

# **РУДЫ и МЕТАЛЛЫ**



научно-технический журнал

**1**

**2019**



### ***Дорогие коллеги, друзья!***

От имени Федерального агентства по недропользованию поздравляю вас с профессиональным праздником – Днём геолога! Страна по достоинству оценила наш труд, утвердив государственный статус Дня геологов!

И сегодня ваш труд закладывает основы успешной деятельности отраслей, являющихся надёжной опорой экономики России. Геологическая отрасль имеет огромный творческий и интеллектуальный потенциал, является одной из наиболее наукоёмких отраслей с высокой концентрацией передовых технологий. Профессия геолога сочетает в себе каждодневный напряжённый труд и романтику, требует глубоких теоретических знаний и беззаветной преданности делу.

Уверен, что и в дальнейшем наша работа и компетентность будут определять развитие экономики, способствовать росту промышленного производства, повышению качества жизни людей.

Уважаемые коллеги, друзья! Примите искренние слова признательности за ваш нелёгкий самоотверженный труд. Пусть вас никогда не покидает вера в успех, а жизненная энергия даёт силы для новых открытий. Крепкого вам здоровья, благополучия и всего самого доброго!

С уважением,  
заместитель Министра  
природных ресурсов и экологии  
Российской Федерации –  
руководитель Федерального агентства  
по недропользованию

Е.А.Киселёв

# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



научно-технический журнал

№ 1 январь – март 2019

## Учредитель

ФГБУ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов Роснедра Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации

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

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации журнал включён в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук»

Москва ЦНИГРИ 2019

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### Иванов Анатолий Иннокентьевич

главный редактор  
доктор геолого-минералогических наук,  
научный руководитель ЦНИГРИ

### Черных Александр Иванович

зам. главного редактора  
кандидат геолого-минералогических наук,  
генеральный директор ЦНИГРИ

### Жаркова Вера Сергеевна

зам. главного редактора  
заведующая редакционно-издательской группой ЦНИГРИ

### Вартанян Сергей Серопович

кандидат геолого-минералогических наук,  
член Учёного совета ЦНИГРИ

### Волчков Алексей Гордеевич

кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий научно-методическим отделением ЦНИГРИ

### Голубев Юрий Конкордьевич

кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом алмазов ЦНИГРИ

### Горячев Николай Анатольевич

доктор геолого-минералогических наук, член-корр. РАН,  
главный научный сотрудник Северо-Восточного Комплексного  
научно-исследовательского института (СВКНИИ) ДВО РАН

### Звездов Вадим Станиславович

кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом металлогении ЦНИГРИ

### Кременецкий Александр Александрович

доктор геолого-минералогических наук,  
советник генерального директора Института минералогии,  
геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ)

### Кряжев Сергей Гаврилович

доктор геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом минералогии  
и изотопной геохимии ЦНИГРИ

### Кузнецов Владимир Вениаминович

кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом цветных металлов ЦНИГРИ

### Наумов Евгений Анатольевич

кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом благородных металлов ЦНИГРИ

### Похиленко Николай Петрович

доктор геолого-минералогических наук, академик РАН,  
главный научный сотрудник Института геологии и минералогии  
им. В.С.Соболева (ИГМ) СО РАН

### Проскурнин Василий Фёдорович

доктор геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом Всероссийского научно-исследовательского  
геологического института им. А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ)

### Седельникова Галина Васильевна

доктор технических наук,  
директор геолого-технологического центра АО «Росгео»

### Толстов Александр Васильевич

доктор геолого-минералогических наук,  
директор Научно-исследовательского  
геологического предприятия (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО)

### Фридовский Валерий Юрьевич

доктор геолого-минералогических наук, профессор,  
директор Института геологии алмаза  
и благородных металлов (ИГАБМ) СО РАН



# СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

## ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ

**Куликов Д.А., Голенев В.Б.**  
Общие принципы локализации  
прогнозных ресурсов

04

## APPLIED METALLOGENY

**Kulikov D.A., Golenev V.B.**  
General principles of inferred  
resource localization

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

**Голенев В.Б., Куликов Д.А.**  
Оконтуривание рудных интервалов при  
подсчёте запасов и прогнозных ресурсов

12

## PROGNOSIS, PROSPECTING AND EXPLORATION: TECHNIQUES AND METHODS

**Golenev V.B., Kulikov D.A.**  
Ore interval delineation in reserve  
and inferred resource estimation

**Некрасов Е.М.**  
Поиски и разведка  
золоторудных месторождений  
на основе структурных предпосылок

26

**Nekrasov E.M.**  
Gold deposit prospecting  
and exploration based  
on structural preconditions

## СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Копылов М.И., Петухова Л.Л.**  
Сергачинская золоторудная зона  
и перспективы выявления  
новых месторождений золота

37

## GEOLOGY OF ORE DEPOSITS

**Kopylov M.I., Petukhova L.L.**  
Sergachinskaya gold zone  
and prospects for new gold  
deposit identification



**Кузнецова С.В.**  
Минералогическая характеристика  
первых находок гидротермальных труб  
палеозойских «курильщиков»  
в российской части Рудного Алтая

45

**Kuznetsova S.V.**  
Mineralogical characterization  
of first paleozoic «black smokers»  
hydrothermal chimneys discoveries  
in the russian part of Rudny Altai

**Прокофьев В.Ю., Волков А.В.,  
Николаев Ю.Н., Калько И.А.,  
Власов Е.А., Вольфсон А.А., Сидоров А.А.**  
Условия формирования Au-Ag эпитеpмальной  
минерализации Кайэнмываамского рудного  
поля, Центральная Чукотка

52

**Prokofiev V.Yu., Volkov A.V.,  
Nikolaev Yu.N., Kalko T.A.,  
Vlasov E.A., Volfson A.A., Sidorov A.A.**  
Au-Ag epithermal mineralization formation  
conditions at Kaienmyvaamskoye ore field,  
Central Chukotka

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ  
И СВОЙСТВА ПОРОД И РУД**

**Парада С.Г.**  
Опыт изучения золотоносных  
кварцевых жил и вмещающих пород  
методом термовакuumной декрепитации

58

**COMPOSITION AND PROPERTIES  
OF ROCKS AND ORES**

**Parada S.G.**  
Experience of gold-bearing  
quartz vein and host rock study  
by thermovacuum decrepitation

**Хурэлчулуун Ишгэн, Морозов В.В.,  
Николаева Т.С., Круглов В.Н.**  
Применение визиометрического анализа  
гранулометрического состава руды  
для автоматизированного управления  
процессом дробления

67

**Hurelchuluun Ishgen, Morozov V.V.,  
Nikolaeva T.S., Kruglov V.N.**  
Use of visiometric analysis  
of granulometric ore composition  
for automated crushing control

**ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ**

**М.М.Гирфанова**

74

**OUR CONGRATULATIONS**

**M.M.Girfanov**

Список статей, опубликованных  
в журнале «Руды и металлы» в 2018 г.

75

«Ores and Metals»  
list of publications 2018



## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

*Рассмотрены приёмы и методы локализации (оконтуривания) прогнозных ресурсов в зависимости от геологической изученности объекта оценки рудными телами (категории  $P_1$  и  $P_2$ ) или перспективными площадями (в основном кат.  $P_3$ , реже  $P_2$ ). Приведены основные ошибки локализации прогнозных ресурсов цветных и благородных металлов, выявленные в материалах, представленных на апробацию.*

*Ключевые слова: прогнозные ресурсы, локализация, геологическая обоснованность, категория, рудное тело, перспективная площадь.*

Локализация (или оконтуривание) прогнозных ресурсов заключается в выделении различными приёмами и методами участков недр, по которым качество прогнозируемого полезного ископаемого отвечает требованиям промышленности, зафиксированным в оценочных параметрах. Методика локализации ресурсов определяется геологической изученностью объекта оценки. Если геологическая изученность позволяет, то локализация сводится к геометризации рудных тел и выделению (при необходимости) внутри них блоков прогнозных ресурсов. Если геометризовать рудные тела невозможно, то локализация ресурсов сводится к выделению перспективных площадей без подразделения их на более мелкие участки (блоки). Рудными телами локализуются прогнозные ресурсы категорий  $P_1$  и  $P_2$  по новым рудопроявлениям и рудным полям, а также на флангах и глубоких горизонтах месторождений и рудных тел за контурами запасов кат.  $C_2$ . Перспективными площадями (участками) локализуются прогнозные ресурсы кат.  $P_3$  в составе металлогенических зон, рудных районов и узлов, кат.  $P_2$  – в составе рудных полей (рудопроявлений).

*Локализация прогнозных ресурсов категорий  $P_1$  и  $P_2$  по новым рудным телам на рудопроявлениях, месторождениях и рудных полях сводится к установлению естественной или условной границы рудного тела, внутри которой оруденение соответствует требованиям принятых оценочных параметров\*. При определении границ нового рудного тела с прогнозными ресурсами кат.  $P_1$  большее значение в общем случае придаётся горно-буровым методам при подчинённом значении результатов геолого-съёмочных, геофизических, геохимических и других видов работ. При выявлении границ нового рудного тела с прогнозными ресурсами кат.  $P_2$ , наоборот, большее значение имеют результаты геолого-съёмочных, геофизических и геохимических работ, опробования естественных обнажений, отбора штучных проб в естественном залежании по сравнению с горно-буровыми методами поисков.*

\* Принципы, методы и порядок оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых / Под ред. А.И.Кривцова. – М: ЦНИГРИ, 2010.

**Куликов  
Данила Алексеевич**

кандидат геолого-минералогических наук  
заведующий отделением  
минерально-сырьевой базы  
kulikov@tsnigri.ru

**Голенев  
Владимир Борисович**

доктор геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник  
golenev\_vb@mail.ru

ФГБУ Центральный  
научно-исследовательский  
геологоразведочный институт  
цветных и благородных металлов,  
г. Москва

Геометризация новых рудных тел производится в такой последовательности, которая не зависит от категории прогнозных ресурсов:

- по пересечению устанавливаются границы рудных интервалов и рудного тела;
- пересечения объединяются (увязываются) в рудные тела;
- отстраивается общий контур прогнозных ресурсов для каждого рудного тела;
- внутри общего контура при необходимости выделяются блоки прогнозных ресурсов, отличающиеся технологическими свойствами руд и способами разработки (в основном применяется для кат. Р<sub>1</sub>).

По рудному телу могут быть локализованы прогнозные ресурсы только одной категории. Поэтому этап выделения внутри общего контура блоков прогнозных ресурсов разных категорий отпадает.

Рудные тела могут быть полностью представлены рудами, отвечающими требованиям оценочных параметров, или характеризоваться прерывистым распределением руд с промышленными концентрациями полезного компонента, которое учитывается посредством коэффициента рудоносности.

Установление границ рудного тела по пересечению (мощности) начинается с выделения рудных интервалов по методике, которая используется при подсчёте запасов в зависимости от наличия геологических или условных границ. При оценке прогнозных ресурсов без линейного коэффициента рудоносности границы рудного тела в пересечении соответствуют границам рудного интервала, которые получены при оконтуривании пересечений по мощности с соблюдением соответствующих оценочных параметров и не требуют каких-либо дополнительных операций по их уточнению.

В случае применения при оценке прогнозных ресурсов линейного коэффициента рудоносности оконтуривание пересечения по рудному телу с прерывистым характером распределения кондиционных руд проводится по той же методике, что и оконтуривание запасов с учётом, что в любом пересечении могут присутствовать несколько рудных интервалов, разделённых некондиционными рудами и пустыми породами. Коэффициент рудоносности вносит существенную долю условности в подсчёт прогнозных ресурсов – чем ниже коэффициент рудоносности, тем менее надёжны результаты подсчёта. Поэтому в первую очередь всегда нужно искать возможность для увязки рудных интервалов

в рудные тела и проведения подсчёта без коэффициента рудоносности. А в случае применения линейный коэффициент рудоносности по рудному телу (блоку) не должен быть ниже 0,1.

Подсчёт прогнозных ресурсов с линейным коэффициентом рудоносности ведётся в границах рудного тела, внутри которых расположены рудные интервалы, разделённые некондиционными рудами или прослоями пустых пород. Внешние границы такого рудного тела отвечают естественным визуально устанавливаемым геологическим границам, а при их отсутствии – условным границам, которые проводятся по:

- внешнему контуру сближенных рудных интервалов, образующих единое рудное тело (зону, залежь, пласт, горизонт и т. д.), характеризующееся устойчивым положением в плане и разрезе;
- пробам с определённым, ниже бортового, уровнем содержания полезного компонента (или условного компонента для комплексных руд);
- гипсометрическим отметкам, соответствующим, например, предполагаемым границам открытой и подземной разработок или другим уровням, связанным с системой вскрытия и разработки или с границами технологических типов руд.

Внутри рудного тела рудные и безрудные интервалы выделяются по результатам опробования с учётом бортового содержания полезного компонента (условного компонента) в пробе, максимальной мощности внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд, включаемых в рудный интервал, минимальной мощности или метрограмма (метропроцента) рудного интервала.

При оценке прогнозных ресурсов в отличие от запасов коэффициент рудоносности применяется без доказательства возможности оконтуривания рудных тел при эксплуатационной разведке и их последующей селективной разработке.

Границы рудного тела (контур прогнозных ресурсов) должны быть геологически логичными, не секущими по отношению к геолого-структурным элементам строения рудовмещающей толщи, контролирующим распределение оруденения. Далеко отстоящие обособленные единичные рудные интервалы в контур не включаются (что обеспечивает величину линейного коэффициента рудоносности в рудном теле (блоке) не менее 0,1). При определении границ рудного тела и линейного коэффициента рудоносности в пересечении учитываются

только те рудные интервалы, которые отвечают требованиям кондиций – минимальная мощность рудного тела или минимальный метрограмм (метропроцент) (произведение минимальной мощности рудного тела на бортовое содержание). Параметры рудного тела в пересечении при подсчёте с линейным коэффициентом рудоносности определяются также, как при подсчёте запасов.

Правильность увязки пересечений в рудные тела в значительной степени влияет на надёжность локализации и достоверность подсчёта прогнозных ресурсов. Формальная увязка пересечений только по данным опробования недопустима. Необходимо учитывать все данные по геолого-структурным закономерностям локализации промышленного оруденения, полученные в процессе геологоразведочных работ, с обязательным привлечением результатов геофизических, геохимических и других видов работ.

Объединение пересечений в рудные тела производится с учётом редкой поисковой сети и с неизменным условием использования косвенных признаков оруденения (рудовмещающие геологические структуры, гидротермальные изменения вмещающих пород, геофизические и геохимические аномалии, шлиховые ореолы полезного компонента и элементов-спутников). При достаточном объёме информации и применении компьютерных технологий при подсчёте прогнозных ресурсов отстраиваются 3-мерные модели рудных тел.

Для оконтуривания прогнозных ресурсов по простиранию и падению рудного тела используются параметры пересечений, полученные в секущих выработках, вскрывающих рудное тело по мощности, данные о геологическом строении перспективной площади и рудного тела, контуры и параметры геофизических и геохимических аномалий, шлиховых ореолов полезного компонента и элементов-спутников, метасоматических околорудных изменений пород, а также следующие оценочные параметры:

- минимальное содержание полезного компонента (условного компонента для комплексных руд) в краевой выработке;
- минимальное содержание полезного компонента (условного компонента) по объекту прогнозирования;
- минимальная мощность рудного тела или минимальный метрограмм (метропроцент) (произведение минимальной мощности на мини-

мальное содержание в краевой выработке или минимальное содержание по объекту).

Проведение формальной локализации прогнозных ресурсов только по параметрам пересечения и оценочным параметрам недопустимо. При оконтуривании и особенно экстраполяции прогнозных ресурсов необходимо использовать весь комплекс геофизических, минералого-геохимических, геолого-структурных, опробовательских и других прямых и косвенных признаков промышленного оруденения.

При увязке пересечений следует избегать секущего положения границ рудных тел по отношению к рудовмещающим геологическим структурам, резкого изменения простирания и падения рудных тел. Увязка должна производиться с учётом условий локализации промышленного оруденения, влияния на его размещение и интенсивность геолого-структурных, минералогических, литолого-петрографических и других факторов. В одно рудное тело не должны включаться пространственно разобщённые рудные пересечения, находящиеся в разных рудовмещающих структурах, с разным минеральным составом и т. д.

Общий контур прогнозных ресурсов (рудного тела) отстраивается по опорным пунктам, в качестве которых служат точки входа и выхода пересечений в рудное тело и точки, полученные в результате ограниченной и неограниченной экстраполяции оруденения за пределы пересечения. В контур прогнозных ресурсов включаются пересечения с мощностью, содержанием и метрограммом (метропроцентом) полезного компонента, соответствующими требованиям оценочных параметров. Кроме того, требованиям должны соответствовать параметры всех крайних в контуре прогнозных ресурсов пересечений. Внутри контура могут быть пересечения с параметрами ниже оценочных. В этом случае должен соблюдаться принцип компенсации, а именно параметры приращиваемых площадей (крайних в рудном контуре промышленных пересечений, включая некондиционные пересечения) должны отвечать требованиям оценочных параметров по содержанию и метрограмму (метропроценту) полезного компонента, мощности рудного тела.

В виде исключения, в особенности для прогнозных ресурсов кат. P<sub>2</sub>, допускается учёт пересечений с параметрами ниже оценочных посредством коэффициента рудоносности по площади, который

определяется как отношение количества пересечений с параметрами ниже оценочных к общему числу пересечений в контуре рудного тела (блока прогнозных ресурсов). Такой коэффициент рудоносности по площади не должен быть ниже 0,5, а пересечения с параметрами ниже оценочных не участвуют в выводе средней мощности рудного тела и среднего содержания полезных компонентов в нём. Следствием применения коэффициента рудоносности по площади может быть некоторое завышение мощности рудных тел и содержания полезных компонентов в прогнозных ресурсах.

Общий контур прогнозных ресурсов проводится по крайнему пересечению без экстраполяции, если соблюдается хотя бы одно из следующих условий:

- содержание полезного компонента (условного компонента) в пересечении находится в интервале от минимального для объекта до минимального в краевой выработке включительно при мощности рудного тела, равной или больше минимальной по оценочным параметрам;
- мощность рудного тела в пересечении ниже минимальной мощности рудного тела при метрограмме (метропроценте) в пересечении больше минимального для краевой выработки, а при отсутствии последнего – выше метрограмма (метропроцента) по объекту в целом.

Возможности применения экстраполяции не зависят от категории прогнозных ресурсов, технических средств поисков (горные выработки или скважины) в отличие от запасов. При построении контура прогнозных ресурсов любой категории по рудному телу применяется экстраполяция как к горным выработкам, так и к скважинам, если содержание полезного компонента (условного компонента) выше, чем минимальное по объекту, и мощность больше, чем минимальная мощность рудного тела, без использования метрограмма (метропроцента). Экстраполяция может быть ограниченной и неограниченной.

Ограниченная экстраполяция производится между крайним в контуре кондиционным и ближайшим к нему за контуром некондиционным поисковым пересечением. Величина ограниченной экстраполяции равна половине среднего расстояния между поисковыми пересечениями на объекте, если нет дополнительных геолого-структурных ограничителей. Ограниченная экстраполяция осуществляется в том случае, если имеются объектив-

ные прямые и косвенные геологические предпосылки и признаки распространения оруденения за кондиционное пересечение, доказанные геофизическими и геохимическими работами, геологическим картированием, штучным опробованием в естественном залегании и другими данными.

Неограниченная экстраполяция проводится при отсутствии каких-либо пересечений за общим контуром прогнозных ресурсов до естественных геолого-структурных элементов, ограничивающих распространение оруденения, или до выклинивания связанных с оконтуриваемым рудным телом геофизических, геохимических аномалий, шлиховых ореолов, метасоматических изменений пород, коренных выходов рудного тела и других прямых и косвенных признаков промышленных руд. Возможное распространение промышленных руд до естественного геолого-структурного ограничителя, а также в пределах аномалий различной природы должно быть доказано прямыми наблюдениями при геологическом картировании, отбором штучных и других видов проб в естественных обнажениях и прочими геологоразведочными работами.

Величина неограниченной экстраполяции к отдельным пересечениям при отсутствии естественных геолого-структурных ограничителей, данных геологического картирования, аномалий и т. д. не может быть больше половины средних размеров фактической поисковой ячейки по падению или простиранию геометризуемого рудного тела.

Как правило, блоки прогнозных ресурсов (рудные тела) имеют простую форму и их оконтуривание по падению и простиранию, особенно кат. P<sub>2</sub>, часто ограничивается определением протяжённости рудного тела на поверхности и на глубину.

На известных месторождениях, рудопроявлениях, рудных полях протяжённость по простиранию может быть определена для нового рудного тела по аналогии с протяжённостью подобных разведанных или разрабатываемых рудных тел при соблюдении всех правил экстраполяции, изложенных выше.

Протяжённость контура оценки прогнозных ресурсов по падению (не путать с глубиной прогноза) зависит от глубины безубыточной разработки возможного месторождения, его рудно-формационного и геолого-промышленного типов. На известных месторождениях и рудных полях она может быть определена для нового рудного тела по ана-

логии с протяжённостью подобных разведанных или разрабатываемых рудных тел.

Оконтуривание прогнозных ресурсов на новых рудопроявлениях и рудных полях на глубину затруднено из-за отсутствия надёжных данных о морфологии, углах склонения, строении рудных тел, распределении полезных компонентов в них. Поэтому прогнозные ресурсы для новых, предварительно изученных объектов локализируются максимум до средних глубин, включая глубину открытой разработки (если таковая возможна исходя из морфологического типа и расположения в пространстве рудных тел) и ещё на 200–300 м ниже для обеспечения обоснования подземной разработки возможного месторождения. С учётом последнего протяжённость по падению (в плоскости рудных тел), например, жил золото-кварцевой, золото-сульфидно-кварцевой формаций не должна превышать 300 м; золото-серебряных жил и жильных зон – 100–200 м; жильных и минерализованных зон, залежей мощностью до 10–15 м, оруденелых даек – 300–500 м; минерализованных зон и залежей мощностью до 50 м и более, штокверков с площадью в плане  $>1 \text{ км}^2$  – 500–800 м; для рудных тел в коре выветривания – 20–400 м в зависимости от глубины развития процессов выветривания на оцениваемой площади, условий залегания и морфологии рудных тел. Определение протяжённости рудных тел по падению возможно также по аналогии с более детально изученными рудными телами на прогнозируемом объекте или с хорошо изученными месторождениями того же геолого-промышленного и рудно-формационного типов в других районах.

Приведённые параметры глубины прогноза ресурсов в плоскости рудных тел следует рассматривать как ориентировочные. Для каждого конкретного объекта необходимо анализировать все имеющиеся геолого-структурные, геофизические и минералого-геохимические данные и результаты опробования, позволяющие обосновать рациональную протяжённость прогнозных ресурсов по падению рудного тела. При обосновании последней и планировании на этой основе глубины разведки месторождения нужно учитывать, что себестоимость добычи при подземной разработке резко увеличивается, а оценочные параметры (кондиции) ужесточаются. При наличии скважин протяжённость контура по падению должна определяться с учётом параметров рудных интервалов в них. В самой глубокой скважине контура прогнозных ре-

сурсов рудное пересечение должно отвечать требованиям оценочных параметров: содержание полезного компонента (условного компонента) выше минимального для оконтуривающей выработки, а в случае его отсутствия – выше минимального содержания для объекта при мощности рудного тела выше минимальной; при меньшей мощности метрограмм (метропроцент) должен быть выше значения для оконтуривающей выработки, а в случае отсутствия последнего – выше метрограмма (метропроцента) по объекту в целом.

Внутри общего контура прогнозных ресурсов кат.  $P_1$  могут быть выделены подсчётные блоки той же категории, ограниченные поисковыми разрезами или горизонтами, а также учитывающие плотность поисковой сети, технологические свойства руд и возможный способ разработки.

Для прогнозных ресурсов кат.  $P_2$  выделение блоков внутри общего контура прогнозных ресурсов, как правило, нецелесообразно из-за относительно низкой изученности. Исключение могут составлять блоки, учитывающие технологические свойства руд и возможный способ разработки.

По рудному телу могут быть локализованы прогнозными ресурсами только одной кат. –  $P_1$  или  $P_2$  в зависимости от стадии, масштаба поисковых работ и изученности объекта в целом. Локализация прогнозных ресурсов кат.  $P_2$  как подвеска к прогнозным ресурсам кат.  $P_1$  или  $P_3$  как подвеска к прогнозным ресурсам кат.  $P_2$  по флангам и глубоким горизонтам конкретных тел полезного ископаемого недопустима. Если имеются геологические, геохимические, геофизические и другие объективные основания, подтверждающие возможное наличие кондиционных руд на флангах, то такие участки должны включаться с соблюдением правил экстраполяции в блоки кат.  $P_1$  или, соответственно,  $P_2$ . При отсутствии объективных оснований для предположений о наличии кондиционных руд фланги из оценки прогнозных ресурсов исключаются.

Минимальное количество пересечений для блоков кондиционных прогнозных ресурсов кат.  $P_2$  – одно, кат.  $P_1$  – два при расстоянии между пересечениями не более средней плотности поисковой сети для этой категории на объекте, но эти пересечения не должны быть сближенными. При этом блок (как кат.  $P_1$ , так и  $P_2$ ) с таким количеством пересечений не должен быть единственным на прогнозируемом объекте. Максимальное количество пересечений в блоке не ограничено.

Контуры прогнозных ресурсов и номера подсчётных блоков выносятся на графические приложения (планы опробования, разрезы, колонки по скважинам, проекции тел полезного ископаемого) и на 3-мерные модели (при наличии) рудных тел.

*Локализация прогнозных ресурсов кат. P<sub>1</sub> на флангах и глубоких горизонтах месторождений и известных рудных тел* производится в виде подвески к блокам запасов кат. C<sub>2</sub>. Протяжённость контуров прогнозных ресурсов кат. P<sub>1</sub> по простиранию и падению в этом случае определяется с большим акцентом на наличие, интенсивность и размеры характерных геофизических и геохимических аномалий, геологических, структурно-тектонических, литолого-стратиграфических, магматических, петрологических, минералогических, палеогеографических и других признаков, подтверждающих возможное присутствие промышленных руд на флангах и глубине за пределами контуров запасов, закономерности изменения подсчётных параметров по латерали и вертикали. Рудная природа аномалий и геолого-структурных минерализованных перспективных зон должна быть подтверждена единичными структурными скважинами (горными выработками).

При построении контуров прогнозных ресурсов в этом случае принимаются во внимание геологические результаты, полученные на том же месторождении и рудном теле при подсчёте запасов (при разведке и эксплуатации), с учётом известных геологических, геофизических, геохимических и других данных, морфологии рудных тел, минеральных и технологических типов руд, тенденций в изменении параметров количественной оценки на фланги и глубину.

*Локализация перспективных площадей* в пределах рудных районов, узлов и иных металлогенических подразделений с прогнозными ресурсами кат. P<sub>3</sub>, реже в пределах рудных полей с прогнозными ресурсами кат. P<sub>2</sub>, когда степень геологической изученности объекта не позволяет выделить рудные тела, производится следующим образом.

Локализация перспективной площади в пределах рудных районов, узлов и т. д. проводится\* по границам продуктивных геологических формаций и тектоно-магматических структур с учётом пространственного размещения рудоконтролирующих

структур, гидротермально изменённых пород, проявлений основной и сопряжённой с ней минерализации других металлов, шлиховых ореолов и россыпей. Локализация рудного поля с оруденением определённых рудно-формационного и геолого-промышленного типов выполняется по геологическим границам с учётом геологических структур, которые могут вмещать оруденение, геолого-структурных элементов, обуславливающих размещение площадных и околорудных метасоматитов, лито-геохимических и шлиховых ореолов полезного ископаемого и его элементов-спутников, участков проявления жильно-прожилково-вкрапленной минерализации и прямых признаков рудоносности. При локализации рудопроявления используются прямые поисковые признаки оруденения при подчинённой роли элементов геологического строения. В практике геологоразведочных работ довольно часто понятия «рудное поле» и «рудопроявление» отождествляются.

Перспективные объекты выделяются геолого-структурными, литолого-петрографическими, минералого-геохимическими, геолого-геофизическими и другими построениями (объёмными, площадными, линейными), обосновывающими возможные площади и глубину распространения прогнозируемых рудных месторождений определённого (конкретного) рудно-формационного и геолого-промышленного типов. Анализ и построения проводятся по совокупности общих геолого-структурных, геофизических, геохимических признаков, вещественному, фациальному, литолого-петрографическому составам и другим признакам, которые косвенно служат аргументом для прогнозирования рудных месторождений определённых рудно-формационного и геолого-промышленного типов. По возможности должны быть выявлены прямые признаки, указывающие на присутствие полезного ископаемого в естественных обнажениях, делювиальных и аллювиальных отложениях, шлиховых ореолах и т. д. Наиболее вероятные рудно-формационный и геолого-промышленный типы оруденения предполагаются исходя из геотектонической позиции перспективной площади, характера магматизма, разрывных и пликтивных дислокаций и других признаков геологических обстановок их нахождения и рудоносности.

\* Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Методическое руководство. Изд. 3-е. Выпуск «Золото» / Отв. ред. Б.И.Беневольский, С.С.Вартанян. – М.: ЦНИГРИ, 2002.

Для кат.  $P_2$  наличие кондиционных руд, кроме этого, должно быть подтверждено результатами опробования единичных канав, шурфов, скважин. В контуре кондиционных прогнозных ресурсов кат.  $P_2$  должно быть минимум одно пересечение тел полезного ископаемого горными выработками (канавы, шурфы) или скважинами. Полезное ископаемое по этому пересечению должно характеризоваться промышленными параметрами. Для контуров с кондиционными прогнозными ресурсами кат.  $P_3$  наличие пересечений предполагаемых рудных тел горными выработками (канавы, шурфы) или скважинами не обязательно. Но если такие пересечения имеются, то их параметры также должны быть промышленными.

При апробации прогнозных ресурсов цветных и благородных металлов довольно часто выявляются следующие недостатки их локализации (В.Б.Голенин, Ю.В.Ермакова, О.М.Конкина и др., 2017).

1. Не соблюдаются оценочные параметры, принятые для оконтуривания прогнозных ресурсов:

- в оценку включаются площади, рудные зоны, рудные тела и их фланги с характеристиками оруденения ниже, чем предусмотрено оценочными параметрами;
- не выполняются требования оценочных параметров к бортовому содержанию, максимальной мощности внутри рудных прослоев пустых пород, минимальной мощности рудных интервалов, минимальному содержанию в краевой выработке, минимальному коэффициенту рудоносности;
- допускается прессование мощностей рудных интервалов при исключении из расчётов проб с содержанием полезного компонента ниже бортового;
- не используются или, наоборот, используются без должного обоснования при локализации прогнозных ресурсов различные границы геологического содержания, включая геофизические, минералого-геохимические и другие косвенные поисковые признаки и критерии распространения рудной минерализации.

2. В качестве рудных тел представляются, по сути, минерализованные зоны и перспективные площади с крайне низкими коэффициентами рудоносности ( $0,0n-0,00n$ ).

3. Прогнозные ресурсы локализуются на площадях с уже апробированными ранее прогнозными

ресурсами и даже разведанными месторождениями с учтёнными Госбалансом запасами. Данный факт никак не учитывается при переоценке, площади апробированных ранее прогнозных ресурсов и месторождений с утверждёнными запасами не исключаются из новой оценки.

4. К апробации представляются прогнозными ресурсы по площадям, переданным в лицензионное недропользование на другие виды полезных ископаемых. При этом технология добычи и переработки лицензированных полезных ископаемых не позволяет их извлекать, а лицензионное соглашение не предусматривает добычу предложенного к апробации полезного ископаемого.

5. Не соблюдаются границы горного отвода, зафиксированные лицензией.

6. К рудным телам с забалансовыми запасами, учтёнными Госбалансом, достраиваются блоки кондиционных прогнозных ресурсов без должного обоснования геологоразведочными работами.

7. Имеются случаи построения без каких-либо геологических оснований нескольких разноориентированных рудных тел (блоков прогнозных ресурсов) по одной пробе с высоким (ураганым) содержанием полезного компонента.

Таким образом, принципы и методика локализации прогнозных ресурсов определяются геологической изученностью объекта оценки. Если изученность позволяет, то локализация сводится к геометризации рудных тел и выделению (при необходимости) внутри них блоков прогнозных ресурсов одной категории, но отличающихся технологическими свойствами руд и горнотехническими условиями их разработки. Если геометризовать рудные тела невозможно, то локализация прогнозных ресурсов сводится к выделению перспективных площадей без подразделения их на более мелкие участки (блоки). Самостоятельными новыми рудными телами локализуются прогнозными ресурсами категорий  $P_1$  и  $P_2$  по рудопроявлениям, рудным полям и месторождениям. Подвеской к контурам запасов кат.  $C_2$  локализуются прогнозными ресурсами кат.  $P_1$  на флангах и глубоких горизонтах месторождений и известных рудных тел. Перспективными площадями локализуются прогнозными ресурсами кат.  $P_3$  в составе металлогенических зон, рудных районов, узлов и значительно реже кат.  $P_2$  в составе малоизученных рудных полей и их участков.

## GENERAL PRINCIPLES OF INFERRED RESOURCE LOCALIZATION

D.A.Kulikov, V.B.Golenev

(FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow)

*Techniques and methods for inferred resource localization (delineation) depending on geological study level of the estimated deposit by orebodies ( $P_1$  and  $P_2$  categories) or prospective areas (mostly  $P_3$  category, occasionally  $P_2$  category) are considered. The main errors of base and precious metal inferred resource localization identified in materials to be approved are described.*

*Keywords: inferred resources, localization, geological validity, category, orebody, prospective area.*

## АВТОРАМ

1. Статьи направляются на e-mail: [rudandmet@tsnigri.ru](mailto:rudandmet@tsnigri.ru), [rudandmet@yandex.ru](mailto:rudandmet@yandex.ru). К тексту прилагаются сведения об авторе (авторах) – имя, отчество, фамилия, место работы, должность, учёная степень, учёное звание, телефон, e-mail. В конце статьи ставятся подписи всех авторов.
2. Плата с авторов за публикацию не взимается. Автор, подписывая статью и направляя её в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».
3. Обязательно наличие УДК, аннотации (500–600 знаков) и ключевых слов на русском и английском языках.
4. Максимальный объём статьи – 20 страниц в редакторе MS Word, включая таблицы, графику, список литературы. Таблицы и рисунки помещаются в отдельные файлы (их максимальный размер 23×16 см).
5. Иллюстративные материалы (не более 5–7) представляются в цветном или чёрно-белом вариантах в одном из следующих форматов: CDR для векторной графики, JPG, BMP, TIFF для фотографий, диаграмма MS Excel. Подписи прилагаются на отдельной странице после списка литературы.
6. Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или же намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.



## ОКОНТУРИВАНИЕ РУДНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ПРИ ПОДСЧЁТЕ ЗАПАСОВ И ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

*Для различных геолого-структурных условий локализации оруденения рассмотрены традиционные классические приёмы оконтуривания рудных интервалов при подсчёте запасов и прогнозных ресурсов цветных и благородных металлов. В условиях рыночной экономики классические приёмы оконтуривания в значительной степени утрачены или подменены методами, противоречащими требованиям полноты отработки и сокращения потерь полезных ископаемых и направленными на выборочную отработку исключительно богатых руд.*

*Ключевые слова: прогнозные ресурсы, запасы, рудные интервалы, содержание полезного компонента, оконтуривание, мощность рудного интервала, проба.*

Оконтуривание рудных интервалов по секущим выработкам, ориентированным в крест простирания рудного тела, лежит в основе любого подсчёта запасов и прогнозных ресурсов категорий  $P_1$  и  $P_2$  (реже  $P_3$ ). Оконтуривание по мощности заключается в установлении по выработке интервала (или нескольких интервалов), по которому качество руды отвечает требованиям промышленности (кондициям для запасов или оценочным параметрам для прогнозных ресурсов). Несмотря на важность оконтуривания рудных интервалов по мощности для подсчёта запасов и прогнозных ресурсов, данная проблема в литературе освещается крайне редко и не всегда корректно. А в последнее время недропользователи активно применяют алгоритмы оконтуривания, направленные на выборочную отработку богатых руд и на исключение из добычи и переработки бедных низкорентабельных руд, но удовлетворяющих требованиям кондиций (оценочных параметров). Это противоречит политике государства в области недропользования, направленной на снижение потерь и повышение извлечения полезного ископаемого при добыче. Сложившаяся ситуация и побудила авторов к написанию настоящей статьи.

Оконтуривание рудных интервалов производится по результатам геологической документации выработок и рядового геологического опробования. При этом пересечение рудного тела выработкой с непрерывным опробованием по одной линии на полную его мощность обязательно. Критерием полноты вскрытия мощности рудного тела является выход опробования за пределы рудного интервала на величину, превышающую максимальную мощность внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчёт запасов или прогнозных ресурсов. Длина проб должна быть соизмерима с таким показателем кондиций (оценочных параметров), как минимальная мощность рудного тела.

### Голенев Владимир Борисович

доктор геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник  
golenev\_vb@mail.ru

### Куликов Данила Алексеевич

кандидат геолого-минералогических наук  
заведующий отделением  
минерально-сырьевой базы  
kulikov@tsnigri.ru

ФГБУ Центральный  
научно-исследовательский  
геологоразведочный институт  
цветных и благородных металлов,  
г. Москва

УДК 553.043

© В.Б.Голенев, Д.А.Куликов, 2019

DOI: 10.24411/0869-5997-2019-10002

Рудные интервалы выделяются на планах опробования горных выработок м-бов 1:100–1:500, колонках по скважинам м-бов 1:50–1:100 или на поперечных разрезах м-бов 1:100–1:500. Масштаб графических приложений определяется размерами рудных тел, длиной проб, сложностью строения руд. Основным критерий при выборе масштаба – возможность отображения фактически отобранных проб самой малой длины и элементов строения руд, контролирующих распределение основного полезного и попутных компонентов, содержание которых участвует в оконтуривании рудных интервалов.

