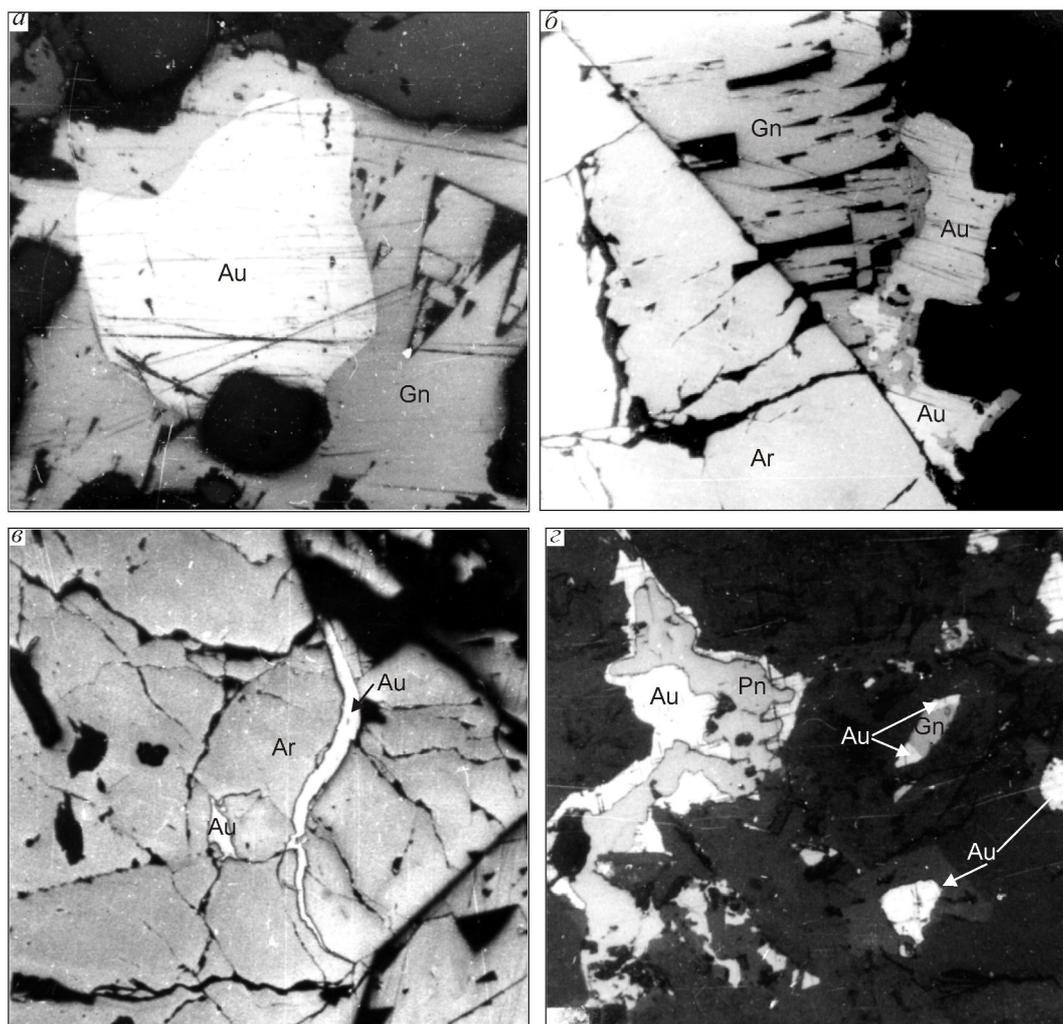
Прожилки и жилы сложены светло-серым, участками друзовидным кварцем с неравномерно распределенной вкрапленной сульфидной минерализацией. В их составе часто отмечаются угловатые обломки вмещающих пород, а также единичные крупночешуйчатые агрегаты биотита и черного турмалина. Контакт с вмещающими породами четкий, в гранитоидах сопровождается кварц-мусковитовой оторочкой мощностью 1–3 см. В метасоматических породах околорудные изменения в зальбандах прожилков выражены крайне слабо.

Главные рудные минералы — пирит и галенит. Галенит в отдельных кварцевых прожилках резко преобладает над пиритом. Образует крупные, почти мономинеральные выделения или мелкие обособления неправильной формы среди других минералов. Часто в виде мелких пойкилитовых включений встречается в зернах кварца. Пирит представлен преимущественно мелкими кристалликами размером до 2 мм.

Второстепенные минералы — арсенопирит и халькопирит. Арсенопирит образует мелкие неправильной формы выделения между зернами кварца, иногда в тесных сростаниях с пиритом. В отдельных рудных телах широко развиты блеклая руда (теннантит) и иорданит [3]. В единичных зернах встречаются чешуйки молибденита размером 0,2–0,6 мм.

Самородное золото присутствует преимущественно в виде мелких выделений, часто видимых только под микроскопом. По замерам 37 золотинок в полированных шлифах на долю весьма мелкого золота ( $<0,1$  мм) приходится 65–70%, крупные золотины (0,3–1,0 мм) составляют не более 10%.

Самородное золото наблюдается в кварце, реже в пирите, галените, арсенопирите. Отмечаются и совместные сростания самородного золота с иорданитом. Размер золотинок колеблется от 0,002 до 1–2 мм. Чаще всего встречаются комковидные, прожилковидные, реже пластинчатые, округлые формы золотинок. Наблюдаемые взаимоотношения золота с сульфидными минералами свидетельствуют о близкоодновременном их образовании. Более позднее



**Рис. 5. Самородное золото в рудах золото-сульфидной ассоциации:**

*а, б* — включения золота в галените; *в* — микропрожилков золота в арсенопирите; *г* — замещение пирротина самородным золотом, а также мелкие выделения золота, в том числе в сростаниях с галенитом

отложение золота по отношению к арсенопириту и крупнозернистому галениту установлено лишь в одной кварцевой жиле, находящейся в северной части месторождения. Агрегаты самородного золота тяготеют к участкам развития микротрещин в этих минералах, рассекают и цементируют их.

Золото-кварц-гранат-сульфидная ассоциация развита только в пределах рудоносной зоны. С ней связаны наиболее высокие содержания золота (от первых десятков до первых сотен грамм на 1 т). Ассоциация представлена кварц-гранат-сульфидными прожилками мощностью не более первых десятков сантиметров, приуроченными к разрывным нарушениям субширотного направления. Центральную часть прожилка обычно составляют массивные или полосчатые сульфидные руды, краевую — кварц-

гранатовые агрегаты с вкрапленной сульфидной минерализацией. В некоторых случаях маломощные прожилки существенно кварц-гранатовые с убогой рассеянной сульфидной минерализацией.

Кварц-гранатовые образования состоят из граната (60–70%) и кварца (30–40%). Зерна граната корродированы кварцем и насыщены многочисленными включениями рудных минералов, чем существенно отличаются от гранатов рудоносных метасоматитов. Кварц-гранатовые образования повсеместно содержат обильную рассеянную вкрапленность рудных минералов (галенит, сфалерит, пирит, марказит, магнетит, арсенопирит, ильменит, сульфосоли свинца, станнин и самородное золото), которые располагаются в агрегатах граната и кварца.

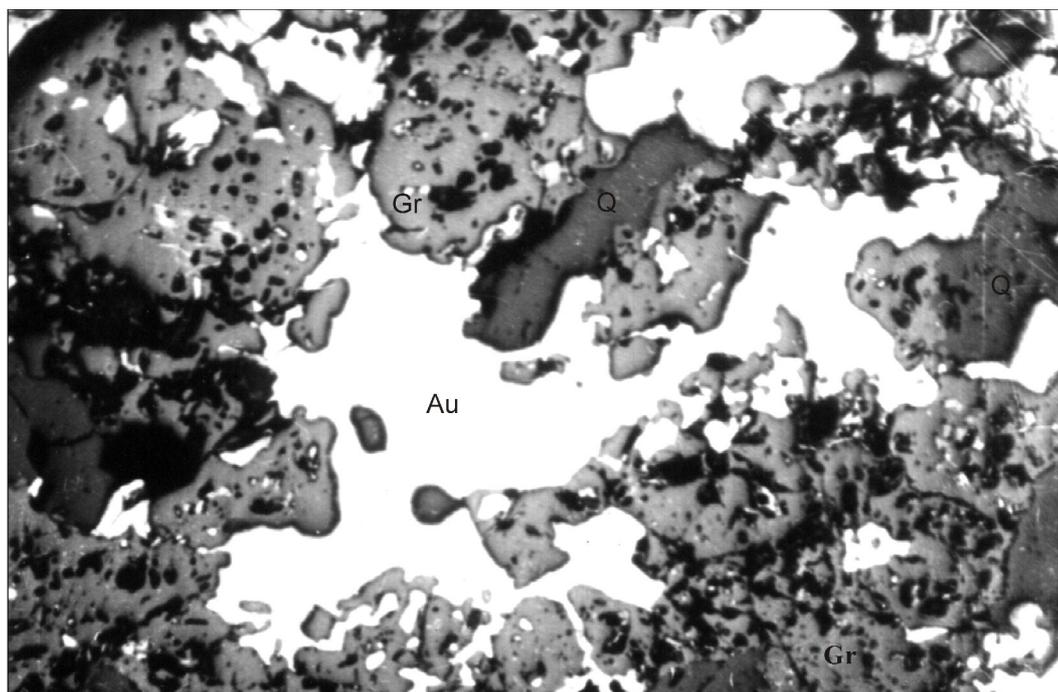


Рис. 6. Выделения самородного золота среди корродированных зерен граната

Полиметаллические руды центральной части прожилков по составу не отличаются от вмещающих руд золото-полиметаллического комплекса. Основной рудный минерал — сфалерит — представлен железистыми, темноокрашенными разностями, встречаются галенит, пирит, пирротин. В рудных минералах отчетливо проявлены признаки динамометаморфизма.

Самородное золото сосредоточено главным образом в кварц-гранатовых оторочках. Формы его выделений округло-изометричные, пластинчатые, ажурные, нитевидные, иногда кристаллические, цвет — от светло-желтого, иногда почти белого, до буро-желтого. Наряду с микроскопическими выделениями основной массы золота, весьма часто отмечаются и видимые золотины размером до 3–5 мм. Золото выполняет межзерновые пространства в агрегатах граната. Микровключения золота фиксируются и в самих зернах граната (рис. 6). Агрегаты золота часто находятся в тесных срастаниях с сульфидными минералами, а также в виде микровключений в них. Таким образом, наличие самородного золота как в массивных полиметаллических, так и секущих их прожилковых телах следует рассматривать в качестве главного отличительного признака золотой минерализации Березитового месторождения.

Совмещение на отдельных участках месторождения разнотипных золотоносных образований

определяет сложный характер размещения золотой минерализации в рудоносной зоне. Аномально высокие содержания золота в золото-полиметаллическом рудном теле, приуроченном к узким субширотным разрывным структурам, обусловлены наличием прожилков золоторудного комплекса. Наиболее ярко совмещение обоих золотоносных комплексов проявлено в пределах центрального участка месторождения. В северной части зоны золотоносные прожилки совмещены с сереброносными полиметаллическими рудами пирит-пирротин-сфалеритового состава, и золотоносность северного участка связана с развитием прожилковых образований золоторудного комплекса.

Проведенными исследованиями показано, что золоторудные образования Березитового месторождения представлены двумя разновозрастными минеральными комплексами — золото-полиметаллическим и золоторудным, различающимися по структурной позиции, морфологии и содержаниям золота. Наличие на месторождении золотой минерализации как в массивных полиметаллических, так и секущих их прожилковых телах следует рассматривать в качестве основной особенности, характеризующей золотое оруденение данного объекта. Прожилковые руды золоторудного комплекса, помимо структурных и морфологических особенностей, обладают специфическими минералого-

геохимическими признаками, которые выражаются наличием в их составе минералов из группы сложных сульфосолей (не характерных для основной массы полиметаллических руд), а также появлением золотосодержащего галенита с высокими концентрациями серебра и висмута.

На основании полученных данных авторы считают, что в генетическом отношении золотая минерализация в полиметаллических рудах Березитового месторождения, вероятнее всего, имеет наложенный характер. Ее формирование обусловлено наложением на более ранние полиметаллические руды более поздних гидротермальных золотоносных растворов, циркулировавших в субширотных рудоподводящих структурах. При этом процессе происходило, с одной стороны, обогащение ранних сульфидных руд золотом, с другой — селективная мобилизация определенных рудных элементов из сульфидных масс и их переотложение на заключительной стадии в рудах золоторудного комплекса (часто в виде минералов из группы сложных сульфосолей).

Пространственная совмещенность разнотипного и, возможно, разновозрастного золотого и полиметаллического оруденения позволяет авторам отнести Березитовое месторождение к сложному по составу полигенному и полихронному объекту, формирование которого на заключительной стадии

тесно связано со становлением хайктинского интрузивного комплекса раннемелового возраста.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 08-05-00106-а.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев И.А., Старк А.Г., Степанов В.А. Золотая минерализация Сергачинской металлогенической зоны (Верхнее Приамурье) // Генетические типы и закономерности размещения месторождений золота Дальнего Востока. Новосибирск, 1976. С. 98–104.
2. Вах А.С. О соотношении полиметаллической и золотой минерализации на одном из месторождений Верхнего Приамурья // Минеральные типы рудных месторождений в вулканогенных поясах и зонах активизации Северо-Восточной Азии. Владивосток, 1983. С. 162–169.
3. Вах А.С., Сапин В.И. Новая находка иорданита в рудах из золото-полиметаллического месторождения // Докл. АН СССР. 1984. Т. 276. № 2. С. 446–450.
4. Геология Хайктинского интрузивного комплекса (Верхнее Приамурье) / В.Е.Стриха, Н.Н.Петрук, К.Д.Вахтомин и др. // Тихоокеанская геология. 2000. № 5. С. 25–37.
5. Залищак Б.Л. Условия образования анортитизированных гранодиоритов — нового типа метасоматитов // Термобарогеохимия в геологии. Владивосток, 1978. Т. 1. С. 141–143.

УДК 553.661.4 (470.55/58)

© А.В.Кочергин, 2008

## ВЗАИМООТНОШЕНИЯ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗООКСИДНЫХ ПИГМЕНТНЫХ РУД ЗИГАЗИНО-КОМАРОВСКОГО РУДНОГО РАЙОНА, ЮЖНЫЙ УРАЛ

**А.В.Кочергин (Южный федеральный университет)**

*На основе текстурно-структурного анализа тонкодисперсных железистоокисных руд Зигазино-Комаровского района показаны взаимоотношения типов руд и последовательность рудообразования. Установлено, что руды полигенны и полихронны. К наиболее древним относятся турьиты. Желтые пигментные руды (охры) сформировались позже за счет перекристаллизации и очищения турьитов и коричневых охр. Процесс рудообразования завершился формированием залежей плотных буро-железистых руд.*

Формирование тонкодисперсных железистоокисных охристых руд в корках выветривания традиционно связывается с одностадийным окислением первичного железосодержащего субстрата. При

этом различия в минеральном составе и свойствах этих руд объясняются колебаниями в распределении примесей первичного субстрата. В ходе проведения прогнозно-поисковых работ на пигментное

сырье на Южном Урале нами получены данные, свидетельствующие о том, что образование различных типов пигментных железоксидных руд происходило в течение нескольких этапов под действием различных геологических процессов.

Автор участвовал в работах по оценке состояния и перспектив развития минерально-сырьевой базы природных пигментов и наполнителей Республики Башкортостан и поисках на Туканской площади. Помимо собственной геологической документации, обобщены фондовые и архивные материалы, выполнен комплекс лабораторных исследований, включающий электронную и оптическую микроскопию, рентгеноструктурные, термические, термобарогеохимические, химические анализы, технологические испытания.

На западном склоне Башкирского Урала в Зигазино-Комаровском районе в полосе длиной около 40 км от пос. Тара на юге до р. Инзер на севере расположено рудное поле, включающее 24 сближенных месторождения бурых железняков [2]. Кроме плотных руд, используемых в металлургии, здесь широко развиты тонкодисперсные разности, представляющие интерес в качестве сырья при производстве железоксидных пигментов [1, 3]. Большое содержание пигментирующих компонентов, чистота в отношении вредных примесей обуславливают высокое качество получаемых на их основе железоксидных пигментов коричневого, желтого, красного спектров.

Зигазино-Комаровский район находится в центральной части Башкирского мегантиклинория в пределах Туканского пакета пластин Юрматаского антиклинория, представляющего собой серию тектонических чешуй. Последние сложены дислоцированными среднерифейскими образованиями авзянской и зигазино-комаровской свит, надвинутыми на отложения кужинской, бретьякской и биктимировской свит, смятые в пологие брахиморфные складки. Залегание пород в аллохтонных структурах пакета пластин крутое, часто запрокинутое к западу. Широко развиты разрывные нарушения субмеридионального простирания и узкие, вытянутые в том же направлении складчатые дислокации. Чешуйчатое строение пакета пластин обуславливает повторение, порой неоднократное, отдельных толщ и горизонтов [6, 8].

Локализация оруденения контролируется стратиграфическими, литологическими, тектоническими и гипергенными факторами.

Стратиграфический и литологический факторы выражаются в приуроченности рудных залежей к площадям развития отложений катаскинской подсвиты авзянской свиты и туканской подсвиты зига-

зино-комаровской свиты. Наиболее благоприятны горизонты переслаивания обломочных доломитов и углисто-глинистых сланцев [7]. С литологическим и стратиграфическим контролем оруденения связано линейное расположение месторождений бурых железняков.

Тектоническим фактором определяется приуроченность месторождений к синформным структурам. В пределах отдельных чешуй, слагающих синформы, рудные тела картируются преимущественно в сводовых частях принадвиговых антиклиналей и в деформированных западных крыльях последних [6]. Наблюдается корреляция основных параметров рудных тел (мощности, содержания железа) со степенью дислоцированности пород.

Гипергенный минерагенический фактор выражен отчетливой ассоциацией рудных тел с олигоцен-миоценовыми корами выветривания низинного типа. Коры выветривания занимают не менее 75% площади изучаемого района. Они сложены белочетными и пестроцветными песчано-алевритисто-каолинит-гидрослюдистыми образованиями с отчетливой реликтовой полосчатой структурой, получившими в литературе наименование «беляки». Глубина развития кор выветривания варьирует от первых метров до 170 м, но в целом контролируется абсолютной отметкой 540 м.

Морфология рудных тел обусловлена характером пликативной и дизъюнктивной тектоники вмещающих комплексов. Резко преобладают субпластовые тела, субсогласные со структурным планом вмещающих комплексов [2, 3, 5]. В массивных карбонатах нами встречены жилообразные тела, секущие слоистость первичных карбонатов, а в их кровле — пластообразные залежи невыдержанной мощности. Секущие тела приурочены к трещинам отрыва в сводовых частях локальных антиклинальных структур второго порядка, пластообразные — к трещинам отслоения.

Мощности рудных тел варьируют от 0,1 до 10 м, обычно составляя 1–3 м. Единичные рудные тела прослеживаются на первые сотни метров, в редких случаях — до 1 км. Мощности отдельных тел относительно выдержаны, однако нередки резкие раздувы и пережимы.

В пределах одного объекта картируются две–три рудные пачки, сложенные сближенными рудными телами. Число рудных тел в пачке может колебаться от одного до семи, но в большинстве случаев наблюдаются три–четыре сближенных тела. Пачки прослеживаются на расстояние от 0,3 до 4 км.

Вертикальный размах оруденения значительный. На Туканском месторождении бурые железняки подсечены скважинами на глубинах >170 м.

