

# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

---

**4/2013**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор Б.К.Михайлов**

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

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

УЧРЕДИТЕЛЬ

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

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

**Москва ЦНИГРИ 2013**

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

Сдано в набор 22.07.13 г.  
Подписано в печать 01.08.13 г.  
Тираж 400 экз.

Формат 30×42 1/2  
Бумага листовая  
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ЦНИГРИ  
Телефон: 315-28-47  
Факс: 315-43-47  
E-mail: [rudandmet@yandex.ru](mailto:rudandmet@yandex.ru)  
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2013

**Недропользование****Subsoil Use**

*Мигачев И.Ф., Михайлов Б.К., Беневольский Б.И., Волчков А.Г., Воропаев В.И., Шишкин М.А.*  
Проект «Положения о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые)»

*Migachev I.F., Mikhailov B.K., Benevolsky B.I., Volchkov A.G., Voropayev V.I., Shishkin M.A.*  
«Provision on the order of exploration etaps and stages (solid minerals)»: Project

5

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

*Константинов М.М.*  
Рудные столбы золоторудных месторождений

*Konstantinov M.M.*  
Ore shoots of gold deposits were characterized

9

*Сначёв А.В., Сначёв В.И.*  
Закономерности размещения золоторудных проявлений в углеродистых отложениях Ларинского купола, Южный Урал

*Snachev A.V., Snachev V.I.*  
Location patterns of gold mineral occurrences in carbonaceous deposits of Larinsky dome, Southern Urals

18

*Баранников А.Г.*  
Рудоносность заполненного мезозойского карста на Урале: проблемы изучения

*Barannikov A.G.*  
Ore content of filled Mesozoic Karst in Urals: problems of learning

23

**Строение рудных месторождений****Anatomy of ore deposits**

*Кулешевич Л.В., Лавров О.Б., Дмитриева А.В.*  
Типоморфные минеральные ассоциации руд докембрийского месторождения золота Таловейс, Карелия

*Kuleshevich L.V., Lavrov O.B., Dmitrieva A.V.*  
Typomorphic mineral ore assemblages of the Precambrian Taloveis gold deposit, Karelia

30

*Т.П.Зубова, О.А.Агибалов, Н.М.Иванов, А.Н.Краснов, А.В.Кондратьев, Е.А.Черемисина, Л.В.Шатилова, Ю.В.Щегольков, В.П.Филиппов*  
Строение и вещественный состав золотоносных кор химического выветривания Кедровско-Ивдельского рудно-россыпного узла, восточный склон Северного Урала

*Zubova T.P., Agibalov O.A., Ivanov N.M., Krasnov A.N., Kondratiev A.V., Cheremisina E.A., Shatilova L.V., Shchegolkov Yu.V., Filippov V.P.*  
Structure and mineral composition of gold-bearing crusts of chemical weathering of Kedrovsko-Ivdelsky ore-placer knot, eastern versant of the North Urals

37

*Чернова А.Д., Шатагин Н.Н.*  
Некоторые геохимические особенности руд золоторудного месторождения Кекура, Чукотский автономный округ

*Chernova A.D., Shatagin N.N.*  
Some Geochemical features of ores in Kekura Gold deposit, Chukotka Autonomous District

47

*Знаменский С.Е., Мичурин С.В., Анкушева Н.Н.*  
Происхождение рудообразующих флюидов Орловского месторождения золота, Южный Урал

*Znamensky S.E., Michurin S.V., Ankusheva N.N.*  
The origin of ore-forming fluids of Orlovka gold deposit, the Southern Urals

52

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

*А.И.Романчук, В.В.Жарков, В.А.Богомолов*  
Оценка методов определения содержания Au в рудах с крупным золотом

61

**Mining and exploration techniques and technologies**

*Romanchuk A.I., Zharkov V.V., Bogomolov V.A.*  
Evaluation of methods of determination of Au content in ores that contain coarse gold

**Новости, информация**

Материалы XXXIV сессии Международного геологического конгресса

69

**News, information**

Materials of 34th IGC

**Поздравляем с юбилеем**

А.И.Донца, В.Б.Чекваидзе

76

**Our congratulations**

A.I.Donets, V.B.Chekvaizde

# НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ



УДК 550.8121:553

© Коллектив авторов, 2013

## ПРОЕКТ «ПОЛОЖЕНИЯ О ПОРЯДКЕ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ ПО ЭТАПАМ И СТАДИЯМ (ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ)»

**И.Ф.Мигачев, Б.К.Михайлов, Б.И.Беневольский, А.Г.Волчков (ФГУП «ЦНИГРИ»),  
В.И.Воропаев (ФБУ «ГКЗ»), М.А.Шишкин (ФГУП «ВСЕГЕИ»)**

*Мигачев Игорь Федорович, Михайлов Борис Константинович, [mikhailov@tsnigri.ru](mailto:mikhailov@tsnigri.ru), Беневольский Борис Игоревич, Волчков Алексей Гордеевич, Воропаев Валентин Иванович, Шишкин Михаил Александрович*

## «PROVISION ON THE ORDER OF EXPLORATION ETAPS AND STAGES (SOLID MINERALS)»: PROJECT

**I.F.Migachev, B.K.Mikhailov, B.I.Benevolsky, A.G.Volchkov, V.I.Voropaev, M.A.Shishkin**

Совершенствование отечественной стадийности геологоразведочных работ (ГРП) происходило постоянно в зависимости от меняющихся условий и научно-методических основ их проведения, потребностей Государства в минеральном сырье и соответствующих законодательных актов. С 1928 г. в разные годы было разработано восемь редакций стадийности ГРП. Последняя из них утверждена распоряжением Минприроды России в июле 1999 г. и существует уже почти 14 лет.

Отечественная стадийность ГРП основана на принципах соответствия и последовательного приближения. При этом должно обеспечиваться соответствие между детальностью работ и рангами минералогических таксонов, которым эквивалентны определенные категории прогнозных ресурсов (ПР) и запасов. Возрастанию детальности работ отвечает все большая локализация исследуемых площадей с повышением достоверности оценки ресурсов недр, что отвечает общеизвестному ряду ПР и запасов:  $P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_1$  (АВ).

Следует отметить, что существующее «Положение о порядке проведения геолого-разведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые)» (далее «Положение...») по сравнению с ранее существовавшей стадийностью ГРП значительно «облегчено» за счет сокращения требований ресурсного характера к ранним стадиям ГРП, а также фактического исключения из геологоразведочного процесса геолого-съёмочных работ м-ба 1:50 000 с общими поисками, которые создавали основной «поисковый задел». В целях восполнения образовавшегося разрыва между стадиями в практику федеральных ГРП (Госзаказ) в оперативном порядке были введены стадии или подста-

дии прогнозно-поисковых (ППР) и поисково-оценочных (ПОР) работ, которые не получили должной регламентации ни по статусу, ни по требованиям к содержанию и результатам. Кроме того, стали проводиться целевые опережающие геохимические, геофизические и другие виды работ (доизучение площадей) м-ба 1:50 000 в рамках этапа «Поиски и оценка месторождений». При этом, как правило, нарушалась необходимая комплексность исследований. В то же время, поисковая нагрузка на работы м-ба 1:200 000 была существенно уменьшена и они по существу перешли из разряда опережающих по выявлению прогнозных ресурсов и созданию поискового задела в одну из категорий работ по геологическому картированию.

Реформирование стадийности с «облегчением» ресурсной направленности привело к избыточному наращиванию ПР категории  $P_3$ , в то время как ПР категорий  $P_2$  и  $P_1$  увеличивались более низкими темпами и сравнительно слабо вовлекались в оценку и разведку. В результате произошло общее снижение ликвидности ПР в условиях сокращения «поискового задела», доступного для эффективного использования. Кроме того, с 01.01.2008 г. приказом Минприроды России введена в действие «Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», многим положениям которой не отвечает существующая стадийность ГРП. Поскольку запасы и прогнозных ресурсы определенных категорий «привязаны» к конкретным стадиям ГРП, необходимо добиться их жесткой корреляции.

Таким образом, существующее «Положение...» в настоящее время во многом не соответствует обновленной Классификации ПР и запасов, реаль-

Этапы и стадии геологоразведочных работ (твердые полезные ископаемые)

Этапы, стадии	Объект изучения	Цель работ	Основной конечный результат
1	2	3	4
<p>Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых в масштабах 1:500 000–1:1 500 000 и мельче.</p>	<p>Территория РФ*, ее крупные геолого-структурные, административные, экономические, горнорудные регионы, шельф и исключительная экономическая зона, глубинные части земной коры, районы с напряженными экологической обстановкой, условиями мелиоративных и природоохранных работ и др.</p>	<p>Создание фундаментальной многоцелевой геологической основы недропользования и прогнозирования полезных ископаемых, обеспечение различных отраслей промышленности сельского хозяйства систематизированной геологической информацией для решения вопросов в области геологоразведочных работ, горного дела, мелиорации, строительства, обороны, экологии и т.п.</p>	<p>Государственная геологическая карта м-ба 1:1 000 000; сводные и обзорные геологические карты м-ба 1:1 500 000 и мельче; комплект карт, схем и разрезов глубинного строения недр РФ и ее регионов; специальные (целевые) геологические карты; прогнозно-минералогические карты с выделением перспективных провинций, областей, зон, угленосных бассейнов с оценкой их минералогического потенциала; оценка состояния геологической среды и ее изменения.</p>
<p>Стадия 2. Комплексное геологическое изучение территорий в м-бе 1:200 000 и прогнозирование полезных ископаемых.</p>	<p>Территории перспективных металлогенических зон и их частей на суше и шельфе РФ, минерально-сырьевых центров, районов с напряженными экологической обстановкой, условиями мелиоративных и природоохранных работ и др.</p>	<p>Комплексное геологическое изучение территорий, установление закономерностей размещения полезных ископаемых, выделение и оконтуривание перспективных таксонов применительно к видам и геолого-промышленным типам полезных ископаемых.</p>	<p>Государственная геологическая карта м-ба 1:200 000 в обязательном комплекте. Прогнозно-металлогенические карты с выделенными перспективными на определенный геолого-промышленный тип месторождений или их комплексов площадями в рапте районов, узлов и бассейнов, а в отдельных случаях рудных полей. Оценка прогнозных ресурсов категории Р<sub>3</sub>, в особых случаях Р<sub>2</sub>. Рекомендации по проведению дальнейших геологоразведочных работ.</p>
<p>Стадия 3. Общие поиски.</p>	<p>Бассейны, рудные районы и узлы с оцененным минералогическим потенциалом или прогнозными ресурсами категории Р<sub>3</sub>.</p>	<p>Оценка перспектив территорий на определенном виде и геолого-промышленном типе полезного ископаемого или их комплексов. Прогноз и выявление рудных полей и более локальных площадей с оценкой прогнозных ресурсов категории Р<sub>2</sub>.</p>	<p>Выявление рудных полей и локальных площадей, оценка прогнозных ресурсов категории Р<sub>2</sub>. Комплект специализированных карт и разрезов м-бов 1:50 000, 1:25 000. Рекомендации для постановки поисковых работ.</p>

*Продолжение таблицы*

1	2	3	4
<p>Стадия 4. Поисковые работы.</p>	<p>Рудные узлы и поля с оцененными прогнозными ресурсами категории <math>P_2</math>.</p>	<p>Выявление потенциальных месторождений (поисковых участков) с оценкой прогнозных ресурсов категорий <math>P_2</math> и <math>P_1</math>. Разраковка проявлений по степени перспективности.</p>	<p>Установление и оконтуривание потенциальных месторождений с определением их геолого-промышленного типа, количественной оценкой прогнозных ресурсов категорий <math>P_2</math> и <math>P_1</math> и предварительной геолого-экономической оценкой (ТЭС), а также рекомендациями по постановке оценочных работ. Комплекс геологических, геохимических и геофизических карт и разрезов полсково-оценочного характера м-бов 1:25 000, 1:10 000.</p>
<p>Стадия 5. Оценочные работы.</p>	<p>Потенциальные месторождения полезных ископаемых (поисковые участки) с оцененными ресурсами категорий <math>P_1</math> и <math>P_2</math>.</p>	<p>Предварительная оценка промышленного значения проявлений полезных ископаемых (потенциальных месторождений и рудопроявлений) с оценкой запасов категории <math>C_2</math> (<math>+C_1</math>) и прогнозных ресурсов категории <math>P_1</math>. Отбраковка проявлений, не представляющих промышленного интереса.</p>	<p>Установление возможного промышленного значения месторождения с оценкой запасов в основном по категории <math>C_2</math>, на участках детализации по категории <math>C_1</math>, по менее изученным частям прогнозных ресурсов по категории <math>P_1</math>; технико-экономическое обоснование временных кондиций и промышленной ценности месторождения. Геологические и специализированные карты и разрезы м-бов 1:10 000–1:2000.</p>
<p>Стадия 6. Разведка месторождения.</p>	<p>Часть недр, закрепленная лицензией и включающая полностью или частично месторождение полезных ископаемых, с запасами категорий <math>C_2</math> и <math>C_1</math> и прогнозными ресурсами категории <math>P_1</math>.</p>	<p>Информация для проектирования строительства горнодобывающего предприятия или расширения минерально-сырьевой базы действующего или реконструируемого горного предприятия.</p>	<p>Технико-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций и освоения месторождения, подсчет запасов промышленных кондиций. Утверждение ТЭО постоянных кондиций и подсчета запасов в ТКЗ или ГКЗ.</p>
<p>Стадия 7. Эксплуатационная разведка.</p>	<p>Эксплуатационные этажи, блоки, участки и другие участки месторождения в зависимости от принятой системы отработки месторождения.</p>	<p>Получение достоверных данных для оперативного планирования горных работ, обеспечения наиболее полного извлечения из недр полезных ископаемых.</p>	<p>Запасы подготовленных и готовых к выемке блоков, уточнение контуров, вещественного состава и внутреннего строения тел полезного ископаемого, количеств и качества запасов по типам и сортам руд, уточнение гидрогеологических, горнотехнических и инженерно-геологических условий отработки по отдельным участкам, блокам.</p>

ным условиям ведения ГРП, сложившейся системе недропользования и финансирования ГРП и, самое главное, не отвечает решению основной задачи ГРП — развитию конкурентоспособной и ликвидной минерально-сырьевой базы (МСБ).

Предлагаемые принципы совершенствования отечественной стадийности ГРП заключаются в ускорении геологоразведочного процесса и усилении его прогнозно-поисковой направленности. Необходимо добиться оперативного формирования «поискового задела» и воспроизводства ликвидного фонда недропользования; создания надежных геологических и минерагенических основ многоцелевого назначения, отвечающих актуальным задачам отечественного природо- и недропользования в комплексном выражении; обеспечения целевых поисков месторождений нетрадиционных и перспективных (для условий России) типов. Однако важно учесть и в основном сохранить положения по стадийности и классификации запасов и ресурсов, принятых ранее и отраженных в директивных документах. Резкое отступление от существующих положений может создать неопределенности в учете баланса запасов и ресурсов, а также отрицательно повлиять на систему проведения ГРП и оценку их результатов. Могут возникнуть затруднения по действующим проектам ГРП и лицензионной деятельности. Кроме того, не следует отягощать стадийность излишними и новыми неопределенного толкования терминами. Изменения стадийности должны осуществляться в строгом соответствии с классификацией запасов и прогнозных ресурсов, введенных в практику ГРП в 2008 г.

Цели совершенствования стадийности ГРП на ТПИ определяют основные направления их актуализации (таблица). Ключевой момент проекта новой стадийности — исключение из этапа работ общегеологического и минерагенического назначения геолого-съёмочных работ м-ба 1:50 000 с общими поисками, что фиксирует фактически сложившуюся в отрасли ситуацию. Кроме того, следует учитывать невозможность по различным объективным причинам в ближайшем будущем их продолжения. Вместе с тем, в этап «Поиски и оценка месторождений» рационально введение стадии общих поисков м-ба 1:50 000 (1:25 000). Оценочная и разведочная стадии сохраняются в современной трактовке с некоторыми важными добавлениями и уточнениями. Цели, задачи и конечные результаты работ различных этапов и стадий приводятся в соответствии с получаемыми категориями прогнозных ресурсов и запасов. Актуализированная на перечисленных концептуальных принципах стадийность ГРП в целом, как кажется, отвечает современным требованиям к проведению и результатам ГРП, их минерально-сырьевой результативности и направленности, а также учитывает действующие законодательные акты и нормативные документы.

Представленный для обсуждения геологической общественностью Проект «Положения...» разработан ФГУП ЦНИГРИ при участии ФГУП ВСЕГЕИ и ФБУ ГКЗ в рамках государственного контракта № ДХ 11-23/69 от 17.12.2012 г. (главный исполнитель ФБУ ГКЗ). С полным текстом Проекта можно ознакомиться на сайтах ФГУП ЦНИГРИ и ФБУ ГКЗ\*.

---

\* Сайт ФГУП ЦНИГРИ — [tsnigri.ru](http://tsnigri.ru), сайт ФБУ ГКЗ — [gkz-rf.ru](http://gkz-rf.ru)



## РУДНЫЕ СТОЛБЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

М.М.Константинов (ФГУП «ЦНИГРИ»)

*Охарактеризованы рудные столбы золоторудных месторождений. Выделены трубчатый, векторно-струйчатый, тектоногенный и литогенный их типы. Показано, что выделение и типизация рудных столбов актуальны на ранних стадиях изучения месторождений, поскольку это существенно влияет на их перспективную оценку.*

*Ключевые слова: золото, рудные столбы, месторождения, типизация, прогноз.*

*Константинов Михаил Михайлович, [tsnigri@pol.ru](mailto:tsnigri@pol.ru)*

## ORE SHOOTS OF GOLD DEPOSITS WERE CHARACTERIZED

M.M.Konstantinov

*Next types of ore shoots were divided: pipe-formed, vector-stringer, tectonic-genous, litologic-genous. Were occended a big practice means of establishe ore shoots and their tipization.*

*Key words: gold, ore shoots, deposit, tipization, prognostic.*

Рудные столбы золоторудных месторождений охарактеризованы в ряде сводных работ (в том числе последних десятилетий), посвященных золоторудным проявлениям и отдельным районам [2, 6, 7 и др.].

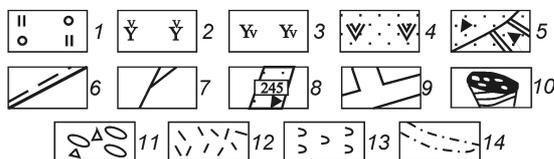
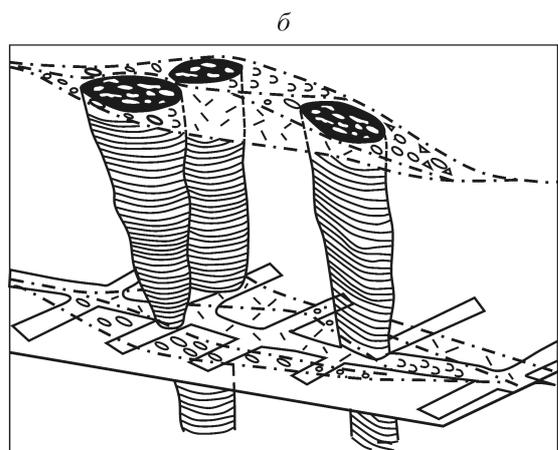
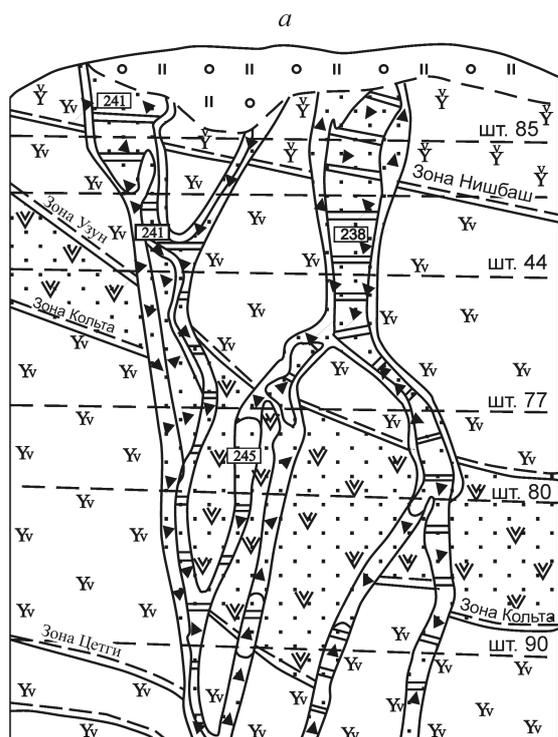
Результаты изучения экономической конъюнктуры, связанной с отраслью «золото», и процесс ускорения оценки объектов позволяют предположить достаточно простую группировку рудных столбов, которая может иметь прикладное значение при оценке месторождений. Выделяются следующие группы рудных столбов: типа трубчатых эксплозий и инъекций, векторно-струйчатого, тектоногенного и литогенного типов.

*Рудные столбы типа трубчатых эксплозий и инъекций.* Примером рудных столбов этого типа служат девять золото-кварцевых трубок на месторождении Кочбулак в Узбекистане. Месторождение приурочено к вулканической депрессии, выполненной андезитами и риолитами. Трубки округлой или эллиптической формы диаметром в несколько метров прослежены до глубины 400 м (рис. 1). Выделения золота в кварце имеют гнездово-пятнистую форму, содержания Au в них иногда достигают 40 кг/т. Во вмещающих породах трубки окаймляются радиальными и концентрическими трещинами, что может свидетельствовать об инъекционном механизме их становления. Вместе с тем, многие исследователи отмечают признаки внутрирудных брекчирования и кокардового обрастания отдельных обломков. В корневых частях трубки пере-

ходят в кварцевые брекчии. Возможность выявления подобных золотоносных трубок А.И.Калинин и С.Ф.Стружков предполагали в пределах Карамкенского рудного района Охотско-Чукотского вулкано-генного пояса.