Рудные интервалы по мощности рудных тел выделяются по единой методике независимо от способа подсчёта запасов (одного из традиционных – геологическими блоками, разрезами или с применением геостатистических методов) или прогнозных ресурсов и их категории. Способы и приёмы оконтуривания по мощности зависят от наличия или отсутствия чётких геологических границ рудных тел, возможности визуального выявления геологических границ при использовании горных выработок или скважин, количества линий опробования в горных выработках при отсутствии визуальных геологических границ. В настоящее время оконтуривание по мощности возможно не только в традиционном ручном режиме, но и с помощью компьютерных технологий и программных комплексов, в основе которых лежат алгоритмы традиционного ручного оконтуривания, при условии обеспечения просмотра, проверки, корректировки исходных данных, промежуточных расчётов и построений, сводных результатов оконтуривания.

**Оконтуривание рудных интервалов при наличии чётких геологических границ** рудного тела с вмещающими породами и при отсутствии во вмещающих породах оруденения производится по результатам геологической документации по комплексу геологических, минералогических, структурных и других визуально устанавливаемых признаков оруденения. Возможность выделения рудных интервалов в геологических границах, выбор комплекса геолого-структурных, минералогических и других признаков, используемых для выявления геологических границ, должны быть доказаны геологической документацией, рядовым геологическим опробованием и зафиксированы в кондициях или оценочных параметрах. В особо сложных слу-

чаях для обоснования наличия геологических границ рудных тел требуются специальные тематические геологические исследования (минералогические, структурные и т. д.).

В горных выработках определение геологических границ, как правило, не составляет труда при наличии качественной детальной геологической документации, сопровождающейся данными опробования. По скважинам выделить геологические границы более сложно и не всегда удаётся из-за невозможности проводить, как в горных выработках, объёмные визуальные наблюдения особенностей геологического строения и состава вмещающих пород и руд, а также из-за нарушенности керна. Поэтому в скважинах в большей мере применяется оконтуривание рудных интервалов по данным опробования, чем в горных выработках. Не исключены случаи, когда на одном месторождении и рудном теле оконтуривание рудных интервалов по горным выработкам производится в геологических границах, а по скважинам – по данным опробования. Возможность такого «двойного» оконтуривания должна быть оговорена кондициями (оценочными параметрами).

Чёткие однозначные визуально устанавливаемые геологические границы руд с вмещающими породами характерны для ограниченного круга рудных месторождений. К ним относятся:

- жилы;
- минерализованные и жильные зоны, имеющие тектонические контакты с вмещающими породами;
- залежи массивных и полосчатых руд, линзо-, гнездо- и трубообразные тела, контакты которых визуальным образом отличаются от вмещающих пород по комплексу признаков геологического строения, минерального состава и т. д.;
- оруденелые дайки, в которых промышленное оруденение не выходит за пределы их границ во вмещающие породы;
- коры выветривания;
- рудные тела для разработки методом подземного выщелачивания золота, нижней границей которых является водоупорный горизонт, а верхней – кровля водоносного горизонта.

Геологическими границами всяческого и (или) лужачего контактов рудного тела также могут быть разрывное нарушение, контакт оруденелых и безрудных пород разного возраста и контрастного состава, границы гидротермально-метасоматических

изменений, контакт руд различного физического состояния или состава, например, перекрывающих рудное тело рыхлых четвертичных отложений и скальных руд, граница выветрелых и неизменённых руд, окисленных и сульфидных, массивных и вкрапленных. В зоне окисления чёткие границы руд могут возникнуть в результате окисления сульфидов первичных руд, образования в рудном теле новых гипергенных минералов.

Следует отметить, что при переходе от ранних стадий геологоразведочных работ к более поздним по мере накопления геологической информации о закономерностях локализации оруденения геологические критерии и признаки, по которым выделяются геологические границы рудных тел, могут изменяться (уточняться). Также не исключён переход на оконтуривание по данным опробования вместо геологических границ, и наоборот. Все эти изменения влекут за собой пересмотр кондиций или оценочных параметров.

Встречаются ситуации, когда в геологических телах с чёткими границами оруденение занимает закономерную позицию и приурочено к центральной части или контактам геологического тела. В этом случае формальное оконтуривание и подсчёт запасов или прогнозных ресурсов в геологических границах приведут к завышению количества руды и снижению содержания полезного компонента.

**Комбинированные условия оконтуривания рудных интервалов** применяются, когда вмещающие породы на контактах и вблизи контактов жил, минерализованных и жильных зон и других рудных тел с чёткими геологическими границами часто содержат прожилково-вкрапленную и вкрапленную минерализацию с прерывистым промышленным оруденением, которое постепенно затухает при удалении от границ рудного тела во вмещающие породы. Основная рудовмещающая структура нередко сопровождается оперяющими мелкими апофизами, в которых также присутствуют промышленные концентрации полезного компонента. В таких случаях рудные интервалы по мощности устанавливаются визуально в чётких геологических границах, а на участках развития оруденения за пределами границ – по данным рядового опробования с использованием таких показателей кондиций (оценочных параметров), как бортовое содержание металла (условного металла) в пробе (г/т или %) и максимальная мощность (м) внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд,

включаемых в подсчёт запасов или прогнозных ресурсов.

При наличии попутных компонентов их количество учитывается при оконтуривании по результатам опробования только через перевод в условное содержание основного компонента, если процедура перевода предусмотрена кондициями (оценочными параметрами). При этом содержание попутного или попутных компонентов должно быть определено, как и основного, для каждой рядовой геологической пробы.

При наличии оруденения за пределами геологического тела с чёткими границами оконтуривание рудных интервалов производится обязательно в направлении от геологических границ во вмещающие породы в приведённой ниже последовательности.

1. По геологической документации и комплексу геологических признаков и критериев выделяется рудный интервал в чётких геологических границах (основной рудный интервал).

2. За пределами основного рудного интервала во вмещающих породах по результатам рядового опробования выявляются промежуточные рудные интервалы, во всех пробах которых содержание полезного компонента (условного компонента) выше или равно бортовому. Между промежуточными рудными выделяются промежуточные безрудные интервалы, во всех пробах которых содержание полезного компонента (условного компонента) ниже бортового.

3. К основному рудному интервалу в геологических границах присоединяется промежуточный рудный интервал из вмещающих пород, выделенный по результатам опробования. Для присоединения должны соблюдаться два условия:

- расстояние между ближайшими границами промежуточного рудного интервала во вмещающих породах и основного интервала в геологических границах должно быть меньше или равно мощности внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд;
- средневзвешенное на длины проб содержание полезного компонента (условного компонента) в присоединяемом интервале вмещающих пород, включая промежуточный рудный интервал и прослой пустых пород и некондиционных руд, должно быть не ниже бортового.

Если хотя бы одно условие не соблюдается, то промежуточный рудный интервал по вмещающим

## 1. ПРИМЕР ОКОНТУРИВАНИЯ РУДНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ПО МОЩНОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ ОРУДЕНЕНИЯ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ГРАНИЦ

Исходные пробы				Породы	Первый этап оконтуривания				Второй этап оконтуривания				Результат оконтуривания		
№*	М*	С	МС		№	М	С	МС	№	М	С	МС	М	С	МС
174	1,00	0,10	0,10	Вмещающие породы	1-2р	2,60	3,20	8,32	2-1р	4,20	2,37	9,95	11,10	1,75	19,43
175	1,10	1,79	1,97												
176	1,50	4,23	6,35												
177	0,40	0,04	0,02												
178	1,20	1,34	1,61	Минерализованная зона	Основной в геологических границах	2,30	2,68	6,16	Основной рудный	5,10	1,78	9,08	11,10	1,75	19,43
179	1,80	0,22	0,40												
180	0,80	1,19	0,95												
181	1,00	4,24	4,24												
182	0,50	1,93	0,97	Вмещающие породы	1-3б	1,50	0,55	0,82	Основной рудный	5,10	1,78	9,08	11,10	1,75	19,43
183	0,50	0,61	0,31												
184	1,00	0,51	0,51												
185	0,80	2,00	1,60												
186	0,50	1,00	0,50												
187	0,50	0,23	0,12												
188	0,50	1,27	0,64	1-4б	0,50	0,23	0,12	Основной рудный	5,10	1,78	9,08	11,10	1,75	19,43	
189	1,00	0,10	0,10												

Примечание. Здесь и далее в таблицах 2–5: №\* – номер пробы; № – номер интервала; М\* – длина пробы, м; М – длина интервала, м; С – содержание Au, г/т; МС – метрограмм Au; РИ – рудные интервалы.

породам не присоединяется к основному интервалу в геологических границах. Содержание полезного компонента (условного компонента) в основном интервале в геологических границах при этом не учитывается. Отдельно оценивается возможность присоединения промежуточных рудных интервалов вмещающих пород в висячем и лежащем контактах основного рудного интервала.

4. При наличии нескольких промежуточных рудных интервалов во вмещающих породах сначала оценивается возможность присоединения ближайшего из них к основному рудному интервалу в геологических границах. При положительном результате определяется возможность присоединения к новому объединённому с геологическими границами интервалу второго промежуточного рудного интервала вмещающих пород, при положительном результате – третьего и т. д. В отдельных случаях может возникнуть необходимость сначала объединить выделенные по результатам опробования промежуточные рудные интервалы во вмещающих породах (по правилам, изложенным ниже), а уже затем оценить возможность присоединения объединённого промежуточного рудного интервала к основному рудному интервалу в геологических границах.

Пример оконтуривания в геологических границах с привлечением данных опробования при наличии промышленного оруденения за пределами визуально устанавливаемых геологических границ приведён в табл. 1. Основной рудный интервал в геологических границах представлен пробами 180–182. Это минерализованная золоторудная зона с тектоническими контактами, которые обнаруживаются визуально при геологической документации. По результатам опробования по бортовому содержанию Au 1,0 г/т также выделены по два промежуточных рудных интервала – выше и ниже минерализованной зоны. Кондициями (оценочными параметрами) предусмотрена максимальная мощность прослоя пустых пород и некондиционных руд (3,0 м), включаемых в рудное тело. Расстояние между верхней границей основного рудного интервала и нижней границей ближайшего первого промежуточного рудного интервала < 3,0 м. Однако средневзвешенное содержание золота объединённого интервала 1-1б–1-1р ниже бортового, поэтому присоединять интервал 1-1р к основному нельзя.

Далее проверяем возможность объединения промежуточных рудных интервалов 1-1р и 1-2р. Расстояние между ними < 3,0 м. Содержание золота в

каждом из объединённых интервалов 1-1р–1-2б и 1-2р–1-2б  $>1,0$  г/т, поэтому объединяем в промежуточный рудный интервал 2-1р интервалы 1-2р, 1-1б и 1-1р. После этого оцениваем возможность присоединения промежуточного рудного интервала 2-1р к основному рудному и получаем положительный результат, так как длина интервала 2-1б  $<3,0$  м, а средневзвешенное содержание золота в интервале 2-1б–2-1р  $>1,0$  г/т.

Ниже основного интервала во вмещающих породах выделяется промежуточный рудный интервал 1-3р, который по всем критериям присоединяется к основному рудному интервалу в геологических границах. Длина интервала 1-3б  $<3,0$  м, средневзвешенное содержание золота в интервале 1-3б вместе с интервалом 1-3р  $>1,0$  г/т. Промежуточный рудный интервал 1-4р не может быть присоединён к основному рудному интервалу, поскольку средневзвешенное суммарное содержание в интервалах 1-4р и 1-4б  $<1,0$  г/т.

**Оконтуривание рудных интервалов по результатам опробования** распространено на месторождениях, где: переход от промышленных руд к пустым породам постепенный, а руды визуально не отличаются от вмещающих пород даже в горных выработках; в геологических телах с чёткими границами оруденение приурочено к центральной части или контактам геологического тела. В этих условиях основной способ выделения границ рудного тела по мощности – оконтуривание рудных интервалов по результатам рядового опробования с учётом бортового содержания полезного компонента (условного компонента) в пробе, максимальной мощности внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд, включаемых в рудное тело. При подсчёте запасов и прогнозных ресурсов с применением коэффициента рудоносности дополнительно используется параметр минимальная мощность рудного интервала или минимальный метрограмм (метропроцент) рудного интервала (произведение бортового содержания и минимальной мощности рудного интервала).

В литературе [1, 3, 4] приводится следующее описание оконтуривания рудных интервалов по результатам опробования. Основной операцией формирования рудных интервалов является последовательное присоединение к основному рудному интервалу второстепенных с учётом содержания полезного компонента в разделяющих их некондиционных интервалах. Если его содержание

в приращиваемом контуре выше или равно бортовому, то контур включается в основной рудный интервал. Это описание не вполне корректное, так как не даёт чёткого определения, что считать основным рудным интервалом и как поступать в случае, когда содержание в рудном интервале, который принят за основной, вместе с безрудным интервалом оказывается ниже бортового.

Основное правило оконтуривания по мощности по результатам опробования – это приоритет выделения рудных интервалов над выделением прослоев пустых пород и некондиционных руд.

Алгоритм оконтуривания рудных интервалов по результатам рядового опробования секущего пересечения (горная выработка, скважина) при отсутствии чётких геологических границ приведён ниже. Пример использования алгоритма на золоторудном месторождении показан в табл. 2: бортовое содержание Au в пробе 0,50 г/т, максимальная мощность внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд, включаемых в рудное тело, 5,0 м.

*Предварительный этап* выполняется в двух случаях.

А) При наличии попутных компонентов. Если условиями или оценочными параметрами предусмотрено оконтуривание по пересечению по бортовому содержанию условного компонента, то для каждой пробы пересечения вычисляется содержание условного компонента. Для этого к содержанию основного компонента в пробе прибавляется содержание каждого попутного компонента в той же пробе, умноженное на соответствующий переводной коэффициент. Переводные коэффициенты и минимальные содержания попутных компонентов, учитываемые при переводе в условный компонент, должны быть зафиксированы условиями или оценочными параметрами. Порядок их определения регламентируется Методическими рекомендациями ГКЗ [2].

Б) Пробы пересечения расположены не на одной прямой линии или ориентировка проб не совпадает с направлением, которое задано в условиях или оценочных параметрах для минимальной мощности рудного интервала и максимальной мощности прослоя пустых пород и некондиционных руд, включаемых в рудное тело. Для придания каждой пробе одинакового веса при вычислениях на длину пробы вводится соответствующая поправка. Поправка рассчитывается для каждого прямоли-

2. ПРИМЕР ОКОНТУРИВАНИЯ РУДНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЯДОВОГО ОПРОБОВАНИЯ

Исходные пробы			Первый этап						Второй этап						Третий этап			РИ						
№*	M*	C	МС	Первая стадия		Вторая стадия		Завершающая стадия		Первая стадия		Вторая стадия		Первая стадия		№	МС							
				№	M	C	МС	№	M	C	МС	№	M	C	МС			№	M	C	МС			
501037	2,00	0,01	0,02																					
501038	2,00	2,75	5,50	1-1p	2,00	2,75	5,50																	
501039	2,00	0,40	0,80	1-16	4,00	0,35	1,40	2-1-1p	7,50	1,13	8,49	2-2-1p	7,50	1,13	8,49	2-1p	7,50	1,13	8,49	3-1p	7,50	1,13	8,49	1
501040	2,00	0,30	0,60	1-2p	1,50	1,06	1,59																	
501041	1,50	1,06	1,59																					
501042	1,50	0,47	0,71																					
501044	2,00	0,01	0,02	1-26	7,50	0,19	1,41	2-1-16	7,50	0,19	1,41	2-2-16	7,50	0,19	1,41	2-16	7,50	0,19	1,41	3-16	7,50	0,19	1,41	
501045	2,00	0,01	0,02																					
501046	2,00	0,33	0,66	1-3p	2,00	0,77	1,54																	
501049	2,00	0,77	1,54																					
501050	2,00	0,48	0,96	1-36	3,80	0,38	1,46	2-1-2p	8,70	0,75	6,56	2-2-2p	8,70	0,75	6,56	2-2p	8,70	0,75	6,56					
501051	1,80	0,28	0,50	1-4p	2,90	1,23	3,56																	
501052	0,90	2,84	2,56																					
501053	2,00	0,50	1,00																					
501054	1,70	0,07	0,12	1-46	1,70	0,07	0,12	2-1-26	1,70	0,07	0,12	2-2-26	1,70	0,07	0,12					3-2p	18,00	0,76	13,67	2
501055	1,00	0,51	0,51	1-5p	2,00	0,61	1,22	2-1-3p	2,00	0,61	1,22	2-2-3p	2,00	0,61	1,22	2-26	4,80	0,28	1,36					
501056	1,00	0,71	0,71																					
501057	1,10	0,02	0,02	1-56	1,10	0,02	0,02	2-1-36	1,10	0,02	0,02	2-2-36	1,10	0,02	0,02									
501058	2,00	1,20	2,40																					
501059	1,30	1,55	2,02	1-6p	4,50	1,28	5,75	2-1-4p	4,50	1,28	5,75	2-2-4p	4,50	1,28	5,75	2-3p	4,50	1,28	5,75					
501060	1,20	1,11	1,33																					
501061	1,40	0,02	0,03																					
501062	1,30	0,29	0,38	1-66	6,70	0,26	1,77	2-1-46	6,70	0,26	1,77	2-2-46	6,70	0,26	1,77									
501063	2,00	0,31	0,62																					
501064	2,00	0,37	0,74																					
501065	2,00	0,58	1,16	1-7p	2,00	0,58	1,16	2-1-5p	2,00	0,58	1,16	2-2-5p	2,00	0,58	1,16	2-36	11,15	0,27	3,03	3-26	11,15	0,27	3,03	
501066	1,70	0,05	0,08	1-76	2,45	0,04	0,10	2-1-56	2,45	0,04	0,10	2-2-56	2,45	0,04	0,10									
502029	0,75	0,03	0,02																					



нейного участка линии опробования или пробы отдельно по формуле Леонтовского в зависимости от наклона (зенитного угла) линии опробования, её азимута в плане и угла падения рудного тела. В дальнейшем оконтуривании участвуют только исправленные длины проб.

На *первом этапе* выделяются два типа интервалов: рудный – содержание полезного компонента во всех пробах равно или выше бортового (в примере 0,50 г/т и более); безрудный – содержание полезного компонента во всех пробах ниже бортового (в примере <0,50 г/т). Каждый рудный и безрудный интервал может быть представлен одной или несколькими пробами. Для каждого рудного и безрудного интервала определяются его длина (как сумма длин проб в интервале), среднее содержание полезного компонента (как средневзвешенное на длину проб в интервале), метрограмм или метропроцент.

*Второй этап* подразделяется на несколько стадий. На первой стадии проверяется возможность объединения двух соседних рудных интервалов и безрудного интервала между ними в один. Объединение интервалов производится при соблюдении трёх условий:

- длина безрудного интервала между двумя рудными равна или меньше максимальной мощности внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд;
- средневзвешенное на длины проб содержание полезного компонента первого рудного интервала и безрудного интервала между объединяемыми рудными равно или выше бортового;
- средневзвешенное на длины проб содержание полезного компонента второго рудного интервала и безрудного интервала между объединяемыми рудными равно или выше бортового.

Если не соблюдается хотя бы одно из указанных условий, объединение соседних рудных интервалов не производится.

Сначала проверяется возможность объединения первого и второго рудных интервалов в пересечении. При положительном результате эти интервалы объединяются в один вместе с прослоем пустых пород и некондиционных руд между ними. Длина объединённого интервала равняется сумме длин проб в нём. Содержание полезного компонента в объединённом интервале определяется средневзвешенным на длины проб интервала способом. Далее выясняется можно ли присоединить к ново-

му объединённому рудному интервалу третий, и так до тех пор, пока объединение рудных интервалов становится невозможным. После этого проверяется возможность объединения в один интервал не присоединённого и следующего за ним рудных интервалов, и так до конца пересечения. При данном алгоритме выделение основного и второстепенных рудных интервалов не требуется.

В рассматриваемом примере на первой стадии этапа объединяются первый (1-1р) и второй (1-2р) рудные интервалы. Присоединение к новому объединённому интервалу рудного 3 (1-3р) невозможно. Далее проверяется возможность объединения рудных интервалов 3 (1-3р) и 4 (1-4р). Получаем положительный результат. Присоединить к новому интервалу рудный интервал 5 (1-5р) невозможно. Проверяем возможность объединения рудных интервалов 5 (1-5р) и 6 (1-6р), и так далее до конца пересечения. В результате на первой стадии второго этапа получаем по пересечению девять новых рудных интервалов, разделённых восьмью безрудными.

На второй и последующих стадиях второго этапа производится объединение новых рудных интервалов, полученных на первой стадии, с учётом соблюдения все тех же трёх условий до тех пор, пока объединение всех соседних рудных интервалов в пересечении становится невозможным. При значительной мощности рудных интервалов и сложном неравномерном распределении полезного компонента на этапе может быть до пяти стадий объединения. В нашем примере всё ограничивается двумя стадиями.

На завершающей стадии этапа проверяется длина безрудных интервалов на соответствие максимальной мощности внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд. При этом могут быть два варианта.

А) Длина безрудного интервала между двумя рудными меньше, чем максимальная мощность внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд, но объединение рудных интервалов невозможно из-за содержания полезного компонента (условного компонента), которое ниже бортового. В этом случае один из двух рудных интервалов подлежит исключению – включается в прослой пустых пород и некондиционных руд. Какой рудный интервал оставлять, решается на основании геологических признаков, контролирующих положение рудного тела в плане и разрезе. При этом

необходимо избегать контуров, которые занимают текущее положение по отношению к элементам геологического строения, контролирующим распределение полезного компонента. При отсутствии геологических признаков используется критерий прямолинейности и логичности границ рудного тела между соседними пересечениями в плане и разрезе. Если и этот критерий «не работает», то исключается интервал с меньшим метрограммом (метропроцентом) полезного компонента (условного компонента). В нашем примере производится объединение в пустой прослой дважды: в прослой 2-2б объединяются интервалы 2-2-2б, 2-2-3р, 2-2-3б; в прослой 2-3б – интервалы 2-2-4б, 2-2-5р, 2-2-5б.

Б) Мощность всех безрудных интервалов больше, чем максимальная мощность внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд. В этом случае процесс оконтуривания по мощности заканчивается.

Если мощность хотя бы одного нового объединённого безрудного интервала остаётся меньше максимальной мощности внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд, то переходим к *третьему этапу*. На этом этапе объединяем рудные интервалы по методике, идентичной методике на второй, а потом и на завершающей стадии второго этапа. По результатам третьего этапа решается вопрос о целесообразности проведения четвёртого и других этапов оконтуривания. В примере длина нового безрудного интервала 2-2б < 5 м. Поэтому проверяем возможность объединения рудных интервалов 2-2р и 2-3р, при положительном результате получаем новый объединённый интервал 3-2р. Длина нового безрудного интервала 2-3б > 5 м, следовательно, объединение интервалов 3-2р и 2-4р невозможно.

В примере оконтуривание завершается первой стадией третьего этапа. Получаем четыре рудных интервала: 1-й в границах проб 501038–501041, 2-й – 501049–501060, 3-й – 502030–502034, 4-й – 502045–502065.

*Завершающий этап* требуется только при подсчёте запасов или прогнозных ресурсов с применением коэффициента рудоносности. В этом случае, когда все возможности по объединению рудных интервалов исчерпаны, производим проверку выделенных рудных интервалов на соответствие минимальной мощности рудного интервала, а при меньшей мощности – на соответствие минималь-

ному метрограмму (метропроценту) полезного компонента (условного компонента). По результатам проверки исключаются те рудные интервалы, мощность и метрограмм (метропроцент) для которых одновременно менее минимального значения, предусмотренного условиями (оценочными параметрами). Такие интервалы не учитываются в подсчёте запасов или прогнозных ресурсов с применением коэффициента рудоносности. Если подсчёт запасов или прогнозных ресурсов проводится без коэффициента рудоносности, то исключать рудные интервалы по мощности и метрограмму (метропроценту) не требуется, так как внутри рудного тела могут быть пересечения с некондиционными мощностями и метрограммами (метропроцентами). Параметр минимальной мощности рудного интервала в этом случае начинает «работать» на стадии оконтуривания запасов или прогнозных ресурсов по падению и простиранию рудного тела.

Ниже перечислены основные ошибки, встречающиеся при оконтуривании рудных интервалов по данным опробования.

1. Присоединение интервалов с содержанием полезного компонента (условного компонента) ниже бортового. В результате некондиционные руды при подсчёте запасов или прогнозных ресурсов учитываются как кондиционные, снижается содержание полезного компонента (условного компонента), увеличивается количество руды.

Так, в рассматриваемом примере (см. табл. 2) ошибкой является присоединение на первой стадии второго этапа интервалов 1-7р и 1-8б к интервалу 1-8р, поскольку среднее содержание золота в объединённых интервалах 1-7р и 1-8б ниже бортового 0,50 г/т.

2. Приоритет отдаётся не оконтуриванию рудных интервалов, а выделению прослоев пустых пород и некондиционных руд. Это приводит к отнесению при подсчёте запасов или прогнозных ресурсов бедных, но кондиционных руд к некондиционным, усложняет морфологию рудных тел, снижает сплошность руд, противоречит требованиям полноты оценки и разработки недр, способствует увеличению потерь при добыче и выборочной разработке богатых руд. В то время как подсчёт в условиях российской системы оценки должен быть направлен на обеспечение максимального использования недр, максимальной производительности горнодобывающего предприятия, упрощение горнотехнических условий отработки. В связи с этим

### 3. ПРИМЕР ПРАВИЛЬНОГО ОКОНТУРИВАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПРОБОВАНИЯ С УЧЁТОМ ВНУТРИ РУДНОГО ПРОСЛОЯ ПУСТЫХ ПОРОД И НЕКОНДИЦИОННЫХ РУД

Исходные пробы				Первый этап				Второй этап								РИ
								Первая стадия				Вторая стадия				
№*	М*	С	МС	№	М	С	МС	№	М	С	МС	№	М	С	МС	
502073	2,30	0,10														
502074	2,10	0,79	1,66	1-1р	3,60	2,23	8,01	2-1-1р	3,60	2,23	8,01	2-1р	20,70	1,21	25,12	1
502075	1,50	4,23	6,35													
502076	2,10	0,03	0,06	1-16	4,10	0,03	0,14	2-1-16	4,10	0,03	0,14					
502077	2,00	0,04	0,08													
502078	1,20	1,34	1,61	1-2р	1,20	1,34	1,61	2-1-2р	13,00	1,31	16,97					
502079	1,80	0,22	0,40	1-26	1,80	0,22	0,40									
502080	2,00	1,19	2,38													
502081	2,00	4,24	8,48	1-3р	10,00	1,496	14,96	2-1-2р	13,00	1,31	16,97					
502082	2,00	0,93	1,86													
502083	2,00	0,61	1,22													
502084	2,00	0,51	1,02													
502085	2,00	0,02														

при оконтуривании по мощности приоритет должен отдаваться выделению рудных интервалов максимального размера и рудных тел простой морфологии, а не разделению единой относительно простой рудной залежи на несколько мелких более сложных, нередко направленному исключительно на выборочную отработку наиболее богатых участков, а не на полное использование недр.

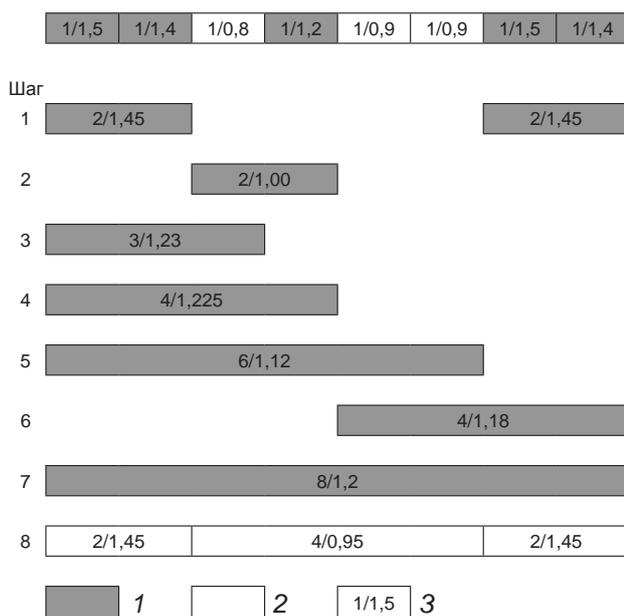
Эту ошибку проиллюстрируем на примере (табл. 3) при бортовом содержании Au в пробе 0,50 г/т и максимальной мощности внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд 5 м. Ошибочно объединение в один пустой прослой интервалов 1-16, 1-2р, 1-26 со средним содержанием Au ниже бортового 0,50 г/т, суммарной длиной более мощности пустого прослоя 5 м и получение в итоге двух неправильных рудных интервалов, включающих пробы 502074–502075 и 502080–502084. Такая процедура оконтуривания неверна, так как в первую очередь необходимо проверять возможность объединения соседних рудных интервалов, а не прослоев пустых пород и некондиционных руд. Правильно объединить интервал 1-2р с интервалом 1-3р. В результате правильного оконтуривания вместо двух получаем один рудный интервал от пробы 502074 до пробы 502084 включительно.

На рис. 1 приведён пример оконтуривания с приоритетом выделения рудных интервалов (последовательные шаги 1–7) и пустых прослоев (шаг

8). Последовательными пошаговыми действиями 1–7 выделяется рудный интервал длиной 8 м с содержанием золота 1,2 г/т. Если отдать приоритет простому прослою и выделить некондиционные руды длиной 4 м с содержанием 0,95 г/т, то эти действия приведут к тому, что оставшиеся два интервала длиной по 2 м с содержанием 1,45 г/т также переходят в разряд некондиционных по минимальному метрограмму. То есть методика оконтуривания с приоритетом выделения пустых прослоев переводит кондиционные, но бедные руды в разряд некондиционных и не отвечает требованиям полноты отработки недр.

3. Использование разных значений бортового содержания при оконтуривании одного и того же типа руд в одном рудном теле, блоке, выработке. Этот приём приводит к повышению содержания полезного компонента (условного компонента) в пересечениях и блоках, переводу некондиционных руд в промышленные в результате исключения из пересечений наиболее бедных краевых проб, содержание которых отвечает установленному бортовому.

4. Оконтуривание на минимальную мощность рудного интервала, которая устанавливается условиями или оценочными параметрами исходя из минимально допустимой ширины очистного пространства. При этом игнорируется наличие для кондиций (оценочных параметров) требования к мини-



**Рис. 1. ПРИМЕР ОКОНТУРИВАНИЯ РУДНЫХ ИНТЕРВАЛОВ:**

1 – руда; 2 – порода; 3 – интервал опробования: длина пробы (м)/содержание Au (г/т); параметры кондиций: бортовое содержание Au в пробе 1,0 г/т, минимальная мощность рудного интервала 3,0 м, максимальная мощность внутри рудного прослоя 3,0 м, минимальный метрограмм 3,0

мальному метрограмму (метропроценту) рудного интервала. Контур рудного интервала проводится с таким расчётом, чтобы его длина была равна или превышала минимальную мощность. При этом неизбежно нарушается правило бортового содержания в краевой пробе, завышаются мощность рудного тела и количество руды, занижается содержание полезного компонента (условного компонента).

5. Оконтуривание по мощности с прессовкой рудных интервалов, когда:

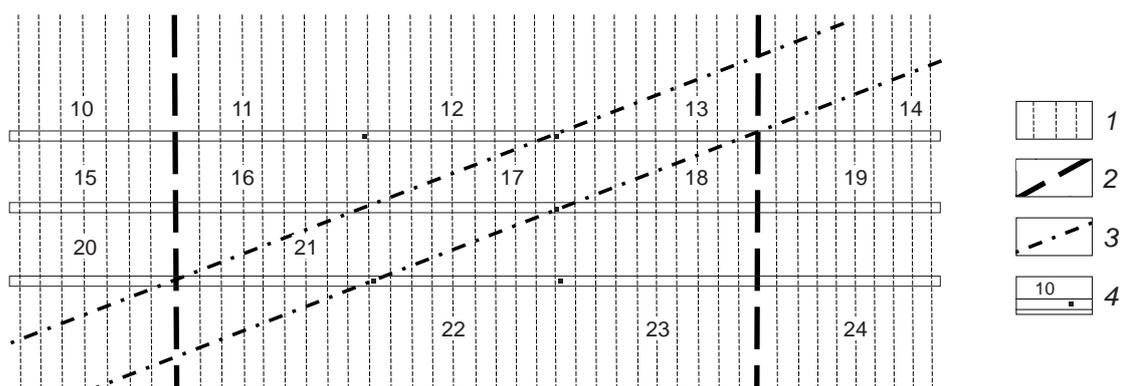
- участки пустых пород, разъединяющие пробы с содержанием равным и выше бортового, полностью исключаются из подсчёта запасов или прогнозных ресурсов, даже если их протяжённость меньше такого показателя кондиций (оценочных параметров), как максимальная мощность прослоя пустых пород и некондиционных руд, включаемого в рудное тело, а содержание полезного компонента (условного компонента) в рудном и безрудном интервалах в сумме выше бортового – в результате завышается содержание полезного компонента (условного компонента) и занижается количество руды;

- прослой пустых пород включаются в рудный интервал, даже если их протяжённость больше такого показателя кондиций, как максимальная мощность прослоя пустых пород и некондиционных руд, включаемого в рудное тело, – в результате занижается содержание полезного компонента (условного компонента) и завышается количество руды.

Прессовка рудных интервалов приводит к объединению мелких рудных тел с крупными, искажению морфологии, условий залегания и строения рудных тел.

**Оконтуривание при наличии в пересечении нескольких линий опробования** производится с учётом всех проб и геологических особенностей, контролирующих распределение рудной минерализации на участке оконтуривания. Игнорирование геологических факторов контроля оруденения и формальное проведение контура по крайним пробам с бортовым содержанием при наличии нескольких линий опробования в пересечении может привести к искажению мощности, морфологии и условий залегания рудного тела, ошибкам определения содержания полезного компонента.

В предлагаемом примере (рис. 2, табл. 4) по стенке секущей горной выработки вскрывается минерализованная золоторудная зона без чётких геологических границ. При геологической документации по выработке установлена субвертикальная ориентировка прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации, контролирующей распределение золота. По стенке выработки отобраны три линии рядовых бороздовых проб длиной 1 м каждая. Бортовое содержание Au (условного золота) в пробе для оконтуривания рудных интервалов по мощности 0,80 г/т. При формальном подходе к оконтуриванию без учёта геологических факторов контроля оруденения и без объединения параметров сопряжённых рядовых проб можно получить рудный интервал, включающий пробы 13, 17, 21, который занимает секущее положение по отношению к элементам строения минерализованной зоны, контролирующим распределение золота, не только в рассматриваемой выработке, но и в смежных пересечениях. После усреднения содержания золота по сопряжённым рядовым пробам получаем рудный интервал, включающий пробы 11, 12, 13, 16, 17, 18, 21, 22 и 23, занимающий согласное положение по отношению к ориентировке прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации. Длина



**Рис. 2. ПРИМЕР ОКОНТУРИВАНИЯ РУДНОГО ИНТЕРВАЛА ПО ТРЁМ ЛИНИЯМ ОПРОБОВАНИЯ СТЕНКИ СЕКУЩЕЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ:**

1 – ориентировка прожилково-вкрапленной минерализации, контролирующей распределение золота; границы рудного интервала: 2 – с учётом ориентировки прожилково-вкрапленной минерализации, 3 – без учёта ориентировки; 4 – рядовые бороздовые пробы, их номера

этого интервала 3 м, содержание Au 0,96 г/т. При формальном оконтуривании средняя мощность рудного интервала 1 м, содержание Au 1,6 г/т.

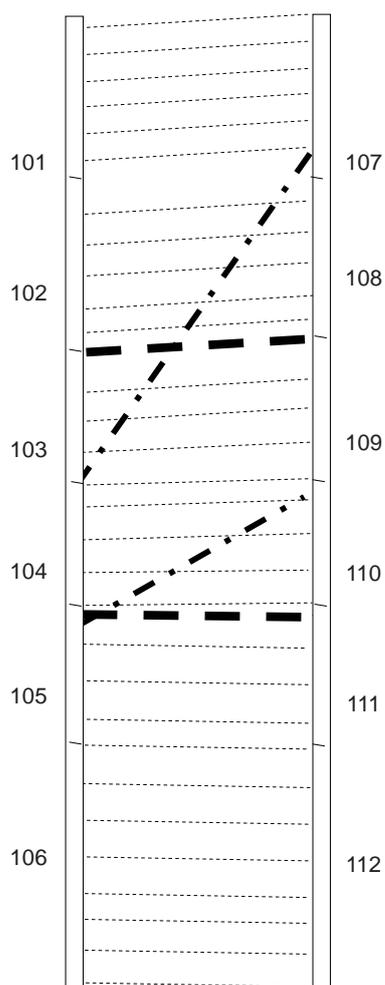
В примере (рис. 3, табл. 5) рассматривается оконтуривание рудного интервала с учётом особенностей строения аналогичной минерализованной золоторудной зоны по результатам рядового бороздового опробования двух стенок секущей горной выработки. Бортовое содержание Au в пробе для оконтуривания рудных интервалов 1,0 г/т. При формальном подходе к оконтуриванию без учёта геологических факторов контроля оруденения и без объединения параметров рядовых проб по противоположным стенкам выработки можно получить рудный интервал, включающий пробы 104 по одной стенке и 108, 109 по другой. Этот интервал занимает секущее положение по отношению к элементам строения минерализованной зоны, контролирующей

распределение золота, его мощность 1,5 м, содержание Au 2,03 г/т. После усреднения содержания золота по рядовым пробам из противоположных стенок получаем рудный интервал, включающий пробы 103, 104 на одной и 109, 110 на другой стенках. Интервал занимает согласное положение по отношению к ориентировке прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации, его мощность 2 м, содержание Au 1,60 г/т.