Химический состав руд Зигазино-Комаровского рудного района, %

Типы руд и железистых карбонатов	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	CO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O/ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Сидериты	43–47	3–6	0,4–0,6	0,2–1,2	31–35	3–16	2–6	0,02–1,5	0–2,4	–
Анкериты	8–8,7	0–6	28–30	1–12,3	–	1–18	0,2–2	0–1,5	0–3,1	–
Турьиты	0,07–2,15	60–83	0,8–1,3	Следы– 0,3	0,1–0,9	0,5–14	0,7–7,3	0,2–1,6	0–2,3	0,9–1,1
Коричневые охры	0,01	60–82	0–0,7	0–1,5	0,1–0,9	0,3–8,7	2–6	0,2–1,4	0,8–2,3	1,3–1,9
Желтые охры	0,01	60–82	0–0,8	0,09–0,1	0,1–0,9	0,3–16	0,1–0,3	0,1–1,3	1–2,3	1,2–1,9
Плотные руды	0,01–1,4	83,5	0–1,0	0–1,5	–	0–30	0,1–12	0–2,1	0–3,4	1,3–1,5

Рудные тела бурых железняков состоят из плотных и тонкодисперсных (пигментных) руд. С ними непосредственно сопряжены тела сидеритов и анкеритов. Тонкодисперсные пигментные железоксидные руды разделяются на три типа [1, 3]: турьиты, коричневые и желтые охры.

Турьитами по аналогии с Алапаевским и Бакальским рудными районами названы аргиллитоподобные тонкомикрополосчатые матовые темно-серые окси-гидроксидные руды железа [2]. На их основе получены специфические лессировочные пигменты с характерным зеленовато-желтым разбелом, представляющие интерес в производстве некоторых видов лакокрасочных материалов [4]. Под оптическим микроскопом видно, что турьитовые руды выполнены мелкохлопьевидными агрегатами окси-гидроксидов железа, содержащими включения кварца размером 0,1–0,3 мм.

Электронномикроскопическими исследованиями установлено, что турьиты состоят из округлых частиц размером 100–200 нм, сложенных уплощенными лапчатыми агрегатами кристаллитов альфа гидроксида железа размером 10–70 нм. Высокая дисперсность обеспечивает интенсивное поглощение света и серо-черный цвет руды в полном тоне, а игольчатая форма частиц — желтый цвет в разбеле. Помимо гидроксидов железа, турьиты содержат гексагональные и неправильные выделения кварца, аналогичные таковым в сидеритах, а также прожилки кварца в рубашке белого галлуазита. По содержанию марганца турьитовые руды разделяются на марганцовистые (3,6–4,8, редко до 6,2% MnO) и немарганцовистые (0,7–1,3% MnO). При этом содержание марганца в пределах одного тела стабильно. Рентгеноструктурным анализом в турьитах обнаружены бёмит, гиббсит и шамозит.

Коричневые пигментные руды (коричневые охры) распространены весьма широко. Визуально — это аргиллитоподобные тонкополосчатые породы от шоколадно-коричневого до серовато-коричневого, светло-коричневого цвета. В разбеле всегда на-

блюдается характерный сероватый оттенок. Охры сложены округлыми и приплюснuto-эллипсоидальными агрегатизированными частицами размером 250–450 нм, состоящими, в свою очередь, из дисперсных до ультрадисперсных марганцовистых альфа гидроксидов железа (примесь марганца и обуславливает коричневый цвет), содержание которых достигает 94% от объема породы (таблица). Помимо гидроксидов железа, в охрах присутствуют гидрослюды, каолинит и выделения кварца, морфология которых аналогична таковой в турьитах и железистых карбонатах. Рентгеноструктурным анализом установлено наличие гиббсита, шамозита, галлуазита, гематита.

Желтые охры — наиболее ценное пигментное сырье. Это аргиллитоподобные тонкополосчатые породы от темно-желтого до желтовато-коричневого цвета с характерным зеленоватым оттенком. Скопления чисто желтых пигментных руд относительно редки. Как и коричневые, желтые охры сложены альфа гидроксидами железа, но анализы пигментной фракции показывают значительное обеднение их MnO (см. таблицу). Для желтых охр характерны уменьшение агрегатов до 100–200 нм, появление игольчатых индивидов. В них также присутствуют гидрослюды, каолинит, галлуазит, кварц в выделениях, аналогичных таковым в карбонатах, турьитах и коричневых охрах, следы гиббсита и шамозита.

Помимо тонкодисперсных пигментных руд в составе рудных тел широко развиты плотные бурые железняки (ПБЖ), представляющие собой твердые плотные образования коричневого и серого цвета из гётита и гидрогётита, использующиеся в качестве металлургического сырья. Но в отличие от дисперсных руд для них характерны крупные и суперкрупные кристаллы размером до 10 мм, формирующие мостовую, почковидную жеодистую, веретенообразную текстуры. В плотных рудах распределение марганца резко неравномерное. Наряду с бурыми железняками, содержащими 0,1–0,3% MnO, отмечаются руды, в которых MnO до 16%.

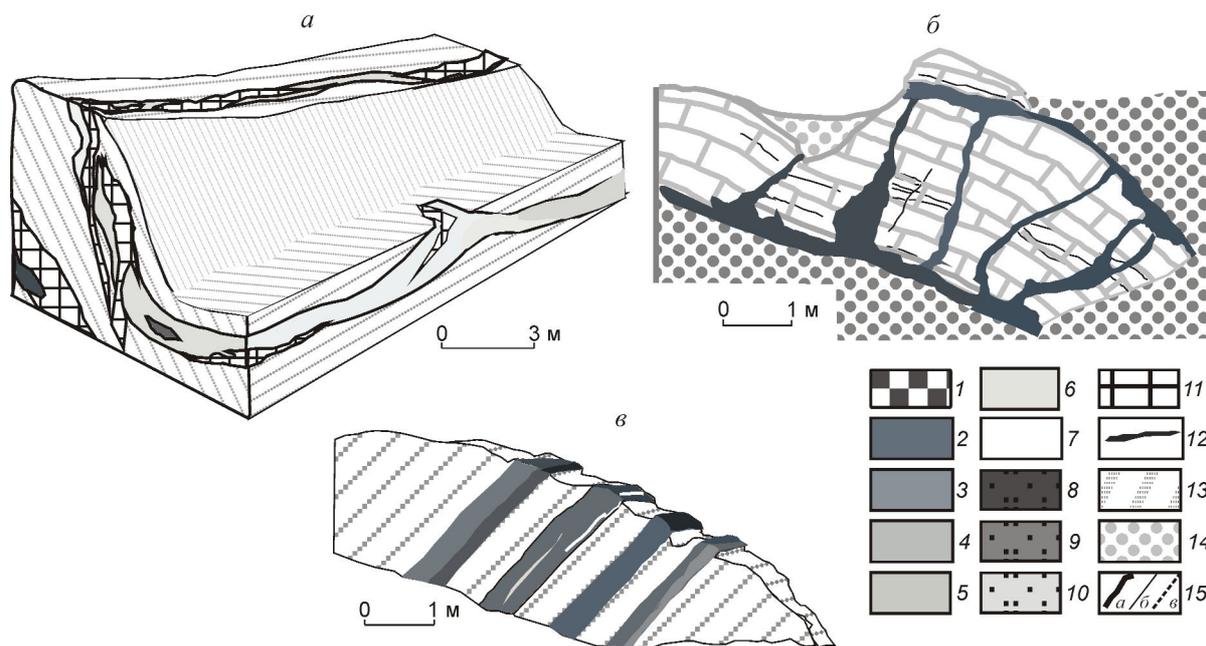


Рис. 1. Морфология залежей пигментных руд Зигазино-Комаровского рудного района:

*a* — желтые охры, горизонт 470 м, Туканское месторождение; *б* — коричневые охры в железистых доломитах, горизонт 480 м, Туканское месторождение; *в* — коричневые охры, расчистка № 2, Тарское месторождение; 1 — турьиты; охры: 2 — шоколадно-коричневые, 3 — темно-коричневые, 4 — светло-коричневые, 5 — коричневато-желтые, 6 — темно-желтые, 7 — светло-желтые, 8 — темно-оливковые, 9 — светло-оливковые, 10 — зеленовато-желтые; 11 — плотные руды; 12 — зоны интенсивного обогащения черными оксидами марганца; 13 — беляки коры выветривания; 14 — склоновые и техногенные образования; 15 — тектонические дислокации (*a*), элементы полосчатости (*б, в*)

Вышеописанные различия слагают единые тела бурых железняков, но морфология руд различных типов неодинакова.

Турьиты встречаются обычно на нижних горизонтах месторождений. Для чистых турьитов характерны однородные линзо-, сигаро- и пластообразные формы залежей, повторяющие морфологию вмещающих комплексов. Мощность тел турьитов колеблется от 0,3 до 5 м. Турьиты найдены как среди беляков, так и серых углисто-глинистых сланцев. Контакты с вмещающими породами четкие. Залежи турьитов сходны с таковыми сидеритов.

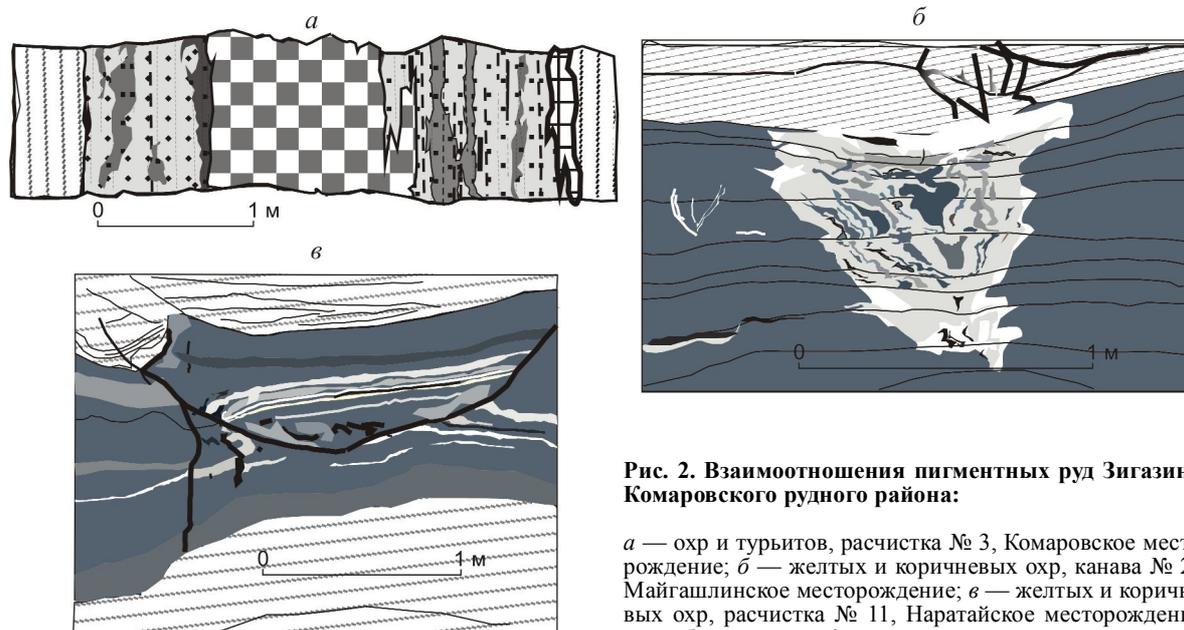
Коричневые охры формируют субпластовые (рис. 1, *в*) и жиллообразные (см. рис. 1, *б*) тела. Пластообразные тела обычно залегают среди беляков. Их мощность колеблется от 0,3 до 4,2 м, составляя чаще всего около 1 м. Характерны четкие контакты рудных тел с беляками, содержащими лишь 0,3–1,8%  $Fe_2O_3$ . Жиллообразные тела, секущие слоистость, установлены среди анкеритов Туканского месторождения. Их мощность редко достигает 1 м. Жиллообразные тела сопряжены с плащеобразными залежами, субсогласными со слоистостью вмещающих анкеритов. Анализ морфологии залежей показывает, что они приурочены к трещинам отслоения

и отрыва в антиклинальных структурах, во фронтальной части микронадвигов. В ряде выработок тела коричневых охр разбиты малоамплитудными взбросами и сбросами.

Желтые охры чаще фиксируются в виде нитевидных полосок, примазок и распыленной примеси в турьитах и коричневых охрах. Иногда желтые охры образуют неправильные изометричные выделения в телах коричневых охр и турьитов. Наиболее крупные пятна занимают весь объем рудного тела и приобретают пластообразный и линзообразный характер.

Формы локализации плотных руд — пласты, линзы, жеоды, почки, плиты, корки в турьитах, охрах, сидеритах.

Сверхмалый размер выделений гидроксидов железа не позволяет наблюдать структурные взаимоотношения в рудных агрегатах на уровне кристаллитов, но текстурные особенности минеральных агрегатов, слагающих пигментные руды, проявлены вполне отчетливо. Турьиты, коричневые и желтые охры, плотные бурые железняки находятся в сложных взаимоотношениях как друг с другом, так и с сидеритами и анкеритами, прожилками кварца, галлуазита, сульфидов.



**Рис. 2. Взаимоотношения пигментных руд Зигазино-Комаровского рудного района:**

*a* — охр и турьитов, расчитка № 3, Комаровское месторождение; *б* — желтых и коричневых охр, канава № 21, Майгашлинское месторождение; *в* — желтых и коричневых охр, расчитка № 11, Наратайское месторождение; усл. обозн. см. рис. 1

Взаимоотношение турьитов и сидеритов изучено при картировании горизонта 500 м Туканского карьера. Установлены постепенные переходы турьитов в сидериты через смешанный турьит-сидеритовый тип руд по восстанию рудного тела.

Типичные взаимоотношения турьитов с желтыми охрами наблюдались в расчитке № 3, пройденной вкрест простирания залежи турьитов (рис. 2, *a*). Черные турьиты по обоим бортам окаймляются серовато-желтыми и зеленовато-желтыми охрами. Границы между турьитами и охрами различной окраски заливообразные. Зеленватые разности охр языками проникают в тело турьитов и отчетливо пересекают и замещают последние. Серый и зеленый оттенки обусловлены присутствием реликтового турьитового материала. Аналогичные оттенки получаются при смешивании турьитов и желтых охр в различных пропорциях. В желтых охрах встречаются гнезда турьитов в виде выделений неправильной формы с коррозинными границами. Морфология гнезд турьитов, постепенное изменение их окраски от серой в центральных частях рудных тел до серовато-желтой на периферии говорят об их реликтовой природе. Таким образом, охра, по-видимому, являются вторичными по отношению к турьитам.

В коричневых охрах турьиты присутствуют в виде равномерно распределенной примеси, что придает последним характерный серый оттенок. Реже встречаются нитевидные прослойки турьитов.

В коричневых охрах желтые образуют тонкие прерывистые нитевидные прослойки или зональ-

ные изометричные (пятнистые) выделения. В центральной части пятен желтых охр наблюдаются наиболее чистые ярко-желтые разности. По периферии таких пятен картируются концентрические зоны и зонки, несколько различающиеся по цвету. Пятна желтых охр окаймляются зоной резкого обогащения порошковатым пиролюзитом. В расчитке № 21 отмечается более сложная зональность. Здесь перемежаются коричневые и желтые охра различно тона и охры, обогащенные порошковатыми оксидами марганца; наиболее темноокрашенной остается центральная часть. «Корни» зональности приурочены к зоне дробления в вышележащих сланцеватых беляках. Очевидно, что зональность формировалась по коричневым охрам за счет поступления агрессивных вод по зоне дробления, перекристаллизации альфа гидроксидов железа, высвобождения марганца, отгона его на периферию и в центральную часть.

Помимо изометричных выделений желтых охр, наблюдаются послойные их выделения в коричневых охрах (см. рис. 2, *в*). В расчитке № 23 желтые охра выполняют прослойки мощностью первые сантиметры. Тело коричневых охр разбито дислокациями, появление которых связано с пологим проскальзыванием верхней части рудного тела. Фиксируется несовпадение числа и мощности желтых прослоев в висячих и лежащих бортах нарушений, а также секущие выделения желтых охр по зонкам сместителя. Эти особенности можно интерпретировать как результат послойной перекристаллизации по благоприятным горизонтам с под-

водом активных вод по зонам тектонической дезинтеграции.

Аналогична природа и крупных пластообразных выделений желтых охр. По простиранию пластообразных тел желтые охры переходят в коричневые или турьиты. Смена типов руд в таких случаях происходит постепенно на протяжении десятков метров через переходные желто-коричневые, светло-коричневые разности или турьиты, содержащие примесь материала желтых охр (см. рис. 1, а).

Помимо самостоятельных рудных тел, желтые гидроксиды железа обнаруживаются и во вмещающих беляках, где они формируют зоны прокрашивания глинистого материала. Содержание  $Fe_2O_3$  в таких зонах редко достигает 9%. Зоны прокрашивания отчетливо секут полосчатость беляков и наложены на преимущественно белые беляки. В свою очередь, по желтым белякам зачастую развиты наложенные зоны красной окраски. Красные беляки отчетливо замещают по секущим зонам желтые и имеют вторичный по отношению к ним характер.

Плотные бурые железняки корродируют и замещают тонкодисперсные пигментные железоокисные руды любого типа, а также железистые карбонаты. Структуры и текстуры коррозии и замещения ярко проявлены. Выделения ПБЖ приурочены к границам раздела любого рода: контактам литологических разностей, границам рудных тел, тектоническим нарушениям, кварцевым прожилкам. В зонах контакта ПБЖ трудно отличимы от руд, по которым они формируются. На расстоянии они приобретают единый жеодистый облик. В одном образце наблюдалось развитие прожилков и корок ПБЖ нескольких генераций, различающихся по цвету и структурным особенностям. По поверхностям отслоения плотных руд встречаются пленочные налеты малиново-красного, реже стально-серого гематита. Наличие трещин, морфологически сходных с трещинами усыхания геля, а также сталактитоподобные формы свидетельствуют о кристаллизации ПБЖ из гелеподобных систем. Отложение гематита происходило в наиболее поздние периоды формирования плотных руд.

Дополнительную информацию дает изучение прожилковой минерализации. Кварцевые прожилки встречены во всех типах руд и в железистых карбонатах. Но если в турьитах они имеют свежий, ненарушенный облик, то в желтых охрах — покрыты налетами гидроксидов железа, а в ПБЖ интенсивно дислоцированы и корродированы. По сообщению рудничных геологов, известны находки в турьитах гнездовых выделений пирита, халькопирита с кварцем и барита. Следовые количества

халькопирита в турьитах фиксируются и по данным дифференциально-термического анализа. Нами в турьитах обнаружены выделения стально-серого игольчатого гематита размерностью до 2 см, выполняющего поверхности небольших полостей. В канаве № 3 в центральной части турьитового тела задокументированы маломощные четковидные выделения галлуазит-гидрослюдистых образований, секущие под острым углом полосчатость в турьитах и, по-видимому, приуроченные к тектоническим дислокациям.

Выделения снежно-белого галлуазита установлены и в коричневых охрах, где они образуют рубашки на кварцевых прожилках с хрусталем или четковидные выделения по контакту рудных тел и беляков. В таком галлуазите есть следы гиббсита и алуниита, содержания железа крайне низки, а ассоциирующий кварц имеет свежий облик.

Все это позволяет интерпретировать прожилковую кварц-галлуазитовую минерализацию как более позднюю по сравнению с турьитовыми и, возможно, коричневыми пигментными рудами.

Изложенные материалы свидетельствуют о том, что формирование различных типов оксигидроксидных руд происходило не одновременно, а в ходе нескольких этапов, разорванных по времени. К наиболее древним относятся турьитовые руды. Четкие контакты с вмещающими беляками, наличие секущей кварцевой, сульфидной минерализации указывают на их образование до формирования олигоцен-миоценовых кор выветривания низинного типа. Минералогические особенности руд (сложены одноразмерными тонкодисперстными кристаллитами) могут объясняться их быстрой кристаллизацией на многочисленных однородных затравках из относительно горячих (70–90°C) растворов. В настоящее время отсутствуют данные, позволяющие однозначно решить вопрос о времени и механизмах формирования турьитовых руд. По нашему мнению, наиболее приемлема гипотеза их образования в результате смешения пластовых вод и катагенных растворов при разрушении рифейского осадочно-породного бассейна в венде [5, 9].