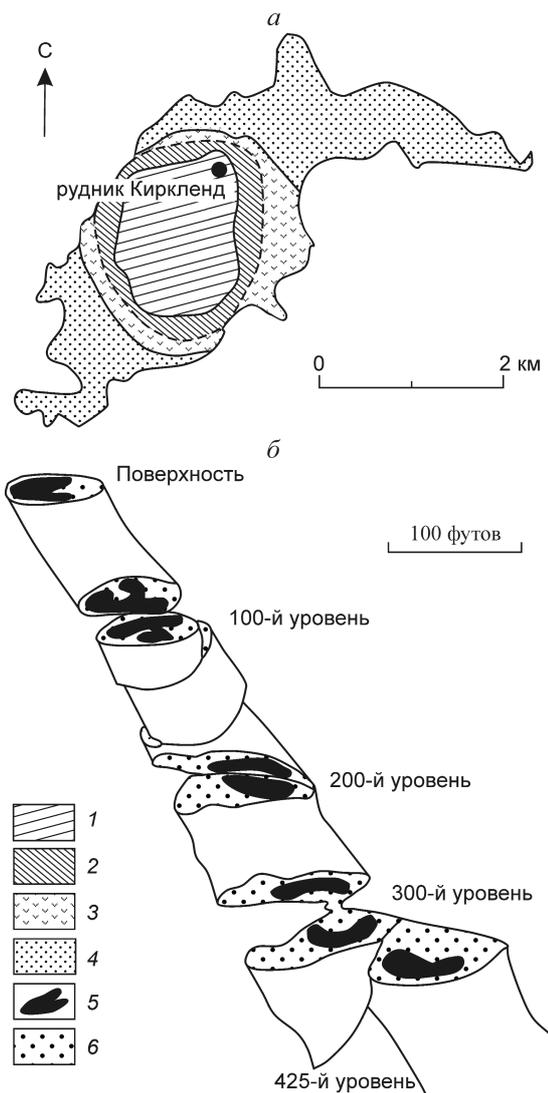
Р.Бойл [10] описал месторождение Кемфло в Квебеке (рис. 2), расположенное между месторождениями Малертик и Валд'Ор. Трубка сложена интенсивно трещиноватыми умеренно измененными монцонитами и порфириновыми сиенитами, внедренными в архейские конгломераты, железную формацию, граувакки, филлиты и различные вулканиды. Рудные тела представляют собой трубчатые и линзовидные тела светло-серого кварца с заметным содержанием вкрапленного пирита. Широко развиты кальцит и флюорит, в небольшом количестве присутствует шеелит. Крупинки золота отмечаются в кварце, кристаллах пирита, трещинах в порфирах. Установлено небольшое количество теллуридов. Средние содержания Au ~8 г/т. Выявление месторождений подобного типа вполне реально, прежде всего, в пределах Алданского щита.

*Векторно-струйчатые рудные столбы* наиболее характерны для золото-серебряных месторождений вулканоплутонических поясов. Они имеют линзовидную форму, реже изометричную. Их общая векторная направленность отвечает конкретным элементам вулканотектонических сооружений — вулканическим жерлам, крыльям интрузивно-купольных поднятий, внутренним субвулканическим телам (рис. 3).



**Рис. 1.** Морфология грубчатых рудных тел в геологическом разрезе месторождения Кочбулак, материалы Кочбулакской ГРЭ, 1985 г. (а) и строение рудоносного тела эксплозивных брекчий (аксонометрическая проекция), по [9] (б):

1 — насосы; 2 — трахиандезиты; 3 — андезиты; 4 — трахиандезиты; 5 — рудно-эксплозивные сооружения; 6 — пологозалегающие минерализованные зоны; 7 — тектонические трещины; 8 — номера рудных тел; 9 — штольни; 10 — сечения кварц-сульфидных тел; 11 — валунчатые брекчии с примесью катакlastического материала; 12 — измененные андезиты; 13 — серицитовые метасоматиты; 14 — тектонические швы



**Рис. 2.** Золотоносный кварц-монцитонитовый шток (а) и распределение рудных столбов (б), по [10]:

архей: 1 — кварцевый монцитонит, 2 — гранодиорит, 3 — сиенодиорит, 4 — диорит, габбро, 5 — высокосортная кремнистая золотая руда, 6 — серицитизированный кварцевый монцитонит

Определение вектора в распределении рудных столбов на продольной проекции месторождения позволяет прогнозировать еще не вскрытые рудные столбы и, соответственно, сорентировать колонковое бурение. Отметим, что на всех золото-серебряных месторождениях средние содержания Au и Ag в рудных столбах (бананцах) часто значительно превышают таковые в окружающих их частях рудного тела, и выявление даже одного рудного столба может существенно изменить промышленную ценность месторождения.

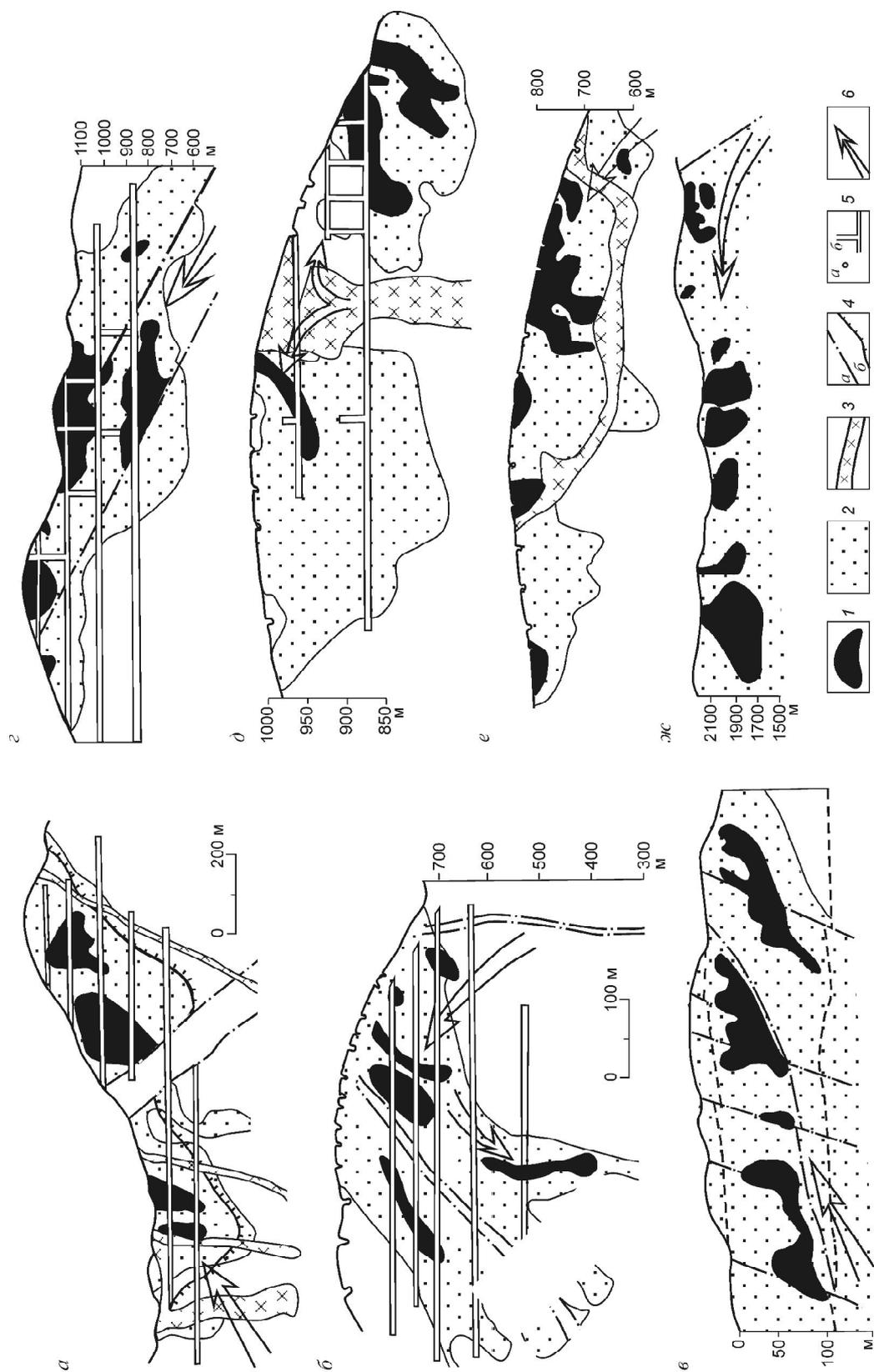


Рис. 3. Размещение рудных столбов и возможное направление рудоносных потоков на месторождениях Многовершинное (а), Карамкен (б), Агинское (в), Дукхат (г), Джультета (д), Булур (е), Гуанахата (ж):

1 — рудные столбы; 2 — рядовые руды; 3 — дайки; 4 — разломы (а), границы вулканогенных и осадочных толщ (б); 5 — скважины (а), горные выработки (б); 6 — предполагаемое направление потоков рудоносных растворов

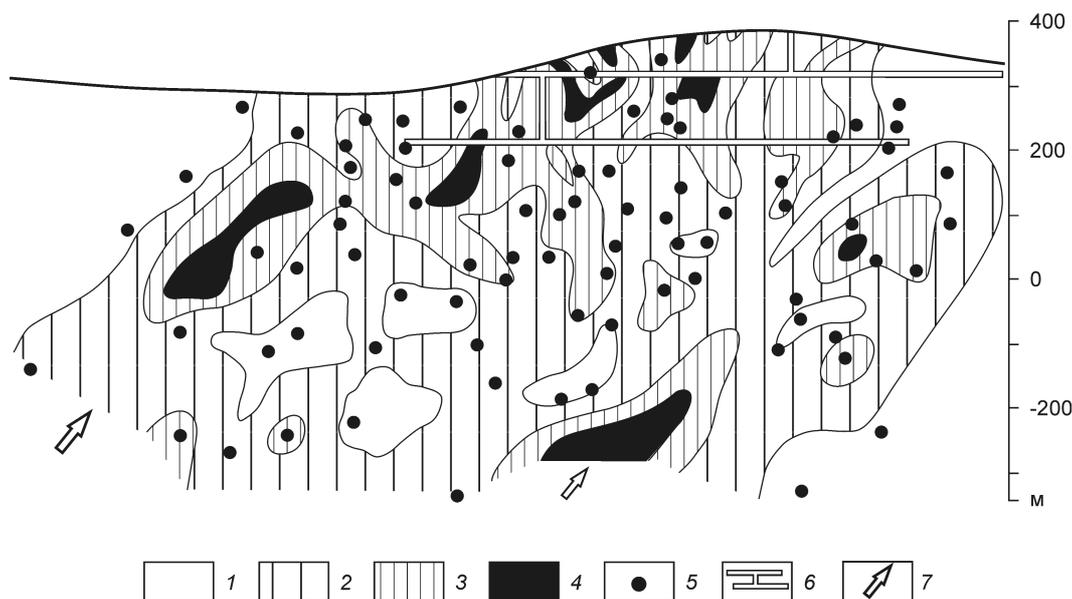


Рис. 4. Распределение золота в продольной проекции рудного тела 1 на месторождении Майское, по А.В.Волкову, 1992 г.:

изоконцентрации Au, г/т: 1 — <5, 2 — 5–15, 3 — 15–25, 4 — >25; 5 — скважины; 6 — горные выработки; 7 — предполагаемое направление потоков

Векторно-струйные столбы могут быть установлены и на других типах месторождений. Так, по данным А.В.Волкова [1], подобный тип рудных столбов свойствен Майскому месторождению золото-мышьяковисто-сульфидной формации на Чукотке, представленному зонами прожилково-вкрапленной арсенопирит-кварцевой минерализации с тонкодисперсным золотом (рис. 4).

Тектоногенные рудные столбы определяются по сочетанию структур или их особенностям. Им придается преобладающее значение при характеристике месторождений, что, по-видимому, не вполне справедливо, поскольку при этом не рассматриваются другие важные элементы строения месторождения.

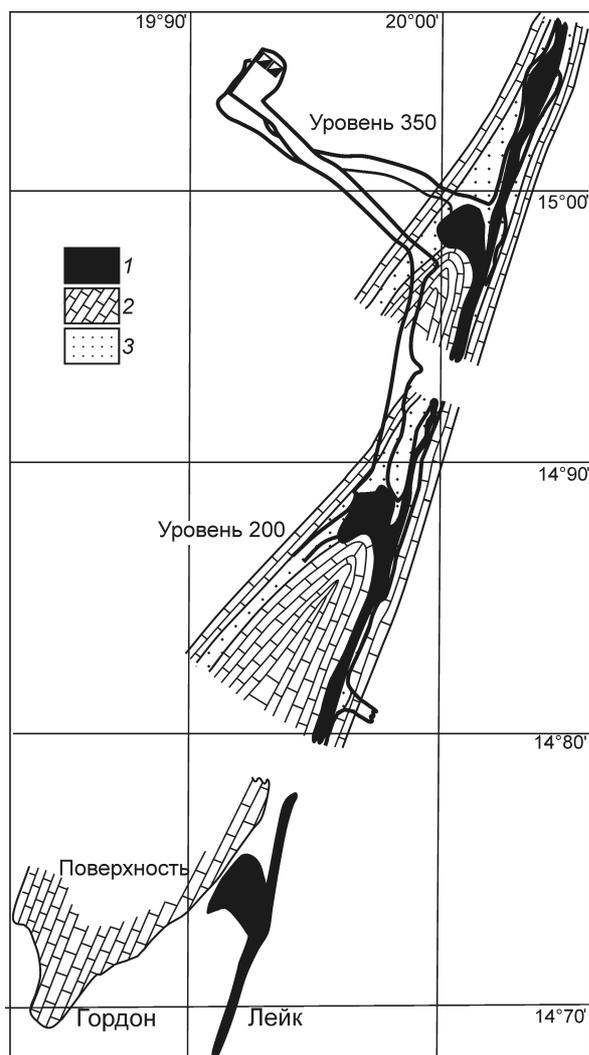
На месторождении Комларен (юго-западные территории Канады), как отмечает Р.Бойл [10], рудные столбы золото-кварцевых руд фиксируются в шарнирах складок (рис. 5). Вмещающее месторождение ордовикская толща, смятая в антиклинальные и синклиналильные складки, сложена массивными граувакками, кварцитами, черными аргиллитовыми сланцами. Рудные столбы локализованы в пакетах сланцев и аргиллитов между толщами граувакк и кварцитов. Минерализация представлена серым кварцем, местами полосчатым, небольшим количеством анкерита, кальцита, ортоклаза, пирита, пирротина, арсенопирита, халькопирита, сфалерита, галенита. Установлены вольфрамит и теллури-

ды золота. Содержание Au колеблется от 7 до 3 г/т, проба Au 800–980‰, отношение Au/Ag варьирует от <1 до 52, в основном равно ~10. Таким образом, месторождение является типичным представителем золото-кварцевой формации.

В.Линдгрэн в своем капитальном труде [3] приводит эффектную фотографию золото-кварцевого рудного столба в шарнире антиклинальной складки месторождения Бендиго (рис. 6). Схему распределения рудных столбов (рис. 7) представила в свое время Н.В.Петровская [5] для месторождения Советское в Енисейском кряже. Здесь они четко контролируются пересечением близвертикальных и диагональных зон расщелачивания. Достаточно часто рудные столбы образуются в изгибах рудоносных разломов, где возникает дополнительное пространство для отложения рудного вещества (рис. 8).

Особое внимание следует уделять возможности выявления «подэкранных» рудных тел, таких как на западном фланге Дукатского золото-серебряного месторождения, обнаруженных в результате геохимических поисков. Как показала детальная разведка (рис. 9), их «столбовая» часть сформировалась под экраном пологих структур, так что учет последних — дело первостепенной важности уже на ранней стадии изучения месторождения.

Литогенные рудные столбы. Среди литологических факторов контроля рудных столбов наибо-



**Рис. 5.** Рудные столбы на руднике Комларен, Гордон Лейк, по [10]:

архей: 1 — золотоносный кварц, 2 — граувакки, 3 — зона тонкопластовых сланцев, граувакки

лее четкими представляются дайковые системы. В сводке М.С.Рафаиловича [7] приведены данные по рудным столбам этого типа Березовского рудного поля на Среднем Урале, месторождений Лох Файн и Морнинг Стар в Восточной Австралии, месторождений Жалымбет и Бестюбе в Центральном Казахстане.

На некоторых детально изученных объектах можно даже предполагать наличие отдаленных парагенетических связей даек и оруденения. К ним можно отнести рудное поле Ватукола в северной части о.Вити-Леву [2] (рис. 10). Третичная кальдера, к которой приурочено рудное поле, отчетливо



**Рис. 6.** Седловидная жила в сланцах и песчаниках Бендиго (Виктория), по [3]

выражена в рельефе. С юга, востока и запада она окружена возвышенностями, а с севера имеет открытый выход к морю. Ранние (раннеплиоценовые) фазы вулканизма ознаменовались извержением оливинных базальтов и трахибазальтов мощностью около 2,5 км и были связаны с формированием стратовулкана, от которого радиально расходились трещинные системы, вмещающие дайки. Центр их отложения примерно соответствует центру современной структуры. С завершением базальтовых фаз вулканизма связано заложение кальдеры оседания за счет крутых гравитационных просядок. Далее проседание продолжалось параллельно с извержением андезитовой лавы из жерл по периферии кальдеры (мощность толщи андезитов до 2 км) и отложением глинистых озерных осадков. В завершающий длительный этап оседания кальдеры возникла периферическая сбросовая зона, по которой внедрились агломераты и конические дайки. В настоящее время кальдера имеет размеры примерно 5×7 км. Ее образование сопровождалось и завершилось становлением интрузивных тел авгитовых андезитов по периферии кальдеры и в окружающих базальтах.

Важный структурный элемент — система разломов северо-западного простирания, унаследовавшая направление серии андезитовых даек и наложенная на все магматические образования. Эти раз-

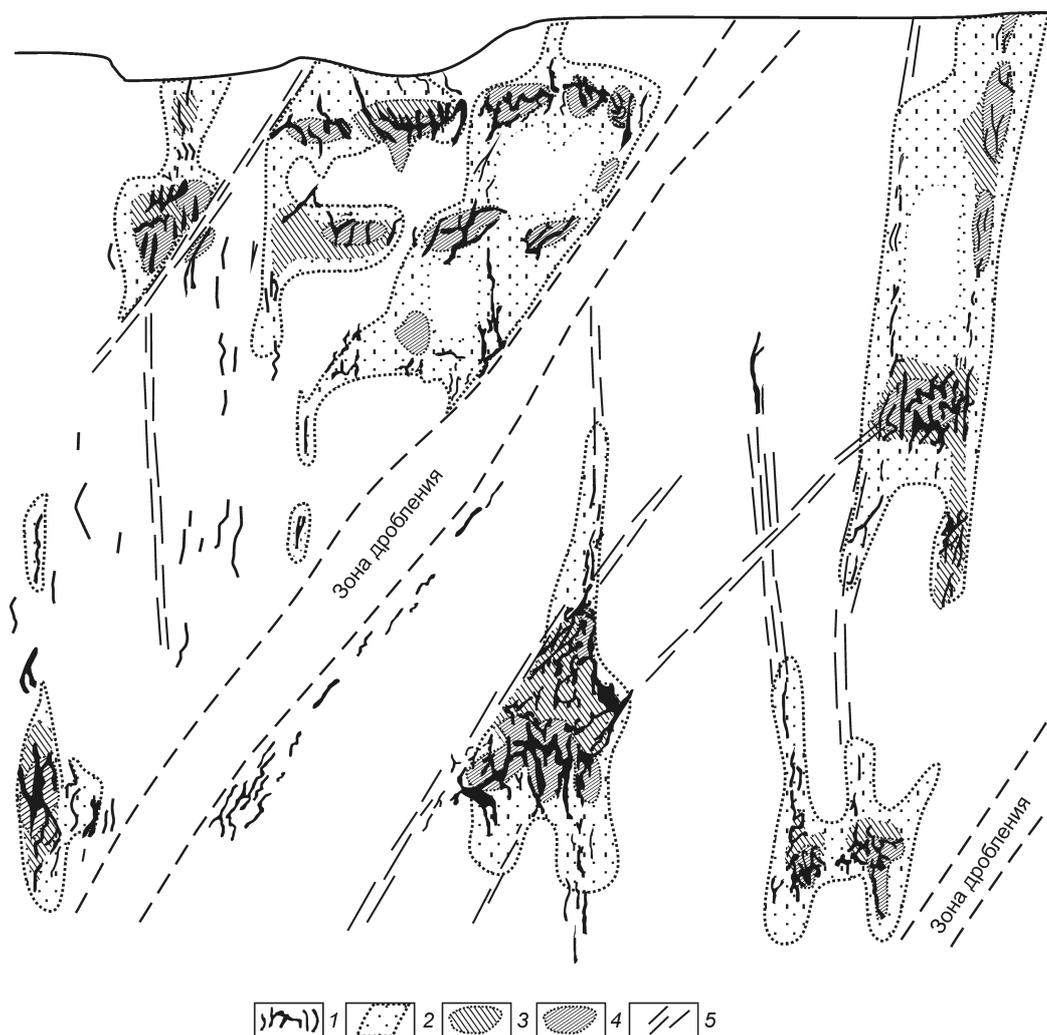


Рис. 7. Расположение обогащенных сульфидами и золотом участков в зонах, кварцеворудных жил и прожилков среди рассланцованных филлитов в одном из золоторудных полей Енисейского края, по [5]:

1 — зоны кварцеворудных жил и прожилков среди филлитов; участки развития ассоциации сульфидов: 2 — ранней, 3 — поздней; 4 — участки, обогащенные золотом; 5 — зоны дробления и интенсивного рассланцевания пород

ломы, хотя и являются послекальдерными, тесно сопряжены с ограничивающими кальдеру дуговыми сбросами и не далеко уходят в обрамляющие базальтовые покровы. Сочетание разнонаправленных разломов определяет сложную блоковую структуру отдельных рудоносных участков и размещение рудных тел.

Рудовмещающими являются крутопадающие северо-западные разломы, пологопадающие трещины и широкие зоны дробления на сопряжении разнонаправленных разрывов. Северо-западные разрывы либо подновляют контакты даек андезитов того же простирания, либо пересекают их.