Результаты оконтуривания сводятся в таблицы вычисления параметров рудных интервалов (в формате Microsoft Excel с сохранением всех формул, применённых при вычислениях, что облегчает проведение проверки и внесение корректив при прохождении государственной экспертизы запасов или апробации прогнозных ресурсов). Мощность каждого интервала равна сумме длин проб в нём. Содержание основного и попутных компонентов в

#### 4. ОКОНТУРИВАНИЕ РУДНЫХ ИНТЕРВАЛОВ С УЧЁТОМ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ЗОНЫ ПРИ НАЛИЧИИ НЕСКОЛЬКИХ ЛИНИЙ РЯДОВОГО ОПРОБОВАНИЯ ПО СТЕНКЕ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Первая линия опробования				Вторая линия опробования				Третья линия опробования				Среднее по трём линиям			
№*	М*	С	МС	№*	М*	С	МС	№*	М*	С	МС	№*	М*	С	МС
10	1,00	0,30	0,30	15	1,00	0,50	0,50	20	1,00	0,40	0,40	10-15-20	1,00	0,40	0,40
11	1,00	0,70	0,70	16	1,00	0,70	0,70	21	1,00	1,50	1,50	11-16-21	1,00	0,97	0,97
12	1,00	0,60	0,60	17	1,00	2,00	2,00	22	1,00	0,60	0,60	12-17-22	1,00	1,07	1,07
13	1,00	1,30	1,30	18	1,00	0,50	0,50	23	1,00	0,70	0,70	13-18-23	1,00	0,83	0,83
14	1,00	0,10	0,10	19	1,00	0,20	0,20	24	1,00	0,20	0,20	14-19-24	1,00	0,17	0,17
Сумма	1,00		1,30		1,00		2,00		1,00		1,50		3,00		2,87
Среднее	1,00	1,30			1,00	2,00			1,00	1,50			3,00	0,96	



**Рис. 3. ПРИМЕР ОКОНТУРИВАНИЯ РУДНОГО ИНТЕРВАЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПРОБОВАНИЯ ДВУХ СТЕНОК СЕКУЩЕЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ:**

усл. обозн. см. рис. 2

рудном интервале определяется средневзвешенным на длины проб способом. В таблицах рудные интервалы группируются по пересечениям, горизонтам, прослеживающим выработкам (штольням, штрекам, восстающим), разведочным (поисковым) профилям, типам руд, блокам, рудным телам и т. д.

**Отклонения от кондиций и оценочных параметров при оконтуривании рудных интервалов** при подсчёте запасов и прогнозных ресурсов геометризованными рудными телами допускаются в отдельных случаях в виде исключения для соблюдения сплошности рудных тел по падению и простиранию. Все случаи оговариваются в текстовой части подсчёта запасов или прогнозных ресурсов, должны быть единичными, а не иметь систематический характер.

Бортовое содержание не соблюдается, если по пересечению отсутствуют пробы с содержанием равным или выше бортового. В этом случае рудный интервал выделяется по пробам с содержанием ниже бортового. Суммарная длина таких проб должна быть равна или несколько превышать минимальную мощность рудного тела, которая предусмотрена кондициями или оценочными параметрами. Основные критерии для выбора некондиционных проб для включения в рудный интервал: геологически логичные границы рудного тела с учётом его положения в смежных пересечениях; прямолинейное или плавно изменяющееся положение границ рудного тела; максимальное содержание полезного компонента (условного компонента).

Бортовое содержание и максимальная мощность внутри рудного прослоя пустых пород и некондиционных руд могут не соблюдаться как исключение на непротяжённых, представленных од-

### 5. ОКОНТУРИВАНИЕ РУДНЫХ ИНТЕРВАЛОВ С УЧЁТОМ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ЗОНЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПРОБОВАНИЯ ДВУХ СТЕНОК ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Первая стенка				Вторая стенка				Среднее по двум стенкам			
№*	М*	С	МС	№*	М*	С	МС	№*	М*	С	МС
101	1,00	0,10	0,10	107	1,00	0,10	0,10	101-107	1,00	0,10	0,10
102	1,00	0,30	0,30	108	1,00	1,10	1,10	102-108	1,00	0,70	0,70
103	1,00	0,50	0,50	109	1,00	2,00	2,00	103-109	1,00	1,25	1,25
104	1,00	3,00	3,00	110	1,00	0,90	0,90	104-110	1,00	1,95	1,95
105	1,00	0,20	0,20	111	1,00	0,40	0,40	105-111	1,00	0,30	0,30
106	1,00	0,10	0,10	112	1,00	0,10	0,10	106-112	1,00	0,10	0,10
Сумма	1,00		3,00		2,00		3,10		2,00		3,20
Среднее	1,00	3,00			2,00	1,55				1,60	

ним пересечением, участках сближения субпараллельных рудных тел, которые могут быть объединены по этим показателям в один рудный интервал. Для разделения такого рудного интервала на два для соблюдения сплошности рудных тел по падению и простиранию приходится одну-две пробы с содержанием равным или выше бортового включать в пустой прослой. Основные критерии для выбора рудных проб для включения в пустой прослой: геологически логичные границы рудных тел с учётом их положения в смежных пересечениях; прямолинейное или плавно изменяющееся положение границ рудных тел; минимальное содержание полезного компонента (условного компонента) в пробе. Отклонения должны быть только для единичных пересечений. Если такая ситуация наблюдается для нескольких сопряжённых пересечений, то производится объединение двух тел в одно и участок объединения выделяется в отдельный блок.

При подсчёте запасов и прогнозных ресурсов с применением коэффициента рудоносности от-

клонения от показателей кондиций и оценочных параметров при оконтуривании рудных интервалов по результатам опробования не допускаются.

Таким образом, рудные интервалы выделяются по единой методике независимо от способа подсчёта запасов (как традиционными для Российской Федерации полигональными, так и нетрадиционными с применением геостатистики методами) или прогнозных ресурсов и их категории. Способы и приёмы оконтуривания рудных интервалов зависят только от наличия или отсутствия чётких геологических границ рудных тел, возможности визуального выявления геологических границ при использовании горных выработок или скважин и количества линий опробования в горных выработках при отсутствии визуальных геологических границ. Оконтуривание рудных интервалов не должно способствовать выборочной отработке богатых руд, приоритет должен отдаваться соблюдению принципов полноты использования недр и сокращения потерь при добыче.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпенко И.А., Куликов Д.А., Черемисин А.А., Голнев В.Б. К вопросу о методике выделения рудных интервалов при подсчете запасов // Маркшейдерия и недропользование. 2009. № 1. С. 7–18.
2. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). – М.: ГКЗ РФ, 2007.
3. Руководство по методам разведки и подсчету запасов золоторудных месторождений / Под ред. Г.П.Воларовича. – М.: НИГРИзолото, 1956.
4. Шумилин М.В., Викентьев А.В. Подсчет запасов урановых месторождений. – М.: Недра, 1982.

## ORE INTERVAL DELINEATION IN RESERVE AND INFERRED RESOURCE ESTIMATION

V.B.Golenev, D.A.Kulikov  
(FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow)

*Traditional classical ore interval delineation techniques in base and precious metal reserves and inferred resources estimation are considered for various geological and structural mineralization localization conditions. In a market economy, classical delineation techniques were mostly lost or replaced by methods contradictory to overall mining and mineral loss reduction requirements, and focused on selective mining of only high-grade ores.*

*Keywords: inferred resources, reserves, ore intervals, ore grade, delineation, ore interval thickness, sample.*





## ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕДПОСЫЛОК

*В ряде золоторудных поясов и провинций в условиях истощения и исчерпания фонда легкооткрываемых выходящих на дневную поверхность золоторудных месторождений их поиск вблизи обнаруженных и разрабатываемых объектов, по сути, является проверкой и ревизией ранее установленных предпосылок локализации руд. Наряду с поиском по структурным предпосылкам, применяются геохимические, геофизические и другие методы, в том числе типовые модели размещения месторождений. На примере гигантских Наталкинского и Дукацкого, а также рядовых, но достаточно крупных месторождений – Купол, Балей-Тасеевское, Дарасунское, Кочбулак и др. – показано, что поиски ведутся целенаправленно, путём прослеживания зон региональных рудоконтролирующих разломов, сопряжённых с ними разломов-ветвей и их собственных рудоконтролирующих боковых разрывов вплоть до локальных и отделяющихся от них серий оперяющих сколов.*

*Автором достаточно надёжно выявлено, что близповерхностные золотосеребряные и золототеллуридные руды в пределах одного месторождения формируются на двух рудоносных уровнях – верхнем и нижнем. На верхнем в сотнях метров от палеоповерхности и (при умеренной эрозии) от дневной поверхности локализуются руды друзовой, крустификационной, фестончатой и ритмично-полосчатой текстур. На нижнем в 600–1000 м от поверхности и глубже в выдержанных и мощных трещинных нарушениях в брекчии вторичных кварцитов размещаются брекчиевые, полосчатые, сетчатые, массивные и вкрапленные золото-меднопорфировые и золототеллуридные руды. Таким образом, друзовые и крустификационные руды верхнего уровня служат прямым поисковым признаком локализации золото-меднопорфировых и теллуридных руд на глубине.*

*Ключевые слова: месторождения, рудоконтролирующие разломы, руда, минералы золота, серебра, теллуриды.*

При остром дефиците свободной валюты золото – надёжный источник «свободных денег», который можно вложить в любые отрасли народного хозяйства. Поэтому увеличение добычи руд и извлечения золота из них имеет в настоящее время государственное значение. Повысить эти показатели можно за счёт роста добычи руд и извлечения золота из разрабатываемых карьерами крупнейших золоторудных месторождений на Востоке страны, путём вложения горнорудными компаниями средств для завершения разведки нескольких перспективных месторождений, увеличения добычи руд на крупных месторождениях, возобновления разведочных и эксплуатационных работ на недальновидно заброшенных рудниках, где после изучения месторождений в последнее время были получены обнадеживающие признаки наличия на глубине промышленных руд.

### Некрасов Евгений Михайлович

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор  
ведущий научный сотрудник

ФГУНПП «Аэрогеология»,  
г. Москва

Автор полагает, что для отечественных горно-рудных компаний – владельцев крупнейших месторождений на Востоке страны – настало время провести сравнительно недорогие мероприятия, которые позволят увеличить добычу на верхних горизонтах карьеров дешево обрабатываемых руд и повысить извлечение золота на 15–20%. В первую очередь, это касается таких крупнейших месторождений и месторождений-гигантов, как Олимпиадинское, Наталкинское, Двойное, Нежданинское, Майское, Благодатное, Купол. На каждом из них ежегодно извлекается от 5 до 10 т золота и рост добычи обеспечен уже разведанными запасами.

Целесообразно также пересмотреть имеющиеся геологические материалы, выполнить ревизионное бурение на ошибочно закрытых рудниках и доразведать магистральными канавами на поверхности и буровыми разведочными разрезами на глубину перспективные месторождения Балеи-Тасеевское, Многовершинное, Карамкенское, Кочкарское (на Урале), Дарасунское, Бериккульское, Дегдеканское, Маломырское, Агинское, Ольча, Базовское и др. Многие из перечисленных месторождений представлены широкими зонами (обычно >100 м, например, на месторождениях Ольча и Дегдеканское) оруденелых брекчий метасоматитов, заключающих короткие, но сравнительно богатые маломощные (<1 м) рудные тела [2], которые повышают содержание золота в рудах до промышленных значений. Канавы, пересекающие подобные зоны, должны быть непрерывно опробованы, а руды оконтурены по низким бортовым содержаниям Au (0,2–0,5 г/т). Это позволит выявить ресурсы и запасы руд и золота в количестве около и, возможно, даже >100 т металла на каждом из упомянутых месторождений. При этом буровую разведку следует вести только до глубины 300–400 м, что обычно обеспечивает безубыточную добычу руд в эксплуатационных карьерах.

Исходя из мирового опыта геологоразведочных работ [3], разведка месторождений, как правило, подкрепляется поисками новых объектов вблизи разведываемых. Однако сейчас фонд легкооткрываемых выходящих на поверхность месторождений в ряде золоторудных районов исчерпан. Геологи вынуждены использовать геохимические, геофизические и другие методы поисков, материалы космической съёмки и моделирования закономерностей размещения месторождений, структурные предпосылки их обнаружения.

К 2015 г. оказалось, что подавляющая доля запасов золота (13,5 тыс. т из ~90 тыс. т мировых) сосредоточена в однородных и мощных фанерозойских песчаниково-глинистосланцевых и протерозойских кварцито-филлитовых толщах [5–10]. К ним приурочены подавляющее большинство крупнейших месторождений с запасами >300 т металла и месторождений-гигантов с запасами >1000 т. Когда в такой среде заключены пласты или пачки и горизонты хрупких песчаников (например, Каральвеевское месторождение), а также легкозамещаемых, скорее всего, пористых карбонатных пород (золотоскарновые месторождения Новогоднее Монто, Синюхинское, Натальевское), то именно в них развивается сеть рудоконтролирующих и пространственно связанных с ними рудовмещающих разрывов. Зоны нарушений (в том числе в скарнах) нередко залечиваются рудой. Аналогичная ситуация наблюдается при проникновении рудоконтролирующих разломов и отделяющихся от них мощных боковых ветвей-сколов в контактовые зоны интрузивов (месторождения Зун-Холбинское, Чармитанское в Узбекистане [2, 11]), в непротяжённые пояса штоков интрузивных и субвулканических пород, в пояса даек (месторождения Майское на Чукотке, Степняк в Казахстане, Донлин-Крик на Аляске в США), в участки осложнения рудовмещающей фанерозойской глинистосланцевой и протерозойской кварцито-филлитовой среды некками, жерлами и силлами вулканических пород, а также трубками эруптивных и эксплозивных брекчий (Багио на Филиппинах, Кочбулак в Узбекистане [11]).

В песчаниково-глинистосланцевой среде (толщах) фанерозоя и песчаниково-слюдисто-кварцито-филлитовых толщах позднего протерозоя локализовано по 5,5 тыс. т золота. В них залегают месторождения-гиганты Мурунтау, Наталкинское, Сухой Лог, Олимпиадинское, выработанный объект Хомстейк (США) и др. [8, 10]. В нижнепротерозойских филлитовых толщах (с прослоями кварцитов) размещаются месторождение-гигант Ашанти (Гана) и крупнейшие месторождения Агафо, Садиола, Луло (Мали), Телфер (Австралия).

Сопоставимые со сланцевыми запасы золота (не менее 13,5–14,0 тыс. т) заключены в близповерхностных месторождениях-гигантах золотосеребряных и теллуридных руд Янакоча (Перу), Лихир или Ладодем (Папуа-Новая Гвинея), Крипл-Крик (США), Пуэбло-Вьехо (Доминиканская Республика), а также в крупнейших месторождениях Поргера

(Папуа-Новая Гвинея), Гуанахуато, Пеньяскито (оба – Мексика), Паскуа-Лама, Веладеро (Чили – Аргентина), Купол, Двойное (Россия), Раунд-Маунтин (США), Рошиа-Монтане (Румыния) и др. Месторождения этого типа отличаются развитием оруденения на двух рудоносных уровнях – верхнем и нижнем. Золотосеребряные и теллуридные руды верхнего уровня обычно разведуются, образуются и обнаруживаются в нескольких сотнях метров от палеоповерхности и дневной поверхности (при малой эрозии). Кроме того, на нижнем уровне часто проявлены золото-меднопорфировые и теллуридные руды, которые ничем не отличаются от руд глубоководных месторождений. Они обычно не разведуются, так как залегают на глубине 600–1000 м и более от дневной поверхности, и есть риск не вскрыть их первыми разведочными скважинами, после чего разведка их, как правило, прекращается. По мнению автора, руды верхнего уровня являются прямым признаком оруденения на глубоких горизонтах месторождений.

Более 5,0–5,5 тыс. т запасов золота локализовано в верхнеархейских метаморфических кварцсерицит-хлоритовых и амфиболовых сланцах, в том числе на гигантском месторождении-лидере Калгурли (Австралия, ~2 тыс. т), крупнейших объектах Детур-Лейк, Хемло, Йеллоунайф (все – Канада), а также на участках месторождений Лас-Кристинас (Венесуэла), Гейта, Буланхулу (Танзания), пограничная Киттила (Финляндия) и др.

Значительными запасами (~2,5–3,0 тыс. т) располагают джаспероидные месторождения тонкого золота в терригенно-карбонатных толщах палеозоя. Скорее всего, более 80% запасов этих руд находятся в комплексе пород и в месторождениях штата Невада (США), в том числе в гигантском объекте Голдстрайк, в рядовых и крупнейших месторождениях Карлин, Кортес-Хилл, Джеррит-Каньон, Голдкворри, Мейкл и др. Понятно, что в комплексах пород, заключающих крупнейшие запасы золота, обнаружение месторождений наиболее перспективно.

Поиск месторождений по структурным предпосылкам рационально начинать с прослеживания ранее выявленных мощных зон региональных рудоконтролирующих разломов, изучения их строения и рудоконтролирующего значения. В результате обычно выделяют три, четыре (и более) тектонически чёткие и мощные, местами минерализованные зоны. Для прослеживания выбирается

границная (крайняя) или интенсивно минерализованная зона нарушения. Как правило, это продольный разлом по отношению к ориентировке складчатой мегапостройки (или секущий в активизированных структурах). При прослеживании должны быть установлены все боковые разрывы и проявления рудных и жильных минералов, а также метасоматитов. Целесообразно рассчитать плотность их проявления вдоль рудоконтролирующих нарушений и в поперечном направлении.

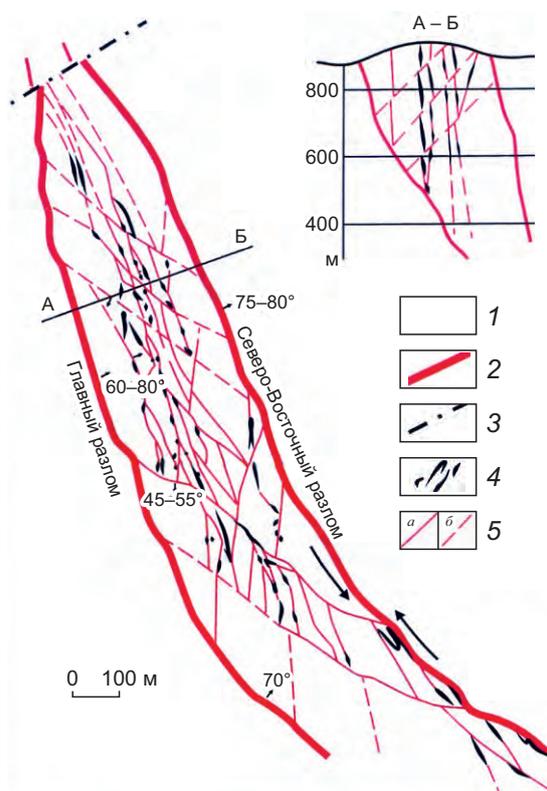
Все упомянутые крупнейшие, а также рядовые месторождения, как правило, формируются в породах, проницаемых для минерализованных, в том числе золотосодержащих рудоносных растворов. Для проницаемых пород характерно наличие: мелких и мельчайших прожилков, гнёзд и желваков жильных и рудных минералов – кварца, халцедона, разнообразных карбонатов, флюорита, барита, сурьмяных минералов, хлоритизированных трещинок, тончайшей вкрапленности полуокисленных (на поверхности) пирита, арсенопирита и других рудных и сульфидных минералов, овоидов, «пятен» и цепочек (вдоль трещинок), «желваков» метасоматически изменённых, обычно окварцованных пород; геохимических ореолов рассеяния элементов-спутников золота, а также содержаний золота (в единичных пробах) в минерализованных породах; обнаруженных ранее рудопроявлений и точек минерализации и проч. Обычно блоки проницаемых пород примыкают к тектоническим нарушениям, служащим их границами и рудоконтролирующими нарушениями, или располагаются между такими субпараллельными (главными) разрывами. При этом разрывы дорудного заложения являются и трещинообразующими нарушениями, т. е. при перемещении блоков проницаемых пород вдоль них в этап оруденения возникают боковые сколы, зоны которых могут залечиваться жильным и рудным веществом с образованием местами рудных тел.

Рудоносные разрывы, в частности боковые сколы, нередко расположены на равном расстоянии друг от друга, преимущественно в одну сторону нарушения (висячем или лежащем главного рудоконтролирующего нарушения), в «шаге размещения». Это расстояние чаще колеблется от 30 до 70–120 м, но может достигать и 250 м [9]. Соответственно, на таком же расстоянии вдоль упомянутых рудоконтролирующих нарушений располагаются и субпараллельные золоторудные тела. Главные же

нарушения выполняют в основном роль рудоконтролирующих разрывов, но иногда на разобщённых интервалах заключены мощные рудные залежи (например, на рассматриваемом ниже месторождении Дукат).

По-видимому, немаловажное значение для локализации руд имеет внутреннее строение зон боковых рудоносных сколов или аналогичных нарушений и, конечно, масштаб их проявления – мощность, протяжённость, количество прожилков-апофиз в зоне нарушения и др. Н.И.Бородаевский [1], учтя мировой опыт изучения золоторудных месторождений, пришёл к выводу, что золоторудные тела чаще образуются в проницаемых и деформированных породах между сравнительно близко находящимися друг от друга (в десятках–сотне метров, реже в 1–2 км) субпараллельными разрывами – в структурной ловушке «парные разрывы». Для локализации крупнейших запасов особенно благоприятно расположение блоков проницаемых пород между чёткими магистральными, т. е. наиболее выдержанными швами тонко- и умеренно раздробленных, расланцованных, будинированных пород, местами сменяющихся тёмной окварцованной и хлоритизированной глиной трения.

Автор с коллегами [10] в деталях выяснили особенности строения зоны одного из таких рудоносных разрывов – рудной зоны *Наталкинского* месторождения-гиганта. Рудоносная зона является частью Тенькинского регионального рудоконтролирующего разлома. Она протягивается между двумя магистральными швами, представленными раздробленными и местами сменяющимися (по простиранию) перетёртыми до глины трения песчаниками и глинистыми сланцами раннепермского возраста. Швы круто падают на северо-северо-восток, располагаясь на расстоянии от 70–80 до 250–300 м один от другого (рис. 1). Между ними в 100–130 м друг от друга проявились соединительные разрывы, падающие на юг под углом 45–55°. Таким образом, зона разломов оказалась как бы разделённой пластинами проницаемых пород, залегающими друг над другом и погружающимися на юг. Именно эти пластины были тектонически деформированы, преобразованы в брекчию кварцевых метасоматитов и пересечены субвертикальными боковыми сколами, отделяющимися от главных магистральных швов вверх по восстанию. Сколы вмещают короткие, но богатые золоторудные жилы малой мощности (до 0,5–1 м), прожилки и линзы в



**Рис. 1. ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ СХЕМА НАТАЛКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (северная и центральная части), ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ С ПУЧКОМ РУДОНОСНЫХ ОПЕРЯЮЩИХ СКОЛОВ И РУДНЫХ ТЕЛ, ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ОТ МАГИСТРАЛЬНЫХ ШВОВ ГЛАВНОГО РАЗЛОМА, ПО [10]:**

1 – рудовмещающая песчаниково-глинистосланцевая толща (P); 2 – блокообразующие локальные рудоконтролирующие нарушения; 3 – разлом Геологический; 4 – золоторудные стержневые жилы и сопутствующие линзы и гнезда, сложенные массивными и прожилковыми богатыми золото-кварцевыми рудами; 5 – рудоносные трещинные нарушения и дорудные сдвиги (а – достоверные, б – предполагаемые)

брекчии кварцевых метасоматитов, сцементированной рудным веществом (см. рис. 1).

В целом руды метасоматитов, включая богатые секущие жильные образования, характеризуются средними содержаниями Au 1,6–1,8 г/т. Эти руды распространяются на глубину 600–700 м, где оба магистральных шва соединяются, ограничивая развитие руд на глубину. При протяжённости рудоносного блока по простиранию на 4,5 км запасы золота на месторождении достигли 1840 т [2].

Иная геологическая обстановка сложилась на месторождении *Дарасунское*. Здесь оруденение ло-

кализовано в мезозойских и позднепалеозойских гранитоидах и амфиболовых сланцах, пересечённых тремя субпараллельными разломами северо-западного простирания. Разломы проявились на расстоянии ~2 км друг от друга, образовав два оруденелых тектонических блока (северный и южный) в гранитоидных породах и амфиболовых сланцах. Между граничными разломами (Северо-Восточным и Карбонатной зоной – зоной карбонатных жил по южной границе блока) сформировалось шесть локальных рудоконтролирующих нарушений небольшой (1–3 м) мощности – Главное Ограничивающее, Мартовское, Ново-Кузнецовское, Школьное, Футбольное и Юго-Восточное [13]. Все они размещаются в северном и южном рудоносных блоках в 600–800 м друг от друга, круто погружаясь на юго-юго-восток (рис. 2). Именно от каждого локального разрыва отделились боковые субпараллельные оперяющие ветви-сколы, разместившиеся в 50–70 м друг от друга, т. е. на одинаковом «шаге размещения» вдоль висячего (юго-восточного) бока каждого локального нарушения (см. рис. 2). Это позволяет прогнозировать проявление «новых» боковых зон и залечивающих рудных тел.

Такова, например, структурная обстановка на участке проявления Юго-Восточного нарушения (рис. 3). Оруденелые боковые сколы представлены маломощными (1–2 м) зонами раздробленной брекчии кварцевых метасоматитов, переходящими в одиночные или в пучки плоскостей скольжения со «своими» мелкими апофизами по оперяющим сколам и отрывам. Зоны сколов залечены золото-сульфидно-кварцевыми жилами в гранитоидах и сравнительно богатыми жильными залежами в амфиболовых сланцах. Именно боковые сколы и жилы, отделяющиеся от локальных рудоконтролирующих нарушений, располагаются закономерно на расстоянии 50–70 м друг от друга, в «шаге размещения», что позволяет прогнозировать обнаружение следующих сколов и залечивающих жил. Максимальная мощность жил составляет первые метры, богатых залежей – 5–7 м. На месторождении добыто >150 т благородного металла. Очевидно, маломощные рудоносные зоны сравнительно простого внутреннего строения обеспечили выполнение трещинных полостей небольшой протяжённости и мощности главным образом рядовыми рудами. Лишь в амфиболовых сланцах, где сформировались пучки сближенных разрывов, возникли более протяжённые и мощные залежи сравнительно

но богатых руд (на участках с залежами «Школьные» и «Электрические» с содержанием Au десятки грамм на 1 т руды).

Нередко наблюдается другая интересная и труднообъяснимая особенность золоторудных месторождений. На участках, где развиты мощные дорудные зоны дробления и отделяющиеся от них многочисленные боковые нарушения различного типа, золотосодержащие растворы прежде всего проникали в тончайшие трещинки, а также в маломощные рудовмещающие нарушения, где и разгружались (раскристаллизовываясь) с образованием прожилков мощностью от сантиметров до волосовидных. При этом формируются месторождения с многочисленными золоторудными телами, но умеренной мощности и протяжённости.

Примером служит гигантское сереброрудное *Дукатское* месторождение на Востоке России, локализованное в верхней части вулканокупольной постройки грибообразной формы. Оно находится между дорудными нарушениями северо-северо-восточного простирания, которые протягиваются субпараллельно в пределах структурной связи «парные разрывы». Эти нарушения являются боковыми ветвями протяжённого рудоконтролирующего Главного Дукатского разлома. Расщепляясь, в свою очередь, на флангах, разломы-ветви прослеживаются как бы полосой, погружаясь в юго-восточном направлении (рис. 4). Упомянутые нарушения (Первое и Второе Западные) располагаются в 600 м друг от друга, а Восточное – в 1,4–1,6 км юго-восточнее. Руды размещаются в игнимбритах риолитов раннемелового возраста под молассовой толщей угленосных аргиллитов и алевролитов ранне-го-позднего мела.

По мнению автора, размещение оруденения также обусловлено проявлением ловушки «парные разрывы». Максимально оно развито в тектоническом блоке между Восточным и Вторым Западным нарушениями (см. рис. 4). Здесь с максимальной плотностью проявились рудоносные разрывы двух сопряжённых систем: северо-северо-восточной, крутопадающей на северо-запад, и северо-западной, погружающейся на северо-северо-восток. Наиболее протяжённое и мощное рудоносное нарушение (первой системы) – Главное – отделяется от висячего бока Второго Западного разлома и на расстоянии ~1,8 км непрерывно сопровождается сравнительно богатыми рудами золото-серебро-сульфидно-хлорит-адуляр-кварцевого состава. От сред-

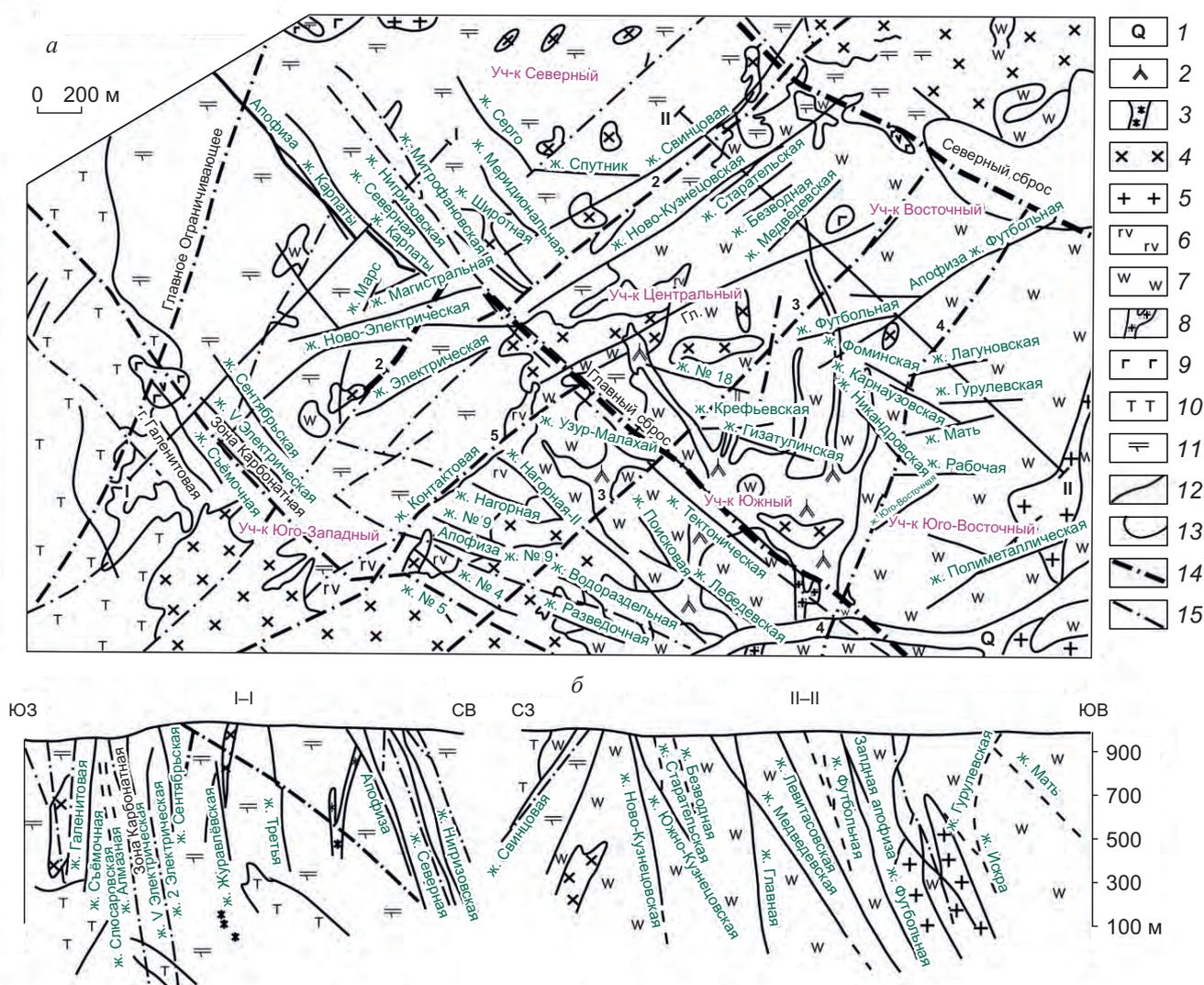


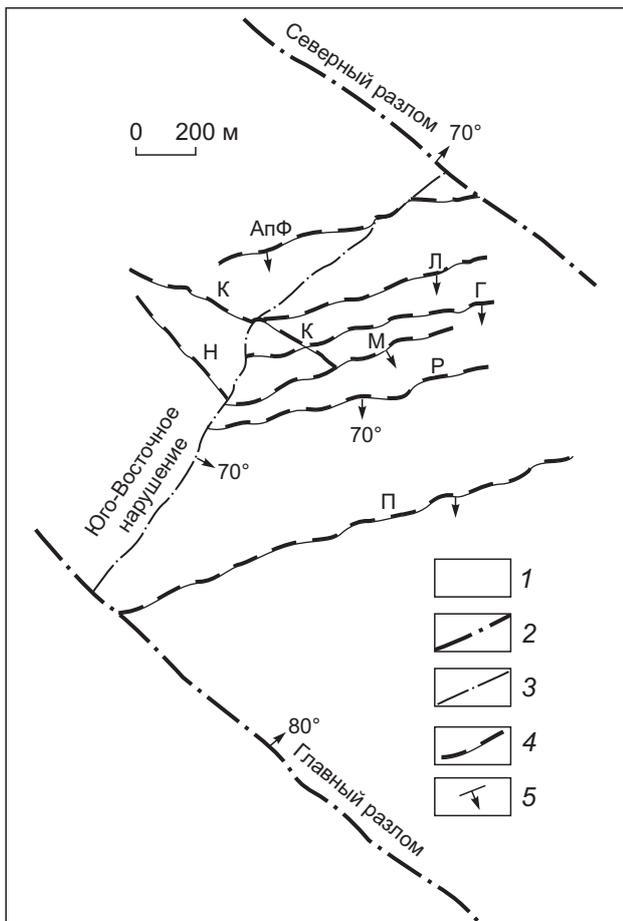
Рис. 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМА ДАРАСУНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (а) И РАЗРЕЗЫ (б), ПО [13]:

1 – аллювиальные и аллювиально-делювиальные отложения; интрузивные породы, комплексы даек и малых интрузий средне- и позднеюрского возраста; 2 – плагιοгранит-порфиры, 3 – сиенит-порфиры; комплекс пород лейкократовых гранитов и сиенитов позднепалеозойского–раннемезозойского возраста; 4 – сиениты, граносиениты, микроклин-пертитовые граниты и их дайковая фация, 5 – дайковая фация позднепалеозойских лейкократовых гранитов; 6 – габбро и габбродиориты; 7 – гнейсовидные кварцевые диориты и гранодиориты; 8 – аплиты-пегматиты; комплекс древних метаморфизованных габброидных пород и амфиболитов раннепалеозойского возраста; 9 – пироксен-роговообманковое габбро, амфиболитизированное габбро и габбродиабазы; 10 – нерасчленённый комплекс метаморфизованных и гранитизированных габбро, габбродиоритов, пироксенитов, габбродиабазов; 11 – амфиболиты, амфиболитизированные габбродиабазы, породы, гранитизированные и инъецированные граносиенитами; 12 – жилы и прожилково-жильные зоны золото-сульфидных руд; 13 – контакты пород; 14 – зоны основных рудоконтролирующих разрывов; 15 – прочие разрывы

ней части Главного нарушения отвляется протяжённое рудоносное нарушение (второй системы) – Основное – северо-западного направления с крутым падением на северо-восток. Оно рудоносно на протяжении 1,2 км. Руды представлены дру-

гим (более поздним) золото-серебро-сульфидно-кварц-родонитовым комплексом минералов.