Коричневые охры развивались за счет преобразования турьитовых руд и, возможно, анкеритов. Но непонятно, насколько оторваны эти процессы во времени.

Желтые охры формировались в результате перекристаллизации и очищения от марганца турьитов и коричневых охр под воздействием холодноводных кислых растворов. Агрессивные воды образовывались в условиях застойных котловин при окислении органического вещества осадочных комплексов рифея.

Плотные бурожелезняковые руды — самые молодые и возникли за счет перекристаллизации и частичного перемещения вещества других типов руд и железистых карбонатов. Вероятно, наиболее активно они формировались в плиоцене.

На основании проделанной работы сделаны следующие выводы.

Сложные взаимоотношения между различными минеральными типами руд свидетельствуют о неоднократных метасоматических процессах преобразования первичных руд. В результате замещения, перекристаллизации более ранних минеральных агрегатов образовались новые экзогенные и катагенно-гидротермальные.

Критериями прогнозирования остродефицитных желтых пигментных руд в изучаемом и соседних рудных районах служат наличие турьитов и развитие олигоцен-миоценовых кор выветривания. Данным критериям отвечают объекты Авзянского и Лапыштинского рудных районов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грановская Н.В., Кочергин А.В., Шефер В.А. Новые минеральные пигменты // Лакокрасочные материалы. 1997. № 7–8. С. 24–26.
2. Доброхотов М.Н. Железородные месторождения Башкирской АССР. – Уфа: Изд-во БГУ, 1934.
3. Кочергин А.В., Грановская Н.В., Шефер В.А., Чернов А.Л. Природные пигменты и наполнители Башкортостана — состояние МСБ и перспективы освоения // Отечественная геология. 2000. № 3. С. 3–7.
4. Кочергин А.В., Кочергин Д.В. Башкирский Урал — новая сырьевая база природных пигментов для художественных красок // Геология, полезные ископаемые и проблемы экологии Башкортостана. Уфа, 2003. Т. 2.
5. Кочергин А.В. К проблеме генезиса плотных и дисперсных окси-гидрооксидных руд железа Зигазино-Комаровского рудного района // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти Н.П.Чирвинского. Пермь, 2008. Вып. 11. С. 230–237.
6. Ларионов Н.Н. К вопросу о роли тектоники в размещении железорудных месторождений в рифее Южного Урала // Проблемы шарьяжно-надвиговой теории формирования земной коры континентов. Тез. докл. науч. сессии БНЦ УрО АН СССР. Уфа, 1988. С. 29–31.
7. Ларионов Н.Н. Сидеритовое оруденение в рифейских толщах Ямантауского антиклинория на Южном Урале // Верхний докембрий Южного Урала и востока Русской плиты. Уфа, 1988. С. 10–15.
8. Ларионов Н.Н. О надвиговой природе структур месторождений на западном склоне Южного Урала // Шарьяжно-надвиговая тектоника и ее роль в формировании месторождений полезных ископаемых. Тез. докл. науч. сессии БНЦ УрО АН СССР. Уфа, 1991. С. 81–82.
9. Михайлов Б.Н. Рудоносные коры выветривания. – Л.: Недра, 1986.

УДК 550.4:551.2+553.491 (571.54)

© Д.А.Орсоев, 2008

## ПЛАТИНОНОСНОСТЬ СУЛЬФИДНЫХ РУД БАЙКАЛЬСКОГО МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЙОКО-ДОВЫРЕНСКИЙ ДУНИТ-ТРОКТОЛИТ-ГАББРОВЫЙ МАССИВ)

Д.А.Орсоев (Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ)

*Изучены закономерности распределения элементов платиновой группы (ЭПГ) в сульфидных рудах Байкальского медно-никелевого месторождения (Йоко-Довыренский массив). По особенностям распределения и соотношению благородных металлов руды типичны для сульфидной Cu-Ni формации с преобладанием Pd над Pt и суммы Pd и Pt над группой редких платиноидов. По конфигурации профилей ЭПГ и соотношению  $(Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os)$  они близки к рудам зоны Овоида месторождения Войсис Бэй и занимают промежуточное положение между рудами Талнаха и Джинчуан. Показано, что характер поведения и концентрирования ЭПГ и Au в рудах месторождения не противоречит модели фракционной кристаллизации сульфидоносного расплава, предложенной для расслоенных интрузивов, при раннем отделении от него незначительного объема сульфидной жидкости.*

Байкальское месторождение ЭПГ-содержащих медно-никелевых руд относится к группе собственно магматических месторождений, связанных с расслоенными плутонами ультрамафит-мафитового состава. Оно располагается в пределах Йоко-Довыренского дунит-троктолит-габбрового массива и приурочено к плагиоклазовым лерцолитам краевой зоны и их силлоподобным апофизам того же состава. К рудовмещающим относятся также дайки габбро-норит-диабазов, пересекающие плагиолерцолиты. После доразведки месторождения в 1988–1992 гг. прогнозные ресурсы были пересчитаны, и содержания полезных компонентов составили, тыс. т: Ni 147, Cu 51,01, Co 9,47.

Первые сведения о повышенных содержаниях благородных металлов в рудах получены в процессе геологоразведочных работ в начале 60-х годов прошлого столетия. В технологических и штучных пробах, проанализированных в институте «Гипроникель», установлены содержания Pd до 0,90, Pt до 0,26 и Rh до 0,02 г/т (табл. 1). Однако наибольшие концентрации этих элементов зафиксированы в пробе «оруденелого пегматоидного габбро» (соответственно 2,24, 0,52, 0,02 г/т). Кроме того, в этих же пробах выявлены повышенные содержания Ag, Se, Te и заметные — Au. Н.Н.Шишкин в 1963 г. описал в брекчиевидных жильных рудах мелкие зерна неизвестного платинового минерала с квадратными и шестигугольными сечениями, образующие включения в пирротине или находящиеся на границах его зерен. Состав минерала не определялся, и автор предположительно диагностировал его как сперрилит.

Систематическое изучение геохимии и минералогии благородных металлов в рудах Байкальского месторождения возобновлено лишь с середины 80-х годов. Сотрудниками Геологического института СО РАН диагностирован сперрилит и подтверждено наличие повышенных содержаний ЭПГ (до 1 г/т Pd и 0,058 г/т Pt) в жильных брекчиевидных рудах [5, 12].

Результаты инструментального нейтронно-активационного анализа разных типов руд месторождения [2] показали, что при низких в целом содержаниях Rh, Ru и Ir (первые десятки миллиграмм на 1 т) этими элементами более обогащена проба плагиолерцолита с вкрапленным оруденением. В ней же зафиксированы и самые высокие концентрации Pd 0,67, Au 0,32 и Ag 8,44 г/т.

Позднее В.В.Дистлером и А.Г.Степиным [3] опубликованы данные по содержанию ЭПГ в разных типах руд месторождения, среди которых наибольшими содержаниями характеризуются также брекчиевидные (табл. 2). В этой публикации для двух проб впервые приводятся концентрации по всем металлам платиновой группы. Как и в предыдущих работах, для руд месторождения выявлена тенденция существенного преобладания Pd над Pt.

В последние годы автором в процессе минералого-геохимического изучения руд Байкальского месторождения получены новые данные по содержанию и распределению в них благородных металлов.

**Краткая характеристика сульфидных руд месторождения.** Представления о составе, типах и условиях локализации сульфидных медно-никелевых руд Байкальского месторождения изложены в

**1. Содержание благородных металлов (г/т), Ni, Co, Cu и S (мас. %) в сульфидных рудах Байкальского медно-никелевого месторождения, по Н.Н.Шишкину и др., 1962 г.**

Тип руды	Pt	Pd	Rh	Au	S	Ni	Cu	Co
Брекчиевидная руда из сульфидной жилы (технологическая проба № 1)	0,20	0,68	0,02	0,136	20,47	2,39	0,86	0,12
Плагиоперидотит с густой вкрапленностью сульфидов (технологическая проба № 2)	0,26	0,90	0,01	0,060	8,41	0,71	0,41	0,05
Штуфная проба 410/60 измененного перидотита с мелкой вкрапленностью сульфидов	0,20	0,60	0,02	0,104	2,26	0,27	0,14	0,02
Пегматоидное габбро с густой вкрапленностью сульфидов	0,52	2,24	0,02	0,104	11,47	2,86	0,65	0,009
	-	0,35	0,02	0,060	18,00	1,14	0,45	0,11

работах [4, 6, 7, 13 и др.]. Выделяются два их генетических типа — сингенетические и эпигенетические.

Сингенетические руды значительно превосходят по масштабам эпигенетические и представлены вкрапленностью сульфидов в плагиоцелитах и вкрапленно-прожилковыми образованиями в габбро-норит-диабазов. Тела вкрапленных руд прослеживаются по простиранию до 1400–1700 м при ширине выхода на поверхность 8–25 м (в раздувах до 80 м) [6]. Ориентировка линз с вкрапленным оруденением, как правило, совпадает с простиранием и падением приподошвенного горизонта этих пород. Вкрапленность сульфидов частая мелкая, обычно неравномерно рассеянная и густая. Размеры вкрапленников изменяются от 0,02 до 5 мм, составляя в среднем 1–1,5 мм. Форма их неправильная, ветвистая, округлая, угловатая за счет расположения в межзерновом пространстве силикатных минералов. Характерная особенность вкрапленных руд — интенсивное замещение главных сульфидных минералов вторичным магнетитом [4]. Их минеральный состав в плагиоперидотитах приведен в табл. 3.

В габбро-норит-диабазов, наряду с мелкой неравномерной вкрапленностью сульфидов (0,7–3 мм), наблюдаются и крупные вкрапленники (до 20 мм) неправильной и ветвистой форм, которые

распределены в породе крайне неравномерно. В отличие от других типов руд в них отмечаются более низкие содержания пентландита, более широкое развитие халькопирита, ильменита и наличие сульфид-арсенидной минерализации [4].

Морфологически эпигенетические сульфидные руды представлены главным образом жилообразными телами. В маломощных зонах дробления, приуроченных к северо-западному эндоконтакту массива с вмещающими породами, встречаются вкрапленно-прожилковые залежи [13]. Жильные тела обычно находятся внутри ареалов сульфидной вкрапленности и контролируются протомагматической трещиноватостью.

Основной объем жилообразных руд выявлен на северо-восточном фланге массива (участок Озерный). Здесь рудовмещающий горизонт интродуцирован дайками габбро-норитов, переходящих в пегматоидные габбро, и диабазов, протягивающихся согласно простиранию всего массива. Внедрение даек происходило по трещинам, образовавшимся в приконтактной области интрузива вследствие левостороннего сдвига [6, 7]. Развитие сдвигов связывается со второй стадией синтетектонических преобразований динамометаморфического этапа становления массива. Мощность даек, по данным

**2. Содержание платиновых металлов (мг/т), Ni, Cu и S (мас. %) в сульфидных рудах Байкальского месторождения, по [3]**

№ п/п	Pt	Pd	Rh	Ir	Ru	Os	Ni	Cu	S	Pd/Pt
1	20	93					0,1780	0,0156	1,850	4,65
2	40	420					0,1220	0,1510	1,700	10,50
3	10	200					0,1960	0,1450	5,970	20,00
4	7	28	1	0,6	3	1	0,0586	0,0317	1,480	4,00
5	20	53					0,0952	0,0382	0,893	2,65
6	100	1400					2,3600	4,3710	19,700	14,00
7	30	820	16	4,7	7	30	1,1700	0,8640	30,300	273,3

Примечание. 1–5 — плагиоперидотиты с сульфидами (вкрапленные руды), 6 — брекчиевидная сульфидная руда, 7 — массивная сульфидная руда.

3. Основные типы и минеральный состав сульфидных руд Байкальского месторождения, по [4, 13 с дополнениями автора]

Тип руды	Рудные минералы		
	главные	второстепенные	редкие
Вкрапленные в плагиоклазовых лерцолитах	Гексагональный пирротин ( $\pm$ троилит), пентландит, халькопирит, магнетит	Кубанит, сфалерит, пирит, виоларит, хромшпинелиды, ильменит	Маккинавит, герсдорфит, борнит
Вкрапленные и прожилково-вкрапленные в дайках габбро-норит-диабазов	Моноклинный пирротин $\pm$ гексагональный пирротин	Пентландит, халькопирит, ильменит, магнетит, виоларит	Пирит, сфалерит, галенит, кобальтин, никелин, герсдорфит
Жильные (массивные и брекчиевидные)	Гексагональный пирротин ( $\pm$ троилит), пентландит, халькопирит	Кубанит, пирит, ильменит, магнетит	Маккинавит, титаномагнетит, сфалерит, галенит, маухерит

Н.Н.Шишкина [13], изменяется от десятков сантиметров до нескольких метров. По простиранию некоторые из них прослеживаются на сотни метров и подсечены на глубине >100 м. К этой же системе сдвиговых трещин тяготеют тела жилообразных и густовкрапленных руд.

Для жильных руд наиболее характерна брекчиевидная текстура, обусловленная наличием разнообразных по форме, размерам и составу обломков пород в сульфидном цементе. Они чаще всего представлены интенсивно серпентинизированными плагиоклазовыми лерцолитами, отмечаются также фрагменты габбро-норитов жильной серии, в которых плагиоклаз сосюртитизирован, а по пироксенам развиваются эпидот, карбонаты, хлорит. Наличие обломков габброидов указывает на то, что жильные руды сформировались, очевидно, после их кристаллизации. В то же время, приуроченность даек габбро-норитов и жильных руд к одной и той же системе трещин свидетельствует о близости времени становления и тех и других [7].

В жильных рудах основу сульфидного цемента составляет гексагональный пирротин, иногда в тонких сростаниях с троилитом, содержание которых в общей сумме сульфидов колеблется от 58 до 94 об. %. В меньших количествах отмечаются пентландит (7–25%) и тетрагональный халькопирит (0,1–6%). Встречаются также кубанит, ильменит, магнетит, хромшпинелиды, пирит, реже титаномагнетит, маккинавит, сфалерит, галенит, маухерит (см. табл. 3).

Средние содержания основных компонентов в различных типах руд Байкальского месторождения по штуфным пробам из горных выработок и коренных обнажений даны в табл. 4. Наряду с главными типами, выделены плагиолерцолиты с убогими рудами (содержание S <1,0 мас. %). Кроме того, вкрапленные руды в плагиолерцолитах нами разделены на рассеянно-вкрапленные (бедные) с содержанием S до 5,0 мас.% и густовкрапленные

(богатые) с содержанием S >5,0 мас. %. Вкрапленные и вкрапленно-прожилковые руды в габбро-норитах объединены в одну группу с содержанием S от 1,00 мас. % и более.

Анализ полученных данных показывает, что отношение Ni к Cu последовательно возрастает от бедных вкрапленных к брекчиевидным и сплошным рудам. Более высокое значение этой величины, а также величины отношения Ni к S в плагиоперидотитах с убогой сульфидной вкрапленностью объясняется значительной долей силикатного никеля. Отношение никеля к кобальту также закономерно возрастает в том же направлении, что обусловлено более низкими концентрациями кобальта в пентландите из жильных руд [4]. Самой низкой величиной отношения суммы полезных металлов к сере (относительная металлоносность сульфидной массы руд) обладают жильные руды. Оруденение в габбро-норит-диабазов отличается от вкрапленного в плагиоперидотитах и жильных руд более высокими значениями отношения Cu/S и меньшими — Ni/Cu, что объясняется повышенной ролью халькопирита при формировании сульфидной минерализации прожилково-вкрапленного типа.

В целом же по многим параметрам руды Байкальского месторождения близки аналогичным рудам докембрийских месторождений Кольской никеленоносной провинции и других известных месторождений мира (Садбери, Джинчуан, Войсис Бэй), но по отношению Ni/Co значительно им уступают, что объясняется более высокими содержаниями Co в байкальских рудах (0,010–0,140 мас. %). Кобальт образует собственный минерал — кобальтин, изоморфная примесь которого постоянно присутствует в пентландите, виоларите, никелине, маккинавите, герсдорфите. По данным Л.Н.Каچارовской [4], в герсдорфите отмечается до 12,9 мас. % Co. Повышенная кобальтоносность всех типов руд — отличительная особенность Байкальского месторождения.

4. Средние содержания и соотношения основных компонентов в различных типах руд Байкальского медно-никелевого месторождения

Номера руд	Тип руды	Число проб	Содержание, мас. %						Отношение		
			S	Ni	Co	Cu	ΣMe.S	Ni:S	Cu:S	Ni:Cu	Ni:Co
1	Плагиоклазовые перidotиты с убогими оруденением ( $1,00\% < S < 0,35\%$ )	10	0,62 36,21	0,122 7,53	0,014 0,88	0,025 1,47	0,26	0,20	0,04	4,88	8,71
2	Рассеянно-вкрапленные (бедные) в плагиоклазовых перidotитах ( $5,00\% < S < 1,00\%$ )	16	1,72 36,35	0,137 3,07	0,017 0,38	0,055 1,21	0,12	0,08	0,03	2,49	8,06
3	Густовкрапленные (богатые) в плагиоклазовых перidotитах ( $S > 5,00\%$ )	11	9,35 36,34	0,911 3,43	0,055 0,21	0,345 1,35	0,14	0,10	0,04	2,64	16,56
4	Существенно медистая вкрапленно-прожилковая руда из зоны дробления в габбро-норит-диабазях	1	14,24 35,90	1,270 3,20	0,032 0,08	4,600 11,60	0,41	0,09	0,32	0,28	39,69
5	Вкрапленно-прожилковые в дайках габбро-норит-диабазов ( $S > 1,00\%$ )	15	9,21 36,31	0,684 3,33	0,050	0,490 2,14	0,13	0,07	0,05	1,40	13,68
6	Жильные (сплошные и брекчиевидные)	13	22,01 36,38	1,820 3,04	0,101 0,17	0,475 0,78	0,11	0,08	0,02	3,83	18,02

Примечание. Вторая строка — концентрация элемента в пересчете на 100%-ный сульфид. Анализы выполнены в ГИСО РАН (г. Улан-Удэ). Ni и Co определялись атомно-абсорбционным методом (аналитики Э.М. Татыянкина, Г.И. Буддаева, В.А. Иванова). Cu — методом РФА (аналитики Б.Ж. Жалсаев, О.Г. Цыганкова). S — гравиметрическим методом (аналитик Л.В. Левантуева). ΣMe — (Ni+Cu+Co).

Следует заметить, что Cu-Ni минерализация месторождения в целом характеризуется никель-железистым составом. Такой тренд состава доказывается и данными пересчета анализов на 100%-ный сульфид, которые свидетельствуют о более низких содержаниях Cu по сравнению с Ni (см. табл. 4). Руды медистого состава встречаются крайне редко и представлены вкрапленно-прожилковыми разновидностями в зонах дробления по дайковым породам. В одном из таких образцов содержание Cu в 100%-ном сульфиде достигает 11,6 мас. % (см. табл. 4).

**Содержание и распределение благородных металлов в рудах.** Исходными данными для изучения закономерностей поведения благородных металлов послужили материалы по ступенному опробованию рудных зон на участке Озерный.