Последний случай наиболее благоприятен для формирования рудных столбов.

Пологопадающие жильные тела образуют две системы, имеющие встречное падение под углами 25–30°. Наиболее крупные из жил — Принц-Долпин и 608 W. Первая имеет северо-восточное простирание, падает под углом 25° на юго-восток и прослежена на расстояние 1500 м. Аналогично крутопадающим телам рудные столбы также образуются при пересечениях даек: висячий и лежащий бока ограничиваются тектонической глиной и заключают растащенные блоки даек, наиболее интенсивно раздробленные в полосе мощностью до 6 м.

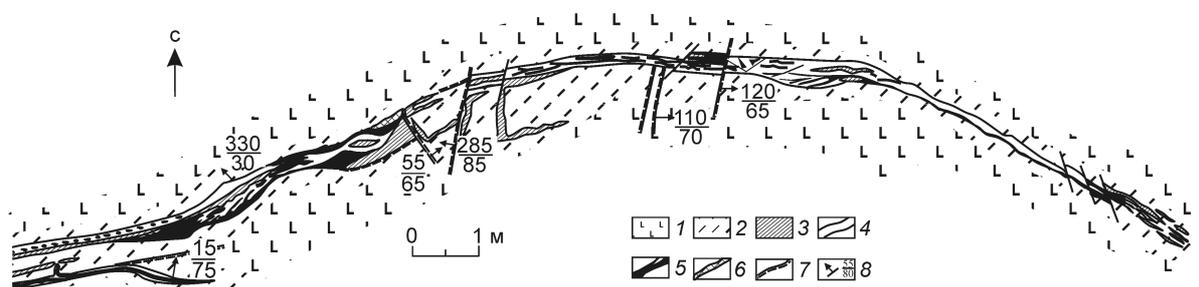


Рис. 8. Строение золото-сульфидно-кварцевой жилы в плане на месторождении Золдское:

1 — габбро неизмененное; 2 — окварцованное габбро; 3 — серый тонкозернистый кварц; 4 — белый среднезернистый кварц; 5 — агрегат сульфидов с золотом; 6 — карбонатные прожилки; 7 — трещины с глиной; 8 — элементы залегания жилы

Простираение жилы 608 W близширотное, она падает на север под углами 25–30° и прослежена в длину на 1200 м. Для нее в отличие от названной выше крупной жилы, где рудные столбы формировались, по-видимому, в условиях тектонического сжатия, характерны крустификационные структуры и незначительное развитие тектонических глинок по контактам.

Минерализованные зоны дробления возникают на сопряжении крупных разломов; в них наиболее отчетливо проявлены системы сопряженных левосторонних сдвигов и пологих сбросов, в совокупности образующих ослабленные блоки, проницаемые для рудоносных растворов. Жильная минерализация представлена кварцем и кальцитом, рудная — теллуридами, арсенопиритом, пиритом, самородным теллуrom, редко самородным золотом. С 1933 по 1978 г. добыто 110,7 т Au и 38,5 т Ag.

Намечена такая последовательность рудоотложения. В первую стадию происходило: 1) гидротермальное изменение боковых пород и отложение основной массы жильного кварца в ассоциации с пиритом, марказитом, сфалеритом, небольших количеств арсенопирита, халькопирита и, возможно, самородного золота; 2) отложение жильного кварца; вслед за образованием основной массы сфалерита следует формирование сереброносного тетраэдрита – теннантита, затем бурнонита, галенита, халькопирита, далее небольшого количества сфалерита; 3) незначительное отложение жильного кварца; 4) примерно одновременное развитие самородного теллура, калаверита, креннерита и сульванита, прерывающееся отложением кварца. Минералы последней ассоциации часто образуют эвгедральные кристаллы в центральных частях жил.

Ко второй стадии относятся: 1) возобновление отложения жильного кварца в ассоциации с грубозернистым пиритом, марказитом – сфалеритом (грубозернистый пирит образуется на эвгедральных кристаллах теллуридов первой стадии); 2) формирование значительного количества кварца, сереброносного тетраэдрита – теннантита с последующим отложением халькопирита; 3) почти одновременное возникновение петцита, гессита, само-

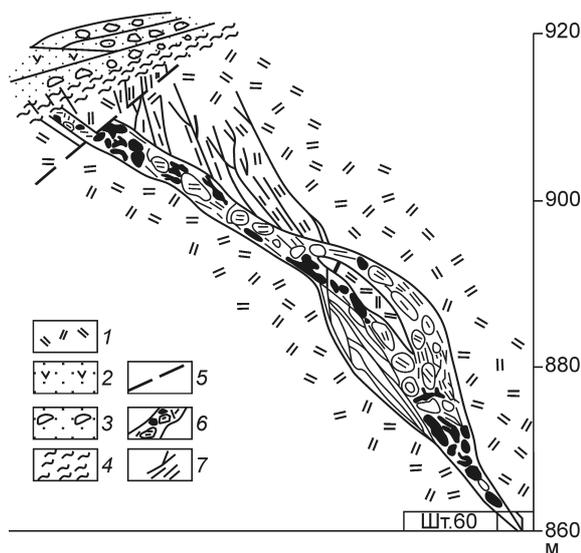


Рис. 9. Экранирование рудных тел горизонтом конглобрекчий (разрез по восстающему 114, рудная зона XXXVIII на месторождении Дукат):

1 — риолиты; 2 — туфы андезитов; 3 — горизонт конглобрекчий; 4 — межформационный срыв и зона смятия пород; 5 — трещины; 6 — рудная зона брекчиевой текстуры; 7 — прожилковая минерализация

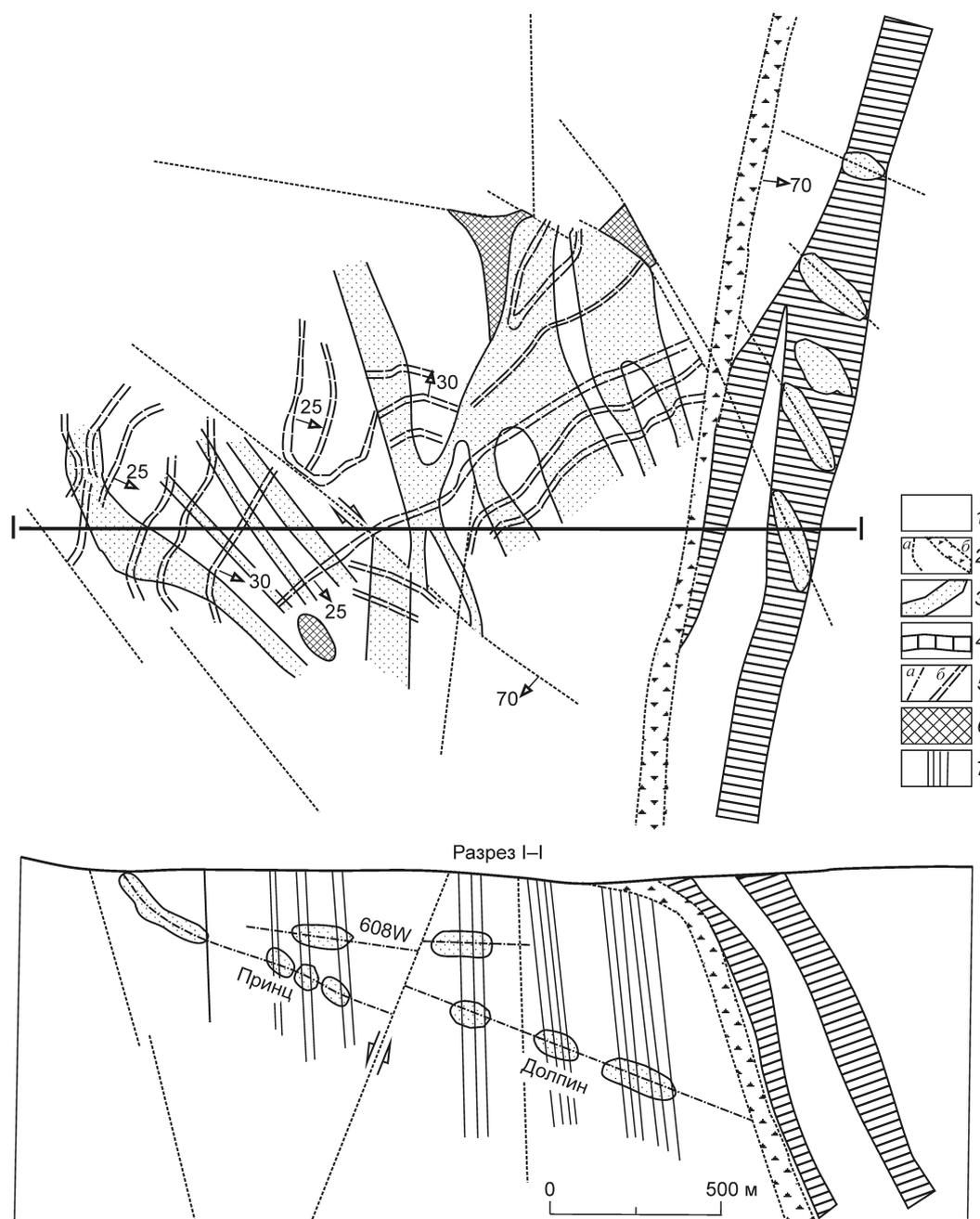


Рис. 10. Структурный план и разрез месторождения Вагучола, по Л.Денхольму:

1 — базальты; 2 — разломы со смятием (а) и дроблением (б) пород; 3 — рудные столбы; 4 — субвулканические андезиты; 5 — пологие рудные тела (а) и их горизонтальные проекции (б); 6 — минерализованные зоны брекчий, отрабатываемые открытым способом; 7 — свиты даек андезитобазальтов

родного золота, колорадоита, алтаита, мелонита, пираргирит-прустита и полибазит-персеита, прерывающееся отложением кварца; изредка отмечаются эвгедральные кристаллы петцита и гессита. Вторая стадия формирования теллуридов пространственно четко отделена от первой, проявляясь

в основном в центральных сечениях рудного столба. Возможна и третья стадия: 1) незначительное отложение марказита; 2) образование кальцита, а затем незначительного количества доломита.

Сульфиды и жильные минералы первой стадии минерализации обнаруживаются по всему верти-

кальному интервалу рудного столба. Распространение золото-серебряных теллуридов и самородного теллура ограничено верхними и средними сечениями рудного столба. Это объясняется тем, что миграция флюидов, содержавших теллур, происходила путем их фильтрации в структуры крутопадающей жилы Кроун-Кресцент из системы пологих разломов Принц-Долпин, чем и обусловлена локализация теллуридов на верхних уровнях.

Каналы Кроун-Кресцент были открыты для осаждения сульфидов и теллуридов второй стадии. Отлагавшиеся теллуриды по сравнению с теллуридами первой стадии были обогащены серебром и обеднены теллуром. На низких горизонтах из флюидов отлагались петцит, гессит, самородное золото и затем, совмещаясь и взаимодействуя с тетраэдритом – теннантитом, сульфосоли серебра с самородным золотом. В среднем сечении рудного столба флюиды взаимодействовали с теллуридами первой стадии, частично замещая их петцитом, гесситом и золотом. Наличие в растворах теллура привело к образованию колорадоита, алтаита и мелонита; эти поздние минералы почти всегда обнаруживаются по соседству с зернами ранних теллуридов, подвергшихся замещению.

Увеличение с глубиной отношения  $Ag/Au$  и уменьшение содержаний  $Te$  объясняется вариациями в составе теллуридов: золото в них преобладает над серебром на верхних уровнях, а на нижних преимущественно распространены богатые серебром теллуриды. Дополнительными факторами изменчивости отношения  $Au/Ag$  являются присутствие серебра в сереброносном тетраэдрите – теннантите (электронный микропробный анализ образцов показал содержание  $Ag$  до 15%), небольшая примесь серебра в бурноните, халькопирите и галените, наличие серебра и тонкодисперсного золота в пирите, марказите, арсенопирите.

Интересны данные по литологическому контролю на месторождении Балларат в Австралии приводит В.А.Обручев [4]. По его данным, на месторождении богатые скопления руд встречаются при пересечении пологопадающих кварцевых жил (флэтс) с тонкими плитами сланца, содержащими пирит и углистое вещество, называемыми индикаторами (рис. 11). Подобные примеры известны и в других местах Виктории. Полагают, что обогащение обусловлено осаждающим влиянием углестого вещества индикаторов. Более вероятно, что последние представляют тонкие позднейшие трещины, по которым перемещались растворы, обогатившие кварцевые жилы в местах пересечения с ними. Отсутствие рудных жил в массивных породах объясняют сопротивлением последних давлению,

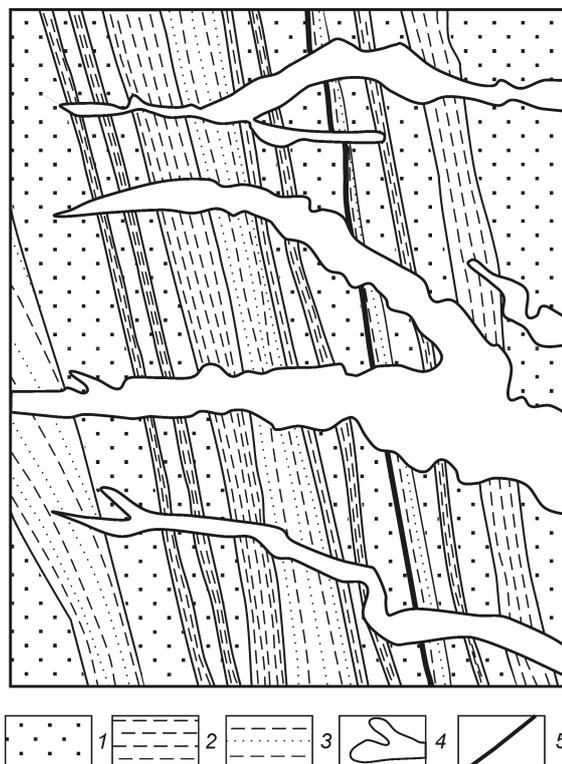


Рис. 11. Золотоносные жилы Балларата с индикаторами, по [4]:

1 — песчаники; 2 — сланцы; 3 — сланцеватый песчаник; 4 — кварцевые жилы; 5 — индикатор

нию, тогда как окружающие мягкие сланцы легко разрывались и расщеплялись в седлах и мульдах.

В заключение подчеркнем, что выявление рудных столбов и их возможная типизация могут иметь большое практическое значение на ранней стадии оценки месторождений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков А.В., Сидоров А.А. Уникальный золоторудный район Чукотки. – Москва–Магадан, 2002.
2. Константинов М.М. Золотое и серебряное оруденение вулканогенных поясов мира. – М.: Недра, 1984.
3. Линдгрэн В. Минеральные месторождения. Т. III. – М.-Л.: НТИ, 1935.
4. Обручев В.А. Рудные месторождения. – М.-Л.: Госиздат, 1929.
5. Петровская Н.В. О некоторых закономерностях размещения рудных столбов и минералогических критериях поисков скрытых участков богатых руд (на примере некоторых золоторудных районов) // Вопросы изучения и методы поисков скрытого оруденения. М., 1963. С. 118–133.

6. Проблемы формирования рудных столбов / Под ред. Ф.Н.Шахова. – Новосибирск: Наука, 1972.
7. Рафаилович М.С. Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели. – Алматы: Комплекс, 2009.
8. Рудные месторождения Узбекистана / Отв. ред. И.М.Голованов. – Ташкент, 2001.
9. Сафонов Ю.Г. Рудообразующие процессы и системы // Докл. сов. геологов на XXVIII сессии МГК (Вашингтон, июль 1989 г.). М., 1989. С. 79–91.
10. Boyle R.W. The geochemistry of gold and its deposits. Т. II. // Canada Geol. Surv. Bul. 1979. Vol. 280.

УДК 553.491+553.41 (470.5)

© А.В.Сначёв, В.И.Сначёв, 2013

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ В УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЛАРИНСКОГО КУПОЛА, ЮЖНЫЙ УРАЛ

А.В.Сначёв, В.И.Сначёв (Институт геологии УНЦ РАН)

*Рассмотрено геологическое строение Ларинского гранито-гнейсового купола. Приведены все имеющиеся данные опробования углеродистых отложений на золото в его пределах. Показано, что все точки с промышленными содержаниями золота укладываются в область развития пород зеленосланцевой фации метаморфизма, что, в свою очередь, подтверждает правильность разрабатываемой нами модели метаморфогенно-гидротермального золотообразования в черносланцевых толщах и является важным поисковым признаком золотого оруденения.*

*Ключевые слова: углеродистые сланцы, рудоносность, благородные металлы, Ларинский купол, золото, метаморфизм.*

*Сначёв Александр Владимирович, Сначёв Владимир Иванович, [SAVant@inbox.ru](mailto:SAVant@inbox.ru)*

## LOCATION PATTERNS OF GOLD MINERAL OCCURRENCES IN CARBONACEOUS DEPOSITS OF LARINSKY DOME, SOUTHERN URALS

A.V.Snachev, V.I.Snachev

*A short overview of geological structure of the Larinsky granite-gneiss dome is given. All the available results of gold content analyses of carbonaceous schists in the area of the complex are collected. It is shown that all the points with an industrial gold content are concentrated in the territory of development of a greenschist metamorphic facies which supports our model of a metamorphogenic-hydrothermal gold origin in carbonaceous schists and is a very important exploratory sign of gold mineralization.*

*Key words: carbonaceous schists, ore potential, precious metals, Larinsky dome, gold, metamorfizm.*

Современная модель метаморфогенно-гидротермального золотообразования, применимая к черносланцевым толщам [2, 3], предполагает комплексное участие в рудогенезе взаимосвязанных процессов осадконакопления, тектоники, магматизма и метаморфизма при ведущей роли последнего. В работах многих исследователей [2, 4] показано, что при процессах метасоматоза и сульфидизации золото мигрирует. Подрудные толщи при этом нередко рассматриваются как промежуточные коллекторы, в которых скапливается золото, участвующее в формировании золотоносных кварцевых жил.

Наиболее отчетливо механизм концентрации золота проявлен при наложении на углеродсодержащие отложения высоких ступеней метаморфизма. В частности, В.А.Буряком [1] на примере дальневосточных объектов и нами — южноураль-

ских [3] показана приуроченность золотосульфидной минерализации к определенным субфациям зеленосланцевой фации, которая служит зоной осаждения золота, в то время как более высокотемпературные фации — зонами потенциального выноса. Примечательно, что месторождения и рудопроявления золота, имея четкую приуроченность к зеленосланцевой фации, в большинстве случаев концентрируются вблизи или почти на границе с амфиболитовой фацией метаморфизма.

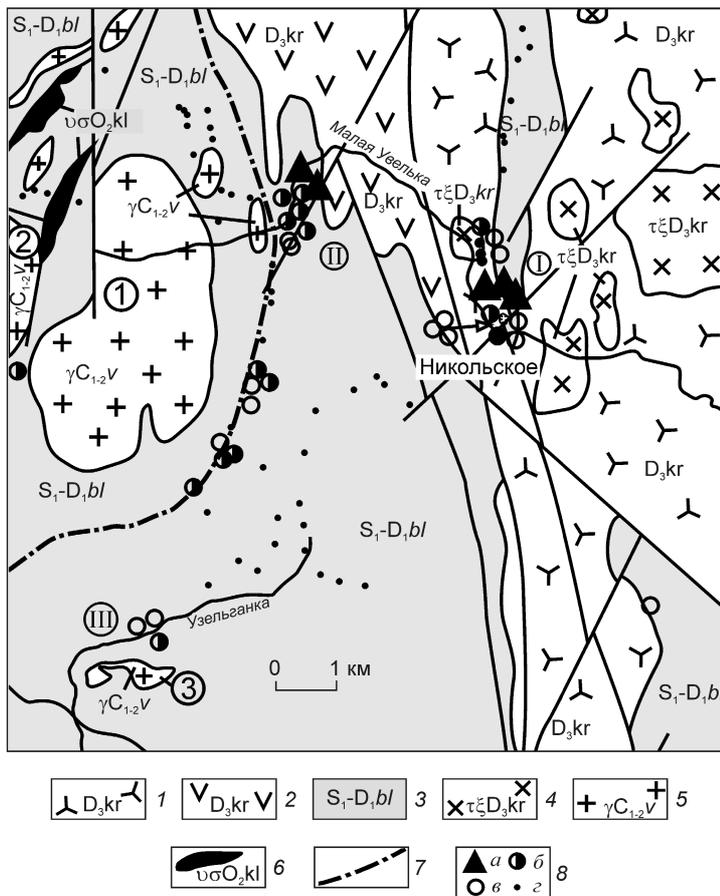
Согласно полученным нами данным по золоторудным месторождениям и проявлениям в углеродистых отложениях Южного Урала, предлагаемую модель золотообразования можно рассматривать как осадочно-гидротермально-метаморфогенную, включающую комплекс взаимосвязанных процессов: осадконакопление с хемогенной сорбцией зо-

лота углеродисто-глинистыми отложениями; метаморфизм погружения, активизация элизионных поровых растворов, экстрагирующих из глинистой фракции рудогенные элементы и золото, их перераспределение и мобилизация в пластах-коллекторах (углеродисто-сульфидных осадках как геохимических барьерах) и создание промежуточных надкларковых концентраций; динамометаморфизм, надвигообразование и складчатость, сопровождаемые метаморфогенной перегруппировкой и переотложением минерального вещества; контактовый и зональный метаморфизм в процессе формирования гранитно-мигматитовых куполов, интрузивных гранитоидов и окончательное «оформление» золото-кварцевых залежей в их современном виде.

Наиболее удачно разрабатываемую модель можно проиллюстрировать на примере Ларинского гранито-гнейсового купола, расположенного на границе Магнитогорской и Арамилско-Сухтелинской мегазон и являющегося южным продолжением Ильменогорско-Сысертского поднятия [6] (рис. 1).