К востоку от Основной рудной зоны развился наиболее интересный в структурном и промышленном отношении Восточный участок Дукацкого



**Рис. 3. СХЕМА ЮГО-ВОСТОЧНОГО УЧАСТКА ДАРАСУНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ПО [13]:**

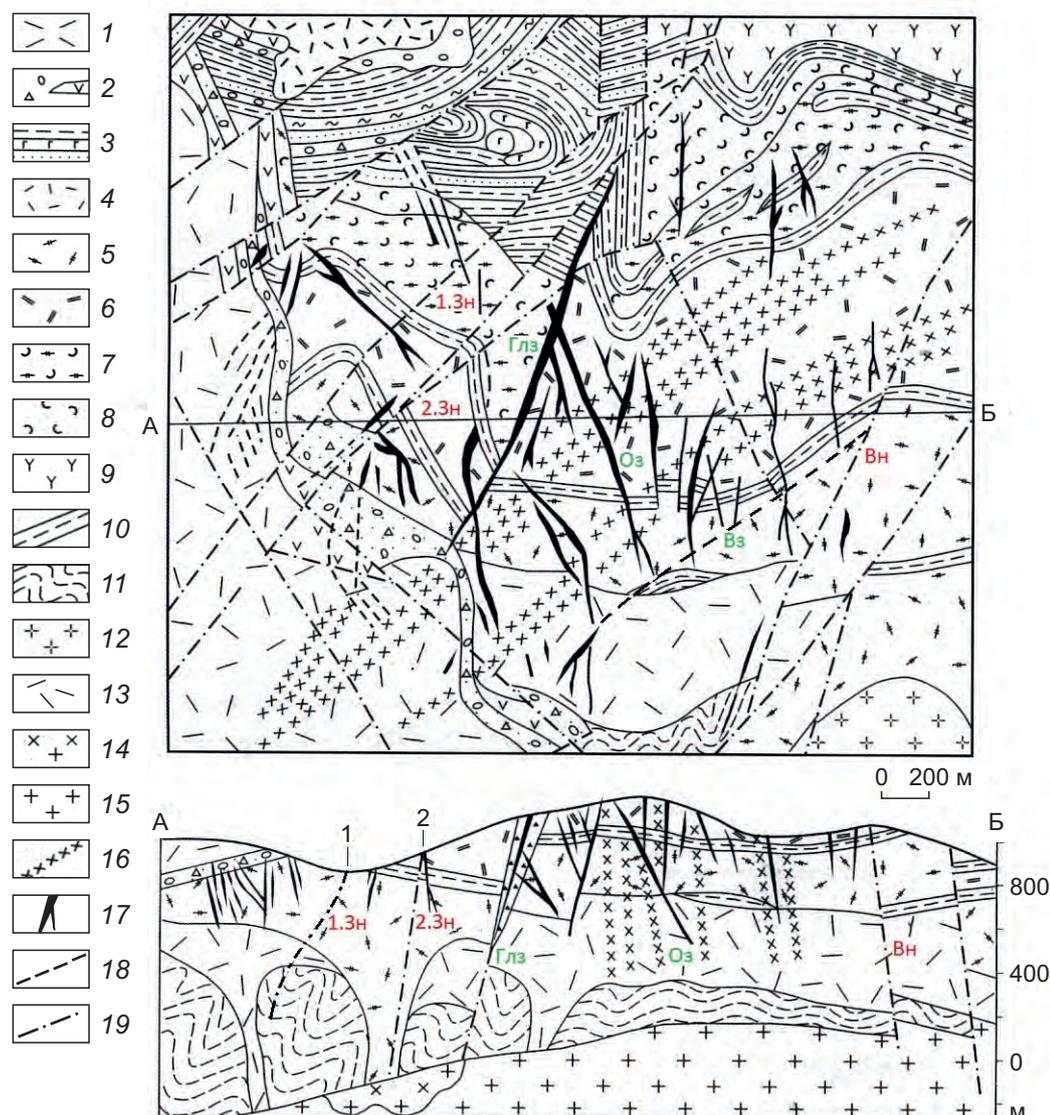
1 – кварцевые диориты и гранодиориты; 2 – блокоразделяющие рудоконтролирующие разломы; 3 – локальное рудоконтролирующее нарушение; 4 – золоторудные прожилково-жильные тела сульфидно-кварцевого состава: АпФ – апофиза жилы Футбольная, Л – Лагуновское, Г – Гурулёвское, М – жила Мать, Р – Рабочая, П – Полиметаллическая; жильные рудные тела – апофизы жил северо-восточной системы: К – Карнауховские, Н – Никандровские; 5 – углы падения нарушений и рудных тел

месторождения. Детальный анализ рудно-структурной схемы, составленной с использованием геологической карты поверхности, материалов погоризонтных планов подземных горных выработок и скважин, подтвердил представления ряда геологов [2, 4, 12] о формировании участка в пределах подвижного тектонического блока между двумя масштабными трещинными нарушениями сходной ориентировки, т. е. также в пределах структурной связки «парные разрывы».

Одним из таких нарушений являлась Главная рудная зона, а другим – расположенная юго-восточнее, в 0,7–0,9 км, местами рудоносная зона дробления, вытягивающаяся на северо-восток. Эта зона (Восточная) прослеживается от узла сочленения с Основной рудной зоной на северо-восток, на 2 км, вплоть до точки отделения её от Восточного рудоконтролирующего разлома. Как показано на схеме (см. рис. 4), нарушение (которое можно назвать Восточной рудной зоной) местами наследует контакты пластов угленосных аргиллитов и алевролитов и вмещает руды сульфидно-адуляр-кварцевого состава в участках своих перегибов северо-северо-восточной ориентировки (максимально отклоняющихся к северо-западу).

От Второй Западной и Основной зон в период оруденения ответвились многочисленные оперяющие сколы меридионального простирания, которые протягиваются непрерывной полосой шириной >700 м. В её пределах они располагаются на равном расстоянии друг от друга – в 90–100 м [2], т. е. в «шаге размещения». Примерно в 200–400 м севернее главных нарушений оперяющие их сколы образуют пучки сближенных трещин, залечивающих их прожилков и жил, соединяющихся друг с другом многочисленными мелкими рудными апофизами. Трещины, жилы и прожилки веерообразно расщепляются к северу и вверх по восстанию. Вся рассмотренная жильно-штокверковая система также сложена комплексом минералов золото-серебро-сульфидно-хлорит-адуляр-кварцевого состава. Жильные образования сопровождаются вкрапленностью сульфидов. Руды сравнительно богатые, а мощность рудных тел возрастает от почти нулевой вблизи Основной и Второй Западной зон до 10, а местами 20 м на удалении от них.

Сходная рудно-структурная обстановка наблюдается на Западном участке месторождения, к западу от южного фланга протяжённой Главной рудной зоны (см. рис. 4). Здесь от южного фланга зоны в северо-северо-западном направлении (т. е. в висячий бок Главной зоны) ответвляются две разобщённые субпараллельные дорудные зоны дробления, погружающиеся на юго-запад. Они относятся ко второй (сопряжённой) системе рудоносных разрывов на месторождении. При этом наиболее масштабный расположенный севернее разрыв протягивается на 700 м (см. рис. 4), а южный на 350–400 м. Оба они, как и разрывы Восточного участка, сопровождаются серией рудоносных оперяющих сколов,



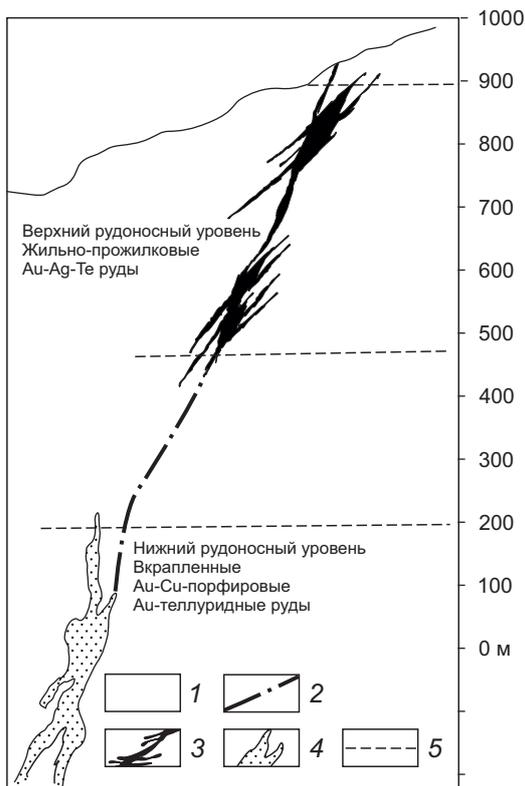
**Рис. 4. РУДНО-СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДУКАТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (план и разрез по линии А–Б по [2], с небольшими добавлениями автора):**

1 – верхнемеловые покровы риолитов; 2 – ранне-позднемеловой межформационный горизонт конгломерато-брекчий с покровами андезитов; 3 – нижнемеловые угленосные отложения с силлами андезитобазальтов и базальтов; рудовмещающая нижнемеловая толща: 4 – мелкопорфировые риолиты, 5 – игнимбриты риолитов, 6 – афировые риолиты, 7 – витрокластические игнимбриты, 8 – сфероидные риолиты, 9 – риодациты, 10 – горизонты аргиллитов; 11 – триасовые сланцы; 12 – нижнемеловые субвулканические невадитовые риолиты; 13 – верхнемеловые субвулканические риолиты; верхнемеловые породы: 14 – гранодиориты, 15 – биотитовые лейкограниты; 16 – дайки базальтов; 17 – золотосеребряные зоны с промышленными рудами; 18 – протяжённые рудные зоны, местами со «слепыми» рудными телами: Главная рудная зона (Глз), Основная (Оз), Восточная (Вз); 19 – рудоконтролирующие разломы: Первое (1.3н) и Второе (2.3н) Западные нарушения, Восточное нарушение (Вн)

падающих на северо-восток. Зоны рассмотренных разрывов и оперяющие сколы залечены сравнительно богатыми рудами сульфидно-адуляр-кварцевого состава. Жильные руды с вкрапленностью сульфидов развились в игнимбритовых риолитах

под экранирующими горизонтами угленосных аргиллитов.

Для поисков руд на глубине потребуются бурение скважин вдоль обоих рудоконтролирующих нарушений. Отметим, что при учёте структурной об-

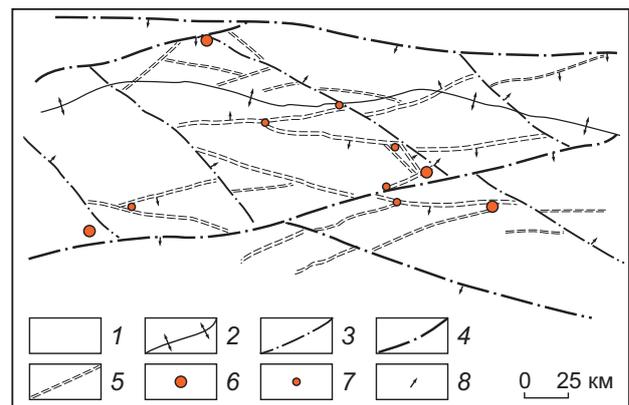


**Рис. 5. ОБРАЗОВАНИЕ И РАЗМЕЩЕНИЕ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЗОЛОТОСЕРЕБРЯНЫХ И ТЕЛЛУРИДНЫХ РУД НА ДВУХ РУДОНОСНЫХ УРОВНЯХ:**

1 – рудовмещающие породы; 2 – рудоносный разрыв; 3 – золоторудные жилы и прожилки; 4 – золото-меднопорфировые и золототеллуридные рудные тела; 5 – границы рудоносных уровней

становки размещения руд на однотипном месторождении Янакоча (Перу) под разрабатываемыми там карьерами золотосеребряными рудами на глубине >500–600 м скважинами были обнаружены совершенно другие – прожилково-вкрапленные золото-меднопорфировые руды брекчиевой, вкрапленной и массивной текстур. Вертикальный разрез, иллюстрирующий размещение различных руд на одном месторождении, приведён на рис. 5. На рисунке показано, что на верхнем уровне формируются крустификационные, друзовые, фестончатые, ритмично-полосчатые руды, на нижнем – брекчиевые, массивные, сетчатые и полосчатые, прожилково-вкрапленные золото-меднопорфировые и теллуридные руды в зонах кварцитовых брекчий.

Руды Дукатского месторождения отличаются текстурами, характерными для верхнего яруса.



**Рис. 6. ПРИМЕР ВОЗМОЖНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ (размещения) ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБОВ В СЕТИ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ РАЗРЫВОВ РАЗЛИЧНЫХ ПОРЯДКОВ:**

1 – рудовмещающие породы; 2 – осяевая зона мегапостройки; 3 – региональные разломы, изучаемые в начальный период поисков; 4 – главные разломы, сопряжённые с региональными, изучаемые во второй и третий периоды поисков; 5 – боковые, в том числе локальные разломы, изучаемые в третий и четвёртый периоды поисков; месторождения золота: 6 – крупные, 7 – рядовые; 8 – азимуты падения разрывов

Главное промышленное значение имеют минералы золота и серебра: электрум, кюстелит, пираргирит, прустит, гессит, петцит, канфильдит, акантит, самородное серебро, фрейбергит, штейнбергит и др. Включения минералов золота – тонкие, до 0,01 мм, серебра – 0,01–0,1 мм. Среди сульфидов широко проявлены пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит. Месторождение разрабатывается с 1980 г. На 2010 г. остаточные запасы золота и серебра составляли соответственно ~30 т (при среднем содержании 1 г/т) и 12–13 тыс. т (при среднем содержании ~500 г/т) [2].

Возможность размещения и обнаружения месторождений крупного и рядового масштабов в пределах сети прослеживающихся рудоконтролирующих нарушений различных порядков приведена на рис. 6.

В заключение можно отметить следующее.

На основании примеров поиска и разведки месторождений-гигантов Наталкинское (по золоту), Дукатское (по серебру) и рядовых, но достаточно крупных объектов – Дарасунское, Балей-Тасеевское, Кочкарское, Кочбулакское и др. – предлага-

ется такая методика проведения поисково-разведочных работ по структурным предпосылкам.

1. Поисковые работы должны начинаться с изучения зон ранее выявленных для данного золоторудного пояса или провинции главных продольных (а для активизированных структур – секущих) региональных и сопряжённых с ними (а также более поздних пересекающих) крупных боковых, предположительно рудоконтролирующих разломов-ветвей. Необходима расшифровка внутреннего строения и тех и других, зон сколов, оперяющих ветви, особенностей размещения и состава рудных образований и метасоматитов, залечивающих упомянутые разрывы, состава жильного и рудного выполнения.

2. Для образования и (обнаружения) руд наиболее перспективна обстановка проявления мощных зон главных нарушений и боковых ветвей в структурной связке «парные разрывы», т. е. в условиях развития сравнительно близко расположенных друг от друга (десятки–сотни метров, реже 1–2 км) выдержанных субпараллельных магистральных швов и других соединяющих и боковых нарушений. Меньшее, но также существенное значение имеет структурная связка – рудоконтролирующее нарушение и отделяющаяся от него мощная зона рудоносного бокового разрыва.

Среди боковых нарушений важно обнаружение пучков сближенных многочисленных разрывов и соединяющих их трещин. Подобные разрывы могут обусловить образование мощных рудных тел. Целесообразна зарисовка или картирование зон как главного регионального разлома, так и зон отделяющихся боковых нарушений. Особенно способствует возникновению рудных тел обстановка проникновения разрывов в прослой хрупких и терригенно-карбонатных, вероятно, пористых пород, более легко замещаемых минеральным веществом. Благоприятны участки проникновения разрывов в тела и контактовые зоны крупных и мелких штоков интрузивных и субвулканических пород, в мощные дайки и пояса этих образований [2], в трубки эруптивных и эксплозивных брекчий.

3. Последовательно проводятся поисково-разведочные работы. Детально изучаются протяжённые отрезки региональных и сопряжённых с ними рудоконтролирующих разломов, иногда заключённых между пересекающими и ограничивающими оруденение поперечными разрывами (месторождения Базовское в Якутии, Наталкинское, Павлик и

др.), а также узлы расщепления разломов и протяжённых их участков, представленных мощными интервалами брекчированных пород, расположенными между несколькими магистральными швами (особенно участков с парными, недалеко находящимися друг от друга магистральными разрывами).

4. При поисках близповерхностных месторождений в вулканитах необходимо учитывать, что для их локализации наиболее благоприятны вулканогенные породы вулкано-тектонических построек, особенно вулкано-антиклиналей и кальдер. И те и другие нередко наследуют узлы пересечений региональных и крупных сопряжённых с ними ветвей, а также узлы пересечения разломов поперечными дорудными и, очевидно, разломами доэффузивного заложения. Особенно ярко подобная структурная обстановка проявлена в пределах Камчатской рудоносной провинции.

Образующиеся в рассмотренной структурной обстановке месторождения близповерхностных золотосеребряных и теллуридных руд формируются в пределах одного объекта на двух рудоносных уровнях – верхнем и нижнем. Опыт разведки и эксплуатации подобных руд на месторождении-гиганте Янакоча в Перу показал, что в некоторых рудных пересечениях глубоких скважин на протяжении десятков метров в керне были установлены постоянные и непрерывные содержания Au 30–40 г/т [10]. Продолжается отработка глубоководных (на глубине >1000 м) золототеллуридных руд на близповерхностном месторождении Крипл-Крик в США. В своё время (в середине XX в.) золото-меднопорфировые и теллуридные руды разрабатывались также на месторождениях Сильвертон-Теллурид в США и Байя-Сприе в Румынии под близповерхностными золотосеребряными и теллуридными рудами на глубине ~700–1000 м от дневной поверхности.

В нашей стране определены достаточно надёжные предпосылки проявления глубоководных золотосеребряных, теллуридных и золото-меднопорфировых руд на нижнем рудоносном уровне на месторождениях Балей-Тасеевское, Многовершинное, Берикульское, Агинское, Озерновское, Карамкенское, Ольча, возможно, Купол, Биркачан, Базовское и др. [2, 5, 9, 12]. На месторождении Купол новые субмеридиональные рудные зоны, скорее всего, развиты западнее и глубже разрабатываемого рудного тела и северо-западнее узла отделения северного фланга рудного тела от рудоконтро-

лирующей зоны субширотного разлома. На месторождении Ольча новые рудные залежи прогнозируются на глубине в зоне Восточного разлома, а послойные джаспероидные залежи тонкого золота

в девонских доломитах и известняках – на северо-восточном его участке. На месторождении Биркачан обнаружение «новых» руд предполагается на глубине 500–800 м от дневной поверхности [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бородаевский Н.И.* Материалы по методам изучения структур и геологической перспективной оценки месторождений золота // Тр. ЦНИГРИ. М., 1960. Вып. 35.
2. *Золоторудные месторождения России* / Отв. ред. М.М.Константинов. – М.: ООО «Акварель», 2010.
3. *Крейтер В.М.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. – М.: Госгеолтехиздат, 1956.
4. *Наталенко В.Е.* Месторождение Дукат// Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России. М., 1992. С. 112–115.
5. *Некрасов Е.М.* Возможное проявление слепого оруденения на нижних уровнях месторождения Балеи и механизм формирования богатых руд на близповерхностных месторождениях золота и серебра // Изв. вузов. «Геология и разведка». 2018. № 2. С. 40–51.
6. *Некрасов Е.М.* Ещё раз о значении учения В.М.Крейтера о геолого-промышленных типах рудных месторождений // Изв. вузов. «Геология и разведка». 2006. № 3. С. 32–35.
7. *Некрасов Е.М.* Запасы и добыча золота в начале XXI в. из месторождений главных геолого-промышленных типов // Изв. вузов. «Геология и разведка». 2013. № 6. С. 45–56.
8. *Некрасов Е.М.* Зарубежные эндогенные месторождения золота. – М.: Недра, 1988.
9. *Некрасов Е.М.* О «шаге размещения» и прогнозирования золоторудных тел жильного типа // Изв. вузов. «Геология и разведка». 2018. № 4. 40–50.
10. *Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В.* Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. – М.: ООО «Астрей-центр», 2015.
11. *Рудные месторождения Узбекистана* / Ред. И.М. Голованов. – Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2001. С. 202–211.
12. *Стружков С.Ф., Константинов М.М.* Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – М.: Научный мир, 2005.
13. *Тимофеевский Д.А.* Геология и минералогия Дарасунского региона. – М.: Недра, 1972.

## GOLD DEPOSIT PROSPECTING AND EXPLORATION BASED ON STRUCTURAL PRECONDITIONS

**E.M.Nekrasov**  
(FSUSPE Aerogeologiya, Moscow)

*Prospecting for depleting, easily discovered outcropping gold deposits in a number of gold belts and provinces performed nearby identified and producing deposits essentially verifies and revises previously established ore localization preconditions. Along with prospecting based on structural preconditions, geochemical, geophysical and other methods are used including deposit location models. Giant Natalkinskoye and Dukatskoye as well as standard but quite large-scale Kupol, Balei-Taseevskoye, Darasunskoye, Kochbulak and other deposits are provided as examples to show that prospecting is targeted by tracing regional ore-controlling fault zones, conjugate branching faults and their ore-controlling lateral faults up to local and separating series of feathering faults.*

*The author shows that near-surface Au-Ag and Au-Te ore formation occurs at the two ore-bearing levels, upper and lower, within a deposit. Drusy, crustified, festoon and intermittent-banded ores are hosted by the upper level, hundreds of meters from paleosurface and, in moderate erosion conditions, day surface. The lower level (600–1000 m or deeper) hosts breccia, banded, netted, massive and disseminated porphyry Au-Cu and Au-Te ores within persistent and strong fractures, in secondary quartzite breccia. Thus, drusy and crustified ores hosted by the upper level directly indicate porphyry Au-Cu and Au-Te ores localization at depth.*

*Keywords: deposits, ore-controlling faults, ore, gold and silver minerals, tellurides.*



## **СЕРГАЧИНСКАЯ ЗОЛОТОРУДНАЯ ЗОНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА**

*Приведены материалы крупномасштабных геолого-геофизических (1:50 000–1:5000) исследований АО «Дальгеофизика» и других организаций (1975–2017 гг.) в пределах Сергачинской золоторудной зоны и входящих в неё Уркинского рудного узла и Березитового рудного района. На их основании определены перспективы выявления новых рудопроявлений и, возможно, месторождений в этом районе и даны рекомендации по дальнейшему проведению поисковых и разведочных работ.*

*Ключевые слова: Сергачинская золоторудная зона, Уркинский рудный узел, Березитовое, Снежинка, золоторудные месторождения.*

Сергачинская рудоносная зона выделена при геолого-съёмочных работах (м-б 1:50 000) в 60-х годах прошлого столетия, но глубинное строение и металлогения её не рассматривались. В 1978–1985 гг. в Березитовом золоторудном районе (центральная часть зоны) АО «Дальгеофизика» были проведены геолого-геофизические работы (магниторазведка, электроразведка ЕП, ВП, ВЭЗВП, металлометрия, геологические маршруты, канавы) м-бов 1:25 000 и 1:10 000. В 2001–2004 и 2011–2017 гг. АО «Дальгеофизика» продолжила геолого-геофизические работы (ВП, МКПВП, металлометрия, проходка канав и скважин) м-ба 1:2000 на участках Снежинка, Светлый, Глубокий в юго-западной части зоны. Применяемая методика геологических, геофизических и геохимических исследований была стандартной, соответствующей действующим инструкциям. В результате последних работ, в которых участвовали авторы, составлено ТЭО временных кондиций с подсчётом запасов золота и серебра кат. С<sub>2</sub> по месторождению Снежинка.

Настоящая статья посвящена изучению глубинного строения Сергачинской рудоносной зоны по данным геолого-геофизических исследований (магниторазведка  $\Delta T$ , гравиразведка  $\Delta g$  в м-бе 1:200 000, ГСЗ, МОВЗ по отдельным профилям) и оценке её перспективности (методы ВП, ВЭЗВП, МКПВП, металлометрического опробования в м-бах 1:25 000–1:2000, проходка канав и скважин, бороздвое и керновое опробование) на выявление новых месторождений. Установлено, что Сергачинская рудоносная зона, имеющая северо-восточное простирание, ответвляется от Монголо-Охотского подвижного пояса при резком его изгибе в пределах Гонжинского выступа метаморфических пород фундамента. В исследуемом районе сегмент пояса сужается и далее на восток широко раскрывается, приобретая клиновидное очертание. Здесь граница Монголо-Охотского пояса контрастно выделяется в гравитационном поле цепочкой линейно вытянутых отрицательных аномалий  $\Delta g$ , ограниченных с севера Северо-Тукурингским и с юга Южно-Тукурингским глубинными разломами. Тукурингская



**Копылов  
Михаил Иннокентьевич**

доктор геолого-минералогических наук  
старший научный сотрудник  
Kopylov@geophdv.ru

**Петухова  
Людмила Леонидовна**

кандидат геолого-минералогических наук  
научный сотрудник  
Ludmila.pet@mail.ru

ФГБУН Институт тектоники и геофизики  
им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН,  
г. Хабаровск



зона глубинных разломов, вероятно, сформировалась в результате коллизии Евразийской и Амурской литосферных плит. Согласно плитно-тектонической модели, складчатые структуры Монголо-Охотской системы являются реликтами обширного океанического пространства, закрывшегося при столкновении южной окраины Сибирского континента и ансамбля крупных террейнов (Аргунский, Гонжинский, Мамынский и др.), сформировавших в конце палеозоя Амурскую плиту. Коллизия Евразийской и Амурской литосферных плит произошла в ранней юре, однако геодинамические процессы в возникшей сутурной зоне ещё некоторое время были обусловлены релаксацией напряжений, приведшей к появлению грабенообразных впадин [1, 7].

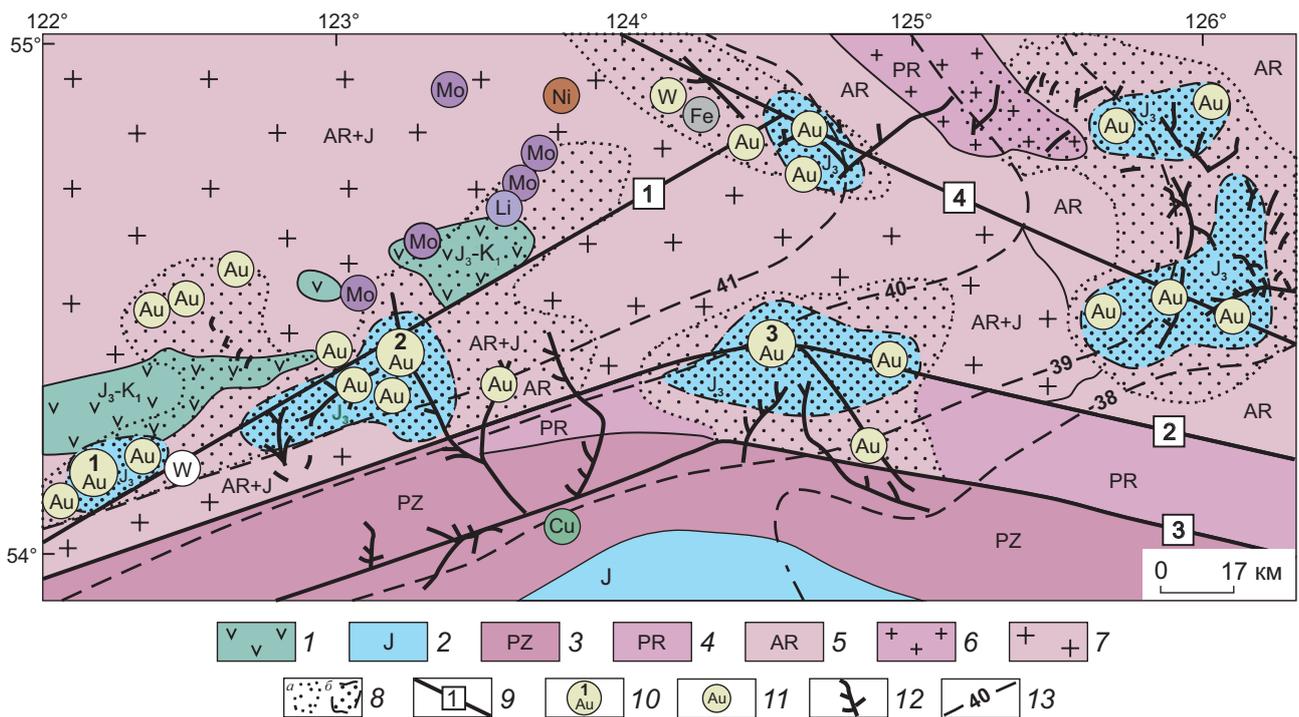
Между Монголо-Охотским орогенным поясом и Алдано-Становым щитом широко распространены гранитоидные массы. Алдано-Становой щит в пределах изучаемой территории представлен Становым, Олёкминским, Тындинским кратонными террейнами и сопровождается одним из наиболее глубоких региональных гравитационных минимумов, серпообразная южная граница которых ориентирована на юг [4]. На картах трансформаций гравитационного поля, выполненных с разными радиусами осреднения, Становой мегаблок не выклинивается с глубиной, что говорит о его глубинном заложении с корнями в верхней мантии. Его литосфера относительно других мегаблоков разуплотнена в среднем на  $0,1 \text{ г/см}^3$ . Анализ гравитационного и магнитного полей, морфоструктур и геологических карт позволяет предположить, что морфология геофизических полей отображает структуры верхней части кристаллического фундамента с наложенными процессами мезозойской тектоно-магматической активизации. В поле вертикальных напряжений гравитационного поля мегаблок практически весь совпадает с отрицательными изолиниями, что свидетельствует о воздымании рельефа. Скорость вертикального поднятия мегаблока с олигоцена по настоящее время оценивается в  $1,5 \text{ мм}$  в год [7]. Его воздымание, вероятно, связано с разуплотнением мантии, так как интенсивное разуплотнение отмечается и в пределах Могочинского, Тындинского и Олёкминского кратонных террейнов. На активность террейнов указывает и наличие очагов землетрясений, вытянутых в субширотном направлении и имеющих наибольшую интенсивность в западной части Станового террейна. Мощность земной коры и литосферы здесь достигает

максимальных для Дальневосточного региона значений  $42\text{--}44$  и  $120\text{--}160 \text{ км}$  соответственно (рис. 1).

Сергачинская рудоносная зона включает Березитовый золоторудный район и Уркинский рудный узел. В отличие от Березитового рудного района, изученного геологическими, геохимическими и геофизическими методами, Уркинский рудный узел только начинает изучаться. Впервые приводятся данные о его глубинном строении и металлогении. Узлы пересечений в пределах Сергачинской рудоносной зоны носят долгоживущий характер и являются благоприятной средой для внедрения гидротермальных растворов. Последующая гидротермально-метасоматическая проработка приводит к преобразованию пород в этих узлах – окварцеванию, серицитизации, хлоритизации – с формированием зон жильно-прожилкового окварцевания, вкрапленной и прожилково-вкрапленной сульфидизации, что обуславливает резкую дифференциацию геофизических полей над ними и повышает общий уровень их аномальности. Пересечения субширотными, северо-западными разломами Сергачинской рудоносной зоны выделяются в большинстве случаев понижением значений электрического сопротивления пород, напряжённости магнитного поля, повышением значений поляризационного поля  $\varphi_k$  (по отношению к фону) и содержаний Au во вторичных ореолах до  $0,1\text{--}0,6\text{--}1,0 \text{ г/т}$  и более [2].

Вещественный состав оруденения в значительной мере определяется составом субстрата. Наиболее продуктивные золотоносные узлы пространственно сближены с реликтовыми блоками глубинных фемических масс, возможно, в домезозойский период времени принадлежащих к единому фронту [1, 2, 5]. На участках сближения развита золото-полиметаллическая (месторождение Березитовое, рудопроявления Большой Кенгурак, Колок-тикан, Золотое, Надёжное, Солонечное и др.) минерализация (см. рис. 1, а также см. рис. 5), на удалении от них – золото-кварцевая (месторождения Снежинка, рудопроявления Светлое, Глубокое) и молибден-медно-золото-порфировая (рудопроявления Беленькое, Балдыглия, Кипучи, Монголи). Кроме того, в пределах северного интервала Сергачинской рудоносной зоны обнаружены рудопроявления вольфрама (Сергеевское), молибдена (Урушинское, Кремнистое, Иличи, Весёлое, Оборонное) и лития (Восточное).

Массивные магнитные гранитоиды сопровождаются золото-серебряной минерализацией с соот-



**Рис. 1. ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ СЕРГАЧИНСКОЙ РУДОНОСНОЙ ЗОНЫ:**

1 – нерасчленённые вулканические образования,  $J_3-K_1$ ; 2 – юрские нерасчленённые песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, J; 3 – осадочные образования, PZ; 4 – метапесчаники, метаалевролиты, PR; 5 – биотитовые, биотит-роговообманковые гнейсы, AR; 6 – юрские и протерозойские нерасчленённые гранитоиды; 7 – биотитовые граниты и гранодиориты, AR+J; 8 – аномальные геохимические золоторудные поля с содержаниями Au 0,002–0,006 г/т (а) и 0,006–1,0 г/т и более (б); 9 – глубинные разломы (1 – Сергачинский, 2 – Северо-Тукурингрский, 3 – Южно-Тукурингрский, 4 – Желтулакский); 10 – месторождения золота (1 – Снежинка, 2 – Березитовое, 3 – Кировское); 11 – рудопроявления золота и других металлов; 12 – известные россыпи золота; 13 – изолинии мощности земной коры, км

ношением Au к Ag 1:3 [6, 7]. По данным интерпретации гравиметрического, магнитометрического полей и данных ГСЗ форма интрузивных массивов лакколитообразная; сложены они породами диорит-гранодиоритовой формации с высокой магнитной восприимчивостью и окисленностью железа.

На всём протяжении золотоносная Сергачинская зона сопровождается достаточно интенсивным линейным минимумом силы тяжести и повышенной напряжённостью магнитного поля. Выходы интрузивных гранитоидов на дневную поверхность (Аяченский, Сергачинский, Монголийский массивы) отличаются повышенными значениями  $\Delta T$  и отрицательными  $\Delta g$ .

Исследуемый район находится севернее крупных структурных швов – Северного и Южного Тукурингрских глубинных разломов. Положение рудных полей месторождений Березитовое и Снежинка в зоне влияния региональных структурных швов

обуславливает повышенную трещиноватость пород. Исходя из анализа структурной позиции рудных полей, можно предположить, что сжимающие силы были приложены с юго-запада. По морфологии тектонически ослабленные полого залегающие рудоносные зоны месторождения Снежинка напоминают синклинали с максимальной мощностью в осевой части.

Сергачинская золоторудная зона вытянута на северо-восток на расстояние >300 км (до Желтулакской шовной зоны) при ширине 15–25 км и представлена месторождениями Снежинка, Березитовое, а также рудопроявлениями Светлое, Глубокое, Колоктыкан, Кенгурак, Медвежье, Жёлтенькое и др.

Снежинское рудное поле приурочено к юго-западному флангу Сергачинской зоны разломов. Представлено золоторудным месторождением Снежинка, рудопроявлениями Светлое и Глубокое, которые расположены в зоне Малоуркинского раз-

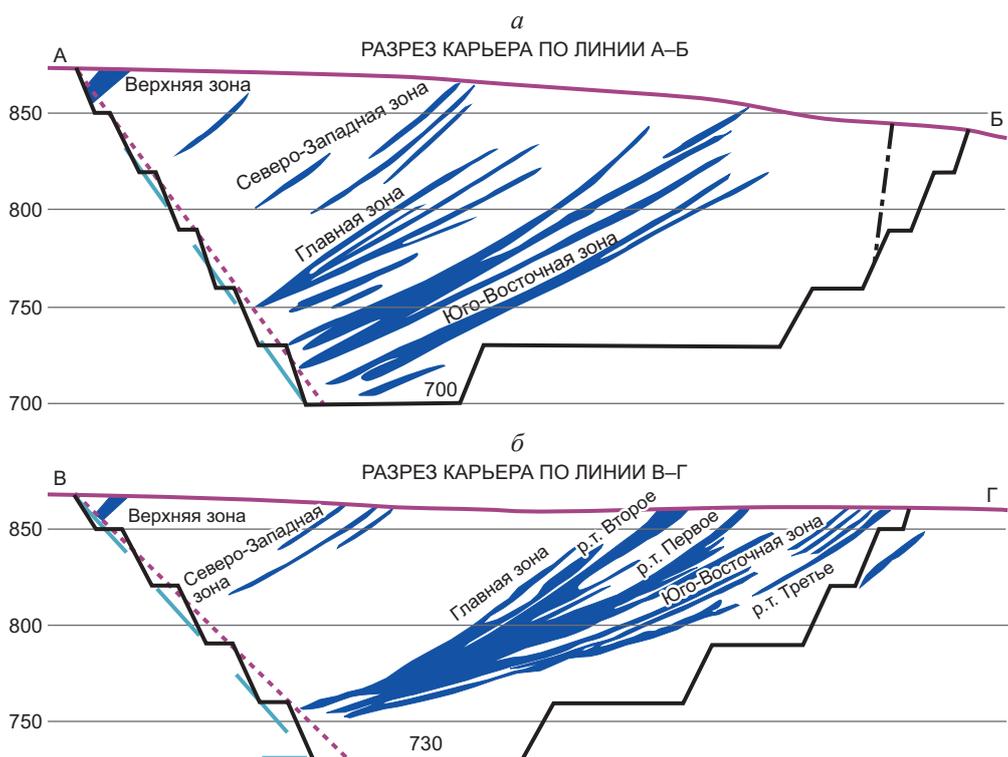


Рис. 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА СНЕЖИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, м-б 1:100 000:

1 – аллювиальные, делювиальные образования; 2 – светлинский субвулканический комплекс (трахириолиты, трахириодациты, гранит-порфиры, граносиенит-порфиры,  $\tau\lambda T_3sv$ ); 3 – уктунский субвулканический комплекс (монцогаббро-порфиры, монцодиорит-порфиры, спессартиты,  $\mu\delta\pi T_3uk$ ); 4 – уркинский комплекс (субщелочные гранит-порфиры, граносиенит-порфиры,  $\gamma\pi_2 T_3u$ , главная фаза – порфировидные субщелочные граниты,  $\epsilon\gamma T_3u$ ); 5 – аячинский комплекс (порфировидные биотитовые субщелочные граниты и граносиениты,  $\gamma Oa$ ); 6 – малоуркинский комплекс (биотит-роговообманковые кварцевые монцониты и монцодиориты второй фазы,  $\mu_2 PZ_1 mu$ , роговообманковые субщелочные габбро первой фазы,  $\epsilon\nu PZ_1 mu$ ); 7 – разломы (a – установленные, б – предполагаемые); 8 – участки разведочных работ; 9 – профиль ВЭЗВП; 10 – золото россыпное

лома, вытянутой в северо-восточном направлении на расстояние >10 км при ширине ~1 км (рис. 2). Зона разлома фиксируется системой трещин северо-восточного (60°) направления с интенсивно проявленными вдоль них процессами окварцевания,

хлоритизации, серицитизации, пиритизации и аргиллизации. Ширина зон гидротермально изменённых пород колеблется от первых метров до 75 м. Наиболее молодыми являются разрывные нарушения северо-западного простирания (320–333°), раз-



**Рис. 3. MORFOЛОГИЯ РУДНЫХ ЗОН МЕСТОРОЖДЕНИЯ СНЕЖИНКА В ПРОДОЛЬНОМ (а) И ПОПЕРЕЧНОМ (б) СЕЧЕНИЯХ В КОНТУРАХ ОТРАБОТКИ ПРОЕКТНОГО КАРЬЕРА**

деляющие рудное поле на ряд блоков с интенсивно выраженными вдоль них метасоматическими процессами.