При значительных содержаниях основных рудообразующих компонентов (Ni, Cu, Co, S) концентрации благородных металлов в сульфидных рудах Байкальского месторождения низкие (табл. 5). Как и для большинства медно-никелевых месторождений мира, связанных с расслоенными интрузивами, особенности оруденения определяются резким преобладанием Pd (0,034–1,500 г/т) над Pt (0,020–0,270 г/т) при отношении Pt/Pd=0,06–0,71, а также суммы Pd и Pt над суммой редких платиноидов, концентрация которых в некоторой части образцов находится на пределе чувствительности анализа, а в наиболее богатых пробах достигает 0,018 Rh, 0,045 Ru, 0,033 Ir и 0,021 г/т Os (см. табл. 5). Максимальные содержания ЭПГ и Au установлены в жильных рудах, а минимальные — в плагиоперидотитах с убогой и рассеянно-вкрапленной минерализацией. Другими словами, распределение благородных металлов тесно связано с изменчивостью состава сульфидной составляющей и ее объемом.

Как известно, закономерности фракционирования платиновых металлов в сульфидных медно-никелевых рудах могут определяться как собственно магматическими процессами, так и гидротермально-метасоматическими и автотермоморфическими с участием флюидной фазы. Для оценки степени их влияния при формировании медно-никелевых руд нами построена трехкомпонентная диаграмма Fe-(Ni+Co)-S, на которой все анализы руд, пересчитанные на 100%-ный сульфид, попадают в поле моносльфидного твердого раствора (mss) при 600°C [15]. Это является доказательством магматической кристаллизации сульфидов из несмесимого сульфидного расплава. В то же время, руды, испытавшие ремобилизацию при процессах метаморфизма, как было показано в работах А. Дж. Налдретта [8], на диаграмме Fe-(Ni+Co)-S выходят из контура mss, образуя самостоятельное поле.

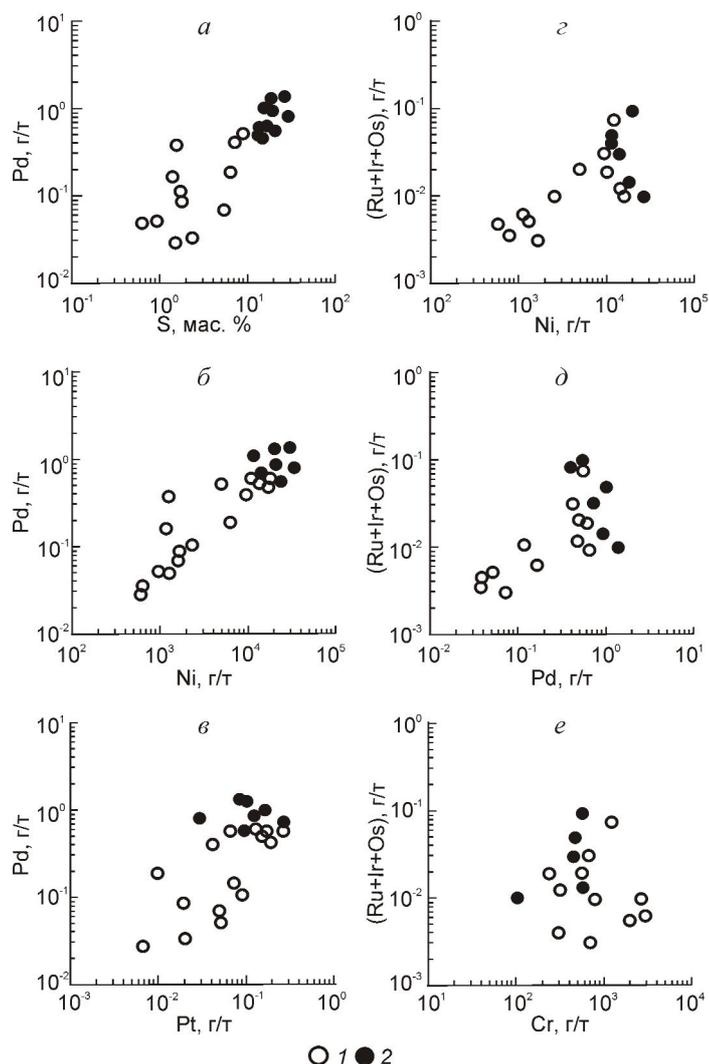


Рис. 1. Диаграммы зависимостей содержаний ЭПГ, рудогенных компонентов и хрома в Cu-Ni рудах Байкальского месторождения, с использованием данных табл. 2 и 5:

*a* — Pd-S, *б* — Pd-Ni, *в* — Pd-Pt, *з* — (Ru+Ir+Os)-Ni, *д* — (Ru+Ir+Os)-Pd, *е* — (Ru+Ir+Os)-Cr; руды: 1 — рассеянно-вкрапленные и густовкрапленные в плагиоферролитах, 2 — жильные (сплошные и брекчиевидные)

Анализ взаимосвязей платиновых металлов как между собой, так и с главными рудогенными компонентами позволяет выделить среди ЭПГ две группы элементов: одна включает Pd, Pt, Rh, другая — Ru, Ir, Os. Элементы первой группы образуют устойчивую положительную корреляцию с рудообразующими компонентами (Ni, Cu, S) и между собой (рис. 1, *a*, *б*, *в*) с концентрацией Pd и Pt в виде собственных минеральных фаз — сперрилита, геверсита, садбериита, мергиита I, надретита и твердого раствора в маухерите [10]. Последовательное концентрирование Pd, Pt, Rh по мере обогащения руд сульфидами позволяет предположить, что их накопление происходило в несмесимой суль-

фидной жидкости, выступающей в качестве коллектора, как было показано для никеленосных норитдиоритовых интрузий Воронежского кристаллического массива [11].

Платиноиды второй группы по отдельности не связаны корреляционной зависимостью ни с одним из рудогенных элементов, а их суммарное содержание, напротив, обнаруживает положительную связь с вышеперечисленными элементами, однако более слабую, чем связь для платиноидов первой группы (см. рис. 1 *з*, *д*). Концентрирование и распределение Ru, Ir, Os в рудах связано, возможно, не только с сульфидами, но и с их окисными фазами, в частности с хромшпинелидами. При этом кристаллизова-

**5. Содержания благородных металлов (мг/т), Ni, Co, Cu и S (мас. %) в сульфидных рудах Байкальского месторождения**

Номера проб	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Ni	Co	Cu	S	Pt/Pd
1. Плагноклазовые лерцолиты с убогим оруденением												
Д-5/1-94	1	2	2	5	50	50	55	0,130	0,010	0,029	0,59	1,00
2. Рассеянно-вкрапленные руды в плагноклазовых лерцолитах												
Д-2/5-94	1	2	3	5	70	180	44	0,110	0,018	0,078	1,36	0,39
Д-1/4-94	1	2	8	5	85	120	49	0,230	0,022	0,053	1,70	0,71
ДО-6-99	-	0,15*	3,62*	4**	20**	34**	15,5*	0,073	0,015	0,051	2,31	0,59
3. Густовкрапленные руды в плагноклазовых лерцолитах												
Д-1/3-94	16	4	10	15	200	420	74	0,960	0,059	0,230	7,25	0,48
Д-4 <sup>б</sup> -94	10	5	7	10	180	540	240	0,480	0,031	0,460	9,44	0,33
Д-1/1-94	2	6	5	10	160	480	200	1,600	0,094	0,490	14,49	0,33
Д-2/4-94	6	2	2	10	120	650	220	1,780	0,092	0,410	15,30	0,18
4. Существенно медистая густовкрапленная руда из дробления в габбро-норит-диабазы												
ДО-7-98	2,7*	7,3*	66,8*	17**	260**	560**	161*	1,270	0,032	4,600	14,24	0,46
5. Вкрапленно-прожилковые руды в дайках габбро-норит-диабазов												
Д-4/1-94	1	1	1	5	50	70	63	0,170	0,024	0,064	5,28	0,71
ДО-16-ДО-16-99	2,1*	3*	14,1*	6**	65**	630**	45,7*	1,040	0,050	1,500	14,99	0,10
6. Жильные руды (сплошные и брекчиевидные)												
ДО-8-98	1,8*	3,8*	45,7*	18**	170**	1080**	168,3*	1,180	0,048	0,310	17,18	0,16
Д-1-94	9	14	6	15	270	690	180	1,570	0,082	0,140	17,52	0,39
Д-2-94	3	3	9	15	130	900	660	2,030	0,096	0,320	19,60	0,14
Д-1/5-94	21	33	45	15	95	570	220	2,200	0,110	0,190	20,04	0,17
Д-5-94	5	3	3	15	90	1500	600	2,840	0,130	0,360	28,62	0,06

Примечание. Анализы на благородные металлы выполнены в отделе аналитических исследований ФГУП «ЦНИГРИ» (г. Москва).

\*Анализы выполнены микропробирным нейтронно-активационным методом в ГЕОХИ РАН (г. Москва).

\*\*Анализы выполнены пробирным атомно-абсорбционным методом с предварительным обогащением на нефтяные смолы в ГИ КНЦ РАН (г. Апатиты); Ni, Co, Cu и S определены в ГИ СО РАН (г. Улан-Удэ). Прочерк — элемент не определялся.

лись они в виде очень мелких включений собственных минералов, например твердых растворов Os-Ir-Ru или лаурита RuS<sub>2</sub> [17]. Такой вывод возможен, если принять во внимание отсутствие значимой по-

ложительной корреляции между Cr и суммарным содержанием Ru, Ir и Os в рудах (см. рис. 1, е), а также если учитывать аналогичное поведение этих элементов в хромититах альпинотипных гипербазитов.

**6. Средние содержания благородных металлов в различных типах сульфидных руд Байкальского месторождения, мг/т**

Тип руды	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au
Плагноклазовые лерцолиты с убогой минерализацией	1 (1) 61	2 (1) 122	2 (1) 122	5 (1) 306	50 (1) 3057	50 (1) 3057	55 (1) 3362
Рассеянно-вкрапленные (бедные) в плагноклазовых лерцолитах	1 (2) 24	1,4 (3) 33	4,9 (3) 103	4,7 (3) 101	58,3 (3) 1333	111,3 (3) 2636	36,2 (3) 822
Густовкрапленные (богатые) в плагноклазовых лерцолитах	8,5 (4) 34	4,2 (4) 15	6,0 (4) 23	11,2 (4) 40	165,0 (4) 595	522,5 (4) 1733	183,5 (4) 580
Вкрапленно-прожилковые в габбро-норит-диабазы	1,5 (2) 6	2,0 (2) 7	7,5 (2) 20	5,5 (2) 24	57,5 (2) 251	350,0 (2) 1003	54,3 (2) 272
Жильные (сплошные и брекчиевидные)	8,0 (5) 14	11,4 (5) 21	21,7 (5) 42	15,6 (5) 29	151,0 (5) 290	948,0 (5) 1667	365,7 (5) 623

Примечание. Вторая строка — концентрация элемента в пересчете на 100%-ный сульфид; в скобках — число проб.

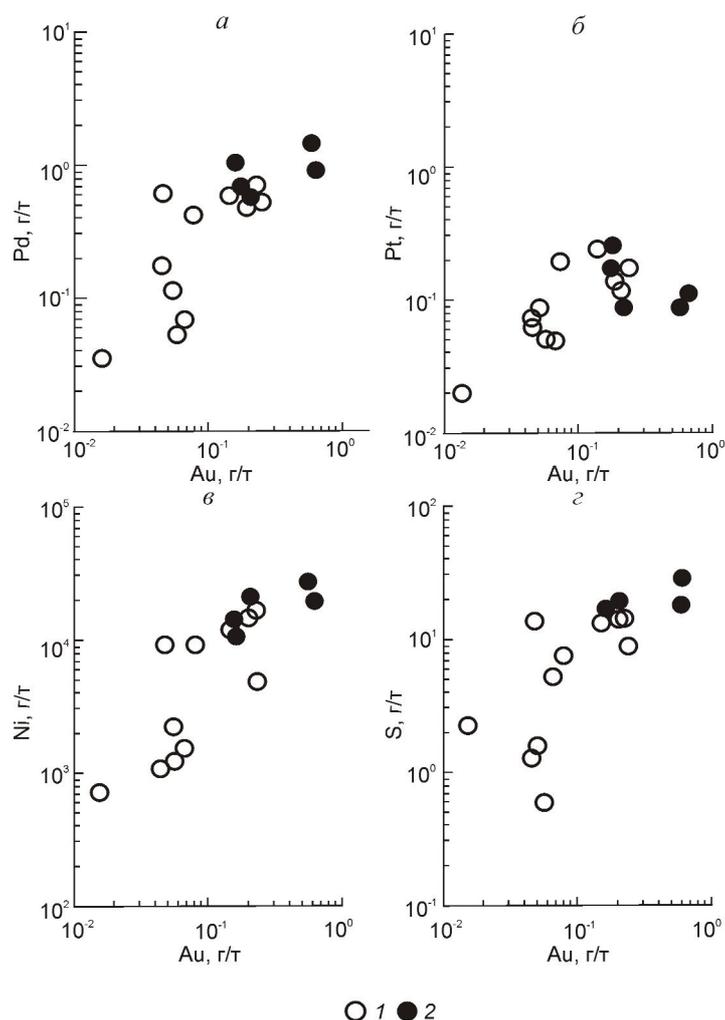


Рис. 2. Диаграммы зависимостей содержаний Au, ЭПГ и рудогенных компонентов в Cu-Ni рудах Байкальского месторождения, с использованием данных табл. 5:

*a* — Au-Pd, *б* — Au-Pt, *в* — Au-Ni, *г* — Au-S; остальные усл. обозн. см. рис. 1

Подобные геохимические связи между Pd, Pt, с одной стороны, и Ru, с другой, установлены в медно-никелевых рудах норит-диоритовых интрузий Воронежского кристаллического массива [11], интрузии Фокс Ривер [17], а включения лаурита в хромшпинелиде обнаружены в таких расслоенных массивах, как Стиллуотер, Бушвельд, Берд Ривер и др.

Распределение золота характеризуется теми же закономерностями, что распределение главных металлов платиновой группы. Его содержание положительно коррелируется с ними (рис. 2, *a*, *б*). Накапливаясь в сульфидной системе синхронно с рудными компонентами (Ni, Cu, Co, S) на стадиях кристаллизации сульфидов (см. рис. 2, *в*, *г*), Au реализуется с образованием собственного минерала — электрума [10].

На многокомпонентной диаграмме хондрит-нормированных концентраций благородных металлов, Ni и Cu в пересчете на 100%-ный сульфид средние составы медно-никелевых руд Байкальского месторождения образуют спектры распределения практически одинаковой формы и близки друг другу, но при этом жильные руды характеризуются более низкими концентрациями ЭПГ и Au (рис. 3, *a*).

Как было показано в работе [16], составы медно-никелевых руд, ассоциирующих с коматиитами, имеют относительно пологие профили распределения ЭПГ, тогда как руды месторождений, связанных с расслоенными мафит-ультрамафитовыми интрузивами, — более крутые, и, соответственно, для них величина отношения  $(Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os)$  будет большей (табл. 7). Сравнительный анализ показал, что по конфигурации спектров распре-

**7. Величина отношения (Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os) в средних составах руд Байкальского медно-никелевого месторождения в сравнении с рудами некоторых других известных месторождений мира, по [8]**

Месторождение (тип руды)	Содержание MgO в родона- чальной магме, мас. %	(Pt+Pd)/ (Ru+Ir+Os)
<i>Архейские коматииты</i>		
Камбалда (вкрапленный). Обобщенные данные по руд- ному району	30 и более	2,06
Лангмюр, рудники 1 и 2 (вкрапленный)	30 и более	1,56
Рудник Ипок, Зимбабве (вкрапленный)	30 и более	3,28
<i>Протерозойские коматииты</i>		
Катинник, рудный район Рэглэн (вкрапленный)	19	5,77
Томпсон, никеленосный пояс Томпсон (магматический массивный )	Нет данных	4,36
<i>Ультрамафит-мафитовые интрузии</i>		
Байкальское (редкая вкрапленность сульфидов в пла- гиоперидотите)	7,3	22,72
Байкальское (густая вкрапленность сульфидов в пла- гиоперидотите)	7,3	23,49
Байкальское (сплошной и брекчиевидный)	7,3	26,74
Джинчуан (рудное тело 24)	12	10,35
Джинчуан (рудное тело 1)	12	14,31
Войсис Бэй (вкрапленный в такситовых троктолитах)	<8	9,06
Войсис Бэй (руды Овоида)	<8	18,69
Талнахское (вкрапленный, скв. КЗ-1739)	8	62,50
Талнахское (вкрапленный, скв. КЗ-1796)	8	36,61

деления благородных металлов и величине (Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os) байкальские руды наиболее близки рудам зоны Овоида месторождения Войсис Бэй (см. рис. 3, б), занимая промежуточное положение между рудами Талнаха и Джинчуан. Это согласуется и с рассчитанной магнезиальностью 7,3 мас. % MgO исходной магмы массива [1].

**Поведение ЭПГ при формировании сульфидных руд.** Как говорилось выше, условия локализации и минералого-геохимические особенности медно-никелевых руд Байкальского месторождения свидетельствуют в пользу их магматического генезиса с реализацией процесса отделения сульфидной жидкости от силикатного расплава. Миграция несмесимого сульфидного расплава при последовательном образовании руд сопровождалась не толь-

ко изменением летучести серы и явлениями дифференциации по схеме фракционной кристаллизации сульфидного вещества с преимущественным обогащением более подвижной обогащенной медью остаточной жидкости, но и закономерным фракционированием платиновых металлов.

Выявленные особенности состава и геохимии руд указывают на возможность протекания подобных процессов. Так, вкрапленные руды характеризуются более низкими отношениями Ni/Cu и более высокими —  $\Sigma Me/S$  по сравнению с жильными (см. табл. 4). Учитывая, что фракционирование Pd и Pt преимущественно связано с обогащенным медью промежуточным твердым раствором (iss) [9], следует ожидать во вкрапленных рудах более высоких содержаний Pd, Pt и Cu и более низких

**8. Соотношения средних содержаний платиновых металлов, никеля и меди в пересчете на 100%-ный сульфид в рудах Байкальского месторождения**

Номера руд	Pd/Ir	Pd/Rh	Ni/Pd	Ni/Pt	Cu/Ir	Cu/Rh	Pd/Pt
1	25,06	9,99	$24,6 \cdot 10^3$	$24,6 \cdot 10^3$	120,5·10	$48,0 \cdot 10^3$	1,00
2	79,88	26,10	$11,6 \cdot 10^3$	$23,0 \cdot 10^3$	$366,7 \cdot 10^3$	$119,8 \cdot 10^3$	1,98
3	115,53	43,32	$19,8 \cdot 10^3$	$57,6 \cdot 10^3$	$900,0 \cdot 10^3$	$337,5 \cdot 10^3$	2,91
5	143,28	41,79	$33,2 \cdot 10^3$	$132,7 \cdot 10^3$	$3057,0 \cdot 10^3$	$891,7 \cdot 10^3$	4,00
6	79,38	57,48	$18,2 \cdot 10^3$	$104,8 \cdot 10^3$	$371,0 \cdot 10^3$	$269,0 \cdot 10^3$	5,75

Пр и м е ч а н и е. Номера руд соответствуют номерам в табл. 4; для расчетов использованы данные табл. 5.