В пределах купола, согласно последним геолого-съемочным работам, снизу вверх выделяются следующие стратиграфические подразделения (толщи): шеметовская ( $O_3\delta m$ ) (картируется южнее и восточнее рассматриваемого участка, сложена преимущественно базальтами), булатовская ( $S_1-D_1bl$ ), краснокаменная ( $D_3kr$ ). Учитывая наличие углеродистых отложений лишь в составе булатовской толщи, остановимся только на ее описании.

Булатовская толща состоит преимущественно из кремнисто-углеродистых сланцев. Местами наблюдается переслаивание с глинисто-кремнисто-углеродистыми их разновидностями. В низах разреза иногда встречаются прослои базальтов и туфоалевролитов. Общая мощность толщи >900 м. Поздний лландовер-венлокский возраст ее принят на основании находок вблизи дер. Булатово фауны граптолитов. У пос. Мирный В.Н.Пучковым и К.С.Ивановым [5] найдены конодонты, характерные для позднего силура. Ими же обнаружены нижнедевонские отложения с граптолитами и конодонтами [5].



**Рис. 1. Геологическая карта Ларинского купола и его обрамления с точками значимых содержаний Au:**

краснокаменная толща: 1 — кремнистые алевролиты, прослои яшм, туфы кислого состава, 2 — трахибазальты и их туфы, вулканомиктовые песчаники и алевролиты; 3 — булатовская толща (углеродистые сланцы и алевролиты); интрузивные комплексы: 4 — краснокаменный (сиениты, кварцевые монцодиориты), 5 — варшавский (мусковитовые граниты с гранатом, гранито-гнейсы), 6 — куликовский (аподунитовые и апогарцбургитовые серпентиниты); 7 — граница амфиболитовой и зеленосланцевой фаций метаморфизма; 8 — содержания Au, г/т (a — >1,0, б — 0,5–1,0, в — 0,1–0,5, z — <0,1); цифры в кружках: 1 — Первомайский, 2 — Ларинский, 3 — Приданиковский массивы; I — Никольское, II — Малоуельское, III — Приданиковское проявления золота

Характерные разрезы толщи описаны по полотну и бортам щебеночного карьера у северной окраины пос. Никольский (обн. 2504) (рис. 2) и в небольшом карьере по правому борту р. Малая Уельяка (обн. 5530) (рис. 3), где нами установлены высокие содержания Au.

По периферии гранитоидных массивов Ларинского купола вулканогенно-осадочные породы булатовской толщи преобразованы в амфиболитовой фации метаморфизма и превращены в биотит-амфиболитовые и амфиболитовые плагиосланцы с прослоями графитистых кварцитов. Количество

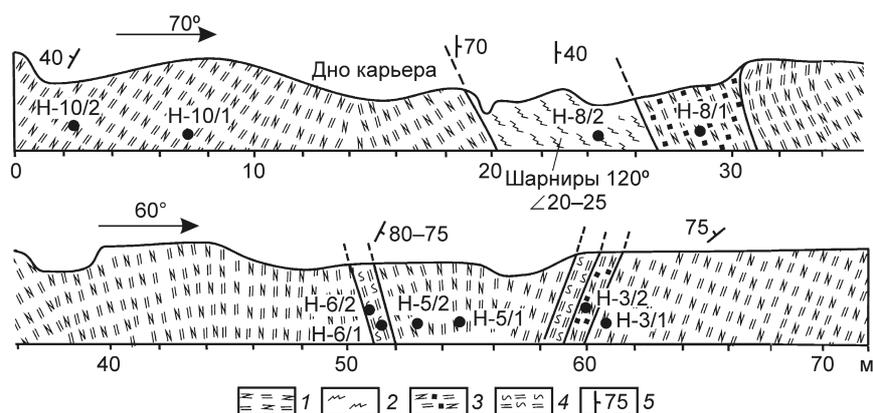


Рис. 2. Геологический разрез булатовской толщи по полотну и бортам щебеночного карьера у северной окраины пос. Никольский (обн. 2504):

1 — серые и темно-серые углеродисто-кремнистые сланцы; 2 — черные пloyчатые углеродисто-глинисто-кремнистые сланцы, пронизанные сетью кварцевых прожилков; 3 — бурые ожелезненные сланцы с лимонитизированным пиритом; 4 — светлые серицит-кварцевые сланцы; 5 — элементы залегания сланцеватости и плитчатой отдельности; номера точек отбора проб соответствуют таковым в табл. 2

кварцитовых прослоев увеличивается с приближением к границе зеленосланцевой фации, что обусловлено антиклинальным строением Ларинской

### 1. Содержание Au в неизмененных черносланцевых отложениях булатовской толщи

№№ п/п	Номера проб	Au, г/т	№№ п/п	Номера проб	Au, г/т
1	1353-1	0,010	15	2411	0,011
2	2053	0,017	16	2419-3	0,003
3	2138-11	0,014	17	2420	0,014
4	2312-1	0,001	18	2448	0,009
5	2362-1	0,004	19	7246-1	0,015
6	2363-2	0,040	20	7357	0,016
7	2373-3	0,004	19	7246-1	0,015
8	2373-22	0,009	21	Ми-98-12	0,007
9	2373-25	0,006	22	Ми-98-3	0,006
10	2402	0,010	23	2413	0,008
11	2405	0,011	24	2424-4	0,008
12	2406	0,009	25	Ми-98-3	0,007
13	2406-5	0,007	26	Ми-98-12	0,001
14	2408	0,008	27	Ми-98-25	0,001
			28	Ми-98-47	0,004

Образцы отобраны: 1 — Непряхино, 2, 22 — Куянбаево, 3 — Кулуево, 4 — карьер Грязный Лог южнее Соболевской заимки, 5 — Байгазино, 6 — Ларино, 7–9, 12–15 — Уштагака, 10, 11 — Крыжановка, 16, 17 — Малково, 18 — Верхние Караси, 19 — Мельниково; 21–27 — карьер около Тимир, 28 — южнее Сарафаново.

структуры и наличием по периферии Первомайского гранитоидного массива низов разреза булатовской толщи, в составе которой отмечены прослои базальтов, а возможно, и верхов шеметовской существенно базальтовой толщи. Ранее описываемые породы выделялись в сайтовскую свиту ( $R_2^{st}$ ). Однако, учитывая однотипность разрезов и петрогеохимических параметров пород, позднее они были отнесены к отложениям булатовской толщи [5], метаморфизованным в условиях амфиболитовой фации.

На изучаемой территории широко развиты интрузивные образования, относящиеся к различным возрастным и структурным комплексам. Среди них выделяются: куликовский серпентинитовый ( $\sigma O_2kl$ ), краснокаменский сиенитовый ( $\tau \xi D_3kr$ ) и варшавский гранитоидный ( $\gamma C_{1-2v}$ ) комплексы. Краснокаменский комплекс сиенитов, кварцевых монцонитов, реже монцодиоритов, умеренно щелочных габбро прорывает отложения одноименной толщи. Вмещающие породы вблизи контакта ороговикованы. Зона ороговикования составляет >1 км и служит внешним ореолом скарново-магнетито-

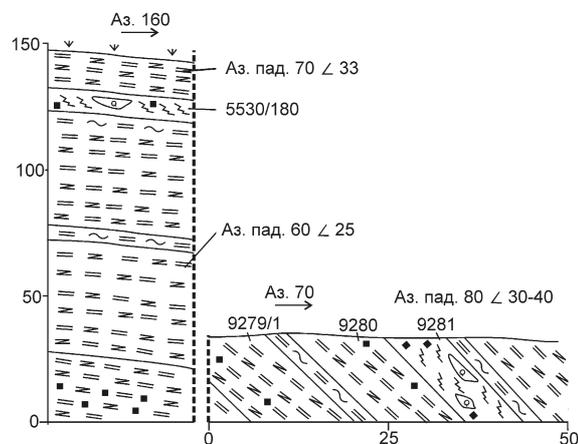


Рис. 3. Сводный разрез булатовской толщи вдоль правого борта р. Малая Увелька и борта карьера у плотины (обн. 5530):

усл. обозн. см. рис. 2

**2. Содержания Au в сульфидизированных и окварцованных углеродистых отложениях  
обрамления Ларинского купола**

№№ п/п	Номера об- разцов	Au, г/т	№№ п/п	Номера образцов	Au, г/т	№№ п/п	Номера образцов	Au, г/т
1	H-3/1	0,20	24	МС-1/2	<b>0,54</b>	47	9279-1	<b>0,70</b>
2	H-3/2	0,32	25	ЛР-10	<b>0,54</b>	48	9279-5	0,27
3	H-5/1	0,19	26	УВ-1/2	0,30	49	9279-8	0,21
4	H-5/2	0,28	27	УВ-3/2	<b>0,64</b>	50	9279-10	0,30
5	H-6/1	<b>1,93</b>	28	УВ-3/3	<b>0,59</b>	51	9279-16	0,18
6	H-6/2	0,20	29	УВ-4/2	<b>0,55</b>	52	9280	<b>3,60</b>
7	H-8/1	<b>1,66</b>	30	УВ-5/2	<b>0,53</b>	53	9280-1	0,34
8	H-8/2	<b>0,74</b>	31	Ник-7/2	<b>0,87</b>	54	9280-2	0,20
9	H-10/1	0,17	32	Ник-7/3	<b>0,55</b>	55	9281	<b>4,90</b>
10	H-10/2	0,33	33	Ник-7/4	0,47	56	9281-1	0,21
11	H-24/1	<b>1,12</b>	34	Ник-9/2	0,47	57	9281-2	0,20
12	H-24/2	0,08	35	Ник-10/1	0,38	58	9285	0,10
13	H-25/1	0,15	36	Ник-10/2	<b>0,51</b>	59	9285-2	0,50
14	Пл-176/1	0,19	37	Ник-10/4	<b>0,69</b>	60	9285-3	0,10
15	Пл-5402-3	0,10	38	Ник-14/2	<b>0,68</b>	61	9285-4	0,40
16	Пл-5400-1	0,07	39	5524-2	0,43	62	9286	0,30
17	H-13/1	0,06	40	5529-2	0,42	63	9287	0,10
18	H-14/1	0,04	41	5529-18	<b>0,71</b>	64	294	0,24
19	H-14/2	0,11	42	5529-52	0,40	65	294-1	0,26
20	H-15/1	0,04	43	5530-180	0,49	66	294-2	0,05
21	H-16/1	0,12	44	Пл-11070	0,18	67	294-3	0,06
22	H-16/2	0,30	45	Пл-227	0,18	68	294-4	0,03
23	H-17/1	0,05	46	Пл-2715	0,34	69	5401-1	0,10

Пр и м е ч а н и е. Анализы выполнены: 1–43 — ВИМС, рентгеноспектральный метод с предварительной экстракцией; 44–46 — ИГЕМ, химико-спектральный метод; 47–69 — химическая лаборатория ОАО «Челябинскгеосъемка», пробирный метод. Образцы отобраны: 1–16 — карьер у пос. Никольский, 17–23 — бывшая дер. Пролетарка, 24–43 — обрамление Ларинского купола (высотная отметка 539,0 м), 44 — карьер около дер. Новоусцелимово, 45 — разрез по правому берегу р. Бурля, 46 — в 3 км севернее пос. Лесной, 47–57 — карьер, правый берег р. Малая Увелька, 58–63 — г. Суватлы, севернее пос. Никольский, 64–69 — севернее карьера пос. Никольский.

вых зон. Варшавский комплекс слагает Первомайский и Ларинский массивы, залегающие в ядрах двуглавой купольной гранитно-гнейсовой структуры, названной С.В.Чесноковым [8] Ларинским гнейсовым куполом (см. рис. 1). Ядра разделены синформным прогибом, выполненным образованиями булатовской толщи. В обрамлении массивов обнаруживаются признаки активного внедрения гранитной магмы — апофизы по сланцеватости вместе со сланцами смяты в складки. Небольшое, вытянутое в широтном направлении тело в южной части купола, известное как Приданниковский массив, сложено гнейсовидными гранитоидами. Массив залегает среди сланцев булатовской толщи и по геофизическим данным является сателлитом Ларинского, с которым на глубине имеет единые корни. Размеры отрицательной аномалии поля силы тяжести значительно превышают площади выходов гранитов варшавского комплекса, что служит весомым доводом в пользу их структурного

единства. Датировка возраста гранитов Ларинского купола U-Pb методом, полученная А.В.Ждановым при ГДП-200 (лист N-40-XVIII, Учальи), составляет  $314 \pm 7$  млн. лет, что позволяет принять возраст варшавского комплекса как ранне-среднекаменноугольный.

В ходе геологической съемки м-ба 1:200 000 нами были проанализированы черносланцевые отложения булатовской толщи. В неизменных породах на удалении от гранитоидных массивов нейтронно-активационным методом (ГЕОХИ, г. Москва) выявлены фоновые содержания Au в среднем 0,009 г/т, что близко кларку Au в углеродистых сланцах (табл. 1).

Детальное геологическое картирование восточного обрамления Ларинского купола и опробование на золото сульфидизированных и окварцованных кремнисто-углеродистых отложений булатовской толщи показали высокие его содержания (табл. 2; см. рис. 2, 3).

В результате обработки полученных данных выявлена четкая закономерность размещения повышенных содержаний Au в породах зеленосланцевой фации метаморфизма (см. рис. 1). Наиболее высокие содержания Au (Никольское, Малоувельское, Приданниковское проявления) приурочены к породам внешней высокотемпературной субфации зеленосланцевой фации, развитие которой связано с внедрением гранитных массивов варшавского комплекса (Ларинский, Приданниковский), и зонам интенсивной метасоматической переработки пород, обусловленных становлением субщелочных массивов краснокаменского комплекса у пос. Никольский. В пределах таких зон повышенные концентрации металла приурочены к окварцованным и сульфидизированным породам.

Примечательно, что в породах амфиболитовой фации содержание Au не превышает 0,1 г/т. Преобладают содержания Au 0,0n г/т или в пределах чувствительности метода. Это указывает на существенный вынос золота из пород обрамления Ларинского гранито-гнейсового купола и подтверждает разрабатываемую нами [3, 7] модель метаморфогенно-гидротермального золотообразования в черносланцевых толщах Южного Урала.

Таким образом, зональный метаморфизм способствовал миграции и перетолжению золота. Приуроченность его повышенных содержаний к породам внешней зоны зеленосланцевой фации может служить поисковым признаком золотого оруденения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряк В.А. Генетические особенности золото-сульфидной минерализации центральной части Ленской золотоносной провинции // Вопросы генезиса и закономерности размещения золотого оруденения Дальнего Востока. М., 1966. С. 66–100.
2. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982.
3. Геология, петрогеохимия и рудоносность углеродистых отложений Южного Урала. А.В.Сначёв, В.И.Сначёв, М.В.Рыкус и др. – Уфа: ДизайнПресс, 2012.
4. Коробейников А.Ф. Особенности распределения золота в породах черносланцевых формаций // Геохимия. 1985. № 12. С. 1747–1757.
5. Пучков В.Н., Иванов К.С. К стратиграфии черносланцевых толщ на востоке Урала // Ежегодник–1988 ИГиГ УФАИ СССР. Свердловск, 1989. С. 4–7.
6. Сначёв А.В., Пучков В.Н., Савельев Д.Е., Сначёв В.И. Геология Арамилско-Сухтелинской зоны Урала. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006.
7. Сначёв А.В., Савельев Д.Е., Сначёв В.И. Палладий-золото-редкометалльная минерализация в углеродистых сланцах зигазино-комаровской свиты (Южный Урал) // Руды и металлы. 2010. № 4. С. 14–19.
8. Чесноков С.В. Проблема ильменогорских гнейсов // Ильменогорский комплекс магматических и метаморфических пород. Свердловск, 1971. Т. 1. С. 33–60 (Труды / Ильменский государственный заповедник; вып. IX).

УДК (553.4+550.81+551.448):551.76. (470.5)

© А.Г.Баранников, 2013

## РУДОНОСНОСТЬ ЗАПОЛНЕННОГО МЕЗОЗОЙСКОГО КАРСТА НА УРАЛЕ: ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ

А.Г.Баранников (ФГБОУ ВПО «Уральский ГГУ»)

*С заполненным карстом мезозойского возраста на Урале связан широкий комплекс гипергенных полезных ископаемых — железных и никелевых руд, бокситов, россыпей благородных металлов, медистых глин, нерудного сырья. Определены литолого-стратиграфические особенности рудоносных горизонтов карстовых зон. Прослежена пространственная связь рудоносного карста с мезозойскими эрозионно-структурными депрессиями. Установлено наложение низкотемпературного метасоматоза аргиллизитовой формации, сопровождаемого формированием благороднометального оруденения нетрадиционного типа, на юрские и меловые породы. С новым типом оруденения связываются перспективы переоценки в регионе известных рудно-россыпных районов и узлов.*

*Ключевые слова:* карст, мезозой, руда, золото, депрессия, нетрадиционный тип.

Баранников Александр Григорьевич, [barfam1@mail.ru](mailto:barfam1@mail.ru)

## ORE CONTENT OF FILLED MESOZOIC KARST IN URALS: PROBLEMS OF LEARNING

A.G.Barannikov

*The wide range of hypergene ore minerals such as iron and nickel ores, bauxite, precious metal placer deposits, copper containing clays, nonmetallic feed is closely linked with filled karst of Mesozoic age. The lithologic-and-stratigraphic irregularities of ore – hosting skylines of karst zones are identified. The positional of ore bearing karst Mesozoic erosion structured loss is traced. The facts of low temperature metasomatism argillized rocks overprint onto Jura and cretaceous ores accompanied by precious metal placer emplacement of not traditional type are determined. The aspects of overestimation of already known ore bearing spots are to be linked with the new type emplacement in the area.*

*Key words:* karst, Mesozoic, ore gold, draught loss, argillized, not traditional type.

Древний заполненный карст — одна из достопримечательностей Уральского подвижного пояса. В толще карбонатных пород карст формировался на различных этапах развития региона. Наиболее масштабно процессы карстообразования протекали в раннем – среднем девоне и мезозое. В настоящей статье рассматриваются проблемы формирования лишь мезозойского карста.

С заполненным карстом мезозойского возраста на Урале связан широкий комплекс гипергенных полезных ископаемых. В первую очередь, сказанное относится к рудным месторождениям — россыпям золота и платины, железным рудам осадочного генезиса, бокситам, рудным объектам силикатного никеля, полиметаллам. С карстовыми зонами связаны также нерудные полезные ископаемые — россыпи алмазов, камнесамоцветное сырье, каолиновые огнеупорные глины, маршаллиты, фосфориты, кварцевые, строительные и формовочные пески, кирпичные глины и иное минеральное сырье.

Многолетними геолого-геоморфологическими исследованиями обоснованы морфоструктурные, палеогеоморфологические, структурно-тектонические, литолого-стратиграфические факторы, определяющие формирование и пространственное раз-

мещение экзогенных полезных ископаемых в рудо-вмещающих структурах Урала [4, 10, 15]. Многие из них связаны с зонами развития древнего (мезозойского) карста.

Мезозойские и кайнозойские полезные ископаемые Урала классифицированы в естественные ассоциации, принадлежащие к определенным геологическим формациям. Закономерную приуроченность экзогенных полезных ископаемых к конкретным геологическим формациям следует рассматривать в качестве ведущего критерия геологического прогнозирования. На этой основе можно прогнозировать выявление парагенетически близких, но пока еще не обнаруженных минеральных объектов [8, 16].

Локализация карстовых форм в пространстве обусловлена совокупностью факторов. В их числе — распространенность карстующихся пород, структурно-тектонические особенности территорий, существовавшие климатические условия. Карстовые зоны обычно наследуют зоны тектонических и стратиграфических контактов (а также несогласий), тяготеют к контактам карстующихся толщ с магматическими и терригенно-осадочными породами, наследуют зоны сульфидизированных пород. При этом разрывные нарушения нередко имеют рудоконтролирующее значение.

Карстовые полости благоприятны для аккумуляции полифациальных терригенных отложений и заключенного в них продуктивного вещества [7, 11]. Процесс седиментации и распределения полезных компонентов обусловлен характером поступления материала в область карстовых полостей. В них присутствует не только слабо обработанный и плохо отсортированный местный материал с высоким содержанием глинистой компоненты, но и транзитный. На процесс аккумуляции оказывали влияние форма, размеры, рельеф бортов и днищ карстовых провалов. При значительных глубинах карста происходила быстрая разгрузка обломочного материала, формировались отложения повышенной мощности со слабой дифференциацией в разрезе полезных компонентов, а в случае формирования россыпей — с растянутым по вертикали «пластом». В зависимости от соотношения продуктивного и непродуктивного материала «пласт» мог оказаться как разубоженным, так и аномально обогащенным. При определенных условиях в карстовых полостях возникали уникальные по богатству россыпи. В случае подновления карстового процесса золотосодержащие горизонты приобретали наклонное залегание, образуя «косые пласты» [2]. Эти участки, отличавшиеся исключительным богатством, у старателей получили название «миллионные ямы».

При обобщении материала по рудоносности мезозойского карста на Урале, И.И. Гинзбург охарактеризовал способствующие этому факторы [6]:

- 1) относительно пониженное положение карста в рельефе (в депрессии);
- 2) непосредственный или близкий контакт карста с металлоносными породами и рудными объектами;
- 3) интенсивно проявленный процесс выветривания с высвобождением множества рудных элементов, попавших затем химическим или механическим путем в карст;
- 4) щелочной характер карстовых вод;
- 5) благоприятные условия сохранения от эрозии отложившихся в карсте руд;
- 6) разложение материала, попавшего в карстовые депрессии;
- 7) частичное продолжение роста карста после отложения полезного металла;
- 8) линейное расположение рудных залежей, гнездовое или линзообразное — наиболее богатых участков.

*Характеристика карстовых отложений и их рудоносность.* Континентальные отложения Урала, содержащие гипергенные полезные ископаемые и приуроченные к зонам развития карста, разнообразны по литологическому составу. Отложения, сформировавшиеся в эпохи химического выветривания, по составу приближены к продуктам коры выветривания. Другие, образовавшиеся в эпохи преобладающего физического выветривания, отли-

чаются полимиктовым составом, близким к породам областей питания. В составе третьих, накопившихся в условиях семиаридного климата, присутствуют продукты как химического, так и физического выветривания.