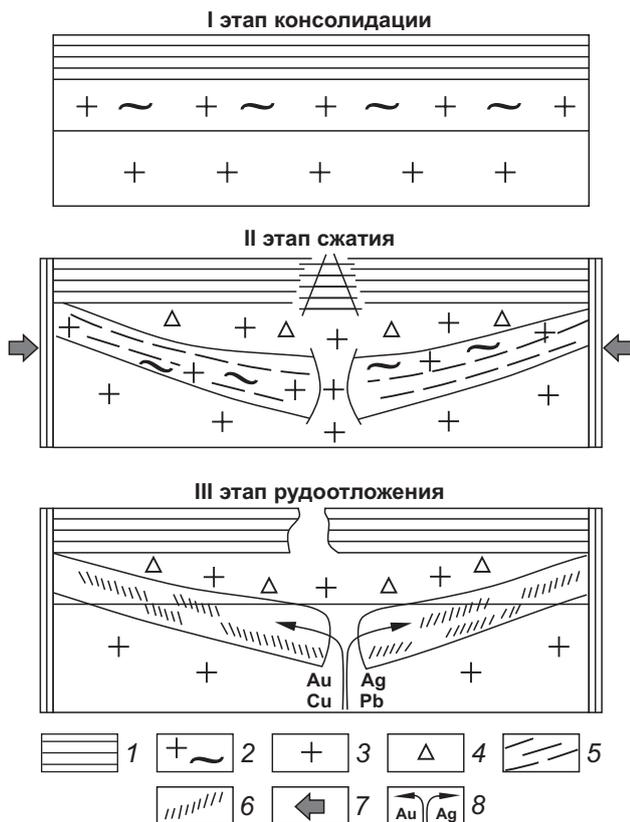
Месторождение Снежинка локализуется в пределах поля гидротермально изменённых пород на площади 1000x500 м. Южная граница его не оконтурена. Внутреннее строение метасоматитов сложное из-за неравномерной гидротермально-метасоматической проработки гранитоидов – от слабо изменённых до полнопроявленных березитов. На отдельных участках метасоматиты подвержены прожилковому окварцеванию и пиритизации.

Границы вторичных ореолов рассеяния с содержанием Au >0,1 г/т практически совпадают с границами блока березитизированных гранитов и березитов, что говорит об их золотоносности. Кроме того, установлено, что вторичные ореолы с содержанием Au >0,1 г/т, как правило, отвечают рудным телам с промышленным содержанием металла. С ореолами золота пространственно совпадают вторичные ореолы с повышенными содержаниями Ag (1–15 г/т), As (4–30)·10<sup>-3</sup>%, Pb (0,6–3,0)·10<sup>-3</sup>, Cu (3–4)·10<sup>-3</sup>%. Наиболее высокая корреляция отмечается между Au, As, Ag в центральной части блока. Ореолы дру-

гих элементов (Cu и Zn) располагаются по периферии. Такая морфология вторичных ореолов рассеяния элементов указывает на наибольшую эродированность центральной части блока.

В ходе выполненных горно-буровых работ на месторождении Снежинка выявлены четыре золоторудные зоны: Верхняя, Северо-Западная, Главная и Юго-Восточная (рис. 3). Наибольшими мощностью (50–70 м), протяжённостью (450 м) и количеством входящих сближенных рудных тел обладает зона Главная, которая прослеживается по вторичным ореолам рассеяния золота и других элементов. По данным, полученным с помощью метода вызванной поляризации, некоторые интервалы зоны выделяются по высоким значениям  $\varphi_k$  (0,75–1,2°) и аномальным содержаниям золота во вторичных ореолах рассеяния (до 3–7 г/т). Контуры промышленных рудных залежей определяются по данным опробования.

Зоны имеют не крутое (вертикальное) падение, а пологое с погружением их на глубину до 150–200 м. Около 40% из них не выходят на дневную поверхность. Зоны вытянуты в северо-восточном направлении и прослежены на протяжении ~500 м.



**Рис. 4. ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЛОГИХ ТЕКТОНИЧЕСКИ ОСЛАБЛЕННЫХ ЗОН С ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ СНЕЖИНКА:**

1 – консолидированный жёсткий слой гранитоидов; 2 – консолидирующий слой гранитоидов; 3 – слой неконсолидированных гранитоидов; 4 – тектонические брекчи гранитоидов; 5 – образование пологих зон тектонической трещиноватости при сжатии; 6 – процесс рудоотложения золота в пологих тектонических зонах; 7 – силы сжатия; 8 – движение рудоносных растворов с минерализацией Au, Ag, Cu, Pb

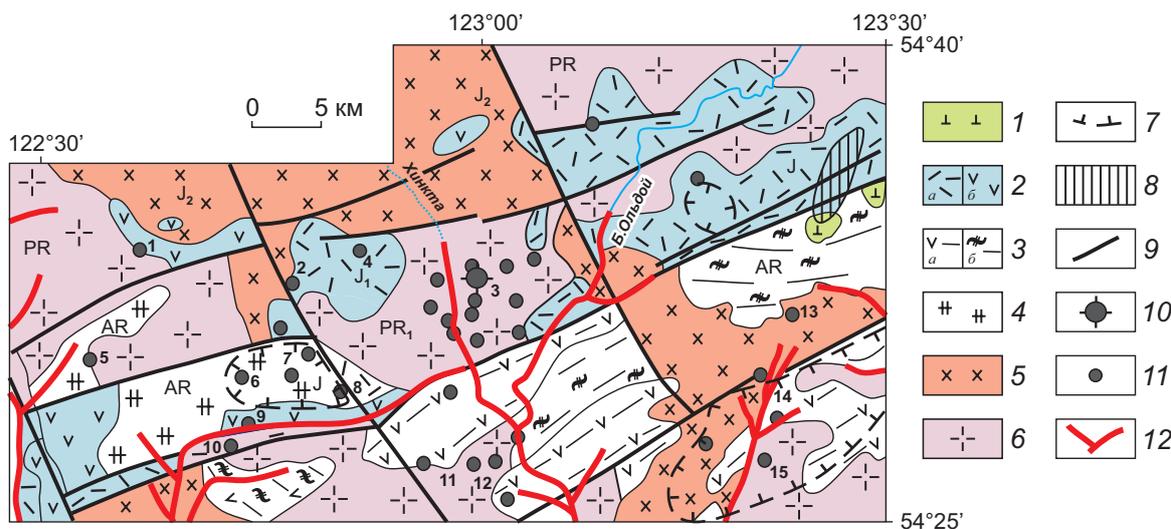
Интенсивность процесса березитизации в полого падающих зонах зависит от экстенсивности трещиноватости и насыщенности дайками (спессартиты, гранит-порфиры, граносиенит-порфиры и др.). Причём чёткие границы разделения зон березитизированных пород и тел березитов с повышенным содержанием золота отсутствуют. По данным пройденных скважин зоны березитизации имеют на выходе на дневную поверхность более крутое падение (35–50°) с постепенным выволакиванием (20–25°) к центральной части полого падающих рудоносных зон (см. рис. 3). В центральных частях зон

наиболее интенсивно проявлены трещиноватость, тектонические глинки, зеркала скольжения, прокварцевание, брекчирование метасоматических пород и насыщенность их дайками. Березитизированные породы зон прослеживаются на глубину >200 м.

Повышенная трещиноватость полого залегающих зон, вероятно, возникла в ранний период времени становления интрузии, когда кровля массива была уже жёстко консолидирована, а нижняя часть ещё нет. Консолидированная кровля представляла собой экран, и развитие пологой трещиноватости происходило по типу синклинальной складки. Так как нижняя часть была менее жёсткой, чем верхняя, то тектонически ослабленные зоны прогибались в сторону подошвы массива (рис. 4).

На основании предложенной модели при поисково-оценочных работах следует ожидать наличие наиболее богатых рудных тел в осевых частях пологих тектонических зон синклинального типа и в подводящих гидротермальных каналах – золоторудных столбах. Не исключено, что рудные столбы в пределах рудного поля месторождения Снежинка представлены второстепенными и главными рудными столбами [3]. Возможно, это и определило характерную особенность наибольшего концентрирования золота в пространстве рудного поля с ячеистой структурой. В рудном поле месторождения Снежинка устанавливаются три основные ассоциации. В центральной его части и на северном фланге (рудопроявление Глубокое) развита золото-мышьяковистая ассоциация с содержанием Au 1,1–6,7 г/т, Ag 2,0–25,0 г/т, As 0,2%. На южном фланге (рудопроявление Светлое) развиты преимущественно золото-серебряная и золото-полиметаллическая ассоциации с содержанием Au 0,98–3,2 г/т и Ag до 268 г/т. Золото-серебряное отношение достигает здесь 1:94. Отмечаются высокие концентрации (%) Cu до 1,55, Zn 0,01–0,3, Pb 0,1–0,95, Bi 0,03–0,05.

На рудопоявлении Светлое по данным пройденных каналов и скважин выделены три зоны – Центральная, Южная и Северная. Наиболее изучена и перспективна зона Центральная мощностью 1–5 м с содержанием Au в рудах от 0,1 до 17,0 г/т. Протяжённость её по данным пройденных каналов и скважин составляет >500 м. Морфология зон Южная и Северная аналогична зоне Центральная. Она также пронизана многочисленными дайками спессартитов и риолитов. Перспективы рудных зон Южная и Северная по данным проведённых работ неясны.



**Рис. 5. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА БЕРЕЗИТОВОГО ЗОЛОТОРУДНОГО РАЙОНА, м-б 1:50 000:**

1 – базальты, К; 2 – липариты, их туфы, туфоконгломераты (а), лавы андезитов (б), J<sub>1</sub>; 3 – гнейсы биотитовые (а), гранат-биотитовые и роговообманковые (б), AR; 4 – роговообманковые гнейсы и амфиболиты, AR; 5 – гранодиориты, J<sub>2-3</sub>; 6 – гранитоиды, PR; 7 – участки, перспективные на выявление рудных тел порфирового типа; 8 – участки, перспективные на выявление золоторудных кварцевых тел; 9 – блокоразделяющие разломы; 10 – месторождение Березитовое; 11 – рудопроявления золота (1 – Большой Кенгурак, 2 – Веденеевское, 3 – Оргожан, 4 – Фланговый, 5 – Медвежье, 6 – Золотое, 7 – Колоктиккан, 8 – Левый Колоктиккан, 9 – Солонечное, 10 – Надёжное, 11 – Кварцевое, 12 – Жёлтенькое, 13 – Монголи, 14 – Монголи-1, 15 – Шахта Мосина); 12 – россыпи золота

Рудопроявление Глубокое мало изучено. Размер аномального ореола рассеяния золота составляет 1000x500 м. Ореолы серебра пространственно разобщены с ореолами золота и располагаются значительно южнее. В пределах рудного поля выделяются Магистральная и Геодезическая рудные зоны. В зоне Магистральная выявлены восемь мелких рудных тел, представленных серицит-кварцевыми метасоматитами с бедной сульфидной минерализацией. Наиболее перспективны два рудных тела мощностью 4 м со средним содержанием Au 3,03–9,01 г/т.

Самый крупный золоторудный объект в пределах Сергачинской рудоносной зоны – месторождение Березитовое (рис. 5), расположенное на её северо-восточном фланге. Оно сопровождается многочисленными проявлениями золота, молибдена и вольфрама, объединёнными в Березитовый рудный район (Хайктинский, Березитовый, Кенгуракский и Монголийский рудные узлы), в пределах которого с 1935 г. известно Березитовое золото-полиметаллическое месторождение [6, 7]. Рудное поле месторождения находится в надвнутрузивной зоне Хайктинского массива гранитоидов амуджиканского

комплекса и приурочено к пересечению мощной северо-восточной зоны милонитизации и катаклаза Сергачинской зоной разломов.

На западе Березитового рудного района выделяется Кенгуракский рудный узел с проявлениями Золотое, Веденеевское, Колоктиккан, Солонечное, Медвежье и др. золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой формаций.

К Хайктинскому рудному узлу (верховья рек Большой Кенгурак, Хайкта) приурочены рудопоявления золота и серебра Чапка, Ян, Полюс Северный и Южный. Наиболее изучено рудопоявление Полюс Южный, представленное многочисленными достаточно мощными (0,5–4,2 м) кварцевыми жилами с золото-вольфрамовой минерализацией с баритом и флюоритом, залегающими в гидротермально изменённых гранодиоритах повышенной основности.

Монголийский рудный узел включает 15 рудопоявлений преимущественно молибденовой, медной и золотой минерализации. Все рудопоявления залегают в архейской пластине биотит-роговообманковых гнейсов, амфиболитов с прослоями биотит-гранат-роговообманковых гнейсов, прор-

ванных серий дайковых тел северо-восточного простирания, представленных гранит-порфирами, микродиабазами, спессартитами юрского возраста. Совместное нахождение в метасоматически изменённых породах (окварцевание, серицитизация, альбитизация, хлоритизация) золоторудной, молибденовой и медной минерализации позволяет предполагать порфировый тип руд, который характеризуются невысоким содержанием золота, меди и молибдена, но большими их объёмами.

Таким образом, наращивание запасов золота на юго-западе Сергачинской зоны возможно за счёт доизучения на месторождении Снежинка зон Главная, Верхняя, Северо-Восточная, выявления золо-

торудных столбов в центральной части месторождения и продолжения разведочных работ на его южном фланге и на рудопроявлениях Глубокое и Светлое.

На северо-востоке Сергачинской золоторудной зоны наибольшие перспективы по увеличению запасов связаны с изучением и разведкой объектов Кенгуракского рудного узла, линейных зон в рудопроявлениях Большой Кенгурак, Северное и штокверковых зон в рудопроявлениях Золотое, Колок-тикан, Веденеевское. В пределах Монголийского рудного узла наибольший интерес заслуживают поиски молибден-медно-золоторудных месторождений порфирового типа.

#### 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, 1978. С. 98–104.
2. *Вьюнов Д.Л., Степанов В.А.* Геохимические поля Верхнего Приамурья // Тихоокеанская геология. 2004. № 5. С. 116–124.
3. *Константинов М.М.* Рудные столбы золоторудных месторождений // Руды и металлы. 2013. № 4. С. 9–17.
4. *Копылов М.И.* Эволюция гранитоидного состава и рудной минерализации на примере Дальневосточного региона // Граниты и эволюция Земли. Улан-Удэ, 2008. С. 187–190.
5. *Михайлов Б.К., Иванов А.И., Вартанян С.С., Беневольский Б.И.* Проблемы минерально-серьевой базы золота // Руды и металлы. 2015. № 1. С. 97–99.
6. *Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В.* Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996. С. 36–75.
7. *Старк А.Г.* Геология и металлогения Сергачинской структурно-формационной зоны (Верхнее Приамурье). – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976.

## SERGACHINSKAYA GOLD ZONE AND PROSPECTS FOR NEW GOLD DEPOSIT IDENTIFICATION

**M.I.Kopylov, L.L.Petukhova**  
(Yu.A.Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics FEB RAS, Khabarovsk)

*Materials of large-scale (1:50 000–1:5000) geological and geophysical studies performed by JSC Dalgeophysics and other companies (1975–2017) within Sergachinskaya gold zone as well as its Urkinsky ore cluster and Berezitovy ore district are presented. Based on them, prospects for new ore occurrences and, potentially, deposits identification in this district are determined. Recommendations on further prospecting and exploration are given.*

*Keywords: Sergachinskaya gold zone, Urkinsky ore cluster, Berezitovoye, Snezhinka, gold deposits.*



## МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРВЫХ НАХОДОК ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ТРУБ ПАЛЕОЗОЙСКИХ «КУРИЛЬЩИКОВ» В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ РУДНОГО АЛТАЯ

*В рудах Захаровского колчеданно-полиметаллического месторождения на Рудном Алтае впервые обнаружены образования, которые по составу и морфологии могут быть идентифицированы как фрагменты палеогидротермальных труб – так называемых «курильщиков». Трубки диаметром 3–5 см имеют зональное строение и сложены пиритом и халькопиритом с примесью галенита и сфалерита, каналы выполнены сульфидами в ассоциации с баритом. Находки трубок подтверждают предположения о вулканогенно-осадочной природе оруденения.*

*Ключевые слова: Рудный Алтай, колчеданно-полиметаллические, палеогидротермальные трубы, «курильщики».*

Среди месторождений колчеданного семейства выделяются два главных геолого-генетических типа, для которых установлены современные аналоги [8]. К первому относятся эксгальционно-осадочные месторождения (SEDEX), сформированные при участии металлоносных рассолов в бассейнах с терригенным и терригенно-карбонатным заполнением при незначительном развитии вулкаников. Для них характерны пластообразная форма рудных тел, тонкая ритмичная слоистость руд, ассоциация с чёрными сланцами и Mg-Fe карбонатами, присутствие высокоминерализованных рассолов во флюидных включениях. Практически полными аналогами этих месторождений считаются залежи металлоносных рассолов и сульфидных осадков, выявленные во впадинах Красного моря.

Колчеданно-полиметаллические месторождения второго типа (VMS) тесно связаны с проявлениями вулканизма и образовались в результате поступления высокотемпературных гидротермальных растворов на дно палеобассейна вблизи вулканических центров. Согласно существующим представлениям, современными аналогами таких колчеданоносных систем служат «курильщики» – трубообразные постройки, растущие на дне современных океанов и поставляющие в воду дисперсные минеральные частицы, так называемые «дымы». По составу «курильщики» разделяются на «чёрные» – сульфидные, «белые» – кремнисто-сульфатные и «серые» – сульфидно-ангидрит-баритовые [9].

На образование древних колчеданных руд по механизму «курильщиков» указывают холмообразная форма рудных залежей, широкое развитие брекчиевых, градационно-слоистых и других подобных текстурных форм [1, 2, 5, 6], возникших за счёт продуктов разрушения «курильщика», а также осаждения дисперсного рудного вещества из восходящих плюмов. На удалении от «куриль-



**Кузнецова  
Светлана Владимировна**

кандидат геолого-минералогических наук  
научный сотрудник  
sfa72@rambler.ru

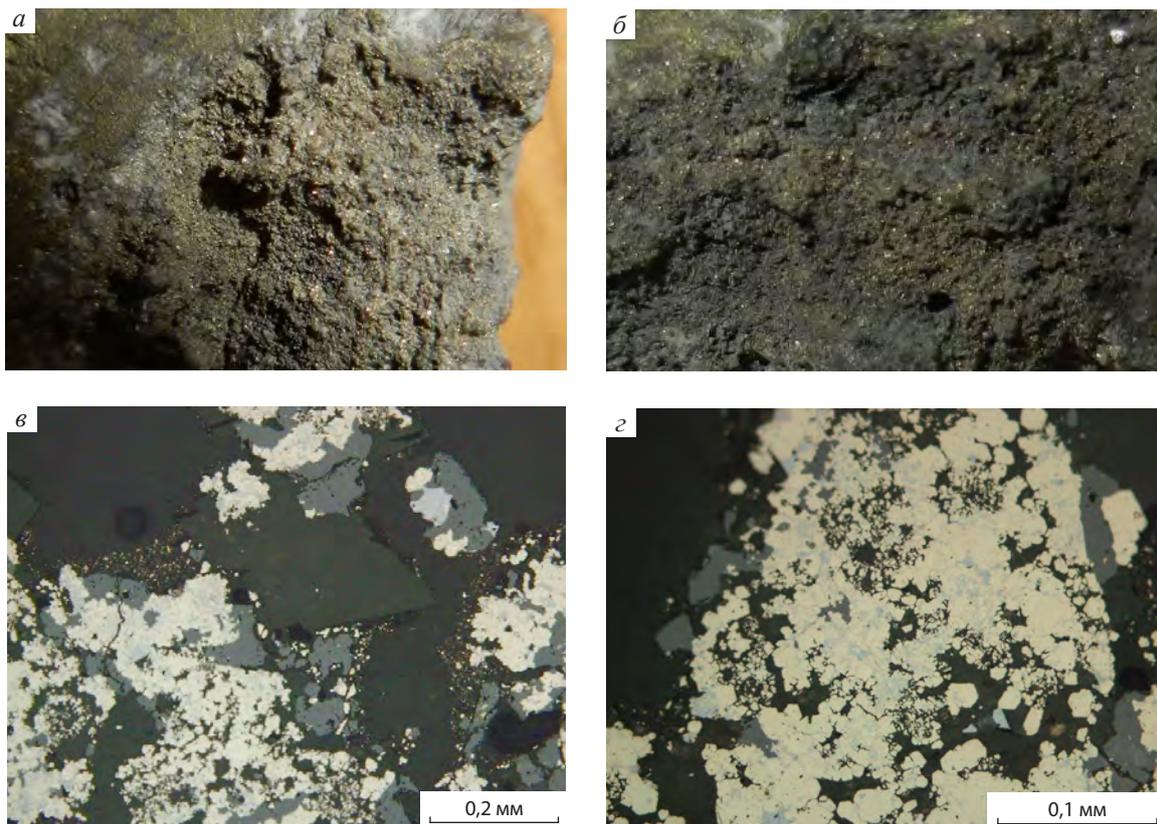
ФГБУ Центральный  
научно-исследовательский  
геологоразведочный институт  
цветных и благородных металлов,  
г. Москва





**Рис. 1. ВНЕШНИЙ ВИД ПАЛЕОГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ТРУБ (фото штуфов):**

*a, б* – из руд Захаровского месторождения, Рудный Алтай; *в* – из руд месторождения Яман-Касы, Южный Урал, по В.В.Масленникову [7]



**Рис. 2. ПОРИСТЫЕ СУЛЬФИДЫ ОСЕВОГО КАНАЛА (*a, б* – фото штуфа, *в, г* – фото аншлифа):**

*a* – ув. х3,5; *б* – ув. х6; *в* – крупные кристаллы барита (тёмно-серый) нарастают на галенит-сфалерит-пиритовые выделения; *г* – тонкозернистый, глобулярный и почковидный пирит в тесном прорастании с галенитом, по краям выделений оторочка сфалерита (белый – пирит, голубой – галенит, серый – сфалерит, тёмно-серый – барит)

щиков» из материала «дымов» (плюмов нейтральной плавучести) могли формироваться дистальные рудные залежи [4, 9].

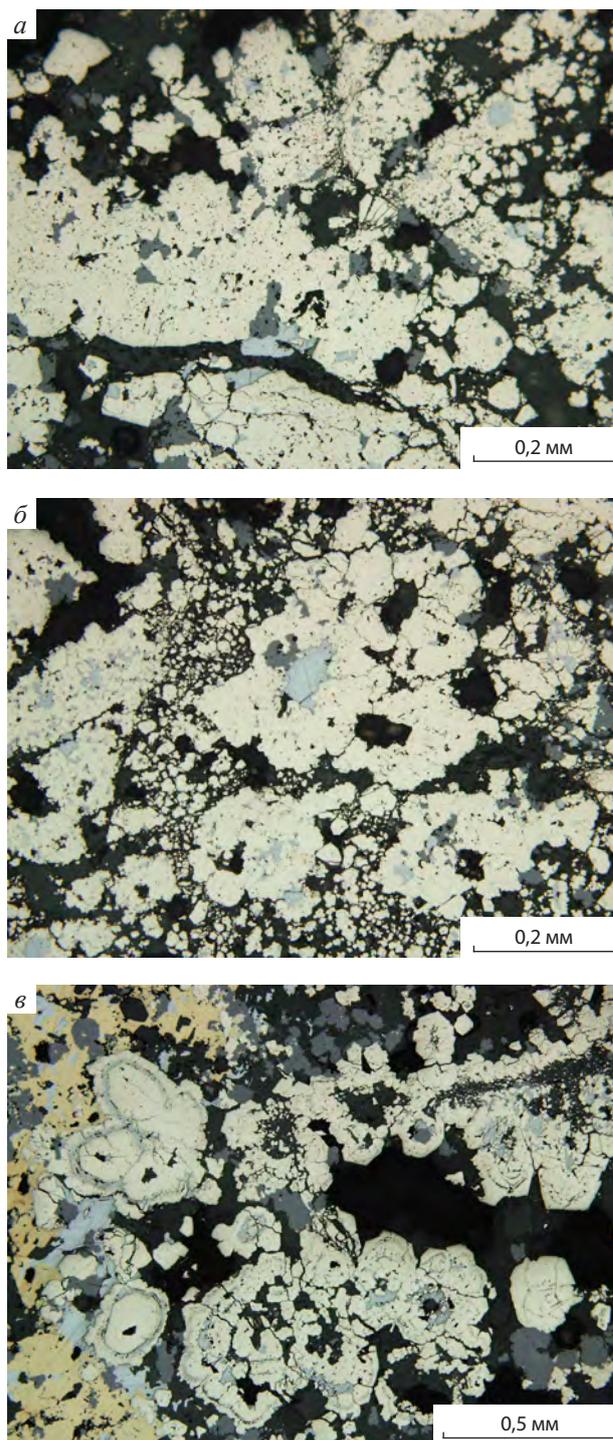
Вследствие подводного обрушения сульфидных построек, сноса обломочного материала и последующего метаморфизма руд фрагменты гидротермальных труб «курильщиков» в древних месторождениях встречаются весьма редко. В значительном количестве они были обнаружены и исследованы в рудах палеозойских колчеданных месторождений Урала [7], отдельные находки отмечены также в Казахстане [3]. В данной статье описаны палеогидротермальные трубы, впервые выявленные автором в рудах на западном фланге Захаровского колчеданно-полиметаллического месторождения на Рудном Алтае.

Концентрически-зональные образования, которые по составу и текстуре могут быть идентифицированы как трубы «палеокурильщиков», найдены в керне скважины, пройденной на западном фланге месторождения в вулканогенных отложениях девонского возраста. В наиболее хорошо сохранившихся разностях отчётливо наблюдаются все характерные части гидротермальных труб [7, 10] (рис. 1, а, б): главный канал диаметром 2,5–3,5 см, частично заполненный минеральным веществом, зонально построенная стенка толщиной ~5 мм, которая в некоторых участках осложнена раздувами до 1,5 см за счёт развития дополнительных тонких каналов, и оболочка.

Ниже приведены результаты исследования аншлифов, изготовленных из фрагментов каждой из зон одной из палеогидротермальных труб.

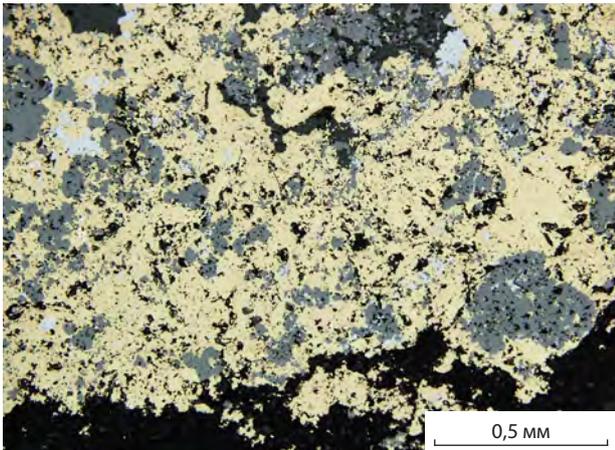
*Главный (осевой) канал* трубки полый, ближе к стенкам заполнен пористым сульфидным материалом (рис. 2) в сростании с баритом. Под микроскопом пористые сульфиды представлены скоплениями почковидного, колломорфного, иногда глобулярного пирита, тонкозернистых галенит-пиритовых масс, комковатого, почковидного сфалерита, вместе образующих пористый агрегат, в пустотах которого развиваются хорошо выраженные кристаллики барита (см. рис. 2, в, г).

*Внутренняя часть стенки* трубки сложена сливными почковидными пиритовыми (рис. 3) массами обычно с подчинённым количеством сфалерита и галенита, участками переходящими в дендритовидные (см. рис. 3, в) зональные галенит-пиритовые выделения в ассоциации с тонкозернистым баритом и сфалеритом.



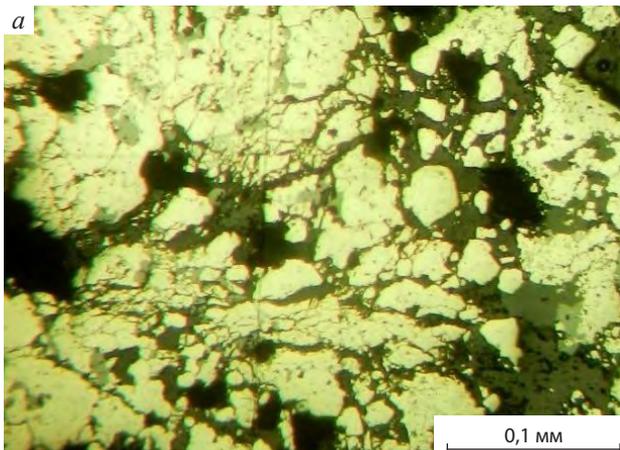
**Рис. 3. ПИРИТ ВНУТРЕННЕЙ СТЕНКИ В АССОЦИИ С ГАЛЕНИТОМ, СФАЛЕРИТОМ И БАРИТОМ:**

а – сливные выделения пирита; б – почковидные выделения на контакте с пористыми сульфидами; в – зональные выделения почковидного и дендритовидного пирита с галенитом из частично разрушенной внутренней стенки



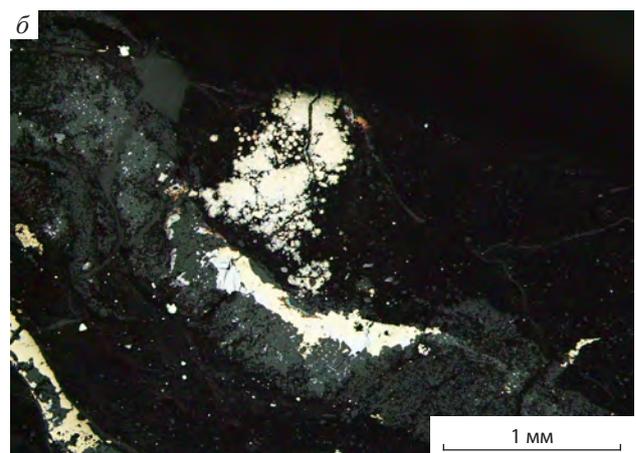
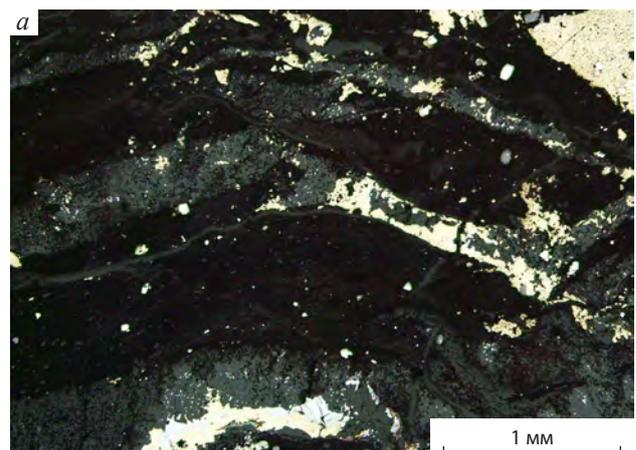
**Рис. 4. МОРФОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ ВО ВНЕШНЕЙ ЧАСТИ СТЕНКИ ТРУБКИ (сфалерит – тёмно-серый, галенит – голубой, халькопирит – жёлтый)**

Внешняя часть стенки сложена преимущественно халькопиритом. Количество барита во внешней части стенки значительно уменьшается. Ширина халькопиритовой зоны колеблется от нескольких миллиметров до 1,5 см; в участках раздувов она представляет собой массивные сульфиды, где халькопирит является цементом, содержащим крупные выделения сфалерита и галенита, редкие зёрна пирита (рис. 4). Кроме того, к раздувам приурочены выделения некоторого количества блеклой руды. Сфалерит здесь также имеет почковидный облик, хотя крупность выделений по сравнению со сфалеритом осевого канала и внешней стенки значительно увеличивается (до 0,3–0,5 мм). При этом халькопирит и галенит цементируют и частично замещают пирит и сфалерит, являясь несколько более поздними по отношению к ним.



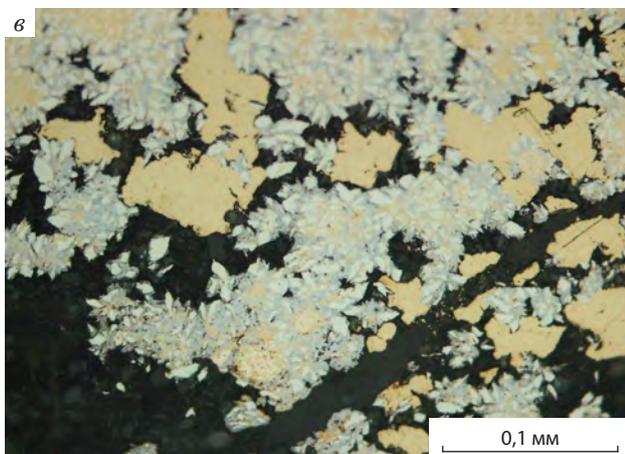
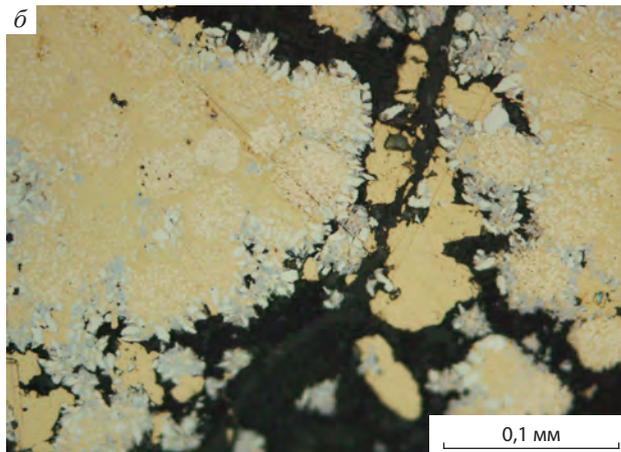
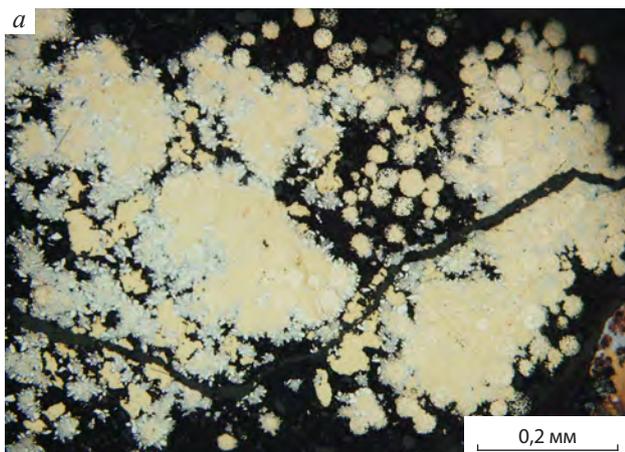
**Рис. 5. РАСТРЕСКИВАНИЕ СУЛЬФИДОВ СТЕНКИ ТРУБКИ:**

*a* – внутренняя пиритовая стенка; *б* – растрескивание близ контакта внешней и внутренней стенок



**Рис. 6. ОБОЛОЧКА ТРУБКИ:**

*a* – лентовидные обособления с выделениями сульфидов; *б* – реликты скоплений сульфидов в массе хлорита



**Рис. 7. ФРАМБОИДАЛЬНЫЙ ПИРИТ ИЗ ВНЕШНЕЙ ОБОЛОЧКИ В АССОЦИИ С ПЛАСТИНЧАТЫМ МАРКАЗИТОМ И ХАЛЬКОПИРИТОМ:**

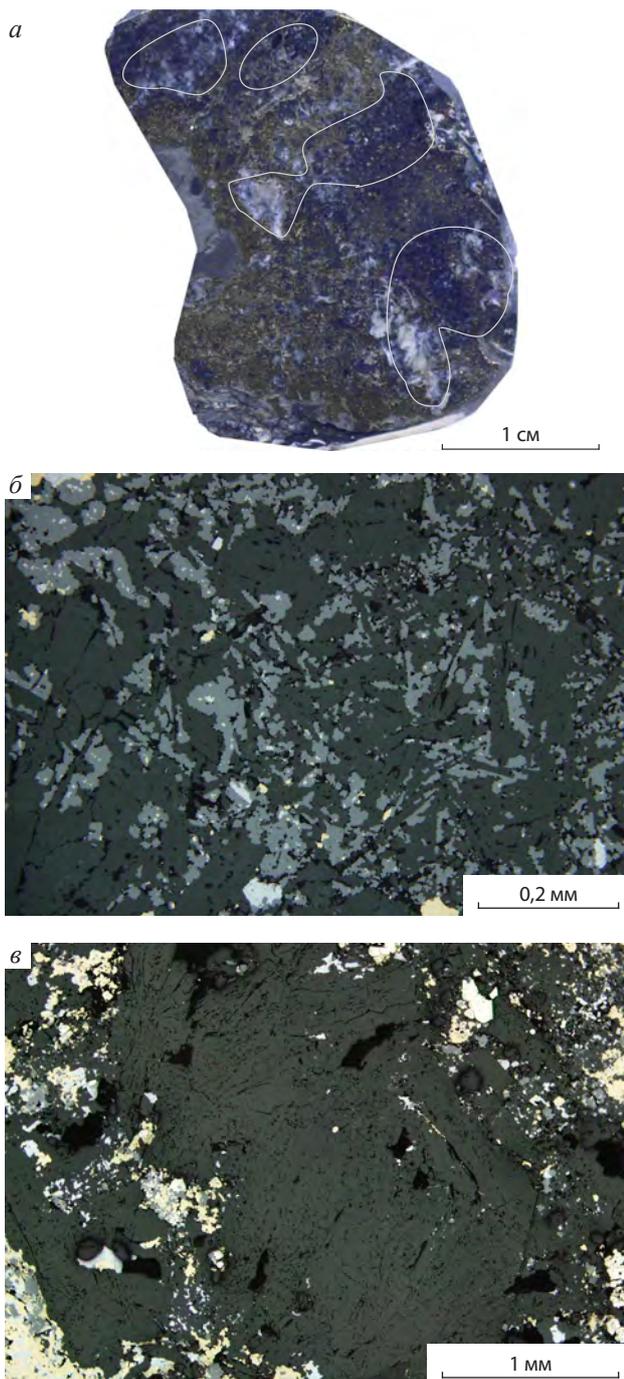
*а* – общий вид; *б* – фрамбоидальный пирит, пластинчатый марказит и галенит в халькопиритовой матрице; *в* – морфология выделения пластинчатого марказита в ассоциации с галенитом и фрамбоидальным пиритом в краевой части скоплений

Для стенки характерны концентрические зоны повышенного растрескивания сульфидов (рис. 5). Кроме того, вблизи дополнительных каналов стенка и пористый материал частично разрушены и дезинтегрированы, а полость выполнена пластинчатым баритом в ассоциации с почковидным сфалеритом. Вблизи стенок дополнительных каналов в барите фиксируется большое количество раздробленного пиритового материала, что свидетельствует об их частичном обрушении.