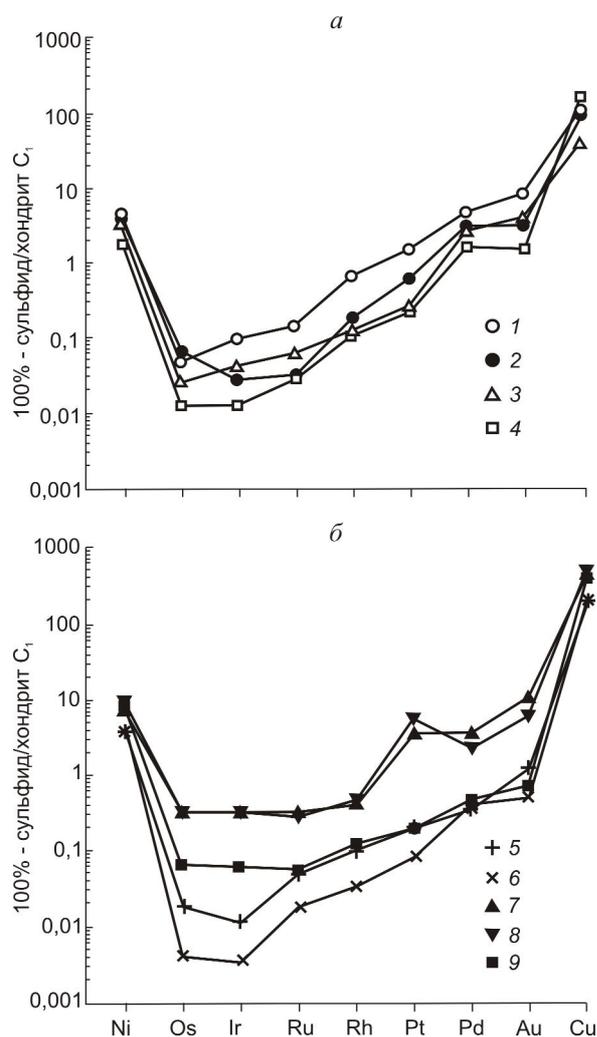
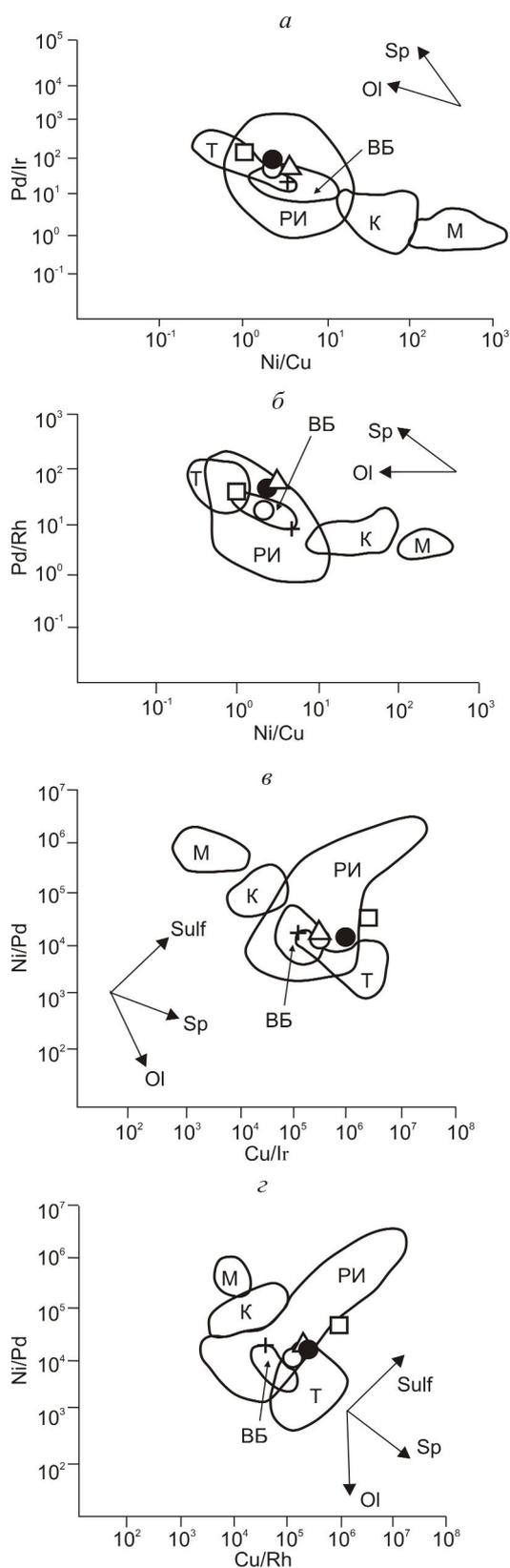


Рис. 3. Распределение нормированных по хондриту  $C_1$  содержаний благородных металлов, никеля и меди, пересчитанных на 100%-ный сульфид, в сульфидных рудах Cu-Ni месторождений, по [16]:

*a* — Байкальское месторождение (данные автора), *б* — месторождение Войсис Бэй (А.Дж.Надретт, 2003); типы руд: 1 — рассеянно-вкрапленные, 2 — густовкрапленные, 3 — жильные, 4 — вкрапленно-прожилковые в габбро-норит-диабазе, 5 — вкрапленные в такситовых троктолитах, 6 — массивные зоны Овоида; вкрапленные руды месторождения Джинчуан (А.Дж.Надретт, 2003): 7 — рудное тело 24, 8 — рудное тело 1, 9 — рудное тело 2

Рис. 4. Диаграммы зависимостей Pd/Ir–Ni/Cu (*a*), Pd/Rh–Ni/Cu (*б*), Ni/Pd–Cu/Ir (*в*), Ni/Pd–Cu/Rh (*г*):

1 — плагиоклазовые перидотиты с убогой минерализацией; руды в габбро-норит-диабазе: 2 — рассеянно-вкрапленные, 3 — густовкрапленные, 4 — жильные, 5 — вкрапленно-прожилковые; М — мантия; К — комагниты; ВБ — высокомагнезиальные базальты; РИ — расслоенные интрузивы; Т — толеиты; векторами показано изменение состава остаточного расплава при выделении из него оливина (Ol), хромшпинели (Sp) и сульфидов (Sulf)



+ 1 ○ 2 ● 3 △ 4 □ 5

отношений Ni/Pd и Ni/Pt (в пересчете на 100%-ный сульфид), чем в жильных (табл. 8; см. табл. 4). Вместе с тем, дифференциация сульфидной жидкости с преимущественной миграцией обогащенного медью расплава определяла избирательное накопление Pt относительно Pd. Этот вывод подтверждается более высокими отношениями Pd/Pt в жильных рудах по сравнению с вкрапленными и обогащенными последними медью (в пересчете на 100%-ный сульфид).

На диаграммах, предложенных С.Барнесом [14], фигуративные точки средних составов плагиоцелитов с убогой минерализацией и медно-никелевых руд Байкальского месторождения попадают в поле сульфидных руд, ассоциирующих с типичными расслоенными интрузивами (рис. 4). По данным этого автора, на ранних стадиях фракционной кристаллизации мафит-ультрамафитовой магмы происходит отделение ликвидусных оливина и хромшпинели, которые концентрируют преимущественно Ni, Ir, Rh, в результате чего остаточный расплав постепенно обедняется названными элементами, что приводит к увеличению в нем отношений Pd/Ir и Pd/Rh. В то же время, по мере усиления процесса отделения сульфидного вещества последующие порции сульфидной жидкости обедняются ЭПГ относительно Ni и Cu, что приводит к увеличению отношений Ni/ЭПГ и Cu/ЭПГ в рудах. Расположение фигуративных точек средних составов руд разных типов Байкальского месторождения в целом удовлетворительно подтверждает подобную интерпретацию (см. рис. 4).

Продоланное исследование позволяет сформулировать следующие выводы.

По особенностям распределения и соотношению ЭПГ руды Байкальского месторождения являются типичными для сульфидной Cu-Ni формации с преобладанием Pd над Pt и суммы Pd и Pt над группой редких платиноидов. По конфигурации профилей ЭПГ и отношению (Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os) они наиболее близки рудам зоны Овоида месторождения Войсис Бэй, занимая промежуточное положение между рудами Талнаха и Джинчуан.

Корреляционные соотношения между рудогенными компонентами и благородными металлами дают основание выделить две ассоциации ЭПГ — Pd, Pt, Rh и Ru, Ir, Os. Первая группа элементов реализуется в виде собственных минеральных фаз и твердых растворов в рудообразующих сульфидах, а вторая — возможно, в форме очень мелких включений твердых растворов Os-Ir-Ru или лаурита в хромшпинелидах.

Поведение Au характеризуется закономерностями, установленными для Pt, Pd, что свидетельствует

о концентрировании его совместно с главными металлами платиновой группы в сульфидном расплаве с кристаллизацией собственного минерала — электрума — на стадиях образования сульфидов.

Геохимические особенности руд свидетельствуют о том, что дифференциация сульфидной жидкости с преимущественной миграцией обогащенного медью расплава определяла избирательное накопление Pt относительно Pd. Этот вывод подтверждается более высокими отношениями Pd/Pt в жильных рудах, чем во вкрапленных, и обогащенными последними медью (в пересчете на 100%-ный сульфид).

Характер поведения и концентрирования ЭПГ и Au в рудах Байкальского месторождения не противоречат модели фракционной кристаллизации сульфидоносного расплава, предложенной для расслоенных интрузивов, при раннем отделении от него незначительного объема сульфидной жидкости.

Автор считает своим приятным долгом выразить глубокую благодарность Е.В.Кислову и Э.Г.Конникову за совместное проведение полевых работ и творческое обсуждение полученных результатов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 05-05-97246 р байкал и программы поддержки ведущих школ НШ-2284.2003.5.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арискин А.А., Конников Э.Г., Кислов Е.В. Моделирование равновесной кристаллизации ультрамафитов в приложении к проблеме формирования фазовой расслоенности Довыренского плутона (Северное Прибайкалье, Россия) // Геохимия. 2003. № 2. С. 131–155.
2. Геохимия благородных металлов в медно-никелевых и колчеданно-полиметаллических рудах / А.П.Кривенко, А.С.Лапухов, А.И.Глотов и др. // Геохимические ассоциации редких и радиоактивных элементов в рудных и магматических комплексах. Новосибирск, 1991. С. 110–132.
3. Дистлер В.В., Степц А.Г. Малосульфидный платиноносный горизонт Йоко-Довыренского расслоенного гипербазит-базитового интрузива (Северное Прибайкалье) // Докл. РАН. 1993. Т. 328. № 4. С. 498–501.
4. Качаровская Л.Н. Сульфидные медно-никелевые руды Йоко-Довыренского расслоенного плутона (состав и условия образования): Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. Улан-Удэ, 1986.
5. Качаровская Л.Н., Трунева М.Ф. Исследование минералогии благородных металлов сульфидных медно-никелевых руд // Эндогенные процессы и оруденение в Забайкалье. – Улан-Удэ, 1986. С. 120–123.
6. Конников Э.Г., Кислов Е.В., Орсов Д.А. Байкальское медно-никелевое месторождение // Месторождения Забайкалья. М., 1995. Т. I. Кн. 1. С. 29–38.

7. *Медь-никеленосные* габброидные формации складчатых областей Сибири / А.П.Кривенко, А.И.Глотов, П.А.Балыкин и др. – Новосибирск: Наука, 1990.
8. *Налдретт А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. – СПб.: СПбГУ, 2003.
9. *Петрология* сульфидного магматического рудообразования / В.В.Дистлер, Т.Л.Гроховская, Т.Л.Евстигнеева и др. – М.: Наука, 1988.
10. *Рудацевский Н.С., Крецер Ю.Л., Орсов Д.А., Кислов Е.В.* Палладиево-платиновая минерализация в жильных Cu-Ni рудах Йоко-Довыренского расслоенного массива // Докл. РАН. 2003. Т. 391. № 4. С. 519–522.
11. *Слюняев А.А., Переславец А.В., Исаичкин А.А., Никольская Н.Н.* Элементы группы платины в никеленосных норит-диоритовых интрузиях докембрия Воронежского кристаллического массива // Геология рудных месторождений. 1991. № 6. С. 57–73.
12. *Трунева М.Ф., Качаровская Л.Н.* Платиноносность сульфидных медно-никелевых руд высокомагнетитового расслоенного массива // Докл. АН СССР. 1985. Т. 280. № 1. С. 188–191.
13. *Шишкин Н.Н.* О медно-никелевом сульфидном оруденении в Йоко-Довыренском массиве основных и ультраосновных пород // Геология рудных месторождений. 1964. № 1. С. 93–98.
14. *Barnes S.-J.* The use of metal ratios in prospecting for platinum-group element deposits in mafic and ultramafic intrusions // J. Geochem. Explor. 1990. Vol. 37. № 1. P. 165–183.
15. *Kullerud G., Yund R.A., Moh G.* Phase relations in the Fe-Ni-S, Cu-Fe-S systems // Econ. Geol. Monograph. 1969. Vol. 4. P. 323–343.
16. *Naldrett A.J., Duke J.M.* Platinum metals in magmatic sulfide ores // Science. 1980. Vol. 208. № 4451. P. 1417–1428.
17. *Scoates R.F.J., Eckstrand O.R.* Platinum-group elements in the upper central layered zone of the Fox River sill, northeastern Manitoba // Econ. Geol. 1986. Vol. 81. № 5. P. 1137–1146.

УДК 553.411 (571.5/6)

© С.Ю.Голубев, 2008

## УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ РУДНЫХ ТЕЛ НАТАЛКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА

С.Ю.Голубев (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

*В результате переоценки месторождения и его подготовки к промышленному освоению по методике открытой отработки возникла необходимость переосмысления условий локализации рудных тел, литологического контроля, морфологии и строения рудной залежи, метасоматической зональности в объеме всего месторождения.*

Наталкинское месторождение золота открыто в 1942 г. За годы эксплуатации (1944–2004 гг.) на нем добыто 93,2 т металла. Существовавшая концепция эксплуатации месторождения заключалась в селективной подземной отработке его богатых частей. В пределах объекта было выделено 12 крупных и около 100 мелких рудных тел. Рудные тела средней мощностью 10 м представлены линейными штокверками существенно кварцевого состава. Устойчивый рост мировой цены на золото, начавшийся в 80-е годы, постепенно привел к созданию материальной базы для открытой отработки крупнотоннажных объектов. После приобретения Наталкинское месторождения ОАО «Рудник им.

Матросова» (дочерней компанией ЗАО «Полус») под руководством С.А.Григорова и М.П.Казимирова проводится интенсивная его подготовка к промышленному освоению по методике открытой отработки. Предложение о переоценке месторождения было высказано М.П.Казимировым в 2000 г. [5, 6]. По результатам больших объемов горных и буровых работ установлено, что при снижении среднего содержания Au до 1,7 г/т весь пучок сближенных минерализованных зон может рассматриваться как единая рудная залежь. После доразведки месторождения были утверждены запасы более 1500 т Au, что в 6 раз превышает ранее разведанные.

Учитывая уникальные масштабы объекта, его подготовку к отработке по новой для Российской Федерации крупнообъемной методике, а также неравномерную изученность геологической структуры и вещественного состава (верхняя часть территории до глубины 250 м изучалась в разные годы лишь на отдельных доступных участках, нижняя до глубины 600 м — ранее практически не изучалась), возникла необходимость уточнения условий локализации рудных тел в объеме всего месторождения, включая не исследованные фланги и глубокие горизонты. Доизучение проводилось на основе переосмысления имеющихся фондовых и опубликованных материалов и новых данных, полученных в ходе доразведки месторождения ОАО «Рудник им. Матросова» в 2004–2006 гг. В 2005–2006 гг. автором в составе группы сотрудников ЦНИГРИ велись научно-исследовательские работы по теме «Создание многофакторной модели глубоких горизонтов Наталкинского месторождения» [4].

Вмещающие породы в изученных частях месторождения представлены (снизу вверх) верхнепермскими породами согласно залегающих тасской, атканской и нерючинской свит.

Тасская свита — местный аналог более широко распространенной в Центрально-Колымском регионе пионерской свиты. В пределах рудного поля свита представлена монотонными черными углистыми сланцеватыми аргиллитами с прослоями черных, темно-серых алевролитов и редкими слоями желто-коричневых среднезернистых песчаников. Слоистость для аргиллитовых прослоев не характерна, в алевролитах — горизонтально-слоистые текстуры. Мощность свиты в пределах изученных частей месторождения >600 м. Формирование отложений свиты, вероятно, происходило в глубоководном морском бассейне в условиях сероводородного заражения среды.

Атканская свита сложена туфогенно-терригенными сланцами (диамиктитами) с редкими прослоями и линзами алевролитов и тонкозернистых песчаников. Диамиктиты — это неслоистые темно-серые алеврито-глинистые породы, в которых беспорядочно рассеян обломочный материал песчано-гравийной и галечной размерности. Включения песчано-гравийного размера преимущественно угловатые, галечного — округлые. Количество включений варьирует в пределах от 2–5 до 30–40%. Они представлены преимущественно изверженными породами кислого и среднего составов (альбитофидры, андезиты, фельзиты), очень редко интрузивными (диабазы, гранитоиды) и осадочными (аргиллиты, песчаники, известняки).

В вопросе о генезисе диамиктитов автор придерживается точки зрения А.С.Бякова и И.Л.Ведерникова, согласно которой, происхождение диамиктитов смешанное — оползневое и вулканическое. Мобилизация и транспортировка изверженного материала в глубоководные депрессионные части морского бассейна происходили, вероятно, вследствие подводных оползней. С отложением атканских пород из турбидитов (оползневых потоков) связана характерная высокая фациальная изменчивость этих образований. Зачастую невозможно провести корреляцию между соседними скважинами. Альтернативная точка зрения на происхождение пород атканской свиты высказана С.А.Григорьевым с соавторами [5], которые рассматривают их как продукт подводных и частично надводных извержений вулканов в пределах островных дуг.

Мощность атканской свиты в пределах изученных частей месторождения составляет 350–500 м. Максимальные мощности свиты наблюдаются в центральной части месторождения, совпадающей со средней частью Наталкинской синклинали. В атканской свите (за счет интенсивных кливажа, макро- и микротрещиноватости) отмечаются максимальные (в среднем 400 м) мощности рудной залежи.

Нерючинская свита сложена преимущественно алевролитами с прослоями песчаников. Мощность свиты в изученных частях месторождения превышает 450 м. Вслед за предыдущими исследователями [1] в пределах нерючинской свиты нами выделяются верхняя и нижняя подсвиты. Нижнюю подсвиту мощностью 350 м слагают алевролиты с прослоями песчаников и редкими прослоями диамиктитов, верхнюю (мощность >100 м) — переслаивающиеся алевролиты и песчаники с горизонтом песчаников (мощностью ~40 м) в основании.

Разрывная тектоника является ведущим фактором локализации золотой минерализации. Основные рудоконтролирующие разломы — Главный и Северо-Восточный. Между зонами этих разломов локализована основная рудная залежь. Наталкинское месторождение сосредоточено в пределах оруденелой узкой блок-пластины, включающей рудоносную трещинную систему [2].

Рудное поле совпадает с крупной Наталкинской синклинальной складкой, сложенной согласно залегающими верхнепермскими породами. В ядре синклинали залегают породы нерючинской свиты, в крыльях — атканской и тасской свит.

Морфология рудной залежи наиболее полно проиллюстрирована на профиле +50, пройденном через центральную часть Наталкинской синклинали. Для оконтуривания рудной залежи принято бортовое содержание Au 0,4 г/т, при котором залежь имеет

сравнительно простые очертания. В поперечных разрезах она напоминает обращенную вверх ветвь кедрового стланика. В строении залежи можно предположительно наметить три части: верхнюю — фронтальную, среднюю — центральную, нижнюю — корневую. Фронтальная часть залежи наиболее изрезана. По основным разрывным нарушениям в своей верхней части она распространяется в нерючинскую свиту в виде небольших ответвлений (залювов) и более мелких сателлитных тел мощностью 20–100 м. Центральная, наиболее мощная часть залежи (в среднем составляет 400 м), приурочена к атканской свите в участке ее пересечения зонами основных разломов — Главного и Северо-Восточного. Фронтальная и центральная части залежи в основном приурочены к тектоническому блоку между Главным и Северо-Восточным разломами. Нижняя граница рудной залежи имеет плавные параболические очертания и контролируется западным крылом Наталкинской синклинали. В целом она конформна контакту тасской и атканской свит. Лишь в областях развития основных разломов нижняя граница залежи продолжается в тасскую свиту более чем на 200 м. Мощность нижней части залежи около 100 м. Залежь отличается наличием густой сети разноориентированных разрывных нарушений, среди которых доминируют разломы северо-северо-западного простирания. В верхней части залежи эти разломы круто падают на восток (70–80°), а в нижней — вылаживаются, конформно Наталкинской синклинали.