К наиболее древним, выполняющим глубокие части карста, отложениям относятся нижнеюрские (возможно,  $T_3-J_1$ ) делювиально-пролювиальные образования. Они представлены неотчетливо слоистыми и неравномерно окрашенными серыми, желтовато-коричневыми, местами охристыми глинистыми и песчано-глинистыми породами, содержащими неокатанный материал (от дресвы и щебня до крупных остроугольных глыб) местных пород. Вся толща «глинизирована» не только при позднем химическом выветривании пород, но и нередко при наложенных низкотемпературных процессах аргиллизации. В составе глинистых минералов присутствуют каолинит, гидрослюда, иногда монтмориллонит. На основании сопоставления литологического состава данных пород с палинологически охарактеризованными толщами на Южном Урале [17] они отнесены к нижнеюрским образованиям. Иногда фиксируется их перекрытие надежно датированными породами лангурской свиты ( $J_{2-3}ln$ ). Полезные ископаемые гипергенного генезиса с ними не связаны (за исключением отдельных стяжений и залежей бурого железняка). Однако они могут служить благоприятной средой для локализации более позднего наложенного оруденения, обусловленного низкотемпературным гидротермальным процессом.

К россыпемещающему горизонту в зонах древнего карста отнесены аллювиальные, делювиально-аллювиальные отложения лангурской свиты юрского возраста ( $J_{2-3}ln$ ), в строении которой принято выделять нижнюю и верхнюю части. Основная часть россыпного металла связана с нижней частью свиты, представленной сероцветными (серовато-белыми, зеленовато-серыми, желтовато-серыми) гравийно-глинисто-галечными аллювиальными отложениями преимущественно кварцевого состава. Отмечено присутствие гальки и валунов алюмосиликатных пород, претерпевших более позднее химическое выветривание уже в россыпи (месторождения Екатерининское, Чернореченское, Серебрянское и др.). Пелитовая составляющая — каолинит, удлиненно-пластинчатая гидрослюда, монтмориллонит. Встречаются чешуйки хлорита и многочисленные углефицированные остатки.

Другой надежно датированный стратифицированный горизонт — верхнемеловые (сеноманские) белоцветные аллювиальные, озерно-аллювиальные

отложения мысовской свиты ( $K_2ms$ ). Светло-серые, белые, желтовато-розовые каолиновые, гидрослюдисто-каолиновые глины переслаиваются с песками, галечниками существенно кварцевого, кремнисто-кварцевого состава. При подновлении карстового процесса золотосодержащие горизонты порой приобретали наклонное залегание, образуя «косые пласты» [2]. Галечные металлоносные горизонты могут присутствовать в разрезе неоднократно, в основном тяготея к нижней его части. Глинистая составляющая имеет каолиновый состав с тем или иным количеством гидрослюды.

Нередко в зонах глубокого карста имеются перемещенные продукты разрушения силифицированных карбонатных пород — «беликовая толща» условно мезозойского возраста. Более точно ее возраст определяется на основе датировок перекрывающих пород [15]. Образования толщи обычно приурочены к глубоким частям закарстованного цоколя, а также к бортовым частям карстовых депрессий. Представлены неслоистой рыхлой мучнистой массой с угловатыми обломками окремнелого известняка, кварца. Иногда отмечаются прослой кварцевого песка, галечников, каолиновых глин. Цементирующая масса состоит из халцедона, опала, кварца, каолинита (нередко окристаллизованного), гидрослюды. Россыпное золото встречается крайне редко в единичных знаках. С «беликовой толщей» часто пространственно ассоциируют нижнемеловые (готтерив-апт-альб) аллювиально-озерные образования синарской свиты ( $K_1sn$ ) — пестроцветные (перемежаются красные, белые, желтые, фиолетовые) глинистые (существенно каолиновые) породы. Отмечены прослой кварцевого песка с редкой галькой. Промышленно значимая россыпная золотоносность с ними не связана.

В последние годы при проведении поисковых и разведочных работ принято выделять в разрезе рыхлой толщи карстовых зон так называемые перемещенные коры химического выветривания (иногда их называют «переотложенными»). Они приурочены к палеосклонам, реже к днищу глубоких карстовых полостей. По минеральному составу и облику их можно параллелизовать с делювиальными, делювиально-пролювиальными накоплениями, мало отличающимися по составу от кор выветривания остаточного типа. Возможны значительные вариации их состава, облика, строения. Так, в пределах Екатерининского рудно-россыпного узла (Северный Урал) перемещенные коры в верхней части разреза представлены дресвяно-глинисто-песчаными породами каолинит-гидрослюдисто-кварцевого состава. Ниже, ближе к контакту с карбонатными породами, они сменяются более темноокрашенными

глинисто-песчаными породами каолинит-монтмориллонит-кварцевого состава «короподобного» облика. На Крылатовско-Чесноковской площади (Средний Урал) перемещенные коры имеют пестроцветный облик (чередуются фиолетовые, красновато-коричневые и желтоватые) и содержат прослой, гнезда слюдисто-сажистых скоплений. Россыпная золотоносность перемещенных кор обычно низкая и связана с прослоями глин со щебнем и глыбами местных выветрелых пород.

В верхней части разреза карстовых зон нередко присутствует еще один горизонт белоцветных золотосодержащих отложений — ниже-среднемиоценовые аллювиальные, озерно-аллювиальные накопления, сопоставляемые с наурзумской свитой ( $N_1^{1-2nr}$ ). Светло-серые, иногда желтовато-белые глины существенно гидрослюдистого состава (с примесью каолинита, смешанослойных минералов), а также кварцевые, кварцево-кремнистые пески и галечники локализованы в сохранившихся фрагментах раннемиоценовой речной сети. Данные по минеральному составу свидетельствуют о накоплении пород за счет размыва продуктов химического выветривания каолин-гидрослюдистого состава.

Активное заполнение карстовых зон произошло и на более поздних этапах континентального развития региона. При перемыве золотосодержащих отложений отмечено формирование делювиально-пролювиальных россыпей позднемиоценового возраста ( $N_1^{2-3}$ ), представленных красноцветными отложениями каракольской серии. В плиоцен-четвертичную эпоху формировались россыпи, связанные с современной гидросетью.

Наиболее масштабно процессы карстообразования протекали в пределах региональных россыпемещающих морфоструктур — мезозойских эрозионно-структурных депрессий (ЭСД) [15]. Обобщение картографических материалов показало, что на карстующиеся породы в пределах ЭСД приходится ~35%. Преобладающая глубина карстовых зон 20–40 м, нередко их корни достигают 100–200 м, а в отдельных случаях 800 м и более.

Образование сверхглубокого карста в карбонатных толщах Уральского региона изучено недостаточно. Попытки увязать аномальные карстовые провалы с базами эрозии прошлых геологических эпох (абсолютными отметками палеодолин, линиями палеопобережий) обычно оказываются не состоятельными. Наиболее вероятно, на наш взгляд, появление сверхглубокого карста в процессе формирования гидротермокарста [11]. Концепция формирования гидротермального карста (в аспекте его сопряженности с процессами рудообразования) на сегодняшний день практически не раз-

работана. В то же время реальность ее существования подтверждают накапливающиеся материалы.

Происхождение депрессий связано с деятельностью мезозойских речных систем. Заложение наиболее протяженных депрессий (Вишерско-Висимской, Туринско-Богословской, Ивдельско-Тагильской, Невьянско-Кантуровской и др.) произошло, скорее всего, еще на ранних стадиях формирования мезозойского пенеплена в среднем – позднем триасе. Однако основная эрозионная деятельность палеодолин приходится на юрско-меловое время (включая сеноман). Значительное эрозионное снижение территории оказалось возможным благодаря соизмеримости темпов химического выветривания и скорости денудации гипергенно преобразованных пород.

Пространственное размещение ЭСД предопределено совокупным влиянием литоморфных и структурно-тектонических факторов. Депрессии нередко наследуют линейные зоны глубинных разломов, коллизионных швов, межформационных несогласий в породах субстрата, площади распространения легко поддающихся разрушению толщ (карстующихся, сланцевых пород, зон развития метасоматитов). На многих отрезках ЭСД разрабатывали шовные зоны. В них при многократной смене режимов сжатия-растяжения могли неоднократно проявляться сдвиги-надвиговые дислокации, функционировать теплофлюидопотоки, процессы дислокационного метаморфизма, полихронного метасоматизма, карстообразования. Мезозойские депрессии следует рассматривать не только как зоны векового накопления благородных металлов, но и ряда других полезных ископаемых. В пределах депрессий установлены [15]:

бурые железняки инфильтрационного генезиса (алапаевский тип), пространственно и генетически связанные с областями развития нижнемеловых пород синарской свиты и беликовой толщи;

бобово-конгломератовые железные руды (халиловский и серовский типы) в верхнемеловых аллювиально-озерных отложениях мысовской свиты;

бокситовые руды (соколовский тип) в озерных фациях нижнемеловых пород синарской свиты;

силикатно-никелевые руды линейно-карстового генезиса (уфалейский тип) среди перемещенных кор химического выветривания мезозойского возраста в зонах контакта гипербазитов с карбонатными породами;

месторождения нерудного сырья — огнеупорные глины (белкинский тип), маршаллиты (архангельский тип), кирпичные глины, кварцевые, строительные, балластные пески и т.д.

Россыпные месторождения золота — наиболее промышленно значимый тип месторождений в пре-

делах карстовых депрессий. Предложено выделять два ведущих типа россыпей в их пределах [12]: элювиально-делювиальные, связанные с химическими корами выветривания в пределах контактово-карстовых зон, и флювиальные (аллювиальные, пролювиально-аллювиальные фации) пластовые горизонты (нередко многопластовые) эрозионно-карстовых депрессий с неравномерным распределением металла.

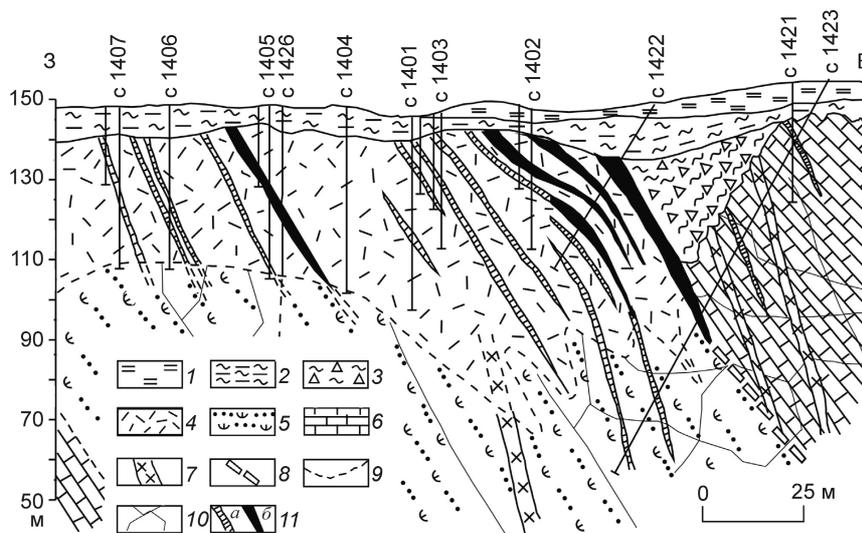
Известные в настоящее время полезные ископаемые областей заполненного карста не исчерпывают всего их многообразия. Так, на Среднем Урале в районе г. Полевского известно Гумешевское месторождение медистых глин, приуроченное к карстовой депрессии в приконтактной зоне кварцевых диоритов и мраморизованных известняков [3]. Продукты карстового заполнения представлены перемещенными химическими корами выветривания, незакономерно переслаивающимися в разрезе с пестроцветными каолиновыми глинами и горизонтами охристых бурожелезняковых образований. Повышенные концентрации меди в глинистых породах возникли при разрушении оруденения медно-скарнового и, возможно, медно-порфирового типов с последующим перемещением продуктов гипергенеза в зону глубокого карста. Химическое выветривание в юрско-меловое время обусловило гипергенную миграцию меди с формированием в нижней части разреза залежей малахита. Присутствие в медистых глинах золота (0,05–1,0 г/т, редко более) связано с метасоматическим преобразованием пород (скарны, березиты, аргиллизиты-джаспероиды).

*О проявлениях карста гидротермальной природы (гидротермокарста).* Распространенные ранее представления о практически полном прекращении рудообразующих процессов в среднем – позднем мезозое на постороженном этапе развития Урала не подтверждаются результатами исследований последнего времени [5, 14]. В обстановке многократной смены сжатия-растяжения могли неоднократно проявляться тектонические подвижки различной интенсивности и глубины заложения. Это могло сопровождаться формированием рудоносных флюидов золото-аргиллизитовой формации. В тех случаях, когда низкотемпературные процессы затрагивали уже сформированные золотоносные структуры, возникали условия для неоднократной регенерации металла, его вовлечения в новые гидротермально-метасоматические циклы. В этой связи поисковый интерес приобретают области развития глубокого заполненного карста, корневые части которого во многих случаях наследуют зоны тектонических нарушений, контактовых поверхно-

стей. Сказанное находит подтверждение при рассмотрении ряда примеров.

В пределах Екатерининского рудно-россыпного узла (Северный Урал) установлено наложение продуктов низкотемпературного аргиллизитового процесса на континентальные отложения лангурской свиты ( $J_{2-3}ln$ ), а также химические коры выветривания остаточного типа [1]. В корях выветривания золотое оруденение представлено наклонно и круто залегающими минерализованными зонами, границы которых определяются лишь по данным опробования керна. Содержание Au колеблется от 0,1 до 4,2 г/т. Среднее содержание Au по скв. 1422 на интервал 6,9 м составило 1,8 г/т (рис. 1). Оруденение в

нижней части разреза лангурской свиты (делювиально-пролювиальные и аллювиальные фации), представленного сидеритизированными зеленоцветными и рыжевато-охристыми гравийно-песчано-глинистыми отложениями вблизи их контакта с карбонатными породами, локализовано в субгоризонтальных или слабонаклонно залегающих минерализованных зонах. Содержание Au колеблется в пределах 0,5–6,6 г/т. В одной из поисковых скважин средневзвешенное содержание Au на мощность 9,6 м составило 1,6 г/т. Золото рудного облика относится к тонкому, пылевидному и тонкодисперсному классам крупности, характеризуется широким диапазоном колебания пробыности (740–990%). Основной примесью в золоте является серебро, в малых количествах присутствуют Cu (до 0,12%), Fe (до 0,21%), Sb (до 0,19%). Встречены золотины неоднородного состава, зонального строения. В породах лангурской свиты, преобразованных при низкотемпературном метасоматозе, возрастает количество монтмориллонита (до 70%), присутствуют метасоматические сидерит (до 60%) и сульфиды (пирит, марказит, халькопирит, галенит) (до 2–3 %). Самородное золото большей частью находится в сростании с глинистыми минералами (сметитом, гидрослюдой).



**Рис. 1.** Геологическая позиция золотого оруденения в химических корях выветривания Екатерининского рудно-россыпного узла (профиль 14, по К.А. Зубареву, В.В. Александрову):

1 — техногенные образования; 2 — светлоокрашенные каолиновые глины с прослоями глинистого песка, гравия и галькой кварца (лангурская свита, верхняя подсвита,  $J_{2-3}ln$ ); 3 — зеленовато-серые каолин-монтмориллонитовые глины с горизонтами песчано-галечного материала и стяжениями сидерита, развитые в зоне карста (лангурская свита, нижняя подсвита,  $J_{2-3}ln$ ); 4 — химические коры выветривания остаточного типа (eld  $MZ_{2-3}$ ); 5 — вулканогенно-осадочные породы ( $D_{1-2}$ ); 6 — карбонатные породы ( $D_{1-2}$ ); 7 — дайковый комплекс диоритов ( $D_2a$ ); 8 — тектонические нарушения; 9 — геологические границы; 10 — зоны катаклаза, брекчирования; 11 — ореолы Au (минерализованные зоны) с содержанием 0,1–1,0 (а), >1,0 г/т (б)

Отмечено наличие мелких зерен кварца «рисовидного» облика. Совместно с золотом в глинистых породах установлены проявления платиноидной минерализации.

В зоне глубокого заполнения карста на площади Крылатовско-Чесноковского рудно-россыпного узла (Средний Урал) также установлены проявления золото-аргиллизитовой формации [9]. Оруденение развито в породах карстового заполнения (делювиально-пролювиального типа), включающих горизонты перемещенных кор выветривания, прослой пестроцветных глин с бурожелезняковыми скоплениями. По облику и составу они близки к породам синарской свиты, что позволяет рассматривать эти накопления как раннемеловые. На глубинах 40–80 м выявлены рудоносные интервалы (с содержанием Au 0,2–3,8 г/т). По этим данным выделен ореол золота, тяготеющий к нижней части разреза (рис. 2). Золото мелкое рудного облика (не исключается присутствие в ореоле аллотигенного металла). Оно ассоциирует с мелкими зернами неокисленного пирита сложных кристалломорфных очертаний. Рудоносный интервал совпадает с выявленным на глубине комплексным геохимическим ореолом (Cu-Zn-Pb-As).

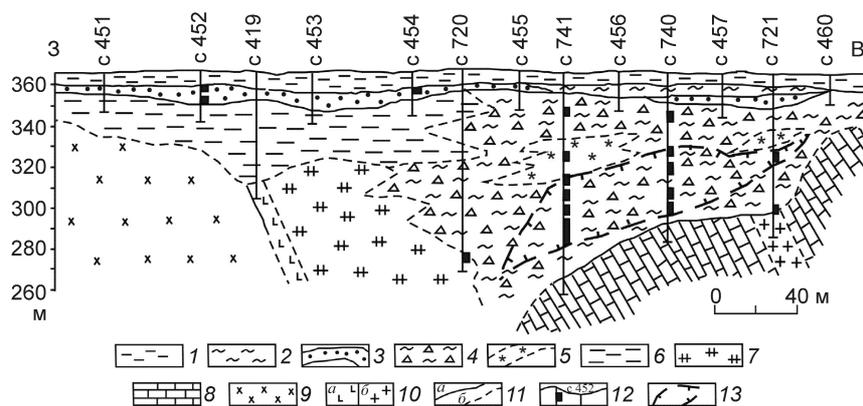


Рис. 2. Золотое оруденение в зоне глубокого карста Крылатовско-Чесноковско-го рудно-россышного поля (профиль 8, по [9]).

1 — буровато-коричневые глины с галькой кварца (eld  $Q_{2-3}$ ); 2 — охристо-бурые глины с железистым бобовником (lal  $N_{2-3}$ ); 3 — песчано-галечно-щебнистый горизонт (eld  $N_{2-3}$ ); 4 — пестроцветные гидрослюдисто-каолиновые глины с горизонтами щебня и перемещенных кор выветривания (dpl  $K_1$ ); 5 — линзы буро-железняковых скоплений; 6 — глинистые коры выветривания; 7 — дресвяно-глинистые коры выветривания; 8 — мраморизованные известняки ( $D_{1-2}$ ); 9 — гранитоиды; 10 — дайки (a — долеритов, б — гранитоидов); 11 — геологические границы (a — установленные, б — предполагаемые); 12 — скважины колонкового бурения с данными опробования на Au (0,2–3,8 г/т); 13 — ореол золота в продуктах карстового заполнения

На Воронцовском золоторудном месторождении (Северный Урал) с глубоким карстом связаны так называемые окисленные руды, успешно отрабатываемые с 1999 г. Месторождение открыто в 1984 г. (Б.А.Гладковский, В.И.Кравченко) при оценке «рудного карста» в районе старой золотодобывающей шахты «Надежда». Первичные золотосульфидные руды локализованы в мощной полого падающей на запад зоне, приуроченной к тектоническому контакту среднедевонских карбонатных и вулканогенно-осадочных пород. На выходах рудной залежи в зону карста в нижнеюрских делювиально-пролювиально-карстовых накоплениях сформировались окисленные руды. Они подразделяются на структурные и перемещенные. Глинистые минералы представлены каолинитом, гидрослюдой, монтмориллонитом. В составе тяжелой фракции шлихов присутствуют минералы, отражающие состав разрушенных и перемещенных в зону карста коренных пород и руд, а также продуктов более позднего наложенного гидротермального процесса. Генезис руд карстовых полостей рассматривается как полигенный. Они сформировались не только в процессе разрушения первичных (скальных) руд, но и благодаря более поздним наложенным процессам низкотемпературного метасоматоза (аргиллизации, джаспероидизации). О проявлении гидротермального воздействия на породы карста свидетельствуют пластическая форма залежей окисленных руд, распо-

лагающихся в карстовой зоне на продолжении первичных; присутствие неокисленных сульфидов (пирита, галенита, антимонита и др.); близость параметров самородного золота в первичных и окисленных рудах; наличие теллуридов серебра, входящих в состав сульфосолюльно-полиметаллической ассоциации первичных руд.

В Уфалейском районе (Средний Урал) известны контактово-карстовые месторождения силикатного никеля, связанные с массивами ультраосновных пород. Глубина карстовых депрессий достигает здесь 50–100 м и более (до 400 м). Они заполнены выщелоченными и керолитизированными серпентинитами, гидрогетитом, кварцем, нонтронитом, тальком. На стенках карстовых депрессий наблюдаются пленки, прожилки никельсодержащих силикатов (гарниерита, непуита, ревдинскита). Особый тип гипергенно-метасоматических никелевых руд развит в придонных частях карстовых депрессий (на глубинах в сотни метров). Рудой является брекчия, состоящая из остроугольных обломков и глыб окварцованных серпентинитов, сцементированных кварцем и силикатами никеля. По данным Л.М.Петрухи, А.С.Вершинина [13], кварц-гарниеритовые руды имеют гидротермальное происхождение (отложились из гипогенных щелочных растворов).

Рудоносные процессы аргиллизитовой формации выявлены и при оценке ряда площадей на редкометальное сырье. В пределах Верхне-Макаровской площади (Средний Урал) при оценке контактово-карстовых зон, содержащих иттрий-редкоземельное (TR+Y) оруденение, обнаружены рудные тела с содержанием TR+Y в пределах 1,0–2,2 кг/т и Au до 0,2 г/т. Формирование оруденения связано с наложенным процессом низкотемпературного метасоматоза. Рудные тела имеют наклонное залегание, пересекают субгоризонтальную слоистость продуктов карстового заполнения [18].