Внешняя часть оболочки трубки значительно разрушена, замещена серицит-хлоритовой массой и представлена лишь эпизодически. В структуре оболочки выделяются лентовидные обособления (рис. 6, *а*), в составе которых присутствуют кварц, карбонаты, в некоторых случаях отмечаются сульфидные минералы. Между «лентами» в хлоритизированной массе встречены частично замещённые скопления фрамбоидов пирита (рис. 7; см. рис. 6, *б*) в ассоциации с марказитом, халькопиритом и галенитом.

Фрамбоиды пирита находятся в тесном прорастании с халькопиритом, при этом встречаются как скопления обособленных разностей фрамбоидов (см. рис. 7, *а*), так и более крупные выделения, представляющие собой многочисленные включения фрамбоидов в халькопиритовой матрице (см. рис. 7, *б*). Ближе к внешним границам данных выделений вокруг фрамбоидов появляется галенистая оторочка, на которую, в свою очередь, нарастает копьевидный марказит (см. рис. 7, *б*, *в*).

Стенка трубки осложнена раздувами мелких дополнительных каналов размером 1–1,5 см. Присутствуют как единичные образования (см. рис. 1, *а*), так и системы многоканальных диффузеров (рис. 8, *а*). В зависимости от положения в теле стенки строение и состав заполнения дополнительных каналов изменяются. Каналы, приуроченные к внутренней, преимущественно пиритовой части стенки, выполнены главным образом крупнокристаллическим пластинчатым баритом в ассоциации со сфалеритом, образующим гроздьевидные выделения вдоль



**Рис. 8. ОСЕВЫЕ ЧАСТИ МЕЛКИХ КАНАЛОВ, ОСЛОЖНЯЮЩИХ СТЕНКУ ТРУБКИ (б, в – аншлифы):**

*а* – система нескольких мелких каналов, осложняющих стенку трубки (линиями схематически показаны осевые части дополнительных каналов); *б* – пластинчатый барит в ассоциации с комковатым сфалеритом; *в* – канал, выполненный друзами пластинчатого барита

вытянутых кристаллов барита (см. рис. 8, б). В то же время, встречаются и чисто баритовые разности (см. рис. 8, в).

В барите присутствуют многочисленные обломки пирита, в центральной части некоторых каналов определяется карбонат. В осевой зоне каналов, расположенных во внешней, преимущественно халькопиритовой части стенки, содержится халькопирит, образующий каёмки вокруг гроздьевидных выделений сфалерита.

Итак, в рудах, вскрытых на западном фланге Захаровского колчеданно-полиметаллического месторождения Рудного Алтая, наличествуют образования, которые по составу и морфологии могут быть идентифицированы как фрагменты палеогидротермальных труб – так называемых «курильщиков». Они представляют собой концентрически-зональные сульфидные агрегаты диаметром 3–5 см. По минеральному составу и особенностям структуры сульфидных выделений отчётливо выделяются зоны, характерные для труб современных и древних «курильщиков». Оболочка отличается присутствием фрамбоидального пирита («оруденелых бактерий») и копьевидного марказита. Основное тело труб сложено преимущественно халькопиритом. Внутренняя стенка покрыта почковидными и дендритовидными агрегатами пирита. Каналы выполнены глобулярным, колломорфным пиритом и баритом. Во всех зонах имеется переменное количество галенита и сфалерита.

Присутствие барита в ассоциации с сульфидами позволяет отнести трубы к продуктам деятельности так называемых «серых курильщиков», характерных для месторождений типа куроко, связанных с бимодальными мафическими и фельзитовыми вулканическими комплексами [3].

Наличие палеогидротермальных труб на колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая подтверждает предположения о вулканогенно-осадочной природе оруденения, т. е. о формировании сульфидных залежей в результате поступления высокотемпературных гидротермальных растворов на дно палеобассейна вблизи центров вулканической активности. В свою очередь, такие центры могут быть выделены по реликтовым фрагментам «курильщиков», которые обладают характерными минералогическими и текстурными особенностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонин В.В. Реликты черных курильщиков в рудах гидротермальных месторождений // *Металлогения складчатых систем с позиции тектоники плит*. Екатеринбург, 1996. С. 148–152.
2. Авдонин В.В., Дергачев А.Л., Сергеева Н.Е. Гидротермальные постройки и продукты их разрушения на колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая // *Продукты разрушения гидротермальных построек в колчеданоносных районах*. Свердловск, 1991. С. 126–137.
3. «Белые», «черные», «серые» и «мерцающие курильщики» современных и древних океанов (обзор) / В.В.Масленников, А.Ю.Леин, С.П.Масленникова и др. // *Металлогения древних и современных океанов*. 2016. Т. 22. С. 7–13.
4. Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин (на примере колчеданоносных зон Урала и Сибири). Изд. 2-е, доп. – М.: Наука, 2006.
5. Кузнецов В.В. Геолого-генетические основы прогноза и поисков полиметаллических месторождений Сибири // Тез. докл. научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов – состояние и перспективы», 19–20 апреля 2016 г. М., 2016. С. 39–40.
6. Кузнецов В.В., Кудрявцева Н.Г., Галямов А.Л., Кузнецова С.В. Геолого-генетические основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений рудноалтайского типа // *Отечественная геология*. 2014. № 2. С. 30–38.
7. Масленников В.В. Литогенез и колчеданообразование. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2006.
8. Месторождения колчеданного семейства. Сер. Модели месторождений благородных и цветных металлов / А.И.Кривцов, О.В.Минина, В.Г.Волчков и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
9. Русаков В.Ю. Сравнительный анализ минерального и химического состава дымов «черных курильщиков» гидротермальных полей ТАГ и Брокен Спур (Срединно-Атлантический хребет) // *Геохимия*. 2007. № 7. С. 766–785.
10. Tectonic setting and geochemical zonation in the Snake Pit sulfide deposit (Mid-Atlantic Ridge at 23°N) / Y.Fouquet, A.Wafik, G.Mével et al. // *Econ. Geol.* 1993. Vol. 88. P. 2018–2036.

## MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF FIRST PALEOZOIC «BLACK SMOKERS» HYDROTHERMAL CHIMNEYS DISCOVERIES IN THE RUSSIAN PART OF RUDNY ALTAI

S.V.Kuznetsova

(FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow)

*Substances that can be compositionally and morphologically identified as fragments of paleohydrothermal chimneys, the so called «black smokers», were discovered in ores from Zakharovskoye pyrite-polymetallic deposit (Rudny Altai) for the first time. 3–5 cm diameter pipes are zonal and composed of pyrite and chalcopyrite with minor galena and sphalerite, channels are filled sulfides associated with barite. Pipe discoveries support volcanosedimentary mineralization nature.*

*Keywords: Rudny Altai, pyrite-polymetallic, paleohydrothermal chimneys, «black smokers».*





## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ Au-Ag ЭПИТЕРМАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ КАЙЭНМЫВААМСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧУКОТКА

### Прокофьев Всеволод Юрьевич<sup>1</sup>

доктор геолого-минералогических наук  
заведующий лабораторией геохимии  
vpr@igem.ru

### Волков Александр Владимирович<sup>1</sup>

доктор геолого-минералогических наук  
заведующий лабораторией  
геологии рудных месторождений  
tma2105@mail.ru

### Николаев Юрий Николаевич<sup>2</sup>

кандидат геолого-минералогических наук  
доцент  
nikolaev@geol.msu.ru

### Калько Ильдар Анатольевич<sup>2</sup>

кандидат геолого-минералогических наук  
научный сотрудник  
ildarkalko@ya.ru

### Власов Евгений Алексеевич<sup>2</sup>

кандидат геолого-минералогических наук  
научный сотрудник  
user420@geol.msu.ru

### Вольфсон Александр Александрович<sup>1</sup>

кандидат геолого-минералогических наук  
доцент  
sanches27@list.ru

### Сидоров Анатолий Алексеевич<sup>1</sup>

член-корреспондент РАН  
главный научный сотрудник  
kolyta@igem.ru

<sup>1</sup> ФГБУН Институт геологии  
рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии РАН,  
г. Москва

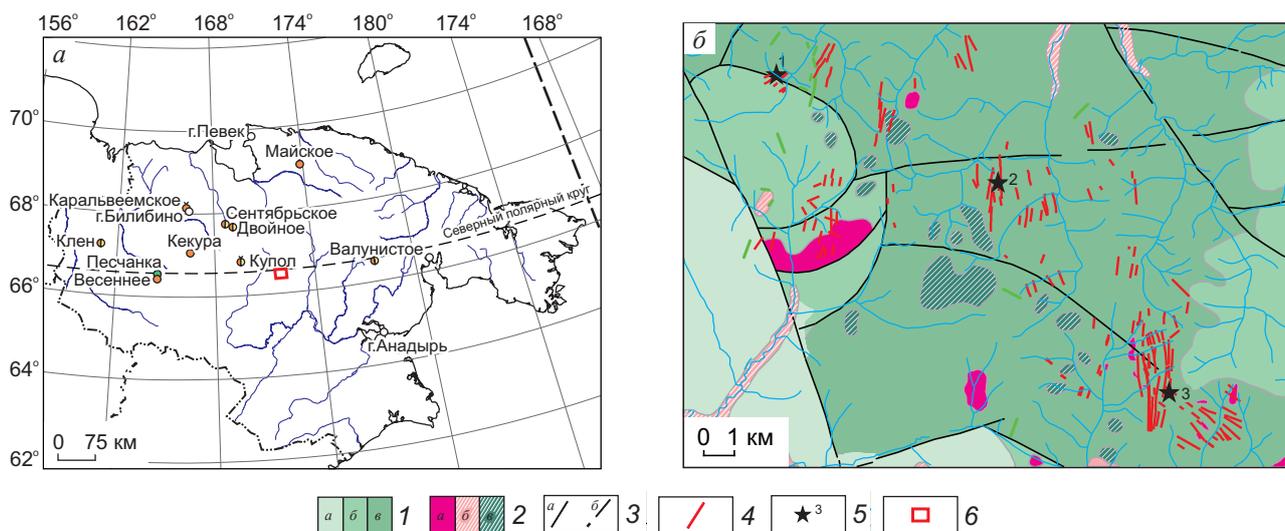
<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный  
университет им. М.В.Ломоносова»,  
г. Москва

*Получены первые данные о физико-химических параметрах и составе минералообразующих флюидов золото-серебряной минерализации Кайэнмываамского рудного поля Центральной Чукотки. Результаты исследования флюидных включений в продуктивном кварце рудопроявлений Кайэнмываамского рудного поля соответствуют параметрам формирования типичных эпитеpmальных низкосульфидизированных («low sulfidation») месторождений. Рудообразующие флюиды по основным параметрам очень близки к флюидам крупного месторождения Купол. Однако в отличие от последнего в составе флюида рудопроявления Телевеем отсутствует сульфат-ион. Полученные результаты свидетельствуют о близкoверхностном (0,1–0,5 км) формировании и слабой эродированности рудного поля. Это позволяет говорить о перспективности изучения глубоких горизонтов.*

*Ключевые слова: Центральная Чукотка, Кайэнмываам, эпитеpmальные месторождения, золото, серебро, флюидные включения.*

Кайэнмываамское рудное поле расположено в центре Чукотского автономного округа (рис. 1, а) в пределах Маюлервеемской вулканоструктуры Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). Расстояние до г. Анадырь – 330 км, до с. Марково – 240 км, до г. Билибино – 350 км, до г. Певек – 350 км, до рудника Купол – 130 км. В его геологическом строении участвуют стратифицированные игнимбриты кислого состава, андезибазальты, андезиты, базальты, туфы среднего-кислого состава, прорванные дайками, штоками трахиандезитов, андезитов, субщелочных диоритов и монзонитов. Пространственное положение субвулканических тел, кварцевых жил и полей метасоматитов совпадает с радиально-кольцевым рисунком трещиноватости Маюлервеемской вулканоструктуры (см. рис. 1, б). На площади рудного поля широко распространены эпитеpmальные кварцевые жилы с Au-Ag минерализацией. По наибольшей их концентрации выделяются три перспективных участка: Левый Кайэнмываам, Средний (Правый) Кайэнмываам и Телевеем (см. рис. 1, б).

В результате поисковых работ, проведённых Анадырской геологоразведочной экспедицией (1989–1994 гг.), в пределах названных участков были выявлены многочисленные Au-Ag эпитеpmальные жилы и жильные зоны, в которых установлены несколько рудных столбов. Наиболее крупный из них имеет мощность 2,2 м и прослежен канавами на расстоянии 330 м, а по развалам рудного кварца – >500 м. Вертикальный размах оруденения по геофизическим данным >150 м. Жилы характеризуются полосчатыми тексту-



**Рис. 1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ (а) И СХЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА (б) КАЙЭНМЫВААМСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ:**

1 – верхнемеловые стратифицированные вулканические породы ОЧВП (от молодых до более древних свит); 2 – диориты (а), субвулканические риолиты (б), базальты (в); 3 – установленные (а), предполагаемые (б) разрывные нарушения; 4 – кварц-карбонатные жилы; 5 – перспективные участки (1 – Левый Кайэнмываам, 2 – Средний Кайэнмываам, 3 – Телевеем); 6 – район работ

рами, обусловленными чередованием халцедоно-видного мелко- и крупнозернистого с мозаичной текстурой и друзовидного кварца. Обычно мелкозернистые разности слагают внешние, а друзовидные – центральные части жил. Жилы, кроме кварца, содержат адуляр, хлорит, каолинит, гипс, гидрослюда и кальцит.

В последние годы в пределах рудного поля геохимической съёмкой по вторичным ореолам рассеяния оконтурена площадь рудопроявлений [7], а колонковым бурением подтверждено развитие богатого оруденения на глубину. Минералогические исследования показали, что ранняя минеральная ассоциация включает пирит, молибденит, халькопирит, галенит, сфалерит, борнит, тетраэдрит-теннантит; поздняя (золото-серебряная) – минералы Au-Ag, пирсеит-полибазит, акантит, агвиларит, хемусит, тетрадимит, кавацулит, теллуриды (алтаит, волинскит, гессит, мелонит, петцит, сильванит, теллурувисмутит), самородный теллур [1]. Пробность минералов Au-Ag составляет 550–655%, в коре выветривания достигает 963%. Типичные примеси: Cu (0,03–0,14%) и реже Hg (до 0,18 масс. %). В рудах участка Телевеем главными концентраторами золота и серебра служат теллуриды (петцит, сильванит, гессит), тогда как самородные минералы Au-Ag имеют подчинённое значение [1].

В 2017 г. в ходе поисково-оценочных работ на рудопроявлениях Левый и Средний Кайэнмываам из эпitherмальных кварц-кальцитовых жил были отобраны новые образцы для изучения включений минералообразующих флюидов (ФВ). В кварце и кальците из рудных жил участков Левый и Средний Кайэнмываам обнаружены пригодные для микротермометрических исследований ФВ размером от 1 до 20 мкм. По фазовому составу при комнатной температуре ФВ относятся к двум типам (рис. 2):

- двухфазовые, содержащие газовый пузырь и водный раствор, которые имеют разные объёмные соотношения между газом и жидкостью;
- газовые включения, сингенетичные газовой-жидким и свидетельствующие о гетерогенном состоянии (кипении) рудообразующего флюида.

В настоящей статье обсуждаются новые данные микротермометрического изучения индивидуальных флюидных включений в этих образцах по методике, приведённой в работе [1], в сравнении с опубликованными ранее данными по участку Телевеем [1]. Дополнительно выполнен также валовый анализ состава флюидов включений в кварце рудопроявления Телевеем из навесок 0,5 г класса -0,5+0,25 мм мономинеральных фракций кварца (аналитик Ю.В.Васюта, ЦНИГРИ) по методике, описанной в работе [2].

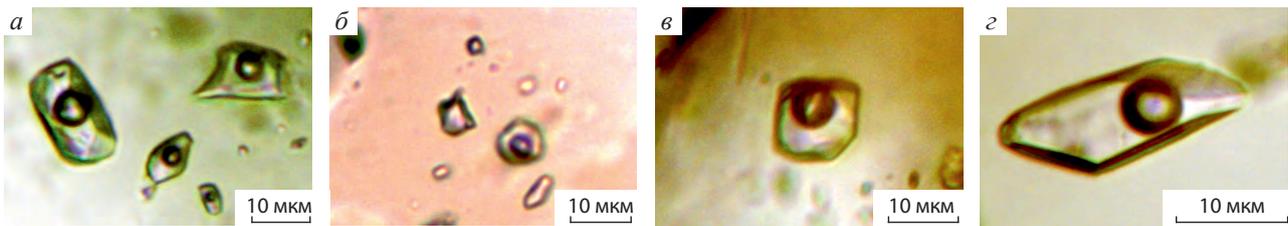


Рис. 2. ДВУХФАЗОВЫЕ ГАЗОВО-ЖИДКИЕ ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ ТИПА 1 (а, в, з) И АССОЦИАЦИЯ ГАЗОВЫХ ТИПА 2 И ГАЗОВО-ЖИДКИХ ТИПА 1 ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ (б) В КВАРЦЕ (а–в) И КАЛЬЦИТЕ (з) МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПРОЖИЛКОВ УЧАСТКОВ ЛЕВЫЙ И СРЕДНИЙ КАЙЭНМЫВААМ

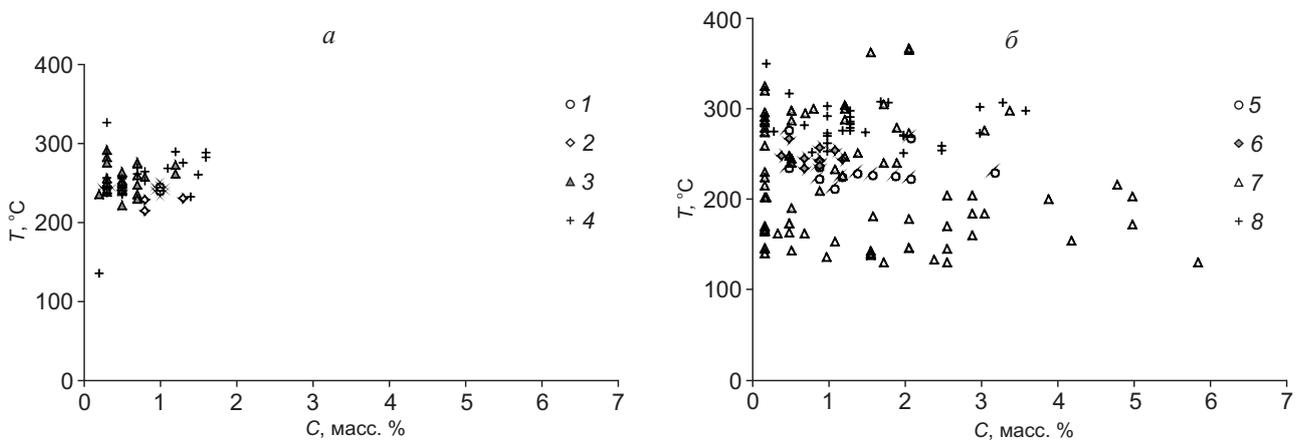


Рис. 3. ДИАГРАММА «ТЕМПЕРАТУРА–КОНЦЕНТРАЦИЯ СОЛЕЙ» ДЛЯ РУДООБРАЗУЮЩИХ ФЛЮИДОВ КАЙЭНМЫВААМСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (а) В СРАВНЕНИИ С АНАЛОГИЧНОЙ ДИАГРАММОЙ ДЛЯ РУДООБРАЗУЮЩИХ ФЛЮИДОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУПОЛ [3], АРЫКВААМ [3], ДВОЙНОЕ [5], ЖИЛЬНОЕ [4] (б):

1, 2 – Левый Кайэнмываам (1 – кварц, 2 – кальцит); 3 – Средний Кайэнмываам; 4 – Телевеем; 5 – Купол; 6 – Арыккваам; 7 – Двойное; 8 – Жильное

Результаты термо- и криометрических исследований >180 индивидуальных флюидных включений (рис. 3, таблица) показали, что в составе растворов всех двухфазовых ФВ типа 1 преобладали хлориды Na, Mg и Fe. Об этом свидетельствуют хлоридные эвтектики растворов включений в температурном интервале от -23 до -30°C.

Полная гомогенизация ФВ типа 1 в кварце проявления Левый Кайэнмываам происходит при температурах 240–245°C в жидкую фазу, а концентрация солей изменяется от 0,3 до 1,0 масс. % экв. NaCl. Плотность флюида составляет 0,80–0,82 г/см<sup>3</sup>. Полная гомогенизация ФВ в кальците проявления осуществляется при температурах 215–241°C в жидкость, а концентрация солей изменяется от 0,5 до 1,3 масс. % экв. NaCl. Плотность флюида составляет 0,81–0,85 г/см<sup>3</sup>.

ФВ типа 1 в кварце проявления Средний Кайэнмываам гомогенизируются при температурах от 222 до 292°C в жидкость, а концентрация солей изменяется от 0,2 до 1,2 масс. % экв. NaCl. Плотность флюида 0,71–0,84 г/см<sup>3</sup>. В газовых ФВ типа 2 при охлаждении до -140°C углекислота не обнаружена, поэтому давление для ассоциаций включений гетерогенного флюида рассчитывалось как давление насыщенного пара воды, которое изменялось от 30 до 70 бар при температурах 236–292°C.

Гомогенизация ФВ типа 1 в кварце проявления Телевеем [1] осуществляется при температурах 136–327°C в жидкость, а концентрация солей изменяется от 0,2 до 1,6 масс. % экв. NaCl. Плотность флюида 0,63–0,94 г/см<sup>3</sup>. В газовых ФВ типа 2 при охлаждении до -140°C углекислота не выявлена, поэтому давление для ассоциаций включений гетерогенно-

**РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕРМО- И КРИОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ  
В КВАРЦЕ И КАРБОНАТЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ КАЙЭНМЫВААМ**

Номера проб	Типы включений	<i>n</i>	<i>T</i> <sub>гомл</sub> , °С	<i>T</i> <sub>эвл</sub> , °С	<i>T</i> <sub>пл.льдаг</sub> , °С	<i>C</i> <sub>солей</sub> масс. % экв. NaCl	<i>d</i> , г/см <sup>3</sup>	<i>P</i> , бар
<i>Левый Кайэнмываам</i>								
LK17/11-1 кварц	1 П	16	245	-23	-0,6	1,0	0,81	-
	1 П	9	244	-30	-0,2	0,3	0,80	-
	1 П	9	240	-23	-0,6	1,0	0,82	-
LK17/11-1 карбонат	1 П	3	241	-28	-0,3	0,5	0,81	-
	1 П	3	231	-26	-0,8	1,3	0,83	-
	1 П	8	229	-27	-0,5	0,8	0,83	-
	1 П-В	6	215	-23	-0,5	0,8	0,85	-
<i>Средний Кайэнмываам</i>								
SK17/12-4 кварц	1, 2 П	8	251	-26	-0,2	0,3	0,79	40
	1, 2 П	13	236	-28	-0,4	0,7	0,82	30
	1 П	8	230	-26	-0,4	0,7	0,83	-
	1 П-В	4	222	-27	-0,3	0,5	0,84	-
SK17/12-2 кварц	1 П	3	260	-30	-0,4	0,7	0,78	-
	1 П	7	256	-28	-0,2	0,3	0,78	-
	1 П	8	249	-29	-0,2	0,3	0,79	-
	1 П	6	245	-30	-0,3	0,5	0,80	-
	1 П	4	242	-28	-0,3	0,5	0,81	-
	1 П	6	241	-30	-0,3	0,5	0,81	-
	1 П-В	8	239	-23	-0,2	0,3	0,81	-
	1 П-В	11	236	-28	-0,1	0,2	0,81	-
SK17/8 кварц	1 П	5	258	-26	-0,5	0,8	0,78	-
	1 П	6	248	-25	-0,4	0,7	0,80	-
	1 П	4	246	-26	-0,3	0,5	0,80	-
SK17/25-7 кварц	1 П	14	273	-27	-0,7	1,2	0,76	-
	1 П	3	263	-28	-0,3	0,5	0,77	-
	1 П	6	262	-28	-0,7	1,2	0,78	-
	1 П-В	8	249	-28	-0,3	0,5	0,80	-
8154-4732 кварц	1, 2 П	5	264	-32	-0,3	0,5	0,77	40
	1, П	7	251	-28	-0,3	0,5	0,79	-
	1, П	4	240	-27	-0,3	0,5	0,81	-
8562-5070 кварц	1, 2 П	3	292	-30	-0,2	0,3	0,71	70
	1, П	8	283	-29	-0,2	0,3	0,73	-
	1, П	4	276	-28	-0,2	0,3	0,74	-
8512-4491 кварц	1, 2 П	5	276	-27	-0,4	0,7	0,75	50
	1, 2 П	9	275	-30	-0,3	0,7	0,75	50
	1, П	4	254	-28	-0,3	0,5	0,79	-
8449-4521 кварц	1, 2 П	4	252	-28	-0,3	0,5	0,79	40
	1, 2 П	3	251	-30	-0,3	0,5	0,79	40
	1, 2 П	7	250	-28	-0,2	0,3	0,79	40
	1, П	5	242	-27	-0,2	0,3	0,81	-

Продолжение таблицы

		Телевеем [1]						
5132-7842 кварц	1, П	3	289	-34	-0,9	1,6	0,74	-
	1, П	13	283	-34	-0,9	1,6	0,75	-
	1, П	3	269	-36	-0,6	1,1	0,77	-
	1, П	2	262	-30	-0,4	0,7	0,78	-
	1, П-В	3	236	-30	-0,3	0,5	0,82	-
	1, П-В	3	233	-34	-0,8	1,4	0,83	-
7870-5167 кварц	1, В	4	136	-31	-0,1	0,2	0,94	-
	1, 2 П	3	256	-28	-0,3	0,5	0,78	40
	1, П	14	248	-27	-0,3	0,5	0,80	-
7832-5236 кварц	1, П	9	237	-27	-0,3	0,5	0,82	-
	1, 2 П	3	327	-27	-0,2	0,3	0,63	120
	1, П	6	288	-28	-0,2	0,3	0,72	-
7860-5156 кварц	1, П-В	15	257	-28	-0,2	0,3	0,78	-
	1, 2 П	7	251	-29	-0,2	0,3	0,79	30
	1, 2 П	6	246	-27	-0,2	0,3	0,80	30
7842-5131 кварц	1, П	3	238	-28	-0,2	0,3	0,81	-
	1, 2 П	4	290	-27	-0,7	1,2	0,73	70
	1, 2 П	4	270	-33	-0,4	0,7	0,76	50
	1, П	3	276	-28	-0,8	1,3	0,76	-
	1, П	6	265	-30	-0,5	0,8	0,77	-
	1, П	5	261	-28	-0,9	1,5	0,79	-
1, П	11	253	-29	-0,5	0,8	0,79	-	

Примечание. Типы флюидных включений: 1 – двухфазовые газовой-жидкие, 2 – газовые, П – первичные, П-В – первично-вторичные.  $n$  – число включений,  $C_{\text{солей}}$  – концентрация солей,  $d$  – плотность флюида.

го флюида рассчитывалось как давление насыщенного пара воды, которое изменялось от 30 до 120 бар при температурах 246–327°C.

Таким образом, на изученной площади максимальные температуры гомогенизации ФВ, солёность минералообразующих флюидов и давление растут в направлении с северо-запада на юго-восток. Это совпадает с увеличением возраста вмещающих пород и может быть связано с возрастанием глубины эрозионного среза в том же направлении. Однако различия в параметрах рудообразующих флюидов участка Телевеем [1] невелики в сравнении с параметрами флюидов участков Левый и Средний Кайэнмываам и свидетельствуют о близкой глубине их формирования.

В составе флюида участка Телевеем по данным валового анализа среди анионов найден (в г/кг воды) Cl (6,65), а среди катионов – Na (4,2), K (0,40) и Ca (0,08). Во флюиде определены также (в г/кг воды) углекислота (13,7), метан (0,7) и ряд микрокомпо-

нентов (мг/кг воды): Be (0,29), Br (2595), As (5529), Li (86,8), B (24,8), Rb (0,3), Sr (0,09), Mo (1,5), Ag (1,2), Sb (8,6), Cu (0,7), Zn (38,9), Bi (0,02), U (0,02), Ge (0,22), Mn (1,8), Co (0,70), V (5,7), Cr (1,2), Y (0,06), Zr (0,24), Au (0,09), Hg (0,2), Tl (0,02), REE (0,2).

В целом рудообразующие флюиды участков Телевеем, Левый и Средний Кайэнмываам по основным параметрам наиболее похожи на рудообразующие флюиды месторождений Купол [3] и Арыккваам [3] и отличаются от флюидов месторождений Двойное [5] и Жильное [4] (см. рис. 3, б). При этом в отличие от месторождения Купол [3] в составе флюида рудопроявления Телевеем не был найден сульфат-ион. Установленные небольшие давления свидетельствуют о близкповерхностном (0,1–0,5 км) формировании и незначительной эродированности рудопроявлений.

Итак, данные исследования флюидных включений в продуктивном кварце рудопроявлений Кайэнмываамского рудного поля соответствуют пара-

метрам формирования типичных эпитеермальных низкосульфидизированных («low sulfidation») месторождений [6]. Крупный масштаб рудообразующей системы и незначительный уровень её эрозивного среза позволяют прогнозировать открытие

новых богатых рудных тел в пределах Маюлервеевской вулканоструктуры (в том числе и не выходящих на поверхность).

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-70001).*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов Е.А., Прокофьев В.Ю., Николаев Ю.Н., Калько И.А. Новая находка золото-теллуридной минерализации на Чукотке: минералогия и условия формирования рудопроявления Телевеем // Руды и металлы. 2016. № 4. С. 48–50.
2. Кряжев С.Г., Прокофьев В.Ю., Васюта Ю.В. Использование метода ICP MS при анализе состава рудообразующих флюидов // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 2006. № 4. С. 30–36.
3. Особенности рудообразования на золото-серебряном месторождении Купол, Северо-Восток России (по данным исследования флюидных включений) / А.В.Волков, В.Ю.Прокофьев, Н.Е.Савва и др. // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 4. С. 350–359.
4. Первые данные об условиях формирования эпитеермальной Au-Ag минерализации месторождения Жильное (Восточная Чукотка) / А.А.Елманов, В.Ю.Прокофьев, А.В.Волков и др. // Доклады академии наук. 2018. Т. 480. № 6. С. 693–697.
5. Au-Ag эпитеермальное месторождение Двойное (п-ов Чукотка, Россия) / А.В.Волков, Н.Е.Савва, Е.Е.Колова и др. // Геология рудных месторождений. 2018. Т. 60. № 6. С. 590–609.
6. Simmons F.A., White N.C., John D.A. Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits // Econ. Geol. 100th Anniversary Volume. 2005. P. 485–522.
7. The Kayenmyvaam Au-Ag prospective district, Chukchi Peninsula, Russia: characteristics of mineralization / I.Kalko, E.Vlasov, V.Prokofiev et al. // SGEM2015 Conference Proceedings. 2015. Vol. 3. P. 699–706.

## Au-Ag EPITHERMAL MINERALIZATION FORMATION CONDITIONS AT KAIENMYVAAMSKOYE ORE FIELD, CENTRAL CHUKOTKA

V.Yu.Prokofiev<sup>1</sup>, A.V.Volkov<sup>1</sup>, Yu.N.Nikolaev<sup>2</sup>, I.A.Kalko<sup>2</sup>, E.A.Vlasov<sup>2</sup>, A.A.Volfson<sup>1</sup>, A.A.Sidorov<sup>1</sup> (FSBIS Institute of Ore Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow; <sup>2</sup>M.V.Lomonosov Moscow State University)

*First data were obtained on physicochemical parameters and composition of mineral-forming fluids for Au-Ag mineralization of Kaienmyvaamskoye ore field, Central Chukotka. Study results of fluid inclusions in productive quartz of the ore field's ore occurrences correspond to formation parameters of typical epithermal low-sulfidation deposits. By their main parameters, ore-forming fluids are very similar to those of the giant Kupol deposit. However, unlike the latter Televeem ore occurrence fluid composition lacks a sulfate ion. The results suggest near-surface (0,1–0,5 km) formation and poorly eroded ore field. This indicates high prospects for deep level study.*

*Keywords: Central Chukotka, Kaienmyvaam, epithermal deposits, gold, silver, fluid inclusions.*





## ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ЗОЛОТОНОСНЫХ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД МЕТОДОМ ТЕРМОВАКУУМНОЙ ДЕКРЕПИТАЦИИ

*Методом термовакuumной декрепитации изучены как единая система кварцево-жильные руды и вмещающие терригенные породы Емельяновского золоторудного месторождения (Северное Верхоянье). Данные по температурным интервалам интенсивности газовыделения (флюидоносности) в кварце коррелируются с содержаниями золота в рудах и позволяют наметить вертикальную зональность оруденения. Установлено, что рудовмещающие пласты песчаника отличаются от «безрудных» характером их декрепитационной активности. В рудовмещающих песчаниках флюидоносность определённых температурных интервалов газовыделения закономерно изменяется при приближении к контактам рудных тел. Полученные результаты могут быть использованы в качестве научно-методической основы разработки новых методов поисков и оценки золотоносных кварцевых жил в песчано-сланцевых толщах.*

*Ключевые слова: термобарогеохимия, декрепитация, температура, флюидоносность, кварц, руда, золото, вмещающая порода, песчаник.*

Золотоносные кварцевые жилы месторождений Верхояно-Колымской складчатой области (ВКСО), например Дуэт, Юр, Кулар, избирательно локализируются в пластах песчаников, залегающих среди толщ алевропелитовых пород. Причём, располагаясь субсогласно слоистости, они часто в деталях повторяют складчатую структуру вмещающих пластов [2, 4, 7, 9 и др.], что свидетельствует о доскладчатом их образовании. Контакты жил с вмещающими породами обычно нечёткие; переход к центральной части жил, сложенной массивным молочно-белым кварцем, представлен зоной серого метасоматического кварца. Последний замещает слоистые породы и вследствие этого приобретает полосчатую текстуру. Часто жилы содержат угловатые включения вмещающих пород размером до 10 см и более, которые могут представлять так называемые «горизонты включения», образующиеся в результате внедрения в поры песчаных пород элизионно-катагенетических (эксфильтрационных) вод из зон разуплотнения и возникновения аномально высоких пластовых давлений [11]. Минеральный состав рудных тел типичен для месторождений малосульфидной формации кварцево-жильного типа. Детальными минералого-геохимическими исследованиями показано, что золоторудные месторождения малосульфидной золото-кварцевой формации ВКСО, вопреки устоявшимся представлениям, сформированы одноактно в одну стадию минерализации [1]. Эти и другие противоречия в основном устраняются элизионно-катагенетической (эксфильтрационной) гипотезой формирования кварцевых жил и жильно-

### Парада Сергей Григорьевич

доктор геолого-минералогических наук  
главный научный сотрудник, заведующий  
лабораторией региональной геологии  
parada@ssc-ras.ru

ФГБУН «Федеральный  
исследовательский центр  
Южный научный центр РАН»,  
г. Ростов-на-Дону

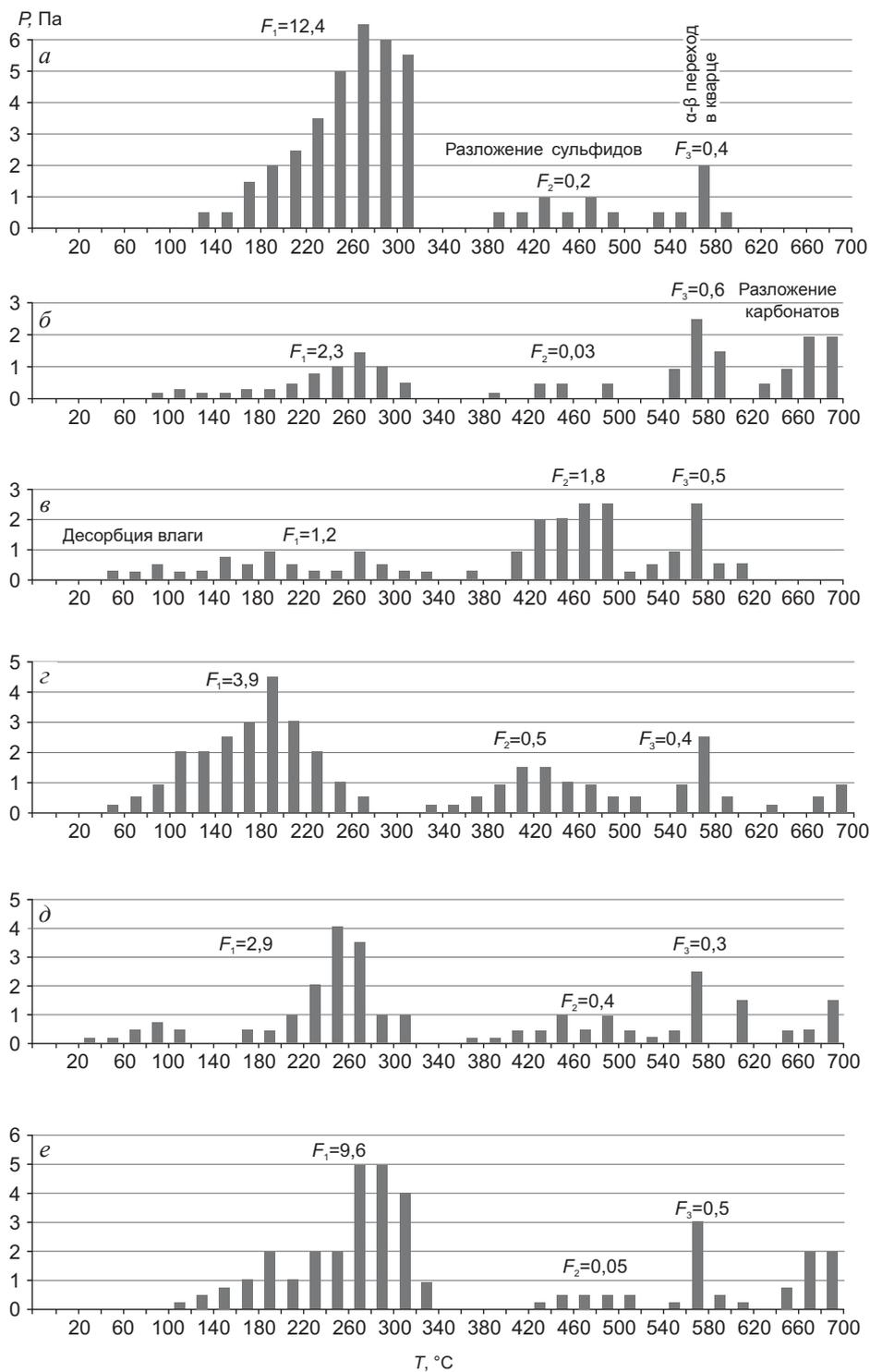
прожилковых зон в песчано-сланцевых толщах, когда алевроитовые и глинистые осадки в условиях катагенеза выступают в качестве генератора золотоносных кремнекислых растворов, а пласты песков служат местом разгрузки [5, 6, 10]. Широкому признанию данной гипотезы препятствует её слабая, по сравнению с магматогенно-гидротермальной, практическая поисковая направленность. Требуется разработка на её основе более эффективных методов поисков и оценки золоторудных тел в песчано-сланцевых толщах. Такие разработки должны базироваться на анализе признаков геохимического взаимодействия руды и вмещающей породы как единой системы. Эффективность подобного подхода обоснована и продемонстрирована в работе [12]. В числе методов исследования такой системы могут быть методы, учитывающие термобарогеохимические характеристики руд и вмещающих пород.