Основная рудная залежь представляет собой минерализованную блок-пластину, зажатую между двумя рудоконтролирующими разломами (Главным и Северо-Восточным), вылаживающимися с глубиной. Ранее А.И.Калининым [1] предполагалось, что рудоконтролирующие разломы с глубиной сохраняют крутое падение. Предположение об их вылаживании высказано позднее С.В.Межовым [3] по данным детальной разведки, однако достоверная информация о вылаживании разломов с глубиной получена лишь в результате разбуривания глубоких горизонтов месторождения ОАО «Рудник им. Матросова» в 2004–2006 гг.

Под строением залежи автором понимается структура каркаса слагающих ее жил, прожилков, зон окварцевания и сульфидизации. Установлена отчетливая вертикальная структурно-морфологическая зональность рудных тел: в верхней части месторождения зоны прожилково-вкрапленной минерализации содержат мощные (до 1–2 м) ствольные жилы существенно кварцевого состава, тогда как начиная с горизонта 600 м и глубже рудные тела практически нацело представлены штокверком тонких, в том числе микроскопических, квар-

цевых прожилков, зонами окварцевания и тонкой сульфидной (в основном арсенопирит) вкрапленностью. По морфологии и распределению содержащий золота рудные тела глубоких горизонтов напоминают зоны прожилково-вкрапленной минерализации Дегдеканского месторождения. Возможной причиной резкой смены прожилков мощными ствольными жилами выше горизонта 600 м является переход снизу вверх по разрезу режима давления от литостатического к гидростатическому.

Полученные данные свидетельствуют о наличии визуальных геологических критериев выделения рудных тел. К таким носящим статистический характер критериям, разработанным при участии автора, можно отнести следующие:

число кварцевых прожилков на погонный метр в поперечном сечении рудного тела (при наличии более 10 прожилков на 1 погонный метр содержание Au составляет 1–5 г/т);

совмещение разноориентированных систем прожилков (при наложении нескольких систем содержание Au составляет 5–10 г/т);

интенсивность окварцевания вмещающих пород (содержания Au могут составлять 1–5 г/т даже при отсутствии видимых прожилков, если степень окварцевания пород превышает 50%);

вкрапленность тонкозернистого арсенопирита в прожилках и вмещающих породах (содержание Au составляет 1–5 г/т, если вкрапленность арсенопирита превышает 1–3%);

к отрицательным критериям можно отнести интенсивную кальцитизацию вмещающих пород (при наличии отчетливо проявленной реакции на HCl содержания Au, как правило, не превышают 0,2 г/т; при этом критичным является присутствие кальцита именно во вмещающих породах, поскольку кварц-кальцитовые прожилки в контурах рудных тел зачастую несут промышленные содержания золота, хотя и свидетельствуют о приближении к границе рудного тела).

Можно предположить, что локализация золотой минерализации обусловлена сочетанием структурных и литологических ловушек на путях движения золотоносных растворов, длительностью их воздействия и т.п. Золотоносные растворы, вероятно, двигались по системе межформационных разломов (вдоль контакта тасской и атканской свит). Если предположение о том, что в целом залежь контролируется системой межформационных разломов, приуроченных к контакту тасской и атканской свит, верно, то перспективным направлением представляются поиски продолжения рудной залежи (в слепом залегании), приуроченной к северо-восточному крылу Наталкинской синклинали, которая уверенно

прогнозируется по геофизическим и геохимическим данным. Прогнозная оценка ресурсов золота Восточной рудной залежи составляет не менее 500 т [5]. В нерючинской свите золотоносные растворы, по-видимому, двигались по сравнительно крутопадающим рудоконтролирующим разломам.

Документация керн скважин и горных выработок Наталкинского месторождения, выполненная при участии автора, позволила наметить следующую схему метасоматической зональности.

Выделены три основные зоны окolorудных метасоматических изменений. С рудными телами (штокверком золото-галенит-сфалерит-арсенопирит-анкерит-серицит-альбит-кварцевого состава) совпадает зона интенсивных серицит-кварцевых изменений и обильной вкрапленности игольчатого и ромбического арсенопирита, а также в меньшей степени — развития гнезд, прожилков и просечек тонкозернистого пирита. Более широко развитая альбит-кварцевая зона изменений частично совмещается с серицит-кварцевой зоной, а также развита на верхне- и нижнерудном уровнях. Подрудный и надрудный уровни и более удаленные фланги характеризуются наличием зоны кальцитизации. Зона кальцитизации отличается редкой вкрапленностью кубического пирита и тонкозернистого арсенопирита, а также преимущественным развитием прожилков кальцит-кварцевого состава. Характерно частичное перекрытие соседних зон метасоматических изменений.

Отмеченная метасоматическая зональность хорошо диагностируется при полевой документации керн и горных выработок, не требует детального микроскопического изучения и может использоваться в качестве экспрессного критерия приближения к рудным телам. Индикатором надрудного–верхнерудного уровня эрозийного среза является смена сверху вниз кальцита альбитом.

Флюидный режим минералообразования, по данным изучения газовой-жидких включений, имеет следующие особенности:

температуры минералообразования в целом составляли 175–385°C. При этом температурный интервал формирования продуктивной золото-галенит-сфалерит-арсенопирит-кварцевой ассоциации оценивается в 250–300°C;

растворы были существенно углекислотными ( $\text{CO}_2/\text{CH}_4=40$ ), слабо минерализованными, гидрокарбонатно-натриевого состава при практически полном отсутствии хлор-иона. Отсутствие хлор-иона и низкая минерализация растворов могут указывать на их амагматогенное (возможно, метаморфогенно-гидротермальное) происхождение. Рудоотложение протекало на фоне снижения температуры от

300 до 250°C и давления от 800 до 300 бар на глубинах 2–3 км;

в качестве основного фактора рудоотложения можно предположить несмесимость углекислоты и воды (вскипание растворов с выделением  $\text{CO}_2$  и значительным увеличением щелочности флюида) в условиях понижения давления.

Таким образом, на примере Наталкинского месторождения можно видеть, что включение межжильного пространства, флангов и глубоких горизонтов в контур крупнотоннажного рудного тела в корне изменяет представления о морфологии рудных тел (переход от жил и линейных минерализованных зон к объемным штокверкам) и системе прогнозно-поисковых критериев (усиливается значение литолого-фациальных критериев, хотя роль тектонических остается доминирующей; метасоматическая зональность рассматривается не относительно отдельных жил, а в объеме всего месторождения и др.). Это позволяет существенно уточнить генезис месторождения. Прогнозно-поисковая модель месторождения характеризуется обширными метасоматическими ореолами (от внутренних к внешним — серицит-кварцевого, альбит-кварцевого и кальцит-кварцевого составов), в пределах которых сосредоточен рудный мегаштокверк, выраженный большим количеством разноориентированных кварцевых жил и зон прожилкования, при наличии в межжильном пространстве многочисленных макро- и микропрожилков. Главные элементы геологического строения, имеющие рудоконтролирующее значение, — туфогенно-терригенно-сланцевая фациально изменчивая толща, обуславливающая стратонидное размещение рудных тел, и каркас разломов, определяющих границы месторождения и его структурно-морфологическую зональность. Последняя характеризуется вверху крупными золотоносными кварцевыми жилами на фоне прожилково-вкрапленных руд, внизу — рудным мегаштокверком.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин А.И., Канищев В.К., Орлов А.Г., Гапшольд В.В. Структура Наталкинского рудного поля // Колыма. 1992. № 10–11. С. 10–14.
2. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. — М.: Научный мир, 2000.
3. Межов С.В. Геологическое строение Наталкинского золоторудного месторождения // Колымские вести. 2000. № 9. С. 8–17.
4. Многофакторная модель золоторудного месторождения Наталка. / С.Ф.Стружков, М.В.Наталенко, В.Б.Чекваидзе и др. // Руды и металлы. 2006. № 3. С. 34–44.

5. Наталкинское золоторудное месторождение — строение и основные поисковые признаки / С.А.Григоров, В.Д.Ворожбенко, П.И.Кушнарев и др. // Отечественная геология. 2007. № 3. С. 43–50.
6. Рудаков В.В., Казимиров М.П., Григоров С.А. О новом экономическом классе коренных месторождений золота в России // Драгоценные металлы. 2004. Июль. С. 49–51.

УДК 553.411 (571.5/6)

© Л.А.Остапенко, 2008

## УСЛОВИЯ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ В ТЕРРИГЕННО-СЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КОЛЫМЫ

Л.А.Остапенко (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

*Установлено, что гидротермальный процесс на всех исследованных площадях протекал длительное время, в идентичной последовательности и может быть разделен на четыре этапа. При этом образование кварцевых жил и прожилков, а также вкрапленных во вмещающих породах сульфидов происходило преимущественно синхронно. Золото отлагалось в одну (золото-полиметаллическую) стадию четвертого этапа минералообразования, накладываясь на более ранние жильно-прожилковые образования, вмещающие породы, зоны дробления и вкрапленные сульфиды.*

Исследованиями Центральной Колымы начиная с 30-х годов прошлого столетия занимались многие ученые нашей страны. Сейчас наиболее актуальная задача — выявление новых «крупнообъемных» золоторудных месторождений, что согласуется с тенденциями развития мировой золотодобывающей промышленности [4, 11]. К «крупнообъемным» (крупнотоннажным) относятся золоторудные месторождения с большими запасами руды и, как правило, с низкими содержаниями (первые граммы на 1 т) Au, пригодными для открытой отработки. К настоящему времени на данной территории разведано только одно «крупнообъемное» золоторудное месторождение — Наталкинское. При этом перспективы выявления новых золоторудных месторождений, отвечающих критериям «крупнообъемного», оцениваются достаточно высоко [11]. Поэтому продолжение исследований по определению условий формирования жильной и прожилково-вкрапленной золоторудной минерализации в терригенно-сланцевых толщах Центральной Колымы, которые были начаты Ю.А.Билибиным, П.Н.Скорняковым и многими другими, по-прежнему актуально.

Изучение условий минералообразования золотых руд проводилось на месторождениях и рудо-

проявлениях золото-кварцевой формации на площадях Дегдеканского, Токичанского, Верхнего-Ат-Юряхского, Стахановского, Юглеровского и Снежинского рудных полей. Исследователи, изучавшие объекты золото-кварцевой формации Северо-Востока России, отмечали, что эти месторождения характеризуются поразительным однообразием минерального состава на огромной территории Яно-Колымского и Аллах-Юньского поясов, Северного Верхоянья, Чукотки и других районов. Причем однообразие состава наблюдается при различных эрозионных срезах (П.Н.Скорняков, 1951 г.). Не составляют исключения и изученные рудные поля. Минеральный состав жильно-прожилковых гидротермальных образований на всех перечисленных площадях идентичен. Количественные же соотношения между различными минералами варьируют как на отдельных участках, так и (в среднем) по различным площадям.

Определение парагенезисов минералов и последовательности их образования — одна из важных задач при изучении рудных месторождений. В соответствии с классическими представлениями А.Г.Бетехтина, Н.В.Петровской и др. об иерархии гидротермального процесса, представленной как

Минералы	Этапы и стадии											
	I			II			III			IV		
	Раннего «книжного» кварца	Кварцевая	Полевосплат-кварцевая	Позднего «книжного» кварца	Арсенопирит-кварцевая	Кварц-карбонатная	Полевосплат-карбонат-кварцевая	Кварц-мусковит-кальци-товая	Кварц-арсено-пирит-пиритовая	Золото-полиметаллическая	Серицит-карбонатная	Кварц-кальци-товая
Кварц	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Полевой шпат	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fe-карбонат	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Кальцит	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Мусковит (серицит)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Хлорит	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Рутил	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Арсенопирит	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Пирит	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Пирротин	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Халькопирит	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Галенит	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Сфалерит	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Блеклая руда	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Самородное золото	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Сульфосоли свинца	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Сульфосоли серебра	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Акантит	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Рис. 1. Генерализованная схема последовательности гидротермального минералообразования (Дегдеканское, Токичанское, Верхнее-Ат-Юряхское, Стахановское, Снежинское, Юглеровское рудные поля)

парагенезис→стадия→этап, на основе сотен прослеженных локальных взаимоотношений, нами выделено четыре этапа гидротермального минералообразования, разделенных интенсивными тектоническими процессами и внедрением даек различного состава [6, 8]. Каждый из этапов включает от двух до четырех стадий, представляющих непрерывные ряды минеральных парагенезисов (рис. 1). Для разделения процесса гидротермального минералообразования на этапы использованы следующие критерии: временной разрыв в минералоотложении, определяющийся по наличию складкообразования и метаморфизма жильного материала; присутствие разделяющих интрузивных комплексов; приуроченность различных минеральных парагенезисов к разным тектоническим структурам; наличие характерных околожильных метасоматитов; различная геохимическая специализация минеральных парагенезисов; характер площадного распространения минеральных парагенезисов (в каждом этапе ранние стадии имеют более широкое площадное распространение, чем поздние). Разделение этапов на стадии минералообразования проводилось на основании следующих данных: прямое пересечение жил и прожилков; изменение минерального состава парагенезисов; изменение состава околожильных метасоматитов в соответствии с жильным выполнением; текстурный рисунок жил и особенности

строения минеральных агрегатов, характеризующие способы заполнения жильного пространства; метасоматические замещения.

Минеральные агрегаты всех выделенных этапов и стадий отличаются конкретными, только им присущими признаками — составом, текстурой, структурой [7]. Все жильно-прожилковые образования первого этапа полностью перекристаллизованы (влияние динамометаморфизма при складкообразовании). Околожильные изменения представлены окварцеванием и альбитизацией. Метасоматиты данного этапа также перекристаллизованы. Характерная особенность минеральных агрегатов второго этапа — постоянное присутствие в них большего или меньшего количества арсенопирита. Околожильные метасоматиты сложены новообразованным кварцем с вкрапленностью пирита и арсенопирита. Минеральные агрегаты третьего этапа содержат значительную долю (часто >50%) карбонатов (железистые карбонаты, кальцит) в ассоциации с мусковитом и незначительным количеством пирита. Околожильные изменения представлены карбонатизацией и мусковитизацией (серицитизацией). Парагенезисы четвертого этапа накладываются на все предыдущие жильно-прожилковые и вкрапленные образования и являются единственными, несущими золотую минерализацию. К основным парагенным самородному золоту минералам относятся галенит, сфалерит, арсенопирит и

## 1. Характеристика флюидных включений в жильном кварце

Рудное поле	Температура гомогенизации, °С				Минерализация раствора, % NaCl-экв	Количество углекислоты, мольн. %	CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> минимальное – максимальное (среднее)	Расчетное давление, кбар	
	число замеров	минимальная	максимальная	средняя				минимальное	максимальное
Дегдеканское	141	135	305	215	<3	5–20	50–97 (71)		1±0,2
Токичанское	79	105	345	225	5–7,5	2,5–10	12–26 (23)	0,4	1±0,2
Верхнее-Ат-Юряхское	29	190	345	255		<10		0,525	1±0,2
Юглеровское	125	135	410	228	1,5–11		0,2–0,36 (0,25)	0,50	0,8

\*Исследования проводились С.Ф.Стружковым, С.Г.Кряжевым, аналитики — Ю.В.Васюта, А.Ю.Смоленкова, И.В.Григорьева.

кварц. В подчиненных количествах или встречаются спорадически халькопирит, сульфосоли свинца и серебра, электрум, блеклые руды.

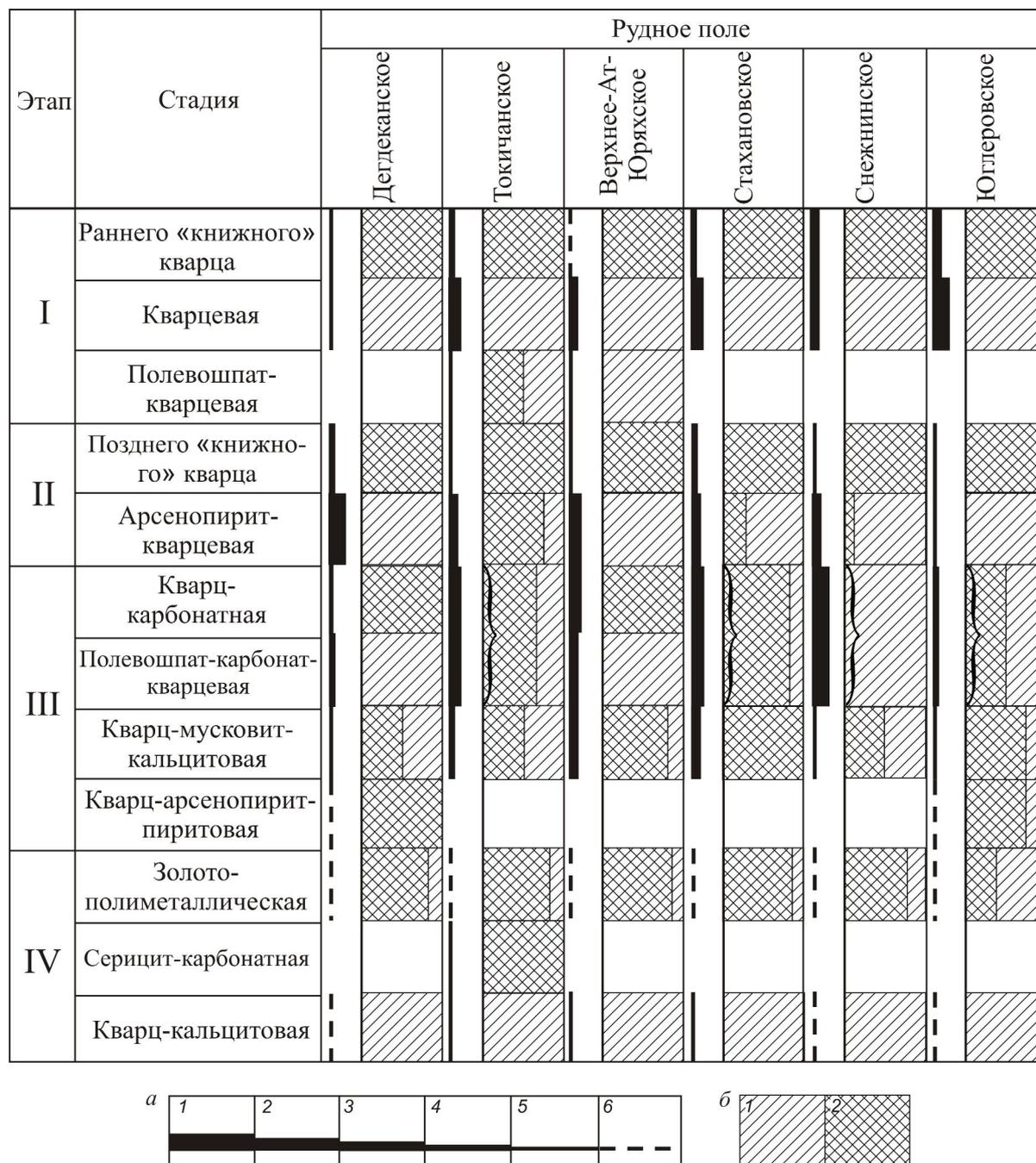
На всех исследованных площадях имеются участки вмещающих пород, обогащенные сульфидами (преимущественно пиритом), что характерно для всех терригенных толщ Центральной Колымы. Специальные исследования для выяснения генезиса вкрапленного пирита проведены на площади Дегдеканского рудного поля [6]. Установлено, что морфология пиритовых и кварц-пиритовых образований никак не обусловлена временем их формирования. Изотопный анализ серы показал, что пирит из вмещающих пород по данному параметру не отличается от такового из прожилков. Этот факт при достаточно узком интервале вариаций  $\delta^{34}\text{S}$  -2,7... -5,6‰ однозначно свидетельствует о гидротермальной природе сульфидной вкрапленности во вмещающих породах. Пиритовые агрегаты различной морфологии, как правило, представляют собой совмещенные многостадийные образования, которые формировались в течение всего гидротермального процесса, синхронно с кварцевыми жилами и прожилками. Отнесение конкретного пиритового выделения к определенному этапу минералообразования возможно лишь при микроскопических исследованиях по формам выделений регулярно присутствующей в пирите микроскопической (<0,01 мм) вкрапленности пирротина и халькопирита, структуре кварцевых оторочек вокруг метакристаллов пирита и характеру поверхности кристаллов.