В итоге сделаны следующие обобщения и выводы. С заполненным карстом мезозойского возраста на Урале связан широкий комплекс полезных

ископаемых рудного и нерудного сырья. Значительный интерес эти рудовмещающие структуры приобретают на современном этапе изучения региона в связи с ориентацией поисковых и разведочных работ на новые и нетрадиционные типы оруденения.

Мезозойские эрозионно-структурные депрессии рассматриваются не только как региональные россыпелокализирующие морфоструктуры. Нередко они наследуют рудовмещающие зоны, перспективные на нетрадиционные типы золотого оруденения. Имеющиеся материалы свидетельствуют о проявлении в структурах длительного развития гидротермального карста (гидротермокарста). Его минерагеническая роль остается практически не оцененной.

Рудные подсечения, установленные в днище и нижних горизонтах заполненного карста, следует отнести к категории трудно открываемых объектов (слепого и погребенного типов). Традиционные методы поисков (маршрутные наблюдения, литохимическое опробование керн мелкометричных скважин) во многих случаях оказываются малоэффективными. Выявление оруденения нетрадиционного типа возможно при помощи комплекса методов (геолого-геоморфологических, геофизических, геохимических) с заверкой выделенных аномалий скважинами колонкового бурения (до 100 м и более) и значительном объеме опробовательских работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В.В. Золотое оруденение в зоне мезозойского карста Екатеринбургского рудно-россыпного узла (Северный Урал) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н.Чирвинского. Пермь, 2011. Вып. 14. С. 158–165.
2. Баранников А.Г. О «косых пластах» в древних россыпях на Южном Урале // Геоморфология. 1975. № 2. С. 58–63.
3. Баранников А.Г., Савельева К.П., Амирзянова Л.М. О природе формирования медистых глин Гумшевского медно-скарнового месторождения // Изв. Уральского государственного горного университета. 2011. Вып. 25–26. С. 14–22.
4. Баранников А.Г., Шуб И.З., Якушев В.М. Поисково-геоморфологические исследования при геологическом картировании Уральского региона // 100 лет геологического картирования на Урале. Екатеринбург, 1997. С. 228–232.
5. Баранников А.Г., Угрюмов А.Н. Проблемы эндогенного золотого рудогенеза мезозоя Урала // Литосфера. 2003. № 1. С. 13–26.
6. Гинзбург И.И. Мезозойские карсты и связанные с ними полезные ископаемые на Урале // Кора выветривания. М., 1952. Вып. 1. С. 89–99.
7. Древний карст и его россыпная минерагения / Под ред. Н.А.Шило. – М.: Наука, 1985.
8. Золото Урала. Россыпные месторождения (К 250-летию золотой промышленности Урала) / В.С.Шуб, А.Г.Баранников, И.З.Шуб и др. – Екатеринбург: УНФ Наука, 1993.
9. Золотоносные коры выветривания Крылатовско-Чесноковского рудного поля, Средний Урал / А.Г.Баранников, М.Я.Волькинштейн, И.А.Субботин и др. // Руды и металлы. 2010. № 3. С. 43–51.
10. Комплексное геолого-геоморфологическое картирование Урала с целью поисков гипергенных полезных ископаемых / А.П.Сигов, В.С.Шуб, Л.А.Гузовский и др. – Саратов: Изд. Саратовского ун-та, 1968.
11. Кутырев Э.И., Михайлов Б.М., Ляхницкий Ю.С. Карстовые месторождения. – Л.: Недра, 1989.
12. Методические рекомендации по поискам россыпей золота, связанных с карстом / И.Б.Флеров, Н.М.Риндзюнская, Р.О.Берзон и др. – М.: ЦНИГРИ, 1988.
13. Петруха Л.М., Вершинин А.С. О генезисе силикатных руд в карстах // Докл. АН СССР. Сер. геол. 1983. Т. 268. № 5. С. 1195–1198.
14. Рапопорт М.С., Баранников А.Г. Мезозойская эндогенная минерагения Урала (Некоторые особенности и проблемы) // Изв. Уральской государственной горно-геологической академии. Сер. Геология и геофизика. 1998. Вып. 8. С. 89–94.
15. Сигов А.П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. – М.: Недра, 1969.
16. Сигов А.П., Шуб В.С. Формационно-геоморфологические условия образования погребенных россыпей // Проблемы континентального россыпеобразования. Владивосток, 1984. С. 139–144.
17. Цаур Г.И., Якушев В.М. Методические рекомендации по литологическому расчленению континентальных и дочетвертичных кайнозойских отложений восточного склона Урала и западной части Зауралья. – Свердловск: Объединение «Уралгеология», 1982.
18. TR+Y и TR оруденение в корах выветривания Урала / В.Я.Левин, К.К.Золоев, Н.С.Сергеев и др. // Рудогенез. Мат-лы Международной конференции, 2–7 февраля 2008. Миасс – Екатеринбург, 2008. С. 174–176.

# СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДк 553.411 (470.22)

© Л.В.Кулешевич, О.Б.Лавров, А.В.Дмитриева, 2013

## ТИПОМОРФНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ РУД ДОКЕМБРИЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА ТАЛОВЕЙС, КАРЕЛИЯ

Л.В.Кулешевич, О.Б.Лавров, А.В.Дмитриева (ИГ КарНЦ РАН)

*На золоторудном месторождении Таловейс в диоритах и гранит-порфирах поздней фазы выделены пять типов рудной минерализации. Типоморфные ассоциации наиболее продуктивных на золото руд штокверка и Главной кварцевой жилы представлены высокопробным золотом (10% Ag), электрумом, петцитом, мутманнитом, калаверитом, галенитом, встречаются Ag-Pb-Bi-сульфосоли, минералы Bi-Te, гессит, висмут, серебро. В руде золото с содержанием Ag 5–15% составляет 61%, электрум — 7,4%. Приводятся составы минералов-спутников в рудах всех выделенных типов.*

*Ключевые слова:* золото, типоморфные ассоциации, гранит-порфиры, докембрий, Таловейс, Карелия.

*Кулешевич Людмила Владимировна, [kuleshev@krc.karelia.ru](mailto:kuleshev@krc.karelia.ru), Лавров Олег Борисович, [petrlavrov@krc.karelia.ru](mailto:petrlavrov@krc.karelia.ru), Дмитриева Антонина Васильевна, [DmitrievaA-V@yandex.ru](mailto:DmitrievaA-V@yandex.ru)*

## TYPMORPHIC MINERAL ORE ASSEMBLAGES OF THE PRECAMBRIAN TALOVEIS GOLD DEPOSIT, KARELIA

L.V.Kuleshevich, O.B.Lavrov, A.V.Dmitrieva

*Five types of ore mineralization have been identified in late-phase diorites and granite-porphyry at the Taloveis gold deposit, Karelia. The typomorphic assemblages of the most gold-productive ores from the stockwork and the Main quartz vein are represented by high-grade gold (10% Ag), electrum, petzite, mutmannite, calaverite and galena, Ag-Pb-Bi-sulphosalts, Bi-Te minerals, hessite, bismuth and silver are encountered. Gold which contains 5–15% Ag makes up 61% and electrum 7,4%. The compositions of the accessory minerals of all the ore types identified are described.*

*Key words:* gold, typomorphic assemblages, granite-porphyry, Precambrian, Taloveis, Karelia.

Детальное изучение минералогии докембрийских золоторудных объектов Карелии стало возможным благодаря применению электронного сканирующего микроскопа VEGA II LSH с микроанализатором INCA Energy 350 и ICP-MS анализов (ИГ КарНЦ РАН). Эти методы позволили получить новые данные по составу руд и окорудным метасоматитам основных типов месторождений (проявлений) и в дальнейшем использовать установленные минералого-геохимические индикаторы при поисковых работах.

Месторождение Таловейс (рис. 1) приурочено к северо-западной части двухфазного диорит-гранит-порфирового штока Центральный на западе Костомукшской структуры [2–6]. Разведка и оценка его ресурсов проводилась Карельской геологоразведочной экспедицией (В.Н.Фурман и др.) в 90-х годах прошлого века [7].

Комплекс Таловейс включает диориты, кварцевые диориты, гранит-порфиры и дайки андезитидитов (возраст ~2,72 млрд. лет). Они прорывают вмещающие толщи Костомукшской структуры, которые относятся к контоксской серии (ниемиярвинской и

рувинваарской свитам), и представлены метакоматиитами, амфиболитами по базальтам, коматиито-базальтам и сланцами по вулканогенно-осадочным толщам, имеющими возраст ~2,82–2,8 млрд. лет. Вмещающие толщи метаморфизованы в амфиболитовой фации, породы таловейского комплекса не затронуты этими преобразованиями. В ореоле массивов отмечаются наложенная биотитизация и эпидотизация по амфиболитам, а также хлорит-галькотремолитовые изменения по коматиитам.

Оруденение приурочено к массиву Центральный (см. рис. 1), где были выделены сульфидно-кварцевый штокверк из разноориентированных жил и прожилков, Главная жила и сопряженные с ней жилы более мелкого размера. Главная жила приурочена к субмеридиональной шир-зоне (простирается 15–20° ССВ), с ней связано наиболее богатое малосульфидное золото-кварцевое оруденение — рудное тело 1 мощностью 1,5–3 м, до 16 м в раздувах со средним содержанием Au 4–5,6 г/т (по данным бурения Карельской ГЭ). Южнее по простиранию расположено рудное тело 2 мощностью 5–40 м со средним содержанием Au 1,6–4,26 г/т.

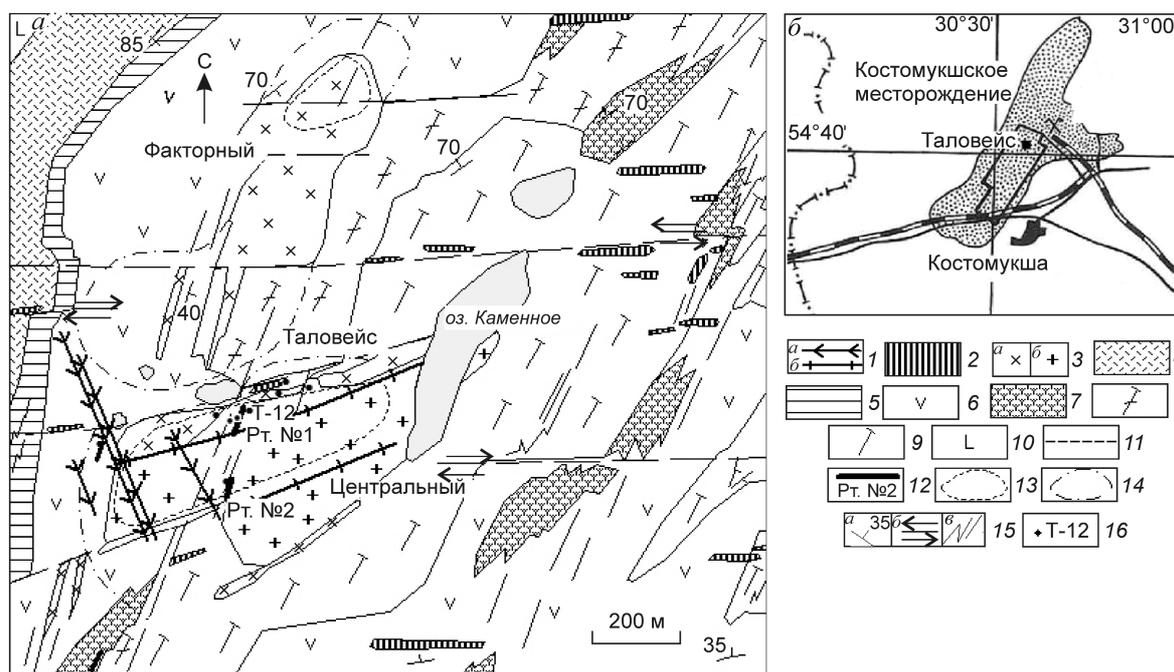


Рис. 1. Геологическое строение (а) и положение в Костомукшской структуре (б) участка Таловейс, составлена Л.В.Кулешевич с использованием материалов КГЭ:

1 — лампроиты (а), лампрофиры (б); 2 — габбро; 3 — диориты (а), гранит-порфиры (б); 4 — породы кислого состава шурловаарской свиты; 5 — железистые кварциты западной полосы; 6 — амфиболиты по базальтам рувинваарской свиты; 7 — вариолитовые метабазалты; 8 — тремолитовые сланцы по коматитобазальтам; 9 — метакоматиты; 10 — амфиболиты ниemiaрвинской свиты; 11 — зоны деформаций; 12 — кварцевые жилы и номера рудных тел; 13 — штокверки в гранит-порфирах и диоритах; 14 — ореол изменения и вкрапленная минерализация во вмещающих толщах; 15 — элементы залегания (а), сдвиговые зоны (б), складчатость (в); 16 — рудные образцы

Из Главной жилы и прожилков штокверка ранее были отобраны образцы кварца для изучения газовой-жидких включений. Установлено, что продуктивная рудная минерализация прожилков и жилы формировалась в близких температурных условиях [5]. Как показал анализ газовой-жидких включений, золото отлагалось в две стадии при снижении температуры от 360–380 до 190–140°C и вскипании растворов, давление при этом снижалось почти до 0,1 кбар. Флюидный режим рудоотложения изменялся от хлоридных, углекислотно-водных растворов с примесью метана на начальном этапе до существенно водных в конце процесса.

Минералого-геохимические работы последних лет, проведенные на участке Таловейс (шток Центральный), позволили детально изучить и выделить пять типов рудной минерализации в породах ранней фазы и гранит-порфирах: шеелит-пиритовую вкрапленную в кварцевых диоритах, арсенопиритовую (малозолотоносную) вкрапленно-прожилковую в кварцевых диоритах северо-западной части массива, халькопирит-сфалерит-пирротин-пиритовую (золото-полисульфидную) вкрапленно-прожил-

ковую и золото-сульфидно-кварцевую вкрапленную и вкрапленно-прожилковую (штокверк) в апикальной части массива гранит-порфиров, золото-кварцевую Главной жилы в субмеридиональной шир-зоне в гранит-порфирах. К продуктивным рудам относятся золото-сульфидно-кварцевые руды штокверка и золото-кварцевые Главной жилы, золото-полисульфидная минерализация встречается редко, шеелит-пиритовая и арсенопиритовая низзолотоносная приурочены преимущественно к диоритам и кварцевым диоритам первой фазы массива Центральный. Пиритовая вкрапленная минерализация в ореоле массива в эпидотизированных метабазалтах и амфиболитах слабозолотоносна, хотя и сформировалась под влиянием его растворов. С пиритом иногда и в небольшом количестве ассоциируют висмутотеллуриды.

Продукты оруденения в породах ранней фазы представлены пиритовым, шеелит-пиритовым и арсенопиритовым вкрапленно-прожилковыми минеральными типами. Шеелит-пиритовая вкрапленная минерализация развивается по зонкам расланцевания и биотитизации в диоритах первой фазы, встре-

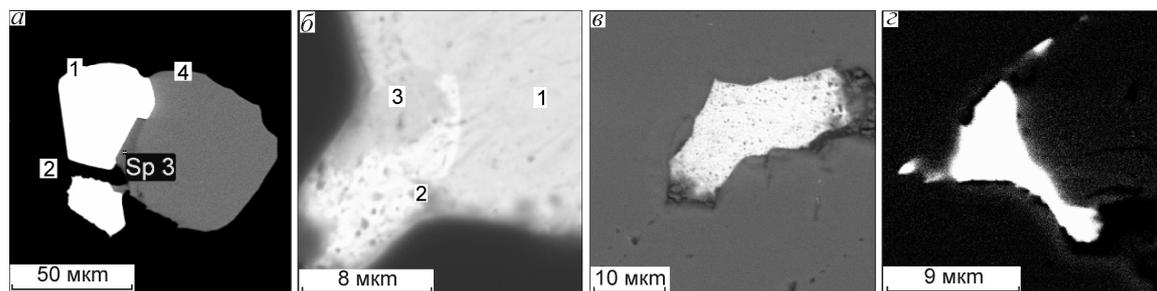


Рис. 2. Минеральная ассоциация пирит-сфалеритовых и золото-пирит-кварцевых прожилковых руд штокверка:

золото-полисульфидный минеральный тип: а — золото (1), галенит (2), халькопирит (sp. 3), сфалерит (4), обр. К-74-1-31; б — сростание галенита (1), висмута (2), Ag-висмутита (3), обр. К-74-31; золото-сульфидно-кварцевый минеральный тип: в — золото (sp. 1) в пирите, обр. Т-12-1-7; г — Ag-Pb-Bi-сульфосоли в пирите, обр. Т-12-20; мкм — размер в микрометрах, здесь и далее

чается в северной части массива вблизи контакта с вмещающими базальтами. Плагноклаз диоритов — андезин (Са 3,6%), биотит содержит Ti ~1–3,6%, акцессорные минералы — апатит, циркон, сфен, монацит. В зонах расщелачивания и вблизи прожилков развита околорудная ассоциация минералов — биотит, альбит, эпидот, кварц и поздних более низкотемпературных — кальцит, хлорит, рутил, бастнезит. Минералы с редкоземельными элементами (РЗЭ) выделяются во включениях в эпидоте и в сростании с рудными минералами. Последние — пирит (5–10%), шеелит (1–2%), единичные выделения самородного висмута. Содержание W в относительно неизменных диоритах 0,66–1,1 г/т. С появлением в них рудной вкрапленности оно повышается до 87 г/т. Содержания других элементов по данным ICP-MS анализа составляют, г/т: As 34,2, Bi 1, Mo 1,2, Ag 0,13, Bi 0,8.

Арсенопиритовая прожилково-вкрапленная минерализация (табл. 1) локализуется только в диори-

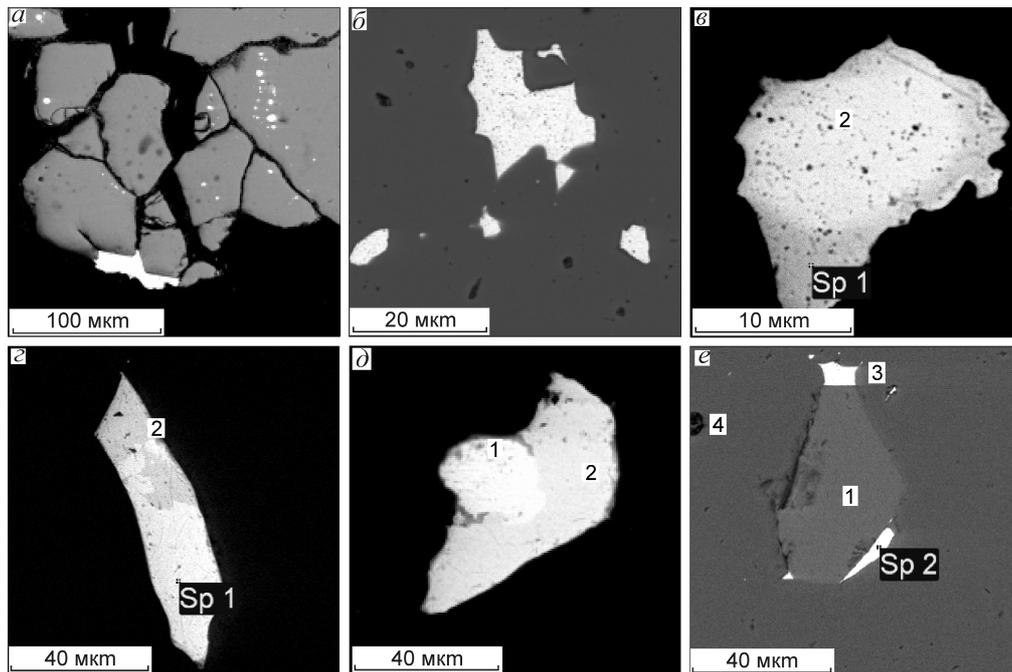
тах северо-западной части штока. Основной рудный минерал — арсенопирит, в незначительном количестве присутствуют пирит, халькопирит, пирротин, которые образуются позднее. В рудах этого типа установлены содержания, г/т: Ag 2–15, Bi 43, Sb 22,2, Te 4,1, Mo, 3,4, W 1,1. В микротрещинках в арсенопирите и пирите выделяются Ag-Pb-Bi-S-сульфосоли, такие как трезжерит  $Pb_6Ag_7Bi_{15}S_{32}$ , муммеит  $(Ag,Cu)_9Pb_2Bi_{13}S_{26}$ , реже сульфожозеит, серебро и иногда единичные зерна Ag-содержащего гринокита (Ag до 2,7–3%). Редкоземельные элементы входят в состав монацита и бастнезита, которые встречаются как в арсенопирите, так и в кварце. При окислении руд образуется скородит.

Рудная минерализация в гранит-порфирах представлена золотосодержащими прожилками штокверка и Главной золото-кварцевой жиллой. Золото-полисульфидные прожилковые руды северной части штока Центральный содержат высокие concentra-

### 1. Состав минералов ассоциации арсенопиритовых прожилковых руд

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
S, %	21,70	21,98	24,15	21,69	16,73	18,98	19,90	17,74	16,75	17,82	16,75	6,51	6,59
Fe	34,11	33,26	33,14	33,42									
Cu						1,96	1,51			1,16	1,14		
Ag					11,38	10,79	11,94	10,57	9,69	9,44	9,70		
Pb					21,44	5,14	5,60	8,95	12,51	8,97	11,78	1,96	0,23
Bi					50,45	63,13	61,05	62,74	61,06	62,62	59,93	78,89	81,56
As	44,19	44,75	42,71	44,89									
Te												12,64	11,61
$T_{обр}$	415	420	350	400									
Сумма	100	99,99	100	100	100	100	100	100	100,01	100,01	100	100	100
Участок	12-1	17-2	18-8	18	4-1	5-1	11-1	13-3	24-3	17-1	17-3	13-1	24-2

Примечание. 1–4 — арсенопирит  $FeAsS$ , 5 — трезжерит  $Ag_7Pb_6Bi_{15}S_{32}$ , 6–11 — муммеит  $(Ag,Cu)_9Pb_2Bi_{13}S_{26}$ , 12–13 — сульфожозеит  $Bi_4Te_2S$ . Средняя  $T_{обр}=400^{\circ}C$  (рассчитана с использованием геотермометра Скотта). Приводятся результаты исследований, полученные на электронном сканирующем микроскопе VEGA II LSH с микроанализатором INCA Energy 350 в ИГ КарНЦ РАН (здесь и далее точность определения — второй знак после запятой).