*Методика и объект изучения.* Жильные кварцы золоторудных месторождений в терригенных толщах содержат мало флюидных включений чрезвычайно небольших размеров. В некоторых препаратах из кварцево-жильных рудных тел малосульфидной формации флюидные включения не обнаруживаются оптическими методами. Поэтому термобарогеохимические исследования таких объектов целесообразно осуществлять методом термовакуумной декрепитации. Теоретическое и практическое обоснование метода, а также области применения, аппаратное обеспечение и технологии производства анализов вещества горных пород и руд изложены в работе [8]. Проведённое ранее исследование золото-кварцевых жил и рудовмещающих песчано-сланцевых толщ этим методом позволило установить, что минерализация в золоторудных месторождениях Аллах-Юньской золотоносной полосы ВКСО практически синхронизирована с температурными условиями преобразования рудовмещающих формаций [3]. Это даёт возможность использовать термовакуумно-декрепитометрический анализ для прогноза и поисков оруденения. Поскольку основным условием работы вакуумного декрепитометра является достижение динамического равновесия в системе «откачка–натекание», имеется возможность рассчитать по декрепитограмме относительный объём газовой (флюидной) фазы для любой температурной системы флюидных включений. Эту величину предложено называть показателем флюидоносно-

сти ( $F$ ) [8]. Если установлено, что рудообразование связано с характерными интервалами температуры и давления, которым соответствуют определённые системы включений в минерале, то отношение показателя  $F_T$  конкретной системы включений к суммарному значению  $F$  всех систем флюидных включений даст коэффициент, показывающий относительную флюидонасыщенность рудного процесса ( $K_f = F_{руд} / F$ ). Таким образом, значения  $K_f$  и  $F$  могут быть использованы для выявления масштабов взаимодействия флюидов с вмещающими породами [8] и оценки перспектив того или иного пласта в слоистой толще. Для выделения качественных и количественных критериев оценки нами проведены вакуумно-декрепитометрические исследования руд и вмещающих пород Емельяновского золоторудного месторождения кварцево-жильного типа, локализованного в терригенных толщах северной части Верхояно-Колымской складчатой области.

Месторождение приурочено к Улахан-Сисской куполовидной антиклинали, сложенной песчано-сланцевой толщей пермского возраста. Породы содержат рассеянное органическое вещество, порфиробласты железо-магниевого карбонатов и вкрапленность сульфидов. Изучены два рудных тела, выделенных ранее по данным геологоразведочных работ. Они расположены одно над другим на расстоянии от 2 до 10 м по вертикали. Оба локализируются в относительно маломощных пластах песчаника и залегают субсогласно с породами слоистой толщи. Верхнее рудное тело представлено протяжённой кварцевой жилой мощностью от 2 до 7 м, сложенной крупнокристаллическим кварцем с неравномерно рассеянной вкрапленностью, прожилками и гнездовыми скоплениями сульфидов, содержание которых в целом по жиле не превышает 2%. Нижнее рудное тело – это субсогласная зона сближенных сульфидно-кварцевых и сульфидно-кварц-карбонатных жил и прожилков, сложенных карбонатами, кварцем и сульфидами. Содержание последних варьирует от 2 до 25%.

*Результаты исследования руд.* В процессе декрепитометрических исследований руд Емельяновского месторождения составлены пять групп эталонных декрепитограмм, соответствующих различным стадиям рудной минерализации верхнего и нижнего рудных тел. Первая группа (рис. 1, а, б) получена по результатам анализа образцов кварца, отобранных из участков месторождения, пред-



**Рис. 1. ТИПОВЫЕ ДЕКРЕПИТОГРАММЫ РУД ЕМЕЛЬЯНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:**

а – кварц из пирит-арсенопирит-кварцевой ассоциации верхнего рудного тела; б – то же, нижнего рудного тела; в – кварц-карбонат-сульфидные гнёзда в кварцевых жилах; г – кварц из галенит-сфалерит-кварцевой ассоциации; д – кварц из участков жил с совмещёнными пирит-арсенопиритовой и галенит-сфалеритовой ассоциациями нижнего рудного тела; е – то же, верхнего рудного тела;  $F_1, F_2, F_3$  – флюидонасыщенность соответствующих температурных групп включений

ставленных пирит-арсенопирит-кварцевой ассоциацией минералов. В ней выделяются 3–4 температурных интервала газовой выделения. Типоморфным является интервал 120–360°C с модой 290°C. Показатель его флюидоносности довольно высокий, достигает 33,82 усл. ед. Он включает выделенные ранее Н.А.Горячевым максимумы температур декрепитации кварца месторождений золото-кварцевой малосульфидной формации Яно-Колымского пояса ВКСО [2]. Второй интервал (400–500°C) выражен слабее и не во всех пробах (преимущественно в пробах с арсенопиритом). Третий интервал газовой выделения (540–600°C) с модой 570°C связан с  $\alpha$ - $\beta$ -трансформацией кварца. Показатель флюидоносности незначителен (0,27–0,67 усл. ед.). Четвёртый интервал (620–740°C) проявлен в отдельных образцах и обусловлен разложением карбонатных минералов. Отмечаются закономерные различия декрепитограмм кварца из верхнего (см. рис. 1, а) и нижнего (см. рис. 1, б) рудных тел. В кварце из верхнего рудного тела основное газовыделение начинается и заканчивается при более высоких температурах (140–360°C), чем в кварце из нижнего (100–320°C). Различается и флюидонасыщенность кварца, которая в верхнем рудном теле колеблется от 3,1 до 16,0, достигая иногда 33,8 усл. ед., а в нижнем не превышает 3 усл. ед.

Вторая группа декрепитограмм (см. рис. 1, в) получена в ходе изучения образцов кварц-карбонат-сульфидных гнездовых выделений, развитых в нижнем и верхнем рудных телах. Характерная их особенность – очень вялая декрепитационная активность в интервале температур от 20 до 400°C. Весьма слабое газовыделение начинается с 60–80°C и продолжается без ярко выраженных максимумов до 400°C. Интенсивность газовой выделения резко возрастает с 400 до 520°C, что вызвано разложением сульфидов, преимущественно пирротина и халькопирита. В пробах, где сульфиды отсутствуют, в этом интервале газовой выделения очень слабое. Высокотемпературный интервал интенсивного газовой выделения начинается с 540–620°C и связан с термическим разложением карбонатов. Широкие вариации температуры начала газовой выделения в этом интервале обусловлены вариациями в составе карбонатов.

Третья группа декрепитограмм (см. рис. 1, г) получена при исследовании образцов кварца, отобранных из участков месторождения, представленных галенит-сфалеритовой ассоциацией минера-

лов в чистом виде. На декрепитограммах отмечаются от трёх до четырёх интервалов газовой выделения. Первый интервал 60–280°C с максимумами газовой выделения при 190–210°C несколько смещён в низкотемпературную область по сравнению с низкотемпературным интервалом газовой выделения первой группы декрепитограмм. Показатель флюидоносности изменяется от 0,96 до 4,82 усл. ед. Второй интервал 330–520°C с максимумами газовой выделения при 400–470°C обусловлен присутствием кварца первой генерации. Показатель флюидоносности колеблется от 0,03 до 1,04 усл. ед. Третий интервал газовой выделения 520–600°C связан с  $\alpha$ - $\beta$ -трансформацией кварца. Его флюидоносность 0,12–0,36 усл. ед. Четвёртый интервал 580–680°C и более связан с разложением карбонатных минералов. В отдельных образцах он сливается с третьим интервалом, а иногда вообще отсутствует.

Четвёртая группа декрепитограмм (см. рис. 1, д) получена при исследовании образцов кварца, взятых из участков нижнего рудного тела с смещёнными пирит-арсенопирит-кварцевой и сфалерит-галенитовой ассоциациями. На декрепитограммах наблюдаются два основных интервала газовой выделения и два-три дополнительных, менее выраженных. Низкотемпературный интервал (50–120°C) связан с заключительными стадиями минералообразования. Второй интервал (180–320°C) с максимумом при 260–270°C является типоморфным для продуктивной ассоциации, но с некоторым смещением в низкотемпературную область. Показатель флюидоносности 2,88–3 усл. ед. соответствует таковому в образцах руд галенит-сфалеритовой ассоциации. Следующий интервал газовой выделения (380–520°C), типоморфный для пирит-арсенопиритовой ассоциации, на декрепитограммах четвёртой группы проявляется слабо. Интервал 500–680°C и более представляет собой слияние интервалов, обусловленных  $\alpha$ - $\beta$ -трансформацией кварца и разложением карбонатов.

На декрепитограммах пятой группы (см. рис. 1, е) в пробах кварца, отобранных из участков верхнего рудного тела с смещёнными пирит-арсенопирит-кварцевой и сфалерит-галенитовой ассоциациями, выделяются три-четыре интервала газовой выделения. Наиболее характерный интервал 120–340°C. В нём отмечаются два максимума газовой выделения: при 190–200 и 270–310°C. Он является отражением галенит-сфалеритовой ассоциации. Показатель флюидоносности в интервале для раз-

ных образцов варьирует от 3,56 до 12,66 усл. ед. Второй интервал газовой выделения (420–540°C) отражает существенное влияние кварц-пирит-арсенопиритовой ассоциации. Показатель флюидоносности 0,44–0,58 усл. ед. Третий интервал (560–600°C) связан с  $\alpha$ - $\beta$ -трансформацией кварца. На одних декрепитограммах он проявляется слабо, на других сливается со вторым и четвёртым интервалами. Последний – результат разложения карбонатов.

Таким образом, по декрепитограммам четвёртой и пятой групп, характеризующих однотипные минеральные ассоциации нижнего и верхнего рудных тел, подтверждается отмеченная выше закономерность увеличения температур начала и конца интервалов газовой выделения и их флюидонасыщенности от нижнего к верхнему рудным телам.

Для выявления связи золотоносности с показателем флюидоносности руд произведена выборка проб с различными содержаниями золота. По дубликатам этих проб сделаны термовакуумные декрепитограммы, на основании которых рассчитаны показатели флюидоносности в низко-среднетемпературном (20–400°C) и высокотемпературном (400–520°C) интервалах газовой выделения, суммарная флюидоносность. В результате выделены две группы проб (таблица).

Первая группа проб с общей флюидоносностью от 119,6 до 236,1 усл. ед., которая обусловлена в основном существенно повышенной флюидонасыщенностью высокотемпературного (400–520°C) интервала газовой выделения. Флюидоносность низкотемпературного интервала в группе крайне незначительная (0,4–3,3 усл. ед.). Содержание Au варьирует от 1,9 до 51,5 г/т. Вторая группа проб характеризуется небольшой общей флюидоносностью (1,1–33,8 усл. ед.), обусловленной флюидонасыщенностью низко-среднетемпературного интервала газовой выделения. В высокотемпературном интервале (400–520°C) газовой выделения практически отсутствует. Содержание Au в пробах <1,6 г/т.

Рассчитанные коэффициенты флюидоносности низко-среднетемпературных интервалов газовой выделения позволяют более чётко разделить эти две группы проб. В первой группе  $K_f$  составляет 0,2–1,4%, во второй – 90–100%. Из таблицы видно, что наибольшей золотоносностью (1,9–51,5 г/т) обладают руды, отнесённые по показателю  $F$  к первой группе. Пробы, отнесённые по этому показателю ко второй группе, характеризуются относительно низкими содержаниями Au (<1,6 г/т). Не исключе-

### СОПОСТАВЛЕНИЕ ФЛЮИДОНОСНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ГАЗОВОЙ ВЫДЕЛЕНИЯ И СОДЕРЖАНИЙ ЗОЛОТА В ЖИЛЬНОМ КВАРЦЕ ЕМЕЛЬЯНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

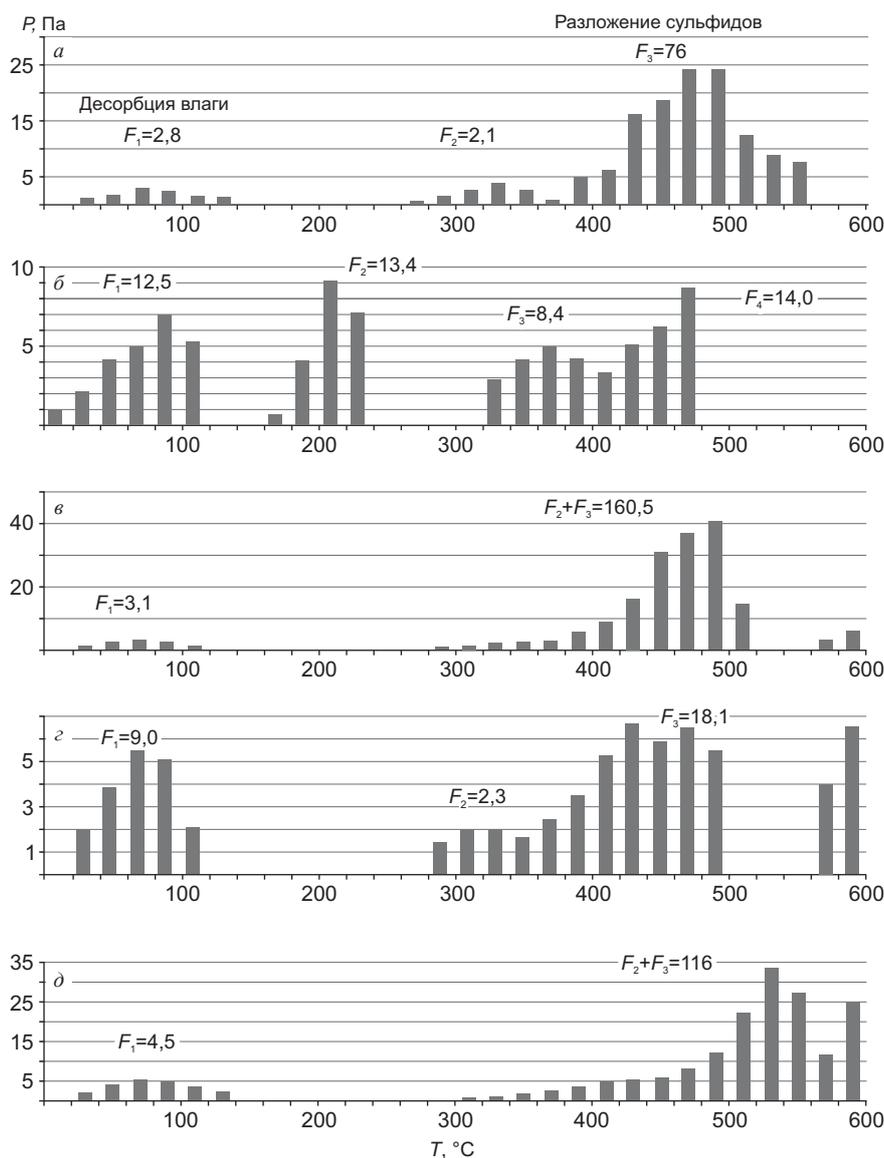
№№ п/п	$F_{20-400}$	$F_{400-520}$	$F_{\text{общ.}}$	$K_f$ , %	Au, г/т
1	0,8	98,4	99,2	0,8	51,5
2	0,8	118,0	119,6	0,7	21,6
3	3,3	232,8	236,1	1,4	6,8
4	1,5	188,0	189,6	0,8	3,0
5	0,4	191,9	192,3	0,2	1,9
6	2,9	0	2,9	100,0	1,6
7	1,0	0,1	1,1	90,0	1,3
8	33,8	0	33,8	100,0	0,4
9	3,6	0,1	3,7	97,0	0,1
10	4,8	0	4,8	100,0	0,1

но, что при большем объёме выборки может быть установлена более чёткая корреляционная зависимость между показателями флюидоносности и золотоносностью руд и выведено соответствующее уравнение регрессии.

Таким образом, пробам с повышенным содержанием золота свойственны высокая флюидоносность в высокотемпературном интервале газовой выделения (400–520°C) и незначительное газовой выделения в интервале температур 20–400°C.

*Результаты исследования вмещающих пород.* В целях выявления термобарогеохимических критериев прогноза и поисков золотого оруденения в песчано-сланцевых толщах изучены рудовмещающие породы в пределах Емельяновского месторождения и аналогичные породы на его юго-восточном фланге. Пробы для вакуумно-декрепитометрического анализа пород, не содержащих золотое оруденение, отбирались из скв. 21. Этой скважиной вскрыта толща филлитовидных углеродистых сланцев с двумя пластами рассланцованных, серицитизированных и альбитизированных песчаников. Нижний пласт песчаников мощностью около 12 м является продолжением пласта, в котором на площади Емельяновского рудного поля локализованы золоторудные тела. Верхний пласт песчаников также простирается в пределы данного рудного поля, но оруденения не содержит.

Филлитовидные сланцы имеют тёмно-серый до чёрного цвет, обусловленный существенной при-



**Рис. 2. ТИПОВЫЕ ДЕКРЕПИТОГРАММЫ ПОРОД ЕМЕЛЬЯНОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ:**

*а* – филлитовидный сланец; песчаники: *б* – из верхнего «безрудного» пласта, *в* – из нижнего рудовмещающего пласта за пределами месторождения (скв. 21), *г* – из рудовмещающего пласта (4 м от контакта с рудным телом), *д* – из рудовмещающего пласта (0,1 м от контакта с рудным телом)

месью рассеянного органического вещества. Типоморфной особенностью их является присутствие относительно крупных (1–2 мм) порфиروبласт карбонатов железо-магниевого ряда (бурых шпатов). Сланцы содержат редкую неравномерно рассеянную тонкую вкрапленность и прожилки пирита. Песчаники также тёмно-серого до чёрного цвета за счёт примеси рассеянного органического вещества. Содержат вкрапленность и редкие прожилки

пирита. Песчаники нижнего и верхнего пластов визуально не различаются.

В результате вакуумно-декрепитометрических исследований пород из скв. 21 выделились три группы декрепитограмм (рис. 2).

Первая группа декрепитограмм получена по филлитовидным сланцам (см. рис. 2, *а*). На всех гипсометрических уровнях декрепитограммы сланцев сходны между собой. На них чётко фиксируют-

ся четыре температурных интервала газовой выделение. В первом, низкотемпературном, интервале газовой выделение начинается при 40–20°C, достигает максимума при 70–110°C и заканчивается при 120–180°C. Показатель флюидоносности от 1,7 до 13,8 усл. ед. Во втором, среднетемпературном, интервале газовой выделение начинается при 280–300°C, достигает максимума при 310–350°C и при 380–400 °C сливается с началом газовой выделение третьего, высокотемпературного, интервала. Показатель флюидоносности этого интервала невысокий – от 0,2 до 2,1 усл. ед. Третий, высокотемпературный, интервал газовой выделение начинается при 380–400°C и заканчивается при 500–600°C, обычно 540–580°C. Максимум газовой выделение отмечается при 470–520°C. Флюидоносность этого интервала самая высокая – от 30,7 до 173,2 усл. ед. и, как правило, составляет 60–80 усл. ед. Четвёртый интервал газовой выделение начинается после 600°C и связан с разложением материала проб, прежде всего карбонатов и органического вещества.

Вторая группа декрепитограмм получена по образцам песчаника, отобранном из верхнего «безрудного» пласта (см. рис. 2, б). Здесь выделяются пять интервалов газовой выделение. Как и на декрепитограммах филлитовидных сланцев, обособливаются низкотемпературный (20–160°C), средне- и высокотемпературный интервалы, а также фиксируется газовой выделение при температуре >600°C, связанное с разложением материала пробы. Кроме того, появляется ещё один низкотемпературный интервал газовой выделение, который начинается при 180–200°C и заканчивается при 260°C. Показатель флюидоносности данного интервала колеблется от 6,9 до 13,4 усл. ед. Флюидоносность самого низкотемпературного интервала составляет 11,3–12,5 усл. ед.

Средне- и высокотемпературные интервалы в песчаниках имеют принципиально иную динамику газовой выделение, чем в филлитовидных сланцах. Во-первых, начало и конец среднетемпературного интервала на 40°C смещены в высокотемпературную область. Во-вторых, он характеризуется более высокой флюидоносностью по сравнению с аналогичным интервалом в филлитовидных сланцах, а высокотемпературный интервал имеет гораздо более низкую флюидоносность, соизмеримую со среднетемпературным интервалом газовой выделение. В целом декрепитограммы песчаников верхнего пласта отличаются полимодальностью и близостью

флюидоносности различных температурных интервалов газовой выделение.

Третья группа декрепитограмм получена по образцам песчаников, отобранных из нижнего рудовмещающего пласта (см. рис. 2, в). Динамика газовой выделение в них резко отличается от декрепитограмм песчаников из верхнего пласта и более сопоставима с газовой выделением филлитовидных сланцев. На декрепитограммах песчаников нижнего пласта наблюдаются три интервала газовой выделение, при этом средне- и высокотемпературные интервалы сливаются без какого-либо заметного перерыва. Газовой выделение в этом объединённом средне-высокотемпературном интервале начинается при температуре 280–320°C, заканчивается при 500–560°C. Флюидоносность довольно высокая, в основном за счёт высокотемпературной составляющей (от 64 до 180 усл. ед., в отдельных пробах 360–400 усл. ед.). Низкотемпературный интервал (от 20–40 до 140–180°C) проявлен довольно чётко, но флюидоносность его в среднем значительно ниже, чем в песчаниках верхнего пласта, и составляет 1,2–9,9 усл. ед. Третий интервал газовой выделение начинается при 530–600°C и связан, как и в других породах, с термическим разложением материала проб.

Для определения степени влияния оруденения на декрепитоактивность вмещающих пород на площади Емельяновского рудного поля были отобраны образцы песчаников на расстоянии от первых сантиметров до первых метров от рудных тел (см. рис. 2, г, д).

Характер декрепитограмм по образцам рудовмещающих пород, отобранным в пределах месторождения, несколько отличается от таковых по образцам песчаников из того же рудовмещающего пласта, взятым из скв. 21, расположенной за пределами месторождения. В образцах песчаников, отобранных в нескольких метрах от контактов рудных тел, установлены четыре интервала газовой выделение (см. рис. 2, з). Низкотемпературный интервал, типоморфный для всех изученных пород, отличается средней степенью флюидоносности (3,0–9,0 усл. ед.). Максимальное газовой выделение происходит при 90°C. Среднетемпературный интервал (от 280–300 до 380°C), в отличие от аналогичного интервала в песчаниках из скв. 21, имеет чёткий максимум газовой выделение при 340–350°C. Показатель флюидоносности его 0,8–3,0 усл. ед. Высокотемпературный интервал газовой выделение начинается при 380°C, ко-

гда газовыделение в среднетемпературном интервале ещё продолжается, и заканчивается при 520–540°C. Флюидоносность этого интервала 7,0–20,0 усл. ед., т. е. значительно ниже, чем подобного интервала в песчаниках за пределами рудного поля.

Образцы песчаников, отобранные в непосредственной близости, на расстоянии первых сантиметров от рудных тел, отличаются от вышеописанных по характеру декрепитометрической активности (см. рис. 2, д). Низкотемпературный интервал газовыделения в них несколько растянут до 200°C, а флюидоносность уменьшается. Среднетемпературный интервал газовыделения начинается при более высоких температурах (320–360°C) и сразу сливается с высокотемпературным интервалом. Газовыделение заканчивается здесь при более высоких температурах (560–600°C); также в более высокотемпературную область смещается максимум газовыделения (530–550°C).

Таким образом, при приближении к рудным телам отмечаются заметное уменьшение в рудовмещающих песчаниках флюидоносности низкотемпературного интервала газовыделения, резкое ослабление газовыделения в среднетемпературном интервале и усиление газовыделения в высокотемпературной области.

В заключение сделаем следующие выводы.

1. Вертикальная зональность оруденения проявляется в показателях температур начала и окончания газовыделения в кварце, которые в верхнем рудном теле на 20–40°C выше, чем в нижнем. Соответствующим образом смещены и модальные значения. Одновременно увеличивается флюидоносность кварца верхнего рудного тела относительно кварца нижнего тела.

2. Повышенные содержания золота в кварцево-жильных рудах коррелируются с повышенной флюидоносностью высокотемпературного интервала газовыделения (400–520°C) в продуктивном кварце с одновременно незначительным газовыделением в интервале температур 20–400°C. При этом намечается тенденция к увеличению содержания золота в рудах с уменьшением флюидоносности низкотемпературного интервала газовыделения.

3. Критерием оценки потенциальной рудоносности пластов песчаника служит характер их декрепитоактивности. Песчаникам «безрудных» пластов свойственна полимодальность газовыделения, в то время как в рудовмещающих песчаниках газо-

выделение имеет бимодальный характер. Для «безрудных» песчаников характерно газовыделение в интервале 180–260°C. В рудовмещающих песчаниках газовыделение в этом интервале практически отсутствует. Флюидоносность низкотемпературного интервала газовыделения в «безрудных» песчаниках значительно выше, чем в аналогичном интервале рудовмещающих пород.

4. Критерий близости рудных тел – флюидоносность соответствующих интервалов газовыделения рудовмещающих песчаников. В пределах рудного поля она закономерно изменяется при приближении к контактам рудных тел. Непосредственно на контакте с золотоносными кварцевыми жилами флюидоносность низкотемпературного интервала газовыделения (40–160°C) заметно уменьшается, в среднетемпературном (160–400°C) газовыделение вообще исчезает. Одновременно увеличивается флюидоносность высокотемпературного (400–560°C) интервала газовыделения.

5. Полученные результаты могут быть использованы в качестве научно-методической основы разработки новых методов оценки флангов и глубоких горизонтов известных золоторудных месторождений малосульфидной формации кварцево-жильного типа и обоснования новых перспективных площадей для постановки поисковых работ.

*Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ЮНЦ РАН на 2019 г., номер госрегистрации проекта АААА-А19-119011190181-1.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гамянин Г.Н.* Минералого-генетические аспекты золотого оруденения Верхояно-Колымских мезозоид. – М.: ГЕОС, 2001.
2. *Горячев Н.А.* Жильный кварц золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1992.
3. *Кокин А.В., Сухоруков В.И., Шишигин П.Р.* Региональная геохимия (Южное Верхоянье). – Ростов-на-Дону: ООО Ростиздат, 1999.
4. *Мирзеханов Г.С., Мирзеханова З.Г.* Стратифицированное золото-кварцевое оруденение углеродисто-терригенных толщ Южного Верхоянья. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1991.
5. *Парада С.Г.* Генетические модели предрудных золотоносных минерализаций в черносланцевых комп-

- лексах Северного Кавказа // Вестн. Южного научного центра РАН. 2015. Т. 11. № 2. С. 53–62.
6. Парада С.Г. О литогенной природе некоторых золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах // Литология и полезные ископаемые. 2002. № 3. С. 275–288.
  7. Силичев М.К., Белозерцева Н.В. Время и условия формирования согласных золотокварцевых жил Южного Верхоянья // Тихоокеанская геология. 1985. № 4. С. 52–57.
  8. Труфанов В.Н., Грановский А.Г., Грановская Н.В. Прикладная термобарогеохимия. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1992.
  9. Фридовский В.Ю. Структуры раннеколлизонных золоторудных месторождений Верхоянского складчато-надвигового пояса // Тихоокеанская геология. 1998. Т. 17. № 6. С. 26–36.
  10. Хардииков А.Э., Парада С.Г., Холодная И.А. Литолого-фациальные условия золотоносности верхнепермских отложений Аян-Юряхского антиклинория Яно-Колымской складчатой области // Руды и металлы. 2009. № 3. С. 22–28.
  11. Холодов В.Н., Шмариович Е.М. Рудогенерирующие процессы элизионных и инфильтрационных систем // Геология рудных месторождений. 1992. № 1. С. 3–22.
  12. Чекваидзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З. Комплексная петрографо-минералого-геохимическая методика поисков золоторудных месторождений. – М.: «Бородино-Е», 2014.

## EXPERIENCE OF GOLD-BEARING QUARTZ VEIN AND HOST ROCK STUDY BY THERMOVACUUM DECREPITATION

**S.G.Parada**  
(FSBIS Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don)

*Thermovacuum decrepitation method was used to study quartz vein ores and terrigenous host rocks of Emel'yanovskoye gold deposit (North Verkhoyansk region) as a single system. Data on temperature ranges of gas emission (fluid content) intensity in quartz are correlated with gold ore grades and allow to outline vertical mineralization zoning. It was found that ore-hosting sandstone strata differ from «barren» ones by the nature of their decrepitation activity. In ore-hosting sandstones, fluid content of certain gas emission temperature ranges regularly changes as it approaches orebody contacts. The results can be used as a scientific and methodical basis for developing new methods of sandstone/shale-hosted gold-bearing quartz vein prospecting and estimation.*

*Keywords: thermobarogeochemistry, decrepitation, temperature, fluid content, quartz, ore, gold, host rock, sandstone.*

## ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

Журнал «Руды и металлы» приглашает к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов

По вопросам размещения рекламы или издания целевого номера, посвящённого вашему предприятию, организации, её продукции и услугам обращаться по телефону 8 (495) 315-28-47 или электронной почте [rudandmet@tsnigri.ru](mailto:rudandmet@tsnigri.ru)

Реклама по заказам отраслевых организаций и высших учебных заведений выполняется по льготным расценкам

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВИЗИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РУДЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДРОБЛЕНИЯ**

*Нестабильность физико-механических свойств руд приводит к резким колебаниям процесса рудоподготовки, заключающимся в чередовании режимов недогрузки и перегрузки тракта дробления. Для разработки систем автоматического регулирования замкнутого цикла дробление-грохочение необходимо оперативное измерение параметров гранулометрического состава руды. На горно-обогатительном комбинате «Эрдэнэт» для визиометрического контроля гранулометрического состава руды установлен и испытан видеодатчик системы «ГРАНИКС». Результаты промышленных испытаний показали, что относительная погрешность измерений по отдельным классам крупности дроблёной руды составляет от 2,67 до 7,51%. Предложенный алгоритм управления процессом дробления включает измерение гранулометрического состава руды и потребляемой мощности привода дробилки, регулирование нагрузки на передел дробления в замкнутом цикле и ширины разгрузочной щели дробилки. Система позволяет оптимизировать процесс дробления по критериям выход продуктивного класса, эффективность грохочения и циркулирующая нагрузка, получить дроблёный продукт заданной крупности, а также увеличить производительность отделения дробления и сократить удельный расход электроэнергии на общий процесс рудоподготовки.*

*Ключевые слова: дробление, грохочение, гранулометрический состав, визиометрический анализ, автоматизированное управление, циркулирующая нагрузка, эффективность грохочения, продуктивный класс, производительность, ширина разгрузочной щели.*

Месторождение Эрдэнэтийн-Овоо характеризуется вертикальной зональностью, выраженной в проявлении зон окисления и вторичного оруденения по линиям разломов, проходящим через всё рудное тело. Коэффициент крепости руд и пород колеблется в диапазоне 8–15 ед. по шкале проф. Протодряконова. Индекс Бонда варьирует в интервале 8–14 кВт·ч/т. Нестабильность физико-механических свойств перерабатываемых руд обуславливает резкие колебания процесса дробления, заключающиеся в чередовании режимов недогрузки и перегрузки тракта дробления [2, 3]. В отсутствие автоматического регулирования процесса дробления всё это ведёт к снижению производительности передела и увеличению удельного расхода электроэнергии [5]. Для разработки систем автоматического регулирования замкнутого цикла дробление-грохочение необходимы создание систем оперативного измерения параметров гранулометрического состава руды, расширение базы знаний о закономерностях процесса и выбор алгоритмов управления [6, 7].