Рудные поля, изучавшиеся при участии автора, приурочены к юго-востоку Яно-Колымской складчатой системы. Они представляют собой тектонические блоки с очень высокой концентрацией разнонаправленных разрывных нарушений и тяготеют к зонам долгоживущих глубинных региональных

разломов. Их локализация в двух основных мегаструктурах района (Аян-Юряхском антиклинории и Иньяли-Дебинском мегасинклинории) обусловила разный возраст терригенно-сланцевых пород, вмещающих золоторудную минерализацию (от позднепермского до среднеюрского). Кроме этого, рудные поля отличаются интенсивностью развития интрузивных образований, а также характером и конфигурацией разрывных нарушений, существенно повлиявших на морфологию жильно-прожилково-вкрапленных образований. Несмотря на перечисленные отличия, состав разновременных минеральных парагенезисов на всех объектах идентичен [7]. Жилы и прожилки формировались одновременно с парагенными метасоматитами в единой последовательности минералоотложения. Поэтому, помимо близости минерального состава жильно-прожилковых и вкрапленных образований, отмечается и практически полная идентичность метасоматитов. Незначительные вариации состава, как метасоматитов, так и жильных образований, обусловлены преимущественно влиянием первичного состава вмещающих пород.

При сходстве составов разновременных минеральных агрегатов и повторяющейся последовательности их образования на изученных площадях существенно меняются только процентные соотношения тех или иных парагенезисов в объеме жил и прожилков (рис. 2), что обусловлено различной интенсивностью проявления того или иного этапа минералообразования на конкретной площади. Также варьируют объемы минеральных агрегатов, сформированных в полостях трещин и метасоматическим путем (см. рис. 2), являющихся следствием тектонического режима в момент минералообразования.

По данным термобарометрических исследований жильных кварцев [12] на всех изученных руд-



**Рис. 2. Соотношение разновременных минеральных агрегатов и их типов по способу образования в жилах и прожилках различных рудных полей:**

*a* — доля (%) от общего объема жильных агрегатов (1 — <1, 2 — 1–5, 3 — 5–10, 4 — 10–20, 5 — 20–50, 6 — >50); *б* — соотношение типов минеральных агрегатов, сформированных метасоматически (1), в свободном пространстве полостей трещин (2)

ных полей установлен сравнительно широкий температурный интервал гомогенизации микровключений от 105 до 410°C с близкими среднемодалными температурами от 215 до 255°C, что может характеризовать все объекты как среднетемпературные

(табл. 1) и свидетельствовать о сходных температурных режимах. Преобладают газовой-жидкие включения с газовой фазой от 5 до 30%. Сравнительно часто наблюдаются включения с фазой жидкой углекислоты и метана. Включений с твердой фазой ни на

## 2. Изотопный состав серы\* пирита и арсенопирита из кварцевых жил и прожилков

Рудное поле (узел)	Число определений	$\delta^{34}\text{S}$ , ‰			Коэффициент вариации, отн. %
		минимальное	максимальное	среднее	
Дегдеканское	17	-7,8	-3,1	-5,0	29,5
Токичанское	6	-5,6	-1,6	-3,9	39,0
Снежинское	6	-4,4	-0,5	-3,2	50,6
Омчакский	17	-7,6	-4,8	-6,1	10,8

\*Изотопный анализ проведен в отделе минералогии и изотопной геохимии ЦНИГРИ, аналитик — Н.В.Гурина.

одном из изученных объектов не встречено. Признаки вскипания растворов отсутствуют. В выявленных широких температурных диапазонах гомогенизации газовой-жидких включений статистически выделяется от двух до четырех более узких, частично перекрывающихся интервалов, которые, вероятно, отвечают различным генерациям включений, соответствующим наиболее интенсивно проявленным стадиям гидротермального минералообразования.

Флюидные включения в жильном кварце первого этапа минералообразования не сохранились в связи с полной перекристаллизацией материала. Кварц второго этапа, в частности арсенопирит-кварцевой стадии, сформирован преимущественно в свободном пространстве, интенсивно сблокирован и расщеплен в процессе роста. Первичные флюидные включения в нем имеют размер  $\ll 1$  мкм, что затрудняет их исследование. Более вероятно, что включения, характеризующие второй этап минералообразования, присутствуют в виде вторичных в перекристаллизованном кварце первого этапа. Но из-за пространственного совмещения одновременных минеральных агрегатов оценить статистическую достоверность количества включений, характеризующих второй этап, представляется невозможным. Объем минеральных агрегатов золото-полиметаллической стадии в жилах и прожилках составляет доли процента, поэтому вероятность обнаружения статистически значимого количества газовой-жидких включений, относящихся к данному процессу, крайне низка. В водяно-прозрачном кварце, парагенном золото-полиметаллической ассоциации, который однозначно идентифицирован в жилах Токичанского рудного поля, газовой-жидких включений не обнаружено. Наиболее вероятно, что полученные данные отражают температурные режимы минералообразования различных стадий третьего этапа, «загушевывая» в результате совмещения процессов характеристики второго и четвертого этапов минералообразования. Вариации соотношений объемов одновременных минеральных агрегатов в жилах и прожилках изученных рудных полей, об-

условленные различной интенсивностью определенного процесса в той или иной точке, могли привести к некоторым статистическим отличиям, установленным для температур гомогенизации флюидных включений в жильном кварце (см. табл. 1).

Минимальные расчетные значения давлений на объектах меняются от 400 до 525 бар, максимальное значение —  $1 \pm 0,2$  кбар. Это позволяет предположить, что на втором этапе (наиболее ранний этап, для которого возможно сохранение сингенетических включений) минералообразование происходило на глубине порядка 4 км, а на третьем — 1,5 км. Формирование же золоторудной минерализации, вероятно, осуществлялось на еще меньших глубинах. Гидротермальное минералообразование в условиях поднятия и денудации привело к тому, что поздние минеральные парагенезисы отлагались на существенно меньших глубинах, чем ранние. Принимая во внимание, что предполагаемый темп денудации на исследуемой территории составляет 0,013–0,036 мм/год [1], можно предположить, что длительность гидротермального процесса могла составлять десятки миллионов лет. При этом нельзя исключать возможность резкого снижения давления из-за увеличения открытости гидротермальных систем (переход от литостатического давления к гидростатическому), при массовом образовании трещин. Однако такое событие выглядит маловероятным при протекании процесса на глубине 4 км.

Косвенным подтверждением относительно близкого формирования золоторудной минерализации может служить установленная контрастная вертикальная минералогическая зональность с преобладанием в составе золоторудного парагенезиса (сверху вниз) галенита → сфалерита → арсенопирита+пирита (месторождение Снежное). Такая зональность характерна для близкоповерхностных полиметаллических и серебро-полиметаллических месторождений. Данное предположение подтверждают также морфологические особенности выделений самородного золота с существенной долей среди кристаллов их удлиненных форм (удлине-

ние 1:5 и более) [5]. Кроме того, на изученных объектах фиксируются дендриты и дендритоиды самородного золота, образование которых возможно при резких сменах условий минералоотложения и значительно пересыщении растворов, что характерно для близповерхностных условий [10].

Изотопный состав серы сульфидов из жильно-прожилковых образований характеризуется близкими значениями. Все сульфиды изотопно-легкие. Жильно-прожилковая пирит-арсенопиритовая минерализация характеризуется интервалом значений  $\delta^{34}\text{S}$  от  $-0,5$  до  $-7,8\%$  с более узкими вариациями этой величины для каждого исследованного района (табл. 2). Данный факт может свидетельствовать о том, что источники серы были однотипны, а, исходя из отклонения  $\delta^{34}\text{S}$  от «метеоритного» уровня ( $\delta^{34}\text{S}=0$ ), возможно, комбинированными [3]. Золоторудные растворы, вероятнее всего, были обеднены серой. Парагенные самородному золоту сульфиды образовывались только в тех участках жил и прожилков, где сера поступала в раствор при растворении ранних сульфидов. Растворение пирита и арсенопирита и образование в результате этого сфалерита и галенита сопровождалось понижением  $\delta^{34}\text{S}$  на 3–9%, что характерно для процессов, протекающих в окислительных условиях [2].

При сходстве состава и последовательности гидротермального минералообразования структурно-морфологические типы минеральных образований, вмещающих золоторудную минерализацию, на изученных рудных полях весьма разнообразны. Это кварцевые жилы, жильно-прожилковые зоны, лестничные кварцевые жилы и прожилки в дайках и пластах песчаников, седловидные кварцевые жилы, приуроченные к шарнирам складок, поля и зоны сульфидизации (преимущественно

но пиритизации) вмещающих пород, зоны совмещения различных структурно-морфологических типов минерализации.

Изучение распределения золоторудной минерализации показало, что повышенные концентрации золота отмечаются как в жильно-прожилковых образованиях, так и во вмещающих породах (табл. 3). В прожилках из зон прожилкования распределение золота более равномерное, чем в рудных телах жильного типа. При выделении золота в конце гидротермального процесса любая минеральная ассоциация, образовавшаяся ранее, может концентрировать золото. Поэтому любая неоднородность жильного и прожилкового выполнения будет благоприятным фактором, обуславливающим формирование повышенных концентраций золота [10]. Чем больше стадий минерализации проявлено в какой-то точке, тем, соответственно, интенсивнее были межстадийные тектонические подвижки и тем масштабнее затем здесь формировалась золоторудная минерализация [8].

Многомодальность в распределении содержания золота во вмещающих породах — следствие тектонической и литологической неоднородности исследуемых объектов [9]. Так, в Токичанском рудном поле на интенсивность развития золоторудной минерализации существенно влияет литологический фактор. В аргиллитах и алевролитах содержания золота существенно ниже при менее значительной вариации, чем в обломочных породах (см. табл. 3), что связано с их различной проницаемостью.

Основной фактор, обуславливающий формирование зон повышенных содержания золота в монотонных пачках пород Дегдеканского рудного поля, — структурный. В зонах развития прожилковой минерализации (участок Верный) отмечаются более высокие содержания золота (при малых вариаци-

### 3. Статистические параметры оценки содержаний золота по данным атомно-абсорбционного анализа протолочных и сколовых проб

Рудное поле	Участок	Тип анализируемого материала	Число проб	Содержание Au, г/т			Коэффициент вариации, отн. %	
				минимальное	максимальное	среднее		
Дегдеканское	Дегдекан	Жилы и прожилки	69	0,003	621,87	14,39	531,2	
		Вмещающие породы	97	0,002	4,04	0,13	417,1	
	Верный	Жилы и прожилки	66	0,002	23,15	3,23	153,6	
		Вмещающие породы	79	0,002	4,86	0,46	160,2	
	Суммарно по рудному полю	Жилы и прожилки	135	0,002	621,87	8,93	614,2	
		Вмещающие породы	176	0,002	4,86	0,28	234,2	
	Итого	311	0,002	621,87	4,07	898,1		
Токичанское	Суммарно по рудному полю	Жилы и прожилки	104	0,008	1810	46,67	517,4	
		Вмещающие породы	глинистые	82	0,005	1,99	0,14	217,8
			обломочные	134	0,003	26,7	0,61	506,3
			Общее	216	0,003	26,7	0,44	561,3
		Итого	320	0,003	1810	16,67	848,9	

циях), чем в рудных телах жильного типа (участок Дегдекан). Зоны дробления и расщепления характеризуются большим количеством поверхностей раздела, обеспечивающих проницаемость, чем одиночные трещины.

Оценка золотоносности пиритов из вмещающих пород Дегдеканского рудного поля [6] позволила выявить наиболее сильную корреляционную связь между содержанием в них золота и цинка. Это, а также идентичность состава самородного золота из вкрапленных пиритовых агрегатов и из жильно-прожилковых кварцевых образований служит доказательством одновременности их формирования. Интенсивность пиритизации вмещающих пород не влияет на распределение золоторудной минерализации. Повышенные содержания золота в зонах развития прожилково-вкрапленной минерализации отмечаются только в интервалах с наличием кварцевых прожилков или зон дробления [6].

Таким образом, на основании проделанных исследований можно сделать следующие выводы:

гидротермальный процесс на всех изученных площадях протекал длительное время и может быть разделен на четыре этапа, при этом образование кварцевых жил и прожилков, а также вкрапленных во вмещающих породах сульфидов происходило преимущественно синхронно;

при отличающихся структурно-литологических позициях рудных полей жильно-прожилково-вкрапленная минерализация, распространенная на их площадях, близка по минеральному составу, образована в идентичной последовательности и сходных физико-химических условиях;

установленная последовательность гидротермального минералообразования, минеральный состав золоторудного парагенезиса, вертикальная минералогическая зональность распределения золото-полиметаллического парагенезиса, морфологические особенности выделений самородного золота, а также интерпретация данных термобарических исследований позволяют предположить, что формирование золоторудной минерализации существенно оторвано во времени от формирования кварцевых жил и прожилков и происходило на глубине <math>< 1,5 \text{ км}</math>;

золоторудная минерализация, формируясь в конце гидротермального процесса, накладывалась на ранние кварцевые жилы и прожилки, вмещающие породы, вкрапленные во вмещающих породах сульфиды и зоны дробления;

распределение золота во вмещающих породах обусловлено характером разрывных нарушений, литологическим составом и интенсивностью метасоматических преобразований;

интенсивность пиритизации вмещающих пород не влияет на распределение золота;

зоны кварцевого прожилкования, совмещенные с интенсивно измененными вмещающими породами и зонами дробления, перспективны на выявление «крупнообъемного» золоторудного объекта;

основные факторы, определяющие локализацию интенсивной прожилково-вкрапленной золоторудной минерализации, — тектонический и литологический, обеспечивающие повышенную проницаемость для рудоносных растворов.

*Автор выражает благодарность коллегам, любезно предоставившим первичный каменный материал для проведения исследований, — С.Ф.Стружкову, М.В.Наталенко, А.К.Быстровой, В.К.Политову, В.В.Аристову, Н.В.Цымбалюку.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воскресенский С.С., Колосова Г.Н., Наумов В.Б. Термобарические особенности формирования жильного кварца бассейна верхнего течения р. Колымы и денудационный срез // Изв. вузов. Геология и разведка. 1972. № 10. С. 42–45.
2. Гриненко В.А., Гриненко Л.Н. Геохимия изотопов серы. — М.: Наука, 1974.
3. Гриненко Л.Н., Соколова Н.Т. Поведение серы в процессе формирования месторождений «пятиметальной» формации // Геохимия. 1991. № 8. С. 1133–1145.
4. Михайлов Б.К., Прусс Ю.В., Волков С.В., Стружков С.Ф. Крупнообъемные золоторудные месторождения Центральной Колымы — объекты XXI века // Золотодобывающая промышленность России. Проблемы и перспективы. М., 2001. С. 23–28.
5. Остапенко Л.А. Факторы, влияющие на гранулометрический состав и морфологию выделений самородного золота в кварцевых жилах и прожилково-вкрапленных зонах на объектах золото-кварцевой формации // Мат-лы научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Ф.В.Чухрова «Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии», 22–24 апреля 2008 г. М., 2008. С. 314–317.
6. Остапенко Л.А., Рыжов О.Б., Кряжев С.Г., Быстрова А.К. Пириты терригенных черносланцевых пород Дегдеканского золоторудного поля, Центрально-Колымский район // Руды и металлы. 2005. № 3. С. 45–57.
7. Остапенко Л.А., Рыжов О.Б. Особенности формирования золоторудной минерализации в ряде рудных полей Центрально-Колымского региона // Тр. научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Ф.И.Вольфсона, 21–22 ноября 2007 г. М., 2007. С. 137–139.
8. Остапенко Л.А., Рыжов О.Б. Закономерности распространения разновременных минеральных образований на площадях Дегдеканского и Токичанского рудных полей (Магаданская область) // Мат-лы научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Ф.В.Чухрова «Проблемы геологии рудных место-

- рождений, минералогии, петрологии и геохимии», 22–24 апреля 2008 г. М., 2008. С. 162–164.
9. *Остапенко Л.А., Рыжов О.Б.* Характер распределения золоторудной минерализации в Дегдеканском и Токичанском рудных полях Центрально-Колымского региона (Магаданская область) // Тез. докл. научно-практической конференции «Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений — достижения и перспективы», 20–22 мая 2008 г. М., 2008. С. 152–153.
10. *Петровская Н.В.* Самородное золото. — М.: Наука, 1973.
11. *Потенциал золотоносности Яно-Колымской провинции* / Б.К.Михайлов, С.Ф.Стружков, В.В.Аристов и др. // Руды и металлы. 2007. № 5. С. 4–17.
12. *Стружков С.Ф., Кряжев С.Г., Наталенко М.В., Голубев С.Ю.* Отличия золото-кварцевых и золото-полисульфидно-кварцевых месторождений Центральной Колымы по термобарогеохимическим данным // Матлы XIII Международной конференции по термобарогеохимии и IV симпозиума APFIS. М., 2008. Т. 2. С. 124–127.

## Памятные даты

### 90-летие П.Ф.Иванкина



29 августа 2008 г. исполнилось 90 лет со дня рождения Петра Филипповича Иванкина, ушедшего из жизни в 1998 г.

П.Ф.Иванкин — доктор геолого-минералогических наук, профессор, Почетный академик МАМР, Почетный разведчик недр. С 1972 по 1980 гг. был директором ЦНИГРИ. Вся жизнь и научная деятельность П.Ф.Иванкина были отданы исследованиям горно-рудных районов Урала, Тянь-Шаня, Рудного Алтая, Сибири, Забайкалья. Его вклад в теоретическую и практическую геологию широко известен и до конца не осмыслен.

Круг научных интересов Петра Филипповича был необычайно широк — от теоретических и практических проблем геологии, физической химии, философии, методов познания до организационных вопросов производства и управления отраслью. Ему была присуща способность генерировать научные идеи и новые направления. Труды П.Ф.Иванкина по металлогении, морфогенезу рудно-магматических систем, петрографии, морфоструктурам и петрогенезису глубинных разломов, прогнозу и оценке месторождений цветных, редких, благородных металлов и алмазов, генетической систематизации месторождений полезных ископаемых с выделением нескольких рядов рудных формаций, объемным моделям рудных полей получили признание геологов и востребованы до настоящего времени.

Не повторяясь, невозможно писать о сделанном этим талантливым ученым. Да и не нуждается память о нем в панегирике. Остались книги, статьи, доклады, содержащие бесценную информацию, осваивать которую нужно самостоятельно.