**Рис. 3. Золото-кварцевая минеральная ассоциация Главной жилы:**

*a* — пирит, золото (белое), обр. Т-5-31; *б* — золото (белое) в пирите, обр. Т-12/5а-9; *в* — золото (2), в кайме электрум (sp. 1), обр. Tal-3-27, *г* — пеццит (sp. 1), гессит (2) в пирите, обр. Tal-1-9; *д* — теллуровисмутит (1) пеццит (2), обр. Tal-1-22; *е* — пирротин (1), калаверит (sp. 2), пеццит (3) в пирите (4), обр. Tal-1-10

ции Zn 3,7, Pb 0,52, Cd 0,11%, Ag 67,4, Bi 276,2 г/т, повышенные Te 33,1, As 18 г/т (канавка К-74). Изменения в зальбандах кварцевых прожилков

представлены преимущественно биотитом, с которым ассоциируют олигоклаз, микроклин, эпидот, хлорит, акцессорный циркон, апатит, сфен, рутил.

**2. Состав Bi-Te-фаз и сульфосолей из прожилковых руд штокверка и Главной кварцевой жилы**

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S, %	14,12		16,23	16,89			6,01	0,64			5,60	
Ag	6,75		12,25	11,93	45,21	60,88						
Pb			33,68	31,10						59,87		
Bi	79,13	82,09	37,85	40,08			66,96	74,14	100		59,56	68,70
Te		17,91			54,79	39,12	27,03	25,22		40,13	34,84	31,30
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Образцы	К-74-1	К-74-3	Т-12	Т-12/4	Т-12			Т-12/1		Т-12/4	К-329-2	
Участок	7-1	12-1	16-1	5-2	10	11	5-1	3-1	9-1	13	5-1	8-1
S, %	18,29	18,76	13,78					4,19	2,58	1,39	0,16	
Ag	11,41	8,95	86,22									62,79
Pb	25,80	32,76			66,23							
Bi	44,50	39,52		52,07		100	67,50	67,98	75,25	74,51	75,33	
Te				47,93	31,03		32,50	27,83	22,17	24,10	24,51	37,21
Сумма	100	99,99	100	100	97,26	100	100	100	100	100	100	100
Образцы	Т-12/5а	ITal-2	Tal-1		Tal-3						ITal-3	
Участок	2-2	3-1	1-1	22-2	18-1	13	16-1	18-2	21-1	1-1	2-1	21-2

**Примечание.** Золото-полисульфидные руды: 1 — Ag-висмутин (Ag,Bi)<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, 2 — хеллейит Bi<sub>2</sub>Te; золото-сульфидно-кварцевые руды: 3-4 — сульфосоли (оурэйт Ag<sub>25</sub>Pb<sub>30</sub>Bi<sub>41</sub>Si<sub>104</sub>), 5 — эмпрессит AgTe, 6 — гессит Ag<sub>2</sub>Te, 7 — сульфозумит Bi<sub>3</sub>Te<sub>2</sub>S, 8 — теллурожозент Bi<sub>4</sub>Te<sub>2</sub>S, 9 — висмут, 10 — аллаит PbTe, 11 — тетрадимит Bi<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>S, 12 — пильзенит Bi<sub>4</sub>Te<sub>3</sub>; золото-кварцевые руды Главной жилы: 13 — эскимойт Ag<sub>7</sub>Pb<sub>10</sub>Bi<sub>15</sub>S<sub>36</sub>, 14 — оурэйт, 15 — акантит Ag<sub>2</sub>S, 16 — теллуровисмутит Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, 17 — аллаит PbTe, 18 — висмут, 19 — пильзенит Bi<sub>4</sub>Te<sub>3</sub>, 20-23 — теллурожозент, 24 — гессит.

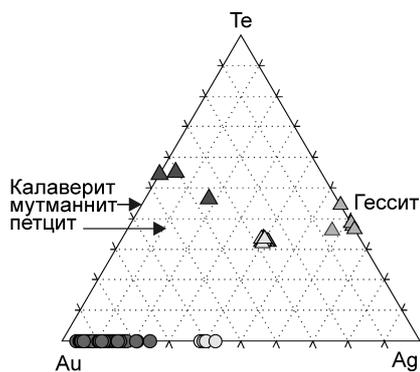


Рис. 4. Диаграмма Au-Ag-Te (золото, электрум, Au-Ag-Te-фазы)

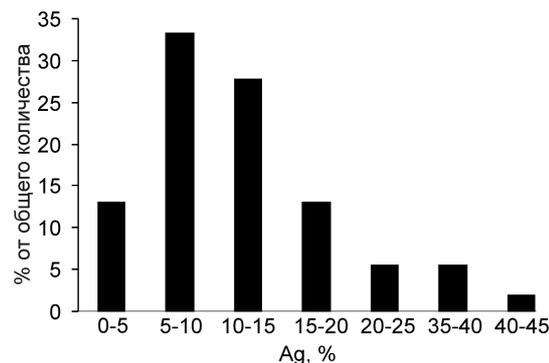


Рис. 5. Частота встречаемости проб золота с разным содержанием серебра

Рудная ассоциация прожилков включает сфалерит (Fe 5,92–8,44, Cd 1,6–3,09%), пирит, в меньшем количестве отмечаются халькопирит, галенит, висмут, висмутин (Ag до 6,75%), хедлейит (Ag до 0,36%), золото (рис. 2, табл. 2, 3).

Пирит выделяется первым, его цементирует сфалерит. Пирротин образуется после сфалерита и проникает в него по микротрещинкам, в обоих сульфидах и в виде самостоятельных зерен кристаллизуется галенит. Висмут, висмутин и хедлейит встречаются в сростании с галенитом и золотом (см. рис. 2, а, б). Золото и электрум (размер 2–20 мкм) содержат Ag от 4,76–5,63 до 24,49–29,66%, иногда в электруме содержится Zn до 5,4–11,21% (см. табл. 3, обр. 1-6).

Пиритовые вкрапленные, вкрапленно-прожилковые руды приурочены к штокверку северо-западной части массива Центральный. Вкрапленный пирит образует кубические кристаллы размером до 0,5 см. В краевых частях кварцевых прожилков присутствуют олигоклаз, микроклин, в околожилковых породах повышено количество биотита и эпидота, с которыми ассоциируют акцессорные минералы — апатит, циркон, монацит, сфен. Количество

акцессориев (в частности циркона и апатита) значительно выше, чем в неизмененных породах. Более поздние минералы представлены кальцитом, хлоритом, рутилом, карбонатами с РЗЭ, гематитом. Во вкрапленном пирите (при валовом анализе сульфидной фракции) было установлено золото [6].

Во вкрапленно-прожилковых рудах, наиболее широко проявленных в северо-западной части штока, в ассоциации с пиритом образуются халькопирит и в незначительном количестве Pb-Ag-Bi-Te-минералы (см. табл. 2, обр. 3–12). В прожилковых рудах по данным ICP-MS-анализа повышено содержание Cu от первых граммов на 1 т до 37 г/т, Zn до 48–131, Pb 12–27, As 9–15, Bi 0,8, Mo и Te ~1, W 3,9, Ag 0,3–0,87 г/т.

Пирит содержит многочисленные мельчайшие включения галенита, халькопирит, золото и Ag-Pb-Bi-сульфосоли, представленные рядом оурэита (см. рис. 2, в, з). Они проникают в пирит по микротрещинкам. Вместе с галенитом выделяются более редкие минералы — висмут, хедлейит, пильзенит, тетрадимит, эмпрессит, гессит, алтаит (см. табл. 2, обр. 3–12). В рудном теле 2 по канавам К-203, 207, 329 в южной части участка с ксенолитами измененных

### 3. Состав золота вкрапленно-прожилковой минерализации штокверка

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Zn (%)					5,41	11,21							
Ag	5,63	4,76	28,18	29,34	26,90	29,66	24,49	26,71	23,21	35,22	33,64	22,26	100
Au	94,37	95,24	71,82	70,66	67,68	59,13	75,51	73,29	76,79	64,78	66,36	77,74	
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Образцы	К-74/1		Т-12			Т-12/4		Т-12/1		К329-2		К-362	
Участок	15-1	31-1	35-1	35-3	36-2	36-1	4-1	3-1	16-1	7-1	7-2	12-1	7-1

Примечание. золото-полисульфидные руды: 1–6 — полисульфидные прожилковые руды; золото-сульфидно-кварцевые руды: 7–13 — пирит-кварцевые прожилки штокверка, 1–2 — золото, 3–9, 12 — серебристое золото, 10–11 — электрум, 13 — серебро.

## 4. Состав золота Главной жилы месторождения Таловейс

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ag, %	16,10	17,0	15,44	4,80	7,84	8,22	4,88	7,07	4,44	24,42	3,94	42,72	39,97
Au	83,90	83,0	84,56	95,20	92,16	91,78	95,32	92,93	95,56	75,58	96,06	57,28	60,03
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Образцы	Т-12/5				Т-12/5а			Т12/7	Тal-1			Тal-3	
Участок	1-1	1-2	2-1	22-1	6-1	6-2	6-3	12-1	20-1	26-2	28-1	8-1	27-1

Примечание. 1–11 — золото, 12–13 — электрум.

вмещающих сланцев по коматиитам встречаются единичные мельчайшие кристаллы ульманнита Ni-Sb-S-фаза, а в сростании с галенитом — очень редко гринокит CdS и Cd-содержащие сульфосоли.

Золото в прожилках штокверка обычно более серебристое, чем в Главной кварцевой жиле, содержит 23,21–35,22% Ag и по составу представлено электрумом (см. табл. 3, обр. 7–12). Самородное серебро встречается очень редко (см. табл. 3, обр. 13).

*Золото-кварцевые малосульфидные руды* приурочены к Главной кварцевой жиле (рудное тело 1). В ее зальбандах измененные гранит-порфиры сильно рассланцованы и содержат биотит, альбит, микроклин, мусковит, реже кальцит, хлорит, из рудных — пирит, золото. Микрокомпонентный состав золото-кварцевых руд отличается от прожилковых невысокими концентрациями (г/т) As 14, Pb 13,5, несколько повышенными Te 1,9, Bi 2,37, Ag 1,68 и пониженными W 0,68, что отражается в появлении теллуридов золота и серебра, висмутотеллуридов.

Более ранний крупный раздробленный и мелкозернистый пирит развит в зальбандах жилы. Он составляет в среднем 5–10%, другие рудные минералы и золото (~1–2%, в сумме от всех сульфидов) по трещинкам проникают в пирит и гораздо реже наблюдаются в индивидуальных зернах в кварце. Среди них в незначительном количестве присутствуют пирротин, халькопирит, галенит, гессит, минералы Bi и Te, Ag-Pb-Bi-S-сульфосоли, алтаит, реже акантит. Пирротин по трещинкам проникает в

пирит, встречается в отдельных зернах и в сростании с золотом, калаверитом и петцитом (рис. 3, e).

Сульфосоли и Bi-Te-минералы образуются после сульфидов. Сульфосоли, как и в других типах минерализации, представлены рядом эксимоит ( $Ag_7Pb_{10}Bi_{15}S_{36}$ ) — оурэйт ( $Ag_{25}Pb_{30}Bi_{41}S_{104}$ ) в сростании с галенитом, висмутом, которые выделяются в микротрещинках в пирите (см. табл. 2, обр. 13–24). Самородный висмут и другие Bi-Te-минералы в этом типе руд менее распространены, чем в прожилках штокверка. Среди них установлены теллурожозеит, теллуrowисмутит  $Bi_2Te_3$ , пильзенит  $Bi_4Te_3$ .

Золото содержит 4,80–21,13% Ag (табл. 4). Видимое (1–4 мм) и более мелкое (20–60 мкм) золото (см. рис. 3) всегда более высокопробное: в нем содержится 4–12,5% Ag (рис. 4). Тонкодисперсное золото (1–6 мкм), как и в прожилковых рудах, более серебристое (от 12,5 до 21,13% Ag). В конце процесса рудообразования при снижении температуры гидротермальных растворов и привносе Ag оно замещается электрумом, количество Ag в нем возрастает в среднем до 40% (см. табл. 4, обр. 12, 13, см. рис. 3, e). Электрум иногда встречается и в самостоятельных зернах.

На стадии привноса Te в сростании с золотом, Bi-Te минералами, гесситом в пирите и иногда в кварце появляются теллуриды благородных металлов — петцит  $AuAg_3Te_2$ , ( $T < 210^\circ C$ ), реже калаве-

## 5. Состав Au-Ag-Te-минералов Главной жилы

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ag, %	39,52	41,57	40,64	40,13	39,92	17,60		4,12	24,42	57,48	41,04
Te	33,53	32,32	32,79	31,81	33,48	45,97	54,26	55,05		36,13	32,78
Au	26,95	26,11	26,57	28,05	26,80	35,43	45,44	40,83	75,58	6,39	26,18
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Образцы	Т-12/5а				Тal-1						
Участок	8-2	12-1	5-1	23-2	24-1	6-1	10-2	23-3	26-1	25-2	9-1

Примечание 1–5, 11 — петцит  $AuAg_3Te_2$ , 6 — мутманнит  $AuAgTe_2$ , 7–8 — калаверит  $AuTe_2$ , 9 — золото (в сростании с петцитом), 10 — гессит  $Ag_2Te$  с Au.

рит  $(\text{Au,Ag})\text{Te}_2$  ( $T_{\text{уст}} < 382^\circ\text{C}$ ), мутманнит  $\text{AuAgTe}_2$  (табл. 5, см. рис. 3, *a-e*). Калаверит и мутманнит отмечаются гораздо реже, чем петцит, они выделяются в микротрещинках и окаймляют зерна пирротина.

При снижении температуры калаверит замещается мутманнитом и петцитом. Петцит наиболее распространен среди теллуридов в виде многочисленных мелких, реже более крупных зерен. Чаше всего встречается в сростании с гесситом. Гессит иногда содержит Au в количестве до 6,39%. Гессит устойчив при  $T < 145^\circ$ , в сростании с петцитом (см. рис. 3, *z*) он образуется при распаде твердых растворов Au-Ag-Te при  $T < 50^\circ\text{C}$ . В более крупных зернах без сростаний с гесситом петцит иногда содержит пламевидные микроскопические выделения самородного золота (Ag до 10,38%).

Частота встречаемости золотосодержащих проб с разным количеством серебра представлена на рис. 5. На месторождении Таловейс преобладает золото с пробностью 950–850‰ — 61%, электрум составляет 7,4%. Золото с наиболее высокой пробностью (>950‰) составляет 12,5%. В целом золото участка высокопробное и по технологическим оценкам руд, как это ранее отмечалось в работах [1, 6, 7]. Самородное серебро и акантит встречаются редко в сростании с галенитом.

Таким образом, для штока Центральный установлено, что низкозолотоносная пиритовая и реже арсенопиритовая рудная минерализация развита в диоритах ранней фазы. Для пиритовой минерализации характерно присутствие шеелита и, соответственно, повышенное содержание W. Вкрапленно-прожилковое оруденение штокверка в гранит-порфирах представлено двумя минеральными типами руд — пирит-сфалеритовым и пирит-кварцевым. В рудах обоих типов золото отличается повышенным содержанием серебра, наличием ассоциации пирита с халькопиритом, галенитом, висмутотеллуридами и Ag-Pb-Bi-сульфосолями. В субмеридиональной Главной кварцевой жиле (рудное тело 1) присутствуют разные генерации золота: преимущественно высокопробное — выделения в кварце и микротрещинках в пирите, электрум и теллуриды золота. На поздней стадии золото замещается электрумом и входит в состав Ag-Au-Te-фаз. В Главной кварцевой жиле также различаются несколько генераций кварца, что обусловлено пульсационной сменой растворов от средне- до низкотемпературных. С учетом ранних и наиболее поздних рудных ассоциаций температура образования руд снижалась от 400–360°C (кристаллизация арсенопирита, пирита и кварца-1) до 50°C (сростание гессита и петцита). Золото сначала ассоциирует с Ag-Pb-Bi-сульфосо-

лями и висмутотеллуридами, в конце гидротермального процесса образует с серебром собственные теллуриды, выделяются гессит, Ag-гессит и реже соединения висмута с теллуридом. По мере снижения температуры сначала образуются калаверит и мутманнит (встречаются редко), затем петцит и гессит, преобладающие в рудном теле 1. Теллуриды Au и Ag относятся к индикаторам зональности плутоногенных месторождений, появление гессита и петцита свидетельствует об их формировании во внешней зоне рудного тела и о возможном более глубоком распространении руд. Этот факт, а также разнообразие вкрапленно-прожилковых типов рудной минерализации с золотом на разных стадиях гидротермального процесса позволяют сделать вывод о необходимости доразведки и переоценки ресурсов месторождения Таловейс. Увеличение концентраций Te, Bi, Ag, Pb и появление минералов-спутников (Ag-Pb-Bi-сульфосолей, висмутотеллуридов, гессита) может служить минералогическим индикатором при поисках золота на малосульфидных кварцевых жильных и штокверковых рудных объектах порфирирового типа в Карелии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елисеева В.А., Головина Т.А. Минералогическая особенность золоторудного месторождения Таловейс (Костомукша, Карелия) // Мат-лы годичного собрания РМО «Современные методы минералогическо-геохимических исследований как основа выявления новых типов руд и технологии их комплексного освоения». 2006. С. 20–21.
2. Кулешевич Л.В. Золотое оруденение и околорудные метасоматиты на рудопоявлениях Таловейс и Берендей (Южно-Костомукшское рудное поле) // Мат-лы I Всероссийского палеовулканологического симпозиума «Палеовулканология, вулканогенно-осадочный литогенез, гидротермальный метаморфизм и рудообразование докембрия». 2001. С. 116–117.
3. Кулешевич Л.В. Кислый магматизм и золотое оруденение Костомукшской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2002. С. 59–72.
4. Кулешевич Л.В. Эволюция эндогенных режимов и стадийность золотого рудообразования в Костомукшской структуре // ДАН. 2004. Т. 396. № 6. С. 808–812.
5. Кулешевич Л.В., Васюкова О.В. Условия формирования золоторудного месторождения Таловейс в докембрии Карелии // ДАН. 2005. Т. 403. № 6. С. 848–851.
6. Кулешевич Л.В., Фурман В.Н. Золоторудное месторождение Таловейс в Костомукшской докембрийской зеленокаменной структуре (Карелия) // Геология рудных месторождений. 2009. № 1. С. 58–76.
7. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 1. / Под ред. В.П. Михайлова, В.Н. Аминова. — Петрозаводск: Карелия, 2005.

УДК 553.411.36 (470.5)

© Коллектив авторов, 2013

## СТРОЕНИЕ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗОЛОТОНОСНЫХ КОР ХИМИЧЕСКОГО ВЫВЕТРИВАНИЯ КЕДРОВСКО-ИВДЕЛЬСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА, ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН СЕВЕРНОГО УРАЛА

Т.П.Зубова, О.А.Агибалов, Н.М.Иванов, А.Н.Краснов, А.В.Кондратьев, Е.А.Черемисина, Л.В.Шатилова, Ю.В.Щегольков, В.П.Филиппов (ФГУП «ЦНИГРИ»)

*В пределах узла работами авторов установлено широкое развитие глинистых золотоносных кор выветривания, тесно связанных с протяженными зонами золото-сульфидно-кварцевой минерализации. В зависимости от литолого-структурных особенностей субстрата выделяются остаточный линейно-трещинный, переотложенный контактово-карстовый и карстовый типы коры выветривания. Проанализированы изменение вещественного состава коры выветривания и типоморфных особенностей самородного золота в зависимости от положения в определенной зоне гипергенного профиля.*

*Ключевые слова:* кора выветривания, карст, россыпи, золото, пирит, элементы-примеси, минерализованные зоны.

*Зубова Татьяна Петровна, [tanzu3011@mail.ru](mailto:tanzu3011@mail.ru), Агибалов Олег Анатольевич, Иванов Николай Михайлович, Краснов Антон Николаевич, Кондратьев Александр Владимирович, Черемисина Екатерина Алексеевна, Шатилова Людмила Викторовна, Щегольков Юрий Васильевич, Филиппов Виктор Петрович, [vosp@tsnigri.ru](mailto:vosp@tsnigri.ru)*

## STRUCTURE AND MINERAL COMPOSITION OF GOLD-BEARING CRUSTS OF CHEMICAL WEATHERING OF KEDROVSKO-IVDELSKY ORE-PLACER KNOT, EASTERN VERSANT OF THE NORTH URALS

T.P.Zubova, O.A.Agibalov, N.M.Ivanov, A.N.Krasnov, A.V.Kondratiev, E.A.Cheremisina, L.V.Shatilova, Yu.V.Shchegolkov, V.P.Filippov

*Wide development of clayey gold-bearing crusts of weathering that are closely connected with extensive zones of gold-sulfide-quartz mineralization is established within the territory of the knot. Residual linear-fissured, redeposited contact-karst and karst types of crusts of weathering are distinguished in dependence of lithological and structural peculiarities of substrate. Changes in mineral composition of crusts of weathering and native gold typomorphic features are established in different zones of supergene profile.*

*Key words:* crust of weathering, karst, place, gold, pyrite, trace elements, mineralized zones.

Кедровско-Ивдельский рудно-россыпной узел находится в пределах Ивдельского рудно-россыпного района Ауэрбах-Краснотурьинской металлогенической зоны, приуроченной к Ауэрбаховскому вулканоплутоническому поясу [1, 2, 4]. На площади узла развиты геологические формации, благоприятные для образования коренной золотоносности: андезит-базальтовые, вулканогенно-карбонатно-терригенные ранне-среднедевонского возраста, дайки основного состава палеозойского комплекса. Система протяженных субмеридиональных разломов сопровождается оперяющими разрывными нарушениями и зонами надвигов, что создает благоприятную обстановку для локализации золотого оруденения в зонах тектонических контактов карбонатных и силикатных пород. Структурно-геоморфологическая позиция территории во многом обусловлена приуроченностью ее к эрозионно-структурным депрессиям (Восточно-Кедровской и Толгтейской), что, как известно, является благоприятным фактором формирования кор химического выветривания и их сохранности при дальнейших денудационных процессах для районов Северного и Среднего Урала.