**Хурэлчулуун  
Ишгэн<sup>1</sup>**

ведущий специалист по АСУТП  
khurelchuluun@erdenetmc.mn

**Морозов  
Валерий Валентинович<sup>2</sup>**

доктор технических наук  
профессор кафедры общей  
и неорганической химии  
dchmgsu@mail.ru

**Николаева  
Татьяна Сергеевна<sup>2</sup>**

кандидат технических наук  
доцент кафедры обогащения и переработки  
полезных ископаемых и техногенного сырья  
tnikolayeva@mail.ru

**Круглов  
Василий Николаевич<sup>3</sup>**

кандидат технических наук  
доцент Института радиоэлектроники  
и информационных технологий  
v.krougllov@mail.ru

<sup>1</sup> КОО «Предприятие «Эрдэнэт»,  
г. Эрдэнэт, Монголия

<sup>2</sup> Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС»,  
г. Москва

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный  
Университет имени первого  
Президента России Б.Н.Ельцина»,  
г. Екатеринбург



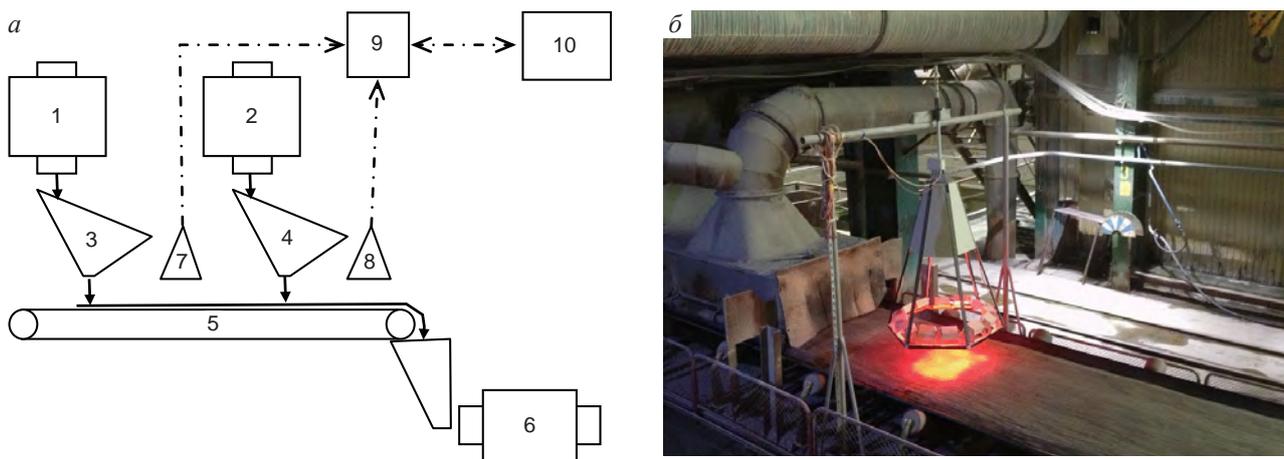


Рис. 1. СХЕМА (а) И ОБЩИЙ ВИД (б) УСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ ВИДЕОАНАЛИЗАТОРА «ГРАНИКС»:

1, 2 – дробилки; 3, 4 – грохоты; 5 – конвейер; 6 – барабанная мельница; 7, 8 – устройства съёма видеоизображений; 9 – процессор; 10 – сервер

Разработка методик визиометрического анализа гранулометрического состава дроблёной руды. Методы визиометрического анализа руды при рудоподготовке находят всё большее применение на горно-обогатительных предприятиях. Наряду с определением сортности руды [6], они решают задачу измерения её гранулометрического состава [11, 14, 15]. На обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт» в дробильно-транспортном отделении (ДТО) подготовка руды осуществляется на нескольких каскадах дробилок и грохотов. Подрешётный продукт – дроблёная руда – поступает на сборный конвейер. Для контроля гранулометрического состава дроблёной руды применялся визиометрический анализатор «ГРАНИКС» (рис. 1). Он устанавливался над конвейером (5) и обеспечивал контроль гранулометрического состава подрешётного продукта грохотов (3, 4).

При функционировании визиометрического анализатора информация от устройств съёма видеоизображений (7, 8) передавалась в процессор (9), где проводились распознавание изображения и расчёт гранулометрического состава продукта по встроенной программе системы «ГРАНИКС» (разработчик программного обеспечения Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина) [9]. В алгоритме обработки изображений, промежуточные стадии которого представлены на рис. 2, использовались процедуры гистограммной обработки изображений, пороговой бинаризации полутоновых участков, простран-

ственной фильтрации изображений, выделения контуров, визуализации результатов сегментации, расчёта гистограмм распределения крупности [4, 12].

К решению задачи сегментации кусков на изображении применён относительно новый подход – метод водораздела. Принцип метода и шаги алгоритма сегментации описаны в работе [13]. Для получения интегральных и дифференциальных кривых распределения продуктов грохочения по классам крупности использовалось интерполирующее уравнение в виде  $\gamma$ -функции.

Для оценки ошибки измерений, полученных при использовании анализатора «ГРАНИКС», проведены эксперименты на дробилке КМД-3000Т2-ДП, работавшей при переменной нагрузке. Согласно программе испытаний, в заданный момент времени отбирались пробы из потока руды на конвейере. Одновременно были записаны 136 видеоизображений. В Центральной исследовательской лаборатории ГОКа производился рассев проб, в ходе которого были получены значения выходов проб классов крупности +15, -15+12, -12+10, -10+6, -6+2 и -2 мм. Выход проб класса -2 мм визиометрическим анализом не определялся, а рассчитывался по корреляционному соотношению между выходами проб классов -6 и -2 мм, установленному по результатам ситового анализа.

Сравнение показаний системы «ГРАНИКС» и лабораторных данных позволило оценить достоверность анализа с использованием видеоанализатора по отдельным классам крупности (табл. 1).

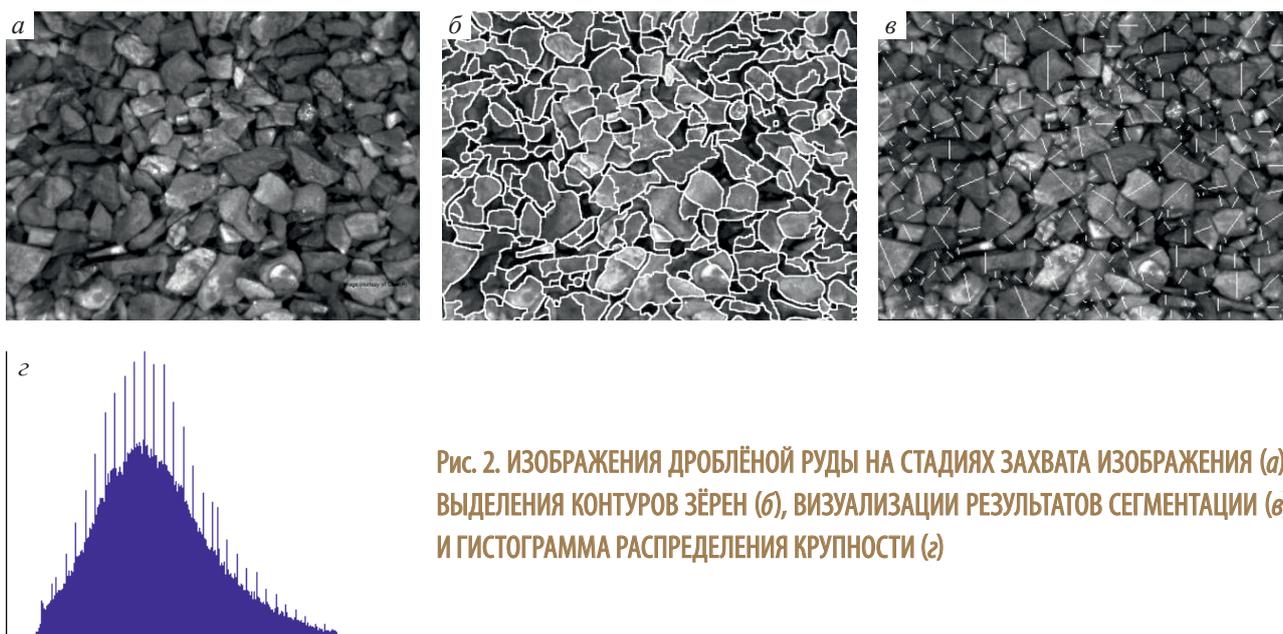


Рис. 2. ИЗОБРАЖЕНИЯ ДРОБЛЁНОЙ РУДЫ НА СТАДИЯХ ЗАХВАТА ИЗОБРАЖЕНИЯ (а), ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ ЗЁРЕН (б), ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕГМЕНТАЦИИ (в) И ГИСТОГРАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КРУПНОСТИ (г)

### 1. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУДЫ ПО ПОКАЗАНИЯМ СИСТЕМЫ «ГРАНИКС» И ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНОГО АНАЛИЗА

Классы, мм	Выход класса по данным визиометрического анализа на конвейере, %			Выход класса по данным анализа рассевом, %			Ошибка визиометрических измерений относительно данных отсева, %
	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.	ср.	
+15	2,6	3,7	3,2	2,3	3,2	2,95	5,30
+12-15	7,3	9,7	8,4	7,2	9,4	8,45	2,81
+10-12	9,4	11,3	10,5	9,3	11,9	9,4	3,32
+6-10	19,1	22,5	20,8	19,0	22,9	20,9	2,67
-6	53,8	61,6	57,7	49,8	62,1	57,9	7,51

Средняя ошибка визиометрических измерений относительно данных отсева рассчитывалась как среднеквадратичные отклонения выходов классов, отнесённые к выходам отдельных классов крупности, измеренных методом отсева для каждой анализируемой пробы. Следует отметить, что для класса крупности -6 мм при весьма точном совпадении средних значений выходов классов для 136 измерений (57,7 и 57,9%) среднеквадратичное отклонение результатов частных измерений визиометрическим методом и методом отсева наибольшее (7,51%).

Как показали результаты анализа, относительные расхождения в измерениях (коэффициент вариации КВ) составляют по классам крупности от 2,67 до 7,51%. Проведённые испытания выявили, что визиометрический анализ руды на конвейере наи-

менее точно отражает выход мелких классов, находящихся в агрегированном состоянии (КВ=7,5%).

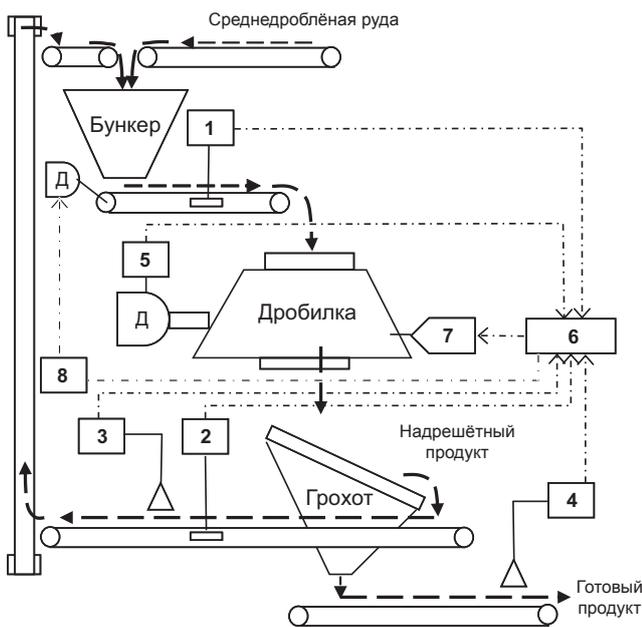
Для визиометрического анализа гранулометрического состава руд класса -2 мм был применён метод сравнительной оценки. Результаты лабораторного гранулометрического анализа позволили установить тесную связь между выходами классов -6 мм и -2 мм. Высокий коэффициент корреляции (0,94) дал возможность использовать полученное корреляционное соотношение для расчёта выхода классов -2, -6+2 и -10+2 мм.

Для повышения точности анализа применялся специальный режим визиометрического анализа, предусматривающий последовательное включение-выключение питающих конвейеров дробилок и самих дробилок (рис. 3), за счёт чего обеспечивалось поступление в зону измерений в каждый



**Рис. 3. АЛГОРИТМ РАБОТЫ ДРОБИЛОК, КОНВЕЙЕРОВ (1–6) И АНАЛИЗАТОРА (А) ПРИ ВИЗИОМЕТРИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ДРОБЛЁНОЙ РУДЫ:**

$\tau_p$  – интервал времени переходного процесса;  $\tau$  – включено



**Рис. 4. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ДРОБЛЕНИЯ И ГРОХОЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОПЕРАТИВНОГО ВИЗИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРОДУКТОВ И РАСХОДА ЭНЕРГИИ:**

1, 2 – конвейерные весы; 3, 4 – визиометрические анализаторы гранулометрического состава; 5 – датчик электрической мощности; 6 – процессор; 7 – регулятор ширины разгрузочной щели; 8 – регулятор расхода руды; Д – электродвигатель

момент времени дроблёного продукта лишь с одной дробилки.

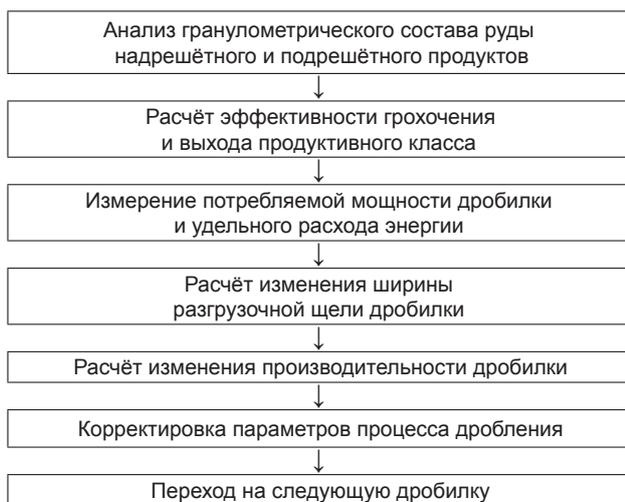
Дискретный режим подачи разгрузки дробилки и мелкого класса грохочения на операцию визиометрического анализа создаёт условия для более точного анализа крупности дроблёной руды. Предложенный режим не приводит к снижению производительности дробильного отделения, поскольку в этот промежуток времени проводится плановое обслуживание оборудования. Общая продолжительность анализа крупности руды от шести дробилок составила 12 мин.

*Разработка и испытания системы автоматического регулирования процесса дробления.* Для оптимизационного управления процессами дробления-грохочения необходимо использовать параметр, отражающий эффективность всех процессов в целом и по отдельности. В качестве такого параметра предлагаются эффективность грохочения по заданному классу и выход продуктивного класса после корректировки и адаптации к новым условиям, прежде всего к ведению процесса мелкого дробления в замкнутом цикле [2, 3].

Критерием действенности процесса грохочения может служить эффективность грохочения по классу  $-12+10$  мм. Выбор этого интервала крупности обусловлен тем, что класс считается «подрешётным», однако лежит в интервале критического класса [1, 8]. Поэтому данный критерий наиболее чутко реагирует на ухудшение условий процесса грохочения.

В качестве дополнительного параметра оптимизации процесса дробления предлагается использовать критерий, называемый выход продуктивного класса в дроблёной руде, под которым понимается фракция  $+2-10$  мм. Такой критерий является комплексным, адаптированным к условиям замкнутого цикла дробление-грохочение и позволяет вести процесс в режиме, предупреждающем чрезмерный выход крупных и мелких классов дроблёной руды.

Для обоснования выбранного критерия проведены дополнительные исследования. Дробилка мелкого дробления испытывалась в открытом и закрытом циклах с операцией проверочного грохочения в широком диапазоне производительности (от 350 до 550 т/ч). Зависимость выхода продуктивного класса дроблёной руды ( $+2-10$  мм) от ширины разгрузочной щели характеризуется наличием максимума. Увеличение последней ( $>8,5$  мм) при-



**Рис. 5. АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДРОБЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РУДЫ И ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ДРОБЛЕНИЕ**

водит к уменьшению выхода продуктивного класса вследствие роста выхода класса +10 мм, уменьшение (<7,5 мм) способствует увеличению выхода класса -2 мм.

Анализ полученных данных показал, что ведение процесса дробления в замкнутом цикле позволяет получить продукт, характеризующийся максимальным выходом продуктивного класса при разгрузочной щели 7,5–8,5 мм.

Алгоритм управления процессом дробления предполагает измерение вышеописанных параметров руды и работы дробилок, регулирование нагрузки на передел дробления в замкнутом цикле и ширины разгрузочной щели дробилки [10].

Разработанная система оперативного управления процессами дробления и грохочения (рис. 4) включает весы (1, 2) на конвейерах подачи исходного питания и возврата надрешётного продукта грохочения, визиометрические анализаторы (3, 4) на конвейерах готового класса и возврата надрешётного продукта, датчик потребляемой мощности дробилки мелкого дробления (5) и блок управления (6).

Управление процессом дробления по данным оперативного анализа гранулометрического состава руды предусматривает анализ гранулометрического состава надрешётного и подрешётного продуктов, расчёт балансов по классам крупнос-

ти, расчёт эффективности грохочения по контрольному классу, расчёт выхода продуктивного класса (рис. 5).

Одновременно в процессор видеоанализатора поступает сигнал, характеризующий электрическую мощность, потребляемую приводом дробилки. Затем устанавливаются рекомендуемая корректировка ширины разгрузочной щели и производительность дробилки (см. рис. 5). Временной интервал корректировки параметров процесса дробления определяется общим состоянием показателей. Корректировка проводится не реже одного раза в смену.

При реализации алгоритма модель-ориентированного автоматизированного управления процессом дробления производится расчёт оптимальных изменений основных технологических параметров – производительности и ширины разгрузочной щели. Регулирование осуществляется на двух уровнях. Иллюстрация используемого алгоритма приведена в табл. 2, представляющей собой базу данных для выбора решения по изменению производительности дробилки в зависимости от измеренных параметров процесса – эффективности грохочения по классу -12+10 мм и удельной потребляемой мощности в процессе дробления. Выбор оптимальной ширины разгрузочной щели дробилки производится по выходу продуктивного класса и циркулирующей нагрузке.

Разработанная система модель-ориентированного управления процессом дробления испытана в промышленных условиях на обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт». Результаты испытаний показали, что система управления процессом дробле-

**2. ВЫБОР УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРОБИЛКИ С УЧЁТОМ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРОХОЧЕНИЯ И ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ПРИВОДА ДРОБИЛКИ**

Потребляемая мощность, кВт·ч/т	Эффективность грохочения по классу -12+10 мм, %				
	<60	60–65	65–70	70–75	>75
>0,85	-10	-7,5	-5	-2,5	0
0,825–0,85	-7,5	-5	-2,5	0	+2,5
0,80–0,825	-5	-2,5	0	+2,5	+5
0,775–0,80	-2,5	0	+2,5	+5	+7,5
<0,775	0	+2,5	+5	+7,5	+10

### 3. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЦЕХА ДРОБЛЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ РУДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Режимы регулирования	Производительность на одну дробилку, т/ч	Расход энергии на мелкое дробление, кВт·ч/т	Расход энергии на измельчение, кВт·ч/т	Выход класса -12 мм в дроблёной руде, %	Выход класса -74 мкм в измельчённой руде, %
С периодической подтяжкой разгрузочной щели (базовый вариант)	440	0,80	4,19	95,5	64,5
С регулированием производительности дробилки по данным визиометрического анализа гранулометрического состава	465	0,81	4,06	95,6	64,6

ния с использованием визиометрического контроля крупности дроблёной руды и потребляемой энергии позволяет реализовать способ оптимизации процесса дробления по критериям выход продуктивного класса, эффективность грохочения, циркулирующая нагрузка и получить дроблённый продукт заданной крупности (95% класса -12 мм). Использование системы способствует увеличению производительности передела на 5,7% и сокращению удельного расхода электроэнергии на общий процесс рудоподготовки на 0,12 кВт·ч/т (табл. 3).

Таким образом, разработана система визиометрического анализа гранулометрического состава дроблёной руды. Выбраны критерии оптимизации процесса дробления в замкнутом цикле: циркули-

рующая нагрузка, грохочение, выход продуктивного класса и затраты энергии на дробление руды. Созданы система и программный модуль управления технологическими процессами дробления и грохочения на основе оперативного визиометрического измерения и анализа гранулометрического состава продуктов и расхода энергии путём регулирования ширины разгрузочной щели дробилки и её производительности. Промышленными испытаниями показано, что использование разработанной системы управления процессом дробления даёт возможность увеличить производительность передела на 5,7% и сократить удельный расход электроэнергии на общий процесс рудоподготовки на 2,8%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вайсберг Л.А.* Теоретические основы грохочения. Учебное пособие. – СПб.: СПбГГИ (технический университет), 2003.
2. *Ганбаатар З., Гээгт Ш., Дэлгэрбат Л.* Совершенствование рудоподготовки медно-молибденовых руд // Обогащение руд. 2003. № 4. С. 3–5.
3. *Ганбаатар З., Дэлгэрбат Л.* Результаты разработки и внедрения автоматизированной агрегатно-технологической системы управления работой дробилки КМД-3000Т2-ДП // Сб. докл. расширенного заседания Междунар. науч.-практ. конф. «Новые решения в технике и технологии добычи и переработки руд». Эрдэнэт, 2002. С. 255–259.
4. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005.
5. *Губин С.Л.* Способ управления процессом дробления // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2002. № 1. С. 11–13.
6. *Даваасамбу Д., Эрдэнэцогт Д., Хурэлчулуун Ишген.* Оптимизация процессов дробления и измельчения медно-молибденовых руд на основе применения оптических методов анализа // Тр. X Конгресса обогащителей стран СНГ. М., 2015. С. 145–149.
7. *Морозов В.В., Улитенко К.Я., Ганбаатар З., Дэлгэрбат Л.* Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых. – М.: ИД «Руда и Металлы», 2013.
8. *Пелевин А.Е.* Вероятность прохождения частиц через сито и процесс сегрегации на вибрационном грохоте // Изв. вузов. «Горный журнал». 2011. № 1. С. 119–129.
9. *Хурэлчулуун Ишген, Круглов В.Н.* Промышленные испытания и модернизация системы измерения крупности дробленной руды «ГРАНИКС» // Тр. Междунар. конф. «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург, 2016. С. 118–121.

10. Хурэлчулуун Ишген, Морозов В.В. Оптимизация дробления медно-молибденовой руды в замкнутом цикле // Тр. Междунар. конф. «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья. Екатеринбург, 2018. С. 6–10.
11. Andersson T., Thurley M.J., Carlson J.E. A machine vision system for estimation of size distributions by weight of limestone particles // Minerals Engineering. 2011. Vol. 25. P. 38–46.
12. Junker B. Measurement of bubble and pellet size distributions: past and current image analysis technology // Bioprocess and Biosystems Engineering. 2006. Vol. 29. P. 185–206.
13. Maiti Abhik, Chakravarty Debashish, Biswas Kousik, Halder Arpan. Development of a mass model in estimating weight-wise particle size distribution using digital image processing // International Journal of Mining Science and Technology. 2017. Vol. 27. P. 435–443.
14. Zhang Z., Yang J., Dou D. A surface probability model for estimation of size distribution on a conveyor belt // Physicochemical Problems of Mineral Processing. 2014. Vol. 50 (2). P. 591–605.
15. Zhang Z., Yang J., Ding L., Zhao Y. Estimation of coal particle size distribution by image segmentation // International Journal of Mining Science and Technology. 2012. Vol. 22 (5). P. 739–744.

## USE OF VISIOMETRIC ANALYSIS OF GRANULOMETRIC ORE COMPOSITION FOR AUTOMATED CRUSHING CONTROL

Hurelchuluun Ishgen<sup>1</sup>, V.V.Morozov<sup>2</sup>, T.S.Nikolaeva<sup>2</sup>, V.N.Kruglov<sup>3</sup>  
 (1Erdenet enterprise, Erdenet, Mongolia; 2National Research Technological University MISiS, Moscow; 3B.N.Yeltsin Yural Federal University, Ekaterinburg)

*Instability of physicommechanical ore properties leads to significant variations of ore preparation including alternation of underloading and overloading modes within crushing process. To develop automatic control systems for a closed crushing/screening cycle, timely measurement of granulometric ore composition parameters is required. GRANIX videosensor was installed and tested at the Erdenet mine/mill plant for granulometric ore composition visiometric control. Commercial test results suggested that relative measurement error for separate crushed ore sizes is 2,67%-7,51%. The proposed algorithm of crushing control includes measuring granulometric ore composition and power consumption of a crusher drive, controlling loading on crushing in a closed cycle and width of a crusher discharge slit. The system allows to optimize crushing by certain criteria (product yield, screening efficiency and circulating loading), obtain preset-size crushed product, increase crushing unit capacity and reduce specific energy consumption for the entire ore preparation process.*

*Keywords: crushing, screening, granulometric composition, visiometric analysis, automated control, circulating loading, screening efficiency, productive class, capacity, width of a discharge slit.*



## НЕДРА 2019. ИЗУЧЕНИЕ. РАЗВЕДКА. ДОБЫЧА

выставка / 1 - 2 апреля 2019 года / МГРИ-РГГРУ

Коммуникационная площадка для обсуждения актуальных вопросов взаимодействия государства и бизнеса в сфере недропользования и инвестиционной привлекательности юниорных геологоразведочных компаний



16 февраля 2019 г. исполнилось 60 лет кандидату геолого-минералогических наук, ведущему научному сотруднику отдела международного сотрудничества ЦНИГРИ **Гирфанову Михаилу Миргалимовичу**.

М.М.Гирфанов – один из ведущих специалистов по поискам, оценке и разведке месторождений цветных и благородных металлов. После окончания в 1981 г. геологического факультета МГУ трудился в Норильской комплексной геологоразведочной экспедиции. С 1984 г. работает в ЦНИГРИ, где занимается изучением геологии, минералогии и геохимии медно-порфировых месторождений Западной Чукотки, Казахстана, Средней Азии и Южного Урала. Материалы исследований, направленных на совершенствование поисковых и оценочных критериев медно-порфирового оруденения в пределах рудных полей и создание их поисковых моделей, легли в основу защищённой им в 1993 г. кандидатской диссертации.

С 1997 г. М.М.Гирфанов возглавляет группу специалистов по комплексному изучению золоторудных месторождений Полярного Урала (Новогоднее-Монто, Петропавловское). При непосредственном его участии и под его руководством регулярно велись полевые работы в сложных условиях Полярного Урала, подготавливались прогнозные и геологические карты, детальные крупномасштабные планы и разрезы названных выше месторождений. Совместно с полярноуральскими геологами им обеспечена подготовка геологических основ подсчёта запасов золота по этим объектам. С 2002 г. в рамках выполнения Госзаказа по научно-методическому сопровождению геологоразведочных работ М.М.Гирфанов обеспечивает подготовку заключений о ходе и качестве ГРП на золото, осуществляемых за счёт федерального бюджета на территории Республики Коми и ЯНАО. При его участии обоснована необходимость проведения геологоразведочных работ, способствующих расширению минерально-сырьевой базы меди на Чукотке.

В 2018 г. в рамках выполнения Госзадания М.М.Гирфанов подготовил обзоры по состоянию МСБ ряда зарубежных стран, а также по ведущим горнорудным мировым компаниям-лидерам. В качестве одного из представителей Федерального агентства по недропользованию принял участие в заседании Подкомиссии по сотрудничеству в области промышленности и торговли Межправительственной Российско-Венесуэльской комиссии, где достигнута договорённость о возможности передачи в распоряжение Роснедра имеющихся у венесуэльской стороны рабочих материалов. Для оказания содействия зарубежным коллегам под руководством М.М.Гирфанова были проведены рекогносцировочные работы в пределах Республики Мавритания, имеющие практическое и научно-методическое значение.

Результаты исследований М.М.Гирфанова отражены в многочисленных научных отчётах и публикациях. За многолетний плодотворный труд он награждён знаком «Отличник разведки недр», Почётной грамотой Министерства природных ресурсов, грамотами ЦНИГРИ.

Поздравляем Михаила Миргалимовича Гирфанова с юбилеем, желаем крепкого здоровья, счастья, больших творческих успехов.

*Дирекция ЦНИГРИ  
Учёный совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*

## СПИСОК СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «РУДЫ И МЕТАЛЛЫ» В 2018 г.

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

**Корчагина Д.А.**

Минерально-сырьевая база свинца и цинка Забайкальского края. № 3. С. 4–15.

**Серавина Т.В., Кузнецов В.В.**

Опыт и результаты прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений (2009–2017 гг.). № 3. С. 16–25.

### ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ

**Антипин И.Ин., Антипин И.И.**

Среднемасштабное алмазопрогнозирование на примере Центрально-Сибирской субпровинции. № 1. С. 4–10.

**Горошко М.В., Гильманова Г.З.**

Ураноносность зон структурно-стратиграфических несогласий между платформенными и метаморфическими образованиями Идюмо-Хайканского купола Алданского щита. № 2. С. 14–24.

**Грошев Н.Ю., Припачкин П.В.**

К вопросу о геологической позиции и платиноносности массива Габбро-10, Мончегорский комплекс, Кольский регион. № 4. С. 4–13.

**Проценко Е.В., Толстов А.В., Горев Н.И.**

Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазности Якутии. № 4. С. 14–23.

**Устинов В.Н., Антащук М.Г., Загайный А.К., Кукуй И.М.,**

**Лобкова Л.П., Микоев И.И., Антонов С.А.**

Перспективы выявления месторождений алмазов на севере Восточно-Европейской платформы. № 1. С. 11–26.

**Чекваидзе В.Б., Исакович И.З.**

Минерагенические особенности термодегидратационных бассейнов юго-востока Русской платформы. № 3. С. 26–30.

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

**Голуб В.Н., Каримов Э.В.**

Прогнозная оценка Бургагылканского золото-серебряного рудопоявления с применением методики блочного моделирования. № 2. С. 25–34.

**Кукушкин К.А., Терехов А.В., Молчанов А.В., Козлов Д.С.,**

**Соловьёв О.Л., Титов Д.Ю., Хорохорина Е.И.**

Геология и рудоносность Угуйской и Олдонгсинской структур Чаро-Олёкминского блока Алданского щита (по материалам ГДП-200). № 3. С. 31–39.

**Мансуров Р.Х.**

Новый тип крупнообъёмной золотой минерализации на Енисейском кряже. № 4. С. 24–36.

**Микоев И.И.**

Наземные геофизические исследования при поисках кимберлитовых тел: результаты и эффективность в различных поисковых обстановках. № 3. С. 40–46.

**Миляев С.А., Чекваидзе В.Б., Исакович И.З.**

Петрографо-минералого-геохимические индикаторы золоторудных месторождений и их поисково-оценочное значение (на примере Наталкинского рудного поля, Северо-Восток России). № 3. С. 47–54.

**Мишенин С.Г., Дак А.И., Мальковец В.Г., Утюпин Ю.В.,**

**Яворская Г.З., Яныгин Ю.Т.**

Проблемы организации и производства опережающих геолого-геофизических и прогнозно-минерагенических исследований в отдалённых районах Сибири и Арктики. № 1. С. 27–35.

**Несис В.Н., Мотов А.П.**

Способ экспертной оценки не выявленных ресурсов золото-полиметаллической минерализации медно-порфировых рудных узлов. № 2. С. 35–41.

**Рожченко В.А.**

О методике изучения золотосодержащих руд при проведении поисковых работ на примере проявления Лог 26 Топольнинского рудного поля, Алтайский край. № 1. С. 36–46.

**Чернышов А.И., Лоскутов И.Ю., Кичеева А.В., Подлипский М.Ю.**

Потенциальная хромитоносность ультрамафитов Эргакского массива, Северо-Восток Западного Саяна. № 1. С. 47–53.

### СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Баранов Л.Н., Толстов А.В., Округин А.В., Слепцов А.П.**

Новое в минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор, Северо-Восток Сибирской платформы. № 2. С. 42–54.

**Глухов А.Н., Савва Н.Е., Буляков Г.Х., Фомина М.И., Бирюков А.А.**

Самородное золото в рудах и россыпях Глухаринского узла, Магаданская область. № 2. С. 55–65.

**Звездов В.С., Мигачёв И.Ф., Минина О.В.**

Морфологические типы медно-порфировых рудоносных штокверков и обстановки их формирования. № 4. С. 37–53.

**Инякин А.В.**

Геолого-структурная позиция и обстановки локализации колчеданно-полиметаллических руд Салаирско-Каме-нушинского рудного поля, Салаирский кряж. № 2. С. 66–76.

**Кулешевич Л.В., Алексеев И.А., Лавров О.Б., Дмитриева А.В.**

Золото-редкометалльное рудопоявление Раялампи в Хаутаваарской структуре: закономерности локализации и минералого-геохимические индикаторы, Республика Карелия. № 4. С. 54–66.

**Некрасов Е.М.**

Поиск «слепых» золоторудных тел жильного типа. № 3. С. 55–71.

**Савчук Ю.С., Волков А.В., Аристов В.В., Сидоров В.А., Лямин С.М.**

Строение и состав золоторудных залежей месторождения Павлик. № 2. С. 77–85.

**Синкина Е.А., Гаврилов Р.Ю.**

Объёмная модель пирротиновой минерализации золоторудного месторождения Чёртова Корыто, Патомское нагорье. № 1. С. 54–63.

**Юричев А.Н.**

Акцессорные сульфиды Кемпирсайского ультрамафитового массива, Южный Урал. № 4. С. 67–75.

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОРОД И РУД****Бардухинов Л.Д., Специус З.В., Липашова А.Н.**

Структурные дефекты и минеральные включения в алмазах из кимберлитовых трубок Накынского и Алакит-Мархинского полей по данным КР- и ИК-спектроскопии. № 4. С. 76–86.

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ****Левченко Е.Н., Веремеева Л.И., Горлова О.Е.**

Техногенное минеральное сырьё: особенности вещественного состава и технологических свойств, геолого-технологическое картирование. № 1. С. 64–75.

**ДИСКУССИИ****Каржавин В.К.**

Вода и образование алмазов. № 4. С. 87–91.

**СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ**

**Анатолий Иванович Кривцов** – геолог государственного масштаба (к 85-летию со дня рождения). № 4. С. 92–97.

«Геологическая жизнь» **Сергея Дмитриевича Шера** (к 100-летию со дня рождения). № 3. С. 81–85.

**Иван Сергеевич Рожков** – организатор геологической службы страны (к 110-летию со дня рождения). № 3. С. 78–80.

**Наталья Александровна Фогельман** – 60 лет в ЦНИГРИ (к 105-летию со дня рождения). № 2. С. 86–88.

**Николай Николаевич Горностаев** – первый директор ЦНИГРИ. № 1. С. 76–81.

**НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ**

Итоги VIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». № 2. С. 4–13.

**Кузнецова Т.П.**

Информационные ресурсы геолого-минералогического музея ЦНИГРИ. № 3. С. 72–77.

Новости, информация. № 1. С. 82–84.

**ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ**

А.А.Черемисина (№ 1),

И.Ф.Мигачёва (№ 2),

В.Б.Чекваидзе, Н.А.Розанову,

А.И.Донца, Н.Г.Кудрявцеву (№ 3),

А.С.Тарасова, Н.А.Прусакову,

А.П.Лихачёва, Е.С.Заскинда (№ 4)

**ПАМЯТИ**

Нарсеева В.А. (№ 1)

# IX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

17–19  
АПРЕЛЯ  
2019

МОСКВА  ЦНИГРИ

## ЦЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ

- Развитие научно-методических основ прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов (АБЦМ)
- Определение направлений работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы АБЦМ

## ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- Минералогия АБЦМ
- Приоритетные направления прогнозных и поисковых работ на АБЦМ
- Актуальные вопросы лицензирования недр
- Перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ на АБЦМ различных стадий
- Опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на объектах АБЦМ разной степени изученности, в том числе на участках, подлежащих лицензированию по «заявительному принципу»
- Научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков и оценки месторождений АБЦМ
- Использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ
- Разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРП на АБЦМ

ФГБУ «ЦНИГРИ» приглашает представителей территориальных органов Роснедр, геологоразведочных предприятий, компаний недропользователей, научно-исследовательских отраслевых, академических институтов и вузов принять участие в IX Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов».

Официальные языки конференции — русский и английский.

По итогам конференции планируется публикация ключевых докладов в журналах «Руды и металлы» и «Отечественная геология».

## ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

- Пленарное заседание
- Секция благородных металлов
- Секция цветных металлов
- Секция алмазов
- Круглый стол «Проведение ГРП по «заявительному принципу»: опыт, состояние, перспективы»

## ПОЛЕВАЯ ЭКСКУРСИЯ

Полевая экскурсия «Металлогения Рудного Алтая» пройдет с 20 по 25 апреля. Предварительная информация об условиях, стоимости и расписании экскурсии размещена на сайте конференции.

117545, Москва, Варшавское шоссе,  
дом 129, корп. 1, ФГБУ «ЦНИГРИ»  
conference@tsnigri.ru  
тел. (495) 315-28-10

[cnf.tsnigri.ru](http://cnf.tsnigri.ru)



## ВОСТОЧНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФОРУМ

V Восточный экономический форум состоится 4–6 сентября 2019 г. на площадке кампуса Дальневосточного федерального университета во Владивостоке.

Ежегодно Восточный экономический форум (ВЭФ) становится местом обсуждения ключевых вопросов мировой экономики, региональной интеграции, развития новых отраслей промышленности и технологий.

Мероприятия Форума традиционно проходят в формате панельных сессий, круглых столов, теледебатов, деловых завтраков и бизнес-диалогов, посвященных отношениям России с различными странами мира.

В деловую программу Форума входит ряд бизнес-диалогов с ведущими странами – партнерами в Азиатско-Тихоокеанском регионе, а также с АСЕАН – ключевой интеграционной группировкой активно развивающихся стран Юго-Восточной Азии.

### **Основные задачи ВЭФ**

- Укрепление связей международного инвестиционного сообщества, российского бизнеса, федеральных, региональных и местных органов власти
- Всесторонняя экспертная оценка экономического потенциала российского Дальнего Востока, а также повышение конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности региона на российском и международном уровнях
- Презентация новых условий инвестирования и ведения бизнеса: территорий опережающего развития, Свободного порта Владивосток, государственной поддержки перспективных инвестиционных проектов

### **Выставки на площадке Форума**

В рамках выставочного пространства ВЭФ традиционно представляются конкретные ТОРы, инвестиционные проекты, а также меры, предпринимаемые федеральными и региональными органами власти для развития социально экономического, демографического и инвестиционного потенциала Дальневосточного федерального округа.

Редакция: *Г.В.Вавилова, В.С.Жаркова*  
Вёрстка и оригинал-макет: *А.С.Рязанцева*  
Фото на обложке (пирит с флюоритом): [www.fabreminerals.com](http://www.fabreminerals.com)

Подписано в печать 13.03.19 г. Формат 30×42 1/2. Бумага листовая. Печать цифровая  
Отпечатано в ФГБУ «ЦНИГРИ»: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1

Адрес редакции:  
117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ФГБУ «ЦНИГРИ»  
Телефон: 8 (495) 315-28-47  
Факс: 8 (495) 315-43-47  
E-mail: [rudandmet@tsnigri.ru](mailto:rudandmet@tsnigri.ru), [rudandmet@yandex.ru](mailto:rudandmet@yandex.ru)  
Сайт: [www.tsnigri.ru/rudy\\_metally](http://www.tsnigri.ru/rudy_metally)

Подписной индекс 47218

© «Руды и металлы», 2019