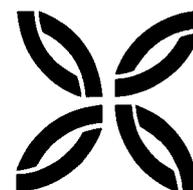
Последние новаторские разработки П.Ф.Иванкина касались глубинной флюидизации земной коры и ее роли в петрорудогенезе, соле- и нефтеобразовании. После его кончины на эту тему опубликованы две монографии, отклики на которые говорят сами за себя. Их использование, считает И.Н.Томсон, может активизировать пересмотр традиционных концепций в различных областях геологии. И.Н.Карпов пишет о глубоком понимании и объяснении взаимосвязи процессов рудогенеза, петрогенеза и нефтеобразования в этих трудах, а также важности нового подхода к углеродсодержащим объектам. «Важнейшим событием в теории петрорудогенеза» называет издание одной из монографий Г.М.Власов, Г.Р.Бекжанов и В.Н.Любецкий в своей рецензии на другую монографию говорят о крупном фундаментальном исследовании, в основе которого лежит глубоко и последовательно разработанная во всех звеньях теоретическая база, и выходе через модели газо-нефтеобразования крупнейших эталонных объектов на решение большого круга прикладных и поисковых задач. Жизнь в науке Петра Филипповича Иванкина продолжается!

*Ученый совет ЦНИГРИ*

*Редколлегия журнала*

## ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ

---



7 декабря 2008 г. исполнилось 75 лет заместителю директора ЦНИГРИ по науке, доктору геолого-минералогических наук, профессору, заслуженному деятелю науки России, лауреату Государственной премии СССР, премии Мингео СССР, премии Правительства Российской Федерации, премии А.И.Косыгина, первооткрывателю месторождения, Почетному разведчику недр, академику Российской академии естественных наук, вице-президенту Международной академии минеральных ресурсов **Анатолию Ивановичу Кривцову**.

Имя А.И.Кривцова широко известно в России и за рубежом как ученого, внесшего весомый вклад в теорию и практику геологических изысканий, и организатора геологической службы в нашей стране. Он — автор нескольких десятков монографий по металлогении, рудно-формационному анализу, прогнозу твердых полезных ископаемых, геологической терминологии, конъюнктуре минерального сырья. Неутомимый исследователь, строгий и требовательный наставник молодых специалистов, человек, радеющий о нуждах России и все силы отдающий для развития геологической отрасли страны — таков наш Анатолий Иванович Кривцов.

Желаем Анатолию Ивановичу доброго здоровья и успехов в творческой деятельности.

*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*



24 ноября 2008 г. исполнилось 60 лет старшему научному сотруднику отдела металлогении и прогноза месторождений цветных и благородных металлов **Евсею Сороховичу Заскинд**. Е.С.Заскинд проработал в ЦНИГРИ 37 лет, специализируясь в области геологии и рудной минералогии месторождений никеля и платиноидов. В настоящее время он — высококвалифицированный специалист, знающий рудную базу этих металлов в нашей стране и за рубежом.

Е.С.Заскинд принимал участие во всех работах института, направленных на изучение и расширение минерально-сырьевой базы никеля и платиноидов, в том числе в составлении карт никеленосности и платиноносности СССР (1985 г.), а затем и Российской Федерации (2001 г.), оказавших большое влияние на проведение поисковых и прогнозно-поисковых работ, а также в изучении новых для России источников платиноидов — расслоенных мафит-ультрамафитовых комплексов. Он — автор и соавтор более 50 печатных работ, посвященных различным аспектам строения и состава данных месторождений, соавтор ряда методических руководств отраслевого уровня. Кроме исследований в регионах России, участвовал в изучении и оценке месторождений никеля и платиноидов в Испании и США.

Е.С.Заскинда отличают непреходящий интерес к своему делу, организованность, высокий уровень профессиональных знаний и деловых качеств. За успешное и активное участие в деятельности института награжден Почетной грамотой МПР России.

Поздравляем Евсея Сороховича с юбилеем, желаем продолжительной и плодотворной научной деятельности, успехов, личного счастья и здоровья.

*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*



18 ноября 2008 г. исполнилось 75 лет **Александру Петровичу Лихачеву**, доктору геолого-минералогических наук, ведущему научному сотруднику ЦНИГРИ, известному ученому в области геологии, прогноза и поисков платино-медно-никелевых и платиновых месторождений и технологии переработки минеральных материалов.

А.П.Лихачев с 1959 по 1966 гг. работал на Норильском горно-металлургическом комбинате, проводил геолого-минералогические исследования норильских месторождений, в 1965 г. защитил кандидатскую диссертацию. С 1966 по 1986 гг. в ЦНИГРИ разрабатывал вопросы геологии, генезиса и прогнозирования медно-никелевых месторождений. Выделил новые перспективные площади и дал характеристику открытой на основе сделанного прогноза новой платиноносной Меймеча-Котуйской провинции. В 1980 г. защитил докторскую диссертацию «Геология, генезис и прогнозирование медно-никелевых месторождений».

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

С 1990 г. в ЦНИГРИ разрабатывает геолого-генетические модели рудообразующих систем норильского типа, обосновывает роль сейсмогравитационного фактора в образовании платиновых руд и расслоенности рудоносных комплексов, принципиальные положения об определяющей роли воды в формировании и эволюции Земли, а также петролого-металлогенической интерпретации глубинных геофизических профилей.

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

*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*

26 ноября 2008 г. исполнилось 70 лет старшему научному сотруднику отдела экзогенных месторождений благородных металлов, кандидату географических наук **Владимиру Николаевичу Новикову**.

В.Н.Новиков работал в ЦНИГРИ в 1964–1970 гг., затем на протяжении 20 лет — в МГУ, где занимался изучением проблем металлоносности и геоморфологии арктического побережья СССР, устойчивости арктических геосистем. В 1980 г. защитил кандидатскую диссертацию. С декабря 1990 г. вновь работает в ЦНИГРИ в должности старшего научного сотрудника. Внес заметный вклад в изучение россыпной золотоносности республик Тыва и Карачаево-Черкессия, ряда районов Верхней Колымы, Чукотки, Татарстана, Урала, Кемеровской области. Им составлены карты экзогенной золотоносности для атласов Красноярского края, Читинской и Магаданской областей, Чукотского автономного округа. Участвовал в разработке нового научного направления — геоэкологии россыпей и россыпных районов.

В.Н.Новиков — автор 127 научных трудов, в том числе 63 публикаций.

За успешное выполнение научно-исследовательских работ и вклад в укрепление минерально-сырьевой базы отрасли награжден медалями «За трудовую доблесть», «Ветеран труда», знаками «Почетный разведчик недр» и «300 лет геологической службы». Он — лауреат премии им. М.Б. и Н.И.Бородаевских.

Поздравляем Владимира Николаевича с семидесятилетием, желаем ему крепкого здоровья и дальнейших творческих достижений.



*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*

16 ноября исполнилось 60 лет заведующей лабораторией отдела геологии, методов поисков и экономики месторождений алмазов **Наталье Александровне Прусаковой**.

В 1971–1980 гг. Н.А.Прусакова занимается внедрением и интерпретацией геофизических методов при поисках месторождений золота и алмазов в научно-исследовательском секторе МГРИ. С 1980 г. в ЦНИГРИ изучает геолого-геофизические факторы контроля проявлений кимберлитового магматизма в известных алмазоносных провинциях, разрабатывает геолого-геофизические критерии прогнозирования разномасштабных минерагенических таксонов (субпровинция, зона, поле, «куст» кимберлитовых тел) и оценивает перспективы коренной алмазоносности различных территорий Российской Федерации. В 2004 г. защитила кандидатскую диссертацию «Геолого-геофизическая прогнозно-поисковая модель Зимнебережного кимберлитового поля».

Н.А.Прусакова — один из основных авторов созданных в ЦНИГРИ карт прогноза алмазоносности Восточно-Европейской платформы м-ба 1:2 500 000 и центральных районов России м-ба 1:500 000. Разработанная ею прогнозно-поисковая модель Зимнебережного кимберлитового поля в Архангельской области с известными месторождениями алмазов им. Ломоносова и В.Гриба принята в настоящее время как основная. Во многом благодаря ее исследованиям ЦНИГРИ были открыты две кимберлитовые трубки — ЦНИГРИ-Кепинская и ЦНИГРИ-Архангельская.

Научная деятельность Н.А.Прусаковой отражена более чем в 60 научных работах.

Поздравляем Наталью Александровну с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия и успехов в труде.



*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*

10 ноября 2008 г. исполнилось 50 лет заведующему отделом геологии, методов поисков и экономики месторождений благородных металлов ЦНИГРИ, доктору геолого-минералогических наук **Стружкову Сергею Феликсовичу**.

В 1981 г. С.Ф.Стружков поступил на работу и в заочную аспирантуру ЦНИГРИ. Его первое исследование, связанное с изучением условий формирования уникального Дукатского золото-серебряного месторождения, завершилось защитой кандидатской диссертации в 1986 г. Дальнейшие работы С.Ф.Стружкова посвящены проблемам золотоносности Магаданской области. Несмотря на времена трудные условия финансирования работ института, он не пропустил ни одного полевого сезона. В своих исследованиях успешно сочетал комплексное изучение отдельных месторождений со среднemasштабной металлогенией. Им разработаны важные научные положения о латеральной рудно-геохимической зональности рудоносных вулканических сооружений, металлогенической специализации на золото, серебро и олово вулканоплутонических комплексов, получены новые данные о возрасте ряда золото-серебряных месторождений. В 2003 г. защитил докторскую диссертацию по металлогении золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, а изданная по материалам докторской диссертации монография имела широкий резонанс среди геологов-рудников.

С.Ф.Стружков эффективно сотрудничает с Управлением твердых полезных ископаемых Роснедра, являясь куратором по объектам Магаданской области. С 2007 г. заведует отделом и уделяет много усилий в его работе по оценке золотоносности терригенно-сланцевых поясов Востока России.

Награжден знаком «Отличник разведки недр», неоднократно поощрялся дирекцией института за успешную работу.

Поздравляем Сергея Феликсовича с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, неиссякаемой энергии и вдохновения в исполнении всех творческих планов.



*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*

## СПИСОК СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «РУДЫ И МЕТАЛЛЫ» В 2008 ГОДУ

Постановление Правительства Российской Федерации о присуждении премий Правительства Российской Федерации 2007 года в области науки и техники. № 2. Вкладка.

От главного редактора. № 2. С. 4.

### Недропользование

*Беневольский Б.И., Блинова Е.В., Лобач В.И.* Инвестиционная привлекательность резервного фонда месторождений цветных и благородных металлов. № 5. С. 5.

*Беневольский Б.И., Витковская Л.И., Голенев В.Б., Конкина О.М., Пономарев А.Ю., Шаповалов В.С.* Минерально-сырьевая база цветных металлов России — прогноз обеспеченности потребностей цветной металлургии на ближайшую перспективу. № 6. С. 5.

### Прикладная металлогения и недропользование

*Беневольский Б.И., Блинова Е.В., Голенев В.Б., Иванов А.С., Романов С.В., Рыбин В.П.* О стартовых размерах разовых платежей за право пользования недрами при подготовке конкурсов и аукционов. № 4. С. 4.

*Копылов М.И.* Глубинные структуры земной коры и рудогенез юга Дальнего Востока. № 4. С. 30.

*Куторгин В.И., Сапрыкин А.А., Джобадзе В.А., Тарасов А.С.* Перспективы резервного фонда минерально-сырьевой базы россыпного золота России. № 4. С. 9.

*Политов В.К., Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Голубев С.Ю.* Основные особенности геологии и металлогении золота Центрально-Колымского региона. № 4. С. 16.

### Прикладная металлогения

*Беневольский Б.И., Мызенкова Л.Ф., Августинчик И.А., Карпекина Н.Ф.* Минерально-сырьевая база меди и никеля — ретроспектива и прогноз. № 1. С. 6.

*Беневольский Б.И., Августинчик И.А.* Минерально-сырьевая база свинца и цинка — ретроспектива и прогноз. № 3. С. 4.

*Жирнов А.М.* Новый железорудный бассейн России в Еврейской автономной области Дальнего Востока. № 5. С. 16.

*Иванов А.И.* Основные черты геологического строения и золотоносность Бодайбинского рудного района. № 3. С. 43.

*Романовский Н.П., Шнайдер А.А.* Перспективы развития минерально-сырьевой базы вольфрамовой промышленности юга Дальнего Востока. № 5. С. 10.

*Склярова Г.Ф.* Закономерности развития и перспективная оценка стратиформного свинцово-цинкового оруденения на территории Дальнего Востока. № 6. С. 16.

*Швецов А.Д., Абрамов В.В.* К проблеме прогнозирования золотоносности черносланцевых толщ Воронежского кристаллического массива на стадии региональных геологоразведочных работ. № 6. С. 22.

### Различные аспекты переоценки золоторудного месторождения Сухой Лог

*Герасимов С.Н., Рогизный В.Ф.* Обоснование горно-технических решений по разработке месторождения Сухой Лог при переоценке запасов. № 2. С. 74.

*Карпенко И.А., Куликов Д.А.* Методика выбора параметров кондиций для повариантного подсчета запасов на месторождении Сухой Лог. № 2. С. 26.

*Карпенко И.А., Куликов Д.А., Черемисин А.А.* Повариантный подсчет запасов для ТЭО освоения и кондиций по месторождению Сухой Лог и направления его последующей геолого-экономической оценки. № 2. С. 37.

*Карпенко И.А., Черемисин А.А., Куликов Д.А.* Морфология, условия залегания и внутреннее строение рудных тел на месторождении Сухой Лог. № 2. С. 11.

*Куликов Д.А., Карпенко И.А.* Оценка достоверности рядового опробования на месторождении Сухой Лог. № 2. С. 56.

*Литвинцев Э.Г., Рябкин В.К., Тихвинский А.В., Карпенко И.А., Пичугин А.Н., Кобзев А.С.* Технология предварительного обогащения золотосодержащих

руд месторождения Сухой Лог методом полихромной фотометрической сепарации. № 2. С. 64.

*Мигачев И.Ф., Карпенко И.А., Петраш Н.Г.* Об актуальности и основных аспектах глубокой переоценки крупных и уникальных рудных месторождений. № 2. С. 5.

*Петраш Н.Г., Карпенко И.А., Карпухина М.В.* Экономическая оценка месторождения Сухой Лог в современных условиях недропользования. № 2. С. 89.  
**Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений**

*Барышев А.С., Егоров К.Н., Кошкарев Д.А., Скрипкин А.И.* Комплекс минералогических и геоморфологических методов при поисках коренных источников алмазов на юге Сибирской платформы. № 4. С. 37.

*Варгунина Н.П.* Региональные геохимические факторы золотоносности Енисейского кряжа. № 1. С. 51.

*Лобач В.И., Тучина М.В., Корчагин А.У.* Концентрационная неоднородность месторождения комплексных руд. № 6. С. 31.

*Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Громцев К.В.* Дистанционная оценка золотоносного потенциала Северной Бурятии. № 1. С. 45.

*Устинов В.Н.* Методы палеогеографических исследований при прогнозировании и поисках погребенных месторождений алмазов. № 5. С. 27.

*Чекваидзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З.* Варианты применения комплексной петрографо-минералого-геохимической методики при поисках золоторудных месторождений. № 4. С. 45.

### **Строение рудных месторождений**

*Анисимова Г.С., Кондратьева Л.А., Серкебаева Е.С., Агеенко В.А.* Золоторудное месторождение Бадран, Восточная Якутия. № 5. С. 49.

*Варгунина Н.П.* Специфика состава и строения геохимических ореолов на флангах месторождения Бозанг, Северная Осетия. № 6. С. 36.

*Вах А.С., Степанов В.А., Авченко О.В.* Березитовое золото-полиметаллическое месторождение: геологическое строение и состав руд. № 6. С. 44.

*Голубев С.Ю.* Условия локализации рудных тел Наталкинского месторождения золота. № 6. С. 72.

*Дунаев В.А., Серый С.С., Быховец А.Н.* Закономерности размещения и изменчивость оруденения Ковдорского карбонатитового месторождения. № 4. С. 58.

*Кочергин А.В.* Взаимоотношения и последовательность формирования железоксидных пигментных руд Зигазино-Комаровского рудного района, Южный Урал. № 6. С. 55.

*Минина О.В., Волчков А.Г., Никешин Ю.В., Татарко Н.И.* Кобальт-медноколчеданные месторождения в базальт-серпентинитовых толщах Южного Урала. № 4. С. 64.

*Николаева Л.А., Гаврилов А.М., Некрасова А.Н., Яблокова С.В.* Обобщенные признаковые модели самородного золота месторождений различных рудно-формационных типов. № 3. С. 62.

*Ониквиенко Л.Д.* Вулканогенно-гидротермально-осадочные метаморфизованные железисто-кремнистые руды докембрия. № 5. С. 41.

*Орсоев Д.А.* Платиноносность сульфидных руд Байкальского медно-никелевого месторождения (Йоко-Довыренский дунит-троктолит-габбровый массив). № 6. С. 61.

*Остапенко Л.А.* Условия минералообразования на золоторудных месторождениях в терригенно-сланцевых толщах Центральной Колымы. № 6. С. 76.

*Припачкин П.В., Рундквист Т.В.* Геологическое строение и платиноносность юго-западной части массива предгорий Вурэчуайвенч (Мончегорский комплекс, Кольский полуостров). № 5. С. 61.

### **Краткие сообщения**

*Швецов А.Д., Приходько В.П., Крылов А.О., Чанцев В.Е.* Перспективы Тамбовской области на поиски месторождений ультратонкого золота. № 1. С. 67.

### **Дискуссии**

*Вахрушев А.М.* Обособление рудных компонентов в динамике перемещения рудно-силикатных расплавов по горизонтали (абстрактная модель). № 5. С. 74.

*Кривцов А.И.* Методические основы моделирования рудонакопления в сульфидно-силикатных расплавах. № 5. С. 69.

*Константинов М.М.* Углеродный феномен Якутии. № 1. С. 71.

*Кубанцев И.А.* О возможном источнике золота месторождений провинции Бендиго-Балларт. № 4. С. 76.

*Образцов А.И.* О полигенности и полихронности формирования месторождений. № 3. С. 75.

#### **Памятные даты**

90-летие П.Ф.Иванкина. № 6. С. 84.

#### **Поздравляем с юбилеем**

В.И.Зеленова, Г.Д.Карамышеву (№ 1), И.Ф.Мигачева, В.К.Политова, А.А.Черемисина, Н.А. Шило (№ 3), Ю.Ю.Воробьева, А.И.Донца, Е.С.Егорова, В.Н.Сорокина, В.Б.Чекваидзе (№ 4), П.В.Елшанского, Л.А.Ковалеву, Н.Г.Кудрявцеву (№ 5), Е.С.Заскинда, А.И.Кривцова, А.П.Лихачева, В.Н.Новикова, Н.А.Прусакову, С.Ф.Стружкова (№ 6)

**Памяти** А.Д.Харькива. № 3. С. 80.

Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 2008 году

### **ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!**

Журнал «Руды и металлы» основан в декабре 1992 г. для оперативного распространения информации и создания информационной базы по фундаментальным разработкам в области рудных месторождений, их геологического строения и минерально-сырьевых ресурсов, методикам и прогрессивным технологиям, экономике всех видов геологоразведочных работ, по республиканской, межреспубликанской и мировой конъюнктуре рудного минерального сырья, научно-техническим достижениям, информатике и маркетингу.

Учредитель — Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, при участии Международной академии минеральных ресурсов, Фонда им. академика В.И.Смирнова. Журнал печатается в типографии ЦНИГРИ.

Подписка на 2009 г. производится через Роспечать, индекс по каталогу 47 218. За наличный расчет журнал можно приобрести в редакции. Периодичность — 6 номеров в год. Цена подписки на год 600 руб. без НДС. Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129, корпус 1.

Факс (095) 313-18-18.

E-mail [tsnigri@tsnigri.ru](mailto:tsnigri@tsnigri.ru) для журнала «Руды и металлы».

Контактный телефон 315-28-47.