На рассматриваемой территории развиты многочисленные россыпи, которые отрабатываются с начала XIX в. и до настоящего времени. Иногда при эксплуатации россыпей, как показал проведенный анализ фондовых материалов, в отработку вовлекались и золотоносные коры выветривания с содержаниями Au от 0,1 до 0,7 г/м<sup>3</sup>. В отдельных штучных пробах из коры выветривания в плотике Преображенской россыпи установлены содержания Au от 1,2 до 4,6 г/т.

В пределах узла находятся частично отработанные мелкие месторождения золото-кварцевого типа, структурно связанные с дайками долеритов — Травянокское, Троицкое, Екатерининское, Грань, Шешинское и др., известны золото-сульфидно-кварцевые проявления прожилково-вкрапленного типа в вулканогенно-осадочной толще, обнаружена золотоносность скарнов и контактово-метасоматических железорудных и медных проявлений.

Благоприятная геолого-металлогеническая и морфоструктурная позиция рудно-россыпного узла послужила основанием для выделения его в качестве перспективного на поиски месторождений зо-

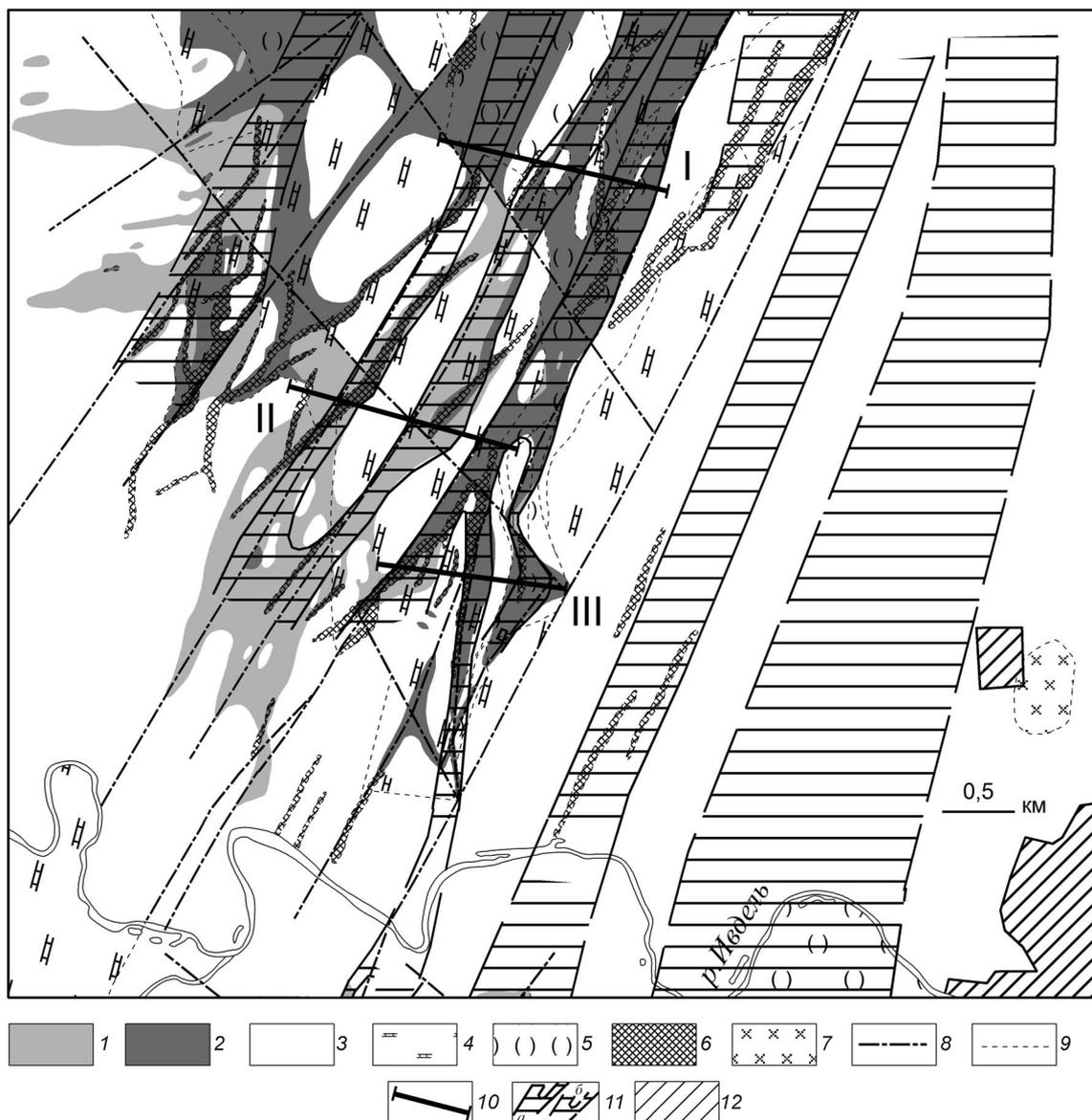
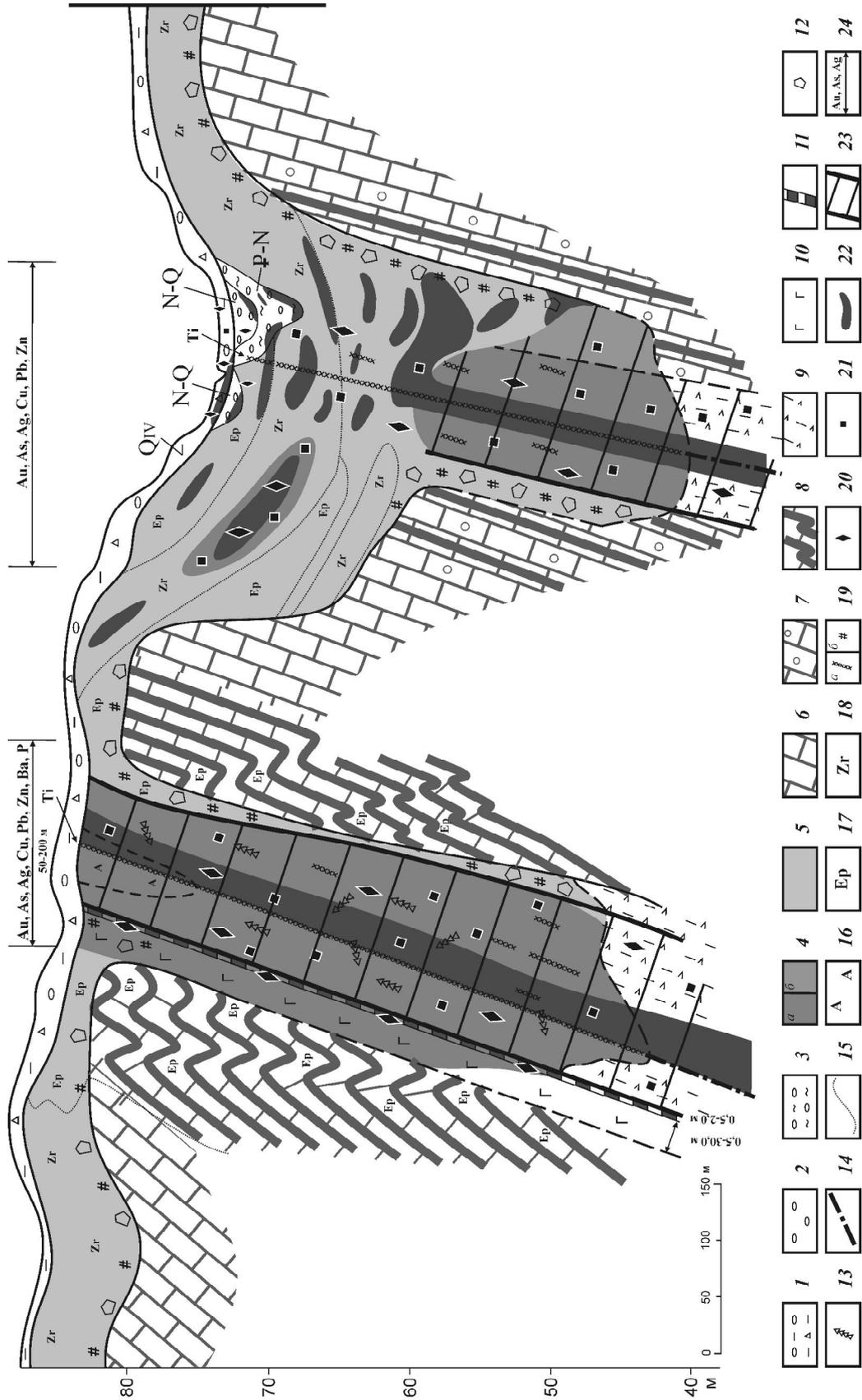


Рис. 1. Схематическая геологическая карта золотоносных кор выветривания одного из участков Ивдельской площади:

1 — остаточная кора выветривания по вулканогенно-осадочным и другим силикатным породам — гидроксидно-гидрослюдистая, гидрослюдисто-каолинистая (галлуазитовая), гидрослюдисто-охристая, гидрослюдисто-охристо-каолинистая (галлуазитовая); 2 — переотложенные коры выветривания контактово-карстового и карстового типов, охристо-каолинист (галлуазит)-гидрослюдистая, гидрослюдисто-каолинистая; 3 — известняки от светло-серых рифогенных до темно-серых, частично битуминозные, мергелистые, иногда окремненные; 4 — известняки с прослоями известковистых туфов, частично хлоритизированные и эпидотизированные, вблизи зон тектонических нарушений смятые в складки; 5 — туфы, туффиты глинистые, известковистые, известковисто-глинистые; 6 — туфы базальтовых и андезит-базальтовых порфиритов; 7 — комплекс субвулканических пород основного состава — плагиобазальты, долериты, базальтоиды (дайки, силлы, покровы, штоки); 8 — тектонические нарушения; 9 — геологические границы; 10 — профили горно-буровых работ; 11 — золотоносные минерализованные зоны (*a* — установленные, *b* — предполагаемые); 12 — населенные пункты

лота в корях выветривания. Комплекс выполненных геологоразведочных работ включал геохимическую съемку по вторичным ореолам рассеяния м-бвов

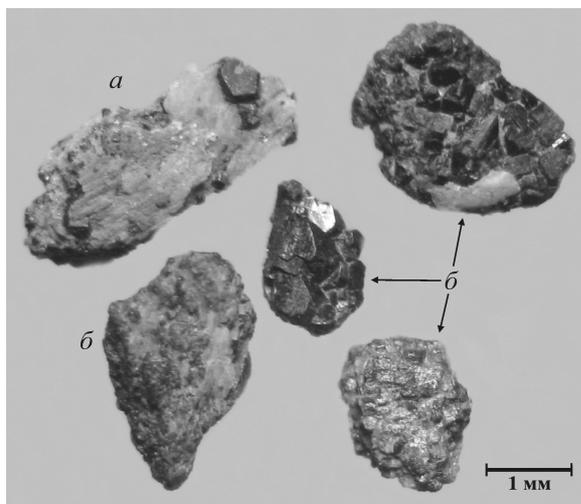
1:50 000 и 1:10 000, горно-буровые работы, сопровождаемые отбором проб на разные виды анализов (пробирный, спектральный, атомно-абсорбционный,



**Рис. 2. Обобщенный геологический разрез золотоносной коры выветривания Ивдельской площади:**

1 — четвертичные аллювиальные, делювиальные отложения, галечно-гравийно-песчано-глинистые, щебнисто-глинистые с галькой; 2 — миоцен-плиоценовые аллювиально-пролювиальные и аллювиальные отложения, песчано-гравийно-галечные; 3 — палеоген-неогеновые аллювиально-пролювиальные и аллювиальные отложения, песчано-глинистые с галькой; 4 — кора выветривания (*а* — остаточная, *б* — перемещенная); 5 — переотложенная, перемытая кора выветривания в карсте; 6 — известняки; 7 — окварцованные известняки; 8 — известняки с прослоями туфов; 9 — туфы разного состава; 10 — дайки долеритов; 11 — кварцевые жилы; 12 — обломки карбонатных пород; 13 — дезинтегрированные кварцевые прожилки; 14 — тектонические нарушения; 15 — предполагаемые литологические границы в зоне гипергенеза; сохранившиеся в коре выветривания гидротермально-метасоматические изменения: 16 — обеленные аргиллизиты, 17 — эпидозиты; 18 — участки с заметным количеством циркона в тяжелой фракции шлиха; 19 — зона интенсивного ожелезнения (*а* — сплошная, *б* — гнездообразная); 20 — киноварь; 21 — окисленный пирит; 22 — участки с повышенным содержанием Au в зоне гипергенеза; 23 — потенциально золотоносные зоны минерализации; 24 — комплекс элементов-спутников Au

масспектрометрический, шлихоминералогический). В результате было установлено значительно более широкое распространение кор химического выветривания, чем представлялось ранее, выделены их основные литологические и морфогенетические типы (рис. 1, 2). В процессе исследования выявлена одна из важных прогнозно-поисковых особенностей геолого-металлогенической обстановки Кедровско-Ивдельского рудно-россыпного узла, которая выражается в тесной пространственной связи золотоносных кор выветривания с протяженными зонами золото-сульфидно-кварцевого оруденения. Дополнительный признак золотоносности кор выветривания — непосредственная связь с ними россыпью золота, что отчетливо проявляется при всестороннем изучении разрезов продуктивных горизонтов аллювиальных россыпей и их плотиков в отработанных полигонах. В целом вещественный комплекс коры выветривания отражает состав золоторудных минерализованных зон.



**Рис. 3. Окисленный пирит в обломках железистого кварца (*а*), серицит-полевошпатовых метасоматитов из остаточной коры выветривания (*б*)**

По результатам опробования горных и буровых выработок, пройденных по коре выветривания (в пределах минерализованных зон), повсеместно отмечаются золото (разной степени концентрации) и сопутствующий комплекс минералов и рудогенных элементов продуктивной золоторудной ассоциации (см. рис. 2). В пробах часто встречается тонкое и мелкое (0,05–0,2 мм) самородное золото рудного облика. Практически по всему разрезу установлен «рудный» золотосодержащий обломочный материал в различной степени преобразованный в зависимости от положения в профиле выветривания: гидроксиды железа, обохренные обломки метасоматитов кварц-полевошпатового, серицитового состава, окварцованные туфы, окварцованные карбонатные породы с вкрапленностью, прожилками окисленного пирита (рис. 3), с содержанием в них Au 2–30 г/т (табл. 1), встречаются сростки кварца с самородным золотом. Из рудных минералов типичным является окисленный пирит, часто золотоносный, с содержаниями Au до 629 г/т (табл. 2), постоянно присутствует киноварь, обнаружены халькопирит, полуокисленный арсенипирит, знаки галенита. По данным масспектрометрического анализа в пробах также отмечаются повышенные содержания Pt 23, 35, 63 г/т, установлены Pd и Ro (см. табл. 2).

Протяженные зоны золотоносных кор выветривания сопровождаются ореолами Au с содержаниями 0,05–0,5 г/т, иногда более, а также комплексом рудогенных элементов — As, Ag, Cu, Pb, Zn, Ba, P (см. рис. 2).

Одна из особенностей золоторудной минерализации узла, отчетливо проявленная в вещественном составе кор, — тесная ассоциация Au и P. В пробах из коры выветривания, содержащих большое количество обломков кварц-полевошпатовых метасоматитов с прожилками и вкрапленностью окисленного пирита (с включениями самородного золота), определены аномально высокие содержания P. Геохимические ореолы Au и P, оконтуренные по данным горно-буровых и площадных наземных

1. Химический состав проб Ивдельской площади по результатам масспектрометрического анализа, г/т

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Au	0,11	12,5	2,57	9	0,033	15,2	11	0,71	0,63	29,2	0,18	38,2	1,99	13,6	10,7
Li	6,36	140,7	113,9	75,15	14,96	36,6	56,9	200	6,59	7,79	5,38	7,07	2,63	1,74	2,28
Be	0,21	2,50	2,60	2,62	1,04	5,82	8,09	1,93	1,55	2,88	4,54	2,04	1,03	4,76	3,23
Na	293,8	718,2	359,2	231,4	173,01	352	1705	1259	246	1584	1121	2378	421	235	81,7
Mg	805,2	4801	4236	3306	3930	2158	5243	11 628	11 541	10 129	10 514	17 263	8611	5700	4694
K	1156	14 276	8669	5895	19 309	530	3327	1052	782	2864	2187	876	776	3309	750
Sc	9,5	111,3	106,3	75,20	103,1	5,58	9,01	32,1	16,4	23,0	20,5	24,8	17,0	30,2	15,9
Ti	491,1	3242	2281	2038	3443	12 853	32 336	1277	2887	4019	7493	30 656	32 474	19 498	33 884
V	24,9	197,30	101,7	100,5	105,5	487	306	1669	529	877	1019	930	584	804	705
Cr	8,3	134,4	106,5	84,8	34,63	172	141	85,0	40,7	37,6	61,5	86,1	174	711	336
Mn	1557	356,9	166,4	727,2	1877	1045	272	52 096	953	56 454	8317	5601	2589	1229	2851
Co	5,40	38,80	12,27	20,6	39,93	52,8	8,42	698	971	341	165	343	905	638	632
Ni	11,45	107,6	79,2	70,4	20,99	70,7	43,1	519	533	88,9	92,2	76,2	119	280	160
Cu	3,35	61,30	123,4	60,8	54,86	139	130	366	586	620	773	486	1969	2284	1887
Zn	19,32	140,5	129,3	114,4	77,57	206	187	235	116	238	382	189	479	716	256
As	101,5	60,0	10,97	0,00	62,96	208	145	<60	662	521	158	2265	460	2572	961
Y	6,68	77,4	88,5	95,7	16,78	9,80	38,6	118	78,5	64,1	40,0	77,9	90,3	197	179
Mo	0,64	1,40	0,78	0,73	0,21	10,1	3,47	2,29	4,42	23,6	44,2	7,88	2,93	2,21	3,34
Sn	1,72	1,95	1,15	0,64	0,00	7,45	15,0	3,02	8,96	2,22	10,1	4,49	2,13	2,34	5,37
Sb	1,19	2,34	0,82	0,74	0,36	9,07	6,07	2,88	19,8	31,5	11,8	17,3	8,82	12,8	17,2
Te	0,00	0,00	0,00	0,00	1,14	1,61	1,35	0,92	0,45	<0,43	1,00	4,13	2,56	2,28	2,45
Ba	29,69	135,6	102	106	250,9	154	57,0	9870	78,5	11623	1431	531	66,4	50,4	56,6
La	7,49	51,33	49,83	43,0	5,15	26,1	53,3	41,2	16,2	40,1	17,5	20,1	18,2	38,9	38,1
Yb	0,61	5,18	5,61	5,77	1,63	2,37	6,29	13,9	5,79	7,86	5,00	7,18	7,86	18,5	18,3
W	9,42	8,26	7,65	10,91	11,27	13,0	62,2	4,16	3,82	2,96	2,04	7,06	22,0	16,1	10,0
Hg	0,03	0,73	0,56	0,26	0,10	<12,5	<12,5	<12,5	22,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5
Tl	0,12	0,53	0,46	0,43	0,17	0,11	0,09	0,50	0,07	0,57	0,09	0,11	0,06	0,04	0,19
Pb	6,24	27,02	23,41	22,1	0,33	1028	45,3	80,9	153	97,5	37,3	48,9	34,1	56,5	54,2
Bi	0,40	1,34	1,56	1,07	9,93	1,56	1,41	0,92	1,22	1,86	0,46	7,40	2,69	1,56	1,03

Примечание. 1 — элемент; 2 — известняк; 3 — глины; розовая (3), зеленовато-коричневая (4), коричневая (5), охристая (6); 7 — окварцованные обломки туфов; 8, 9 — ожеденные обломки пород; 10 — обломки кварц-серцитового состава; 11–16 — окисленный шпирит.

**2. Результаты анализа мономинеральных проб по результатам масспектрометрического и атомно-абсорбционного (\*) анализов**

Привязка		Анализируемый материал	В валовой пробе, г/т	Содержание, г/т			
				Au	Pt	Pd	
Л-1 С-9	33–39 м	Окисленный пирит, кубический	0,05	1,57	7,78	0,12	
Л-2 С-0	1–3,5 м	Окисленный пирит	0,004	13,48	<0,005	<0,005	
	26–29,8 м	Гидроксиды железа	0,0	21,57	<0,005	<0,005	
		Обломки известняка с вкрапленностью сульфидов		29,22	1,71	1,87	
		Окисленный пирит		3,57	0,33	0,74	
5713, западный борт р. Шапши		Окисленный пирит	0,023	10,74	<0,005	<0,005	
Л-3 с-301/14–15			0,004	11,3	19,6	0,087	
Л-3 с-302/8–9		Электромагнитная фракция (на 80% состоит из окисленного пирита)	0,004	56,7	63,5	1,37	
Л-3 с-304/21,5–23			0,06	67,4	104	1,0	
Л-3 с-304/23–24,5			0,03	12,3	23,9	0,23	
Л-3 с-304/28,5–30			0,03	5,53	1,76	<0,1	
Л-3 с-311/18,5–20		Окисленный пирит	+0,3 мм	0,17	1,82	0,047	0,014
			0,3–0,16 мм	2,54	0,039	0,026	
			-0,16 мм	4,06	0,38	<0,05	
Л-3 с-311/26–27			0,01	0,43	35,9	0,078	
Л-2 К-6/17–20		Обломки кварц-полевошпатовых метасоматитов с вкрапленностью окисленного пирита	0,16	0,18	7,02	0,049	
Л-2 К-6/48–51		Окисленный пирит	+0,3 мм	0,22	18,7	13,3	1,5
			0,3–0,16 мм	21,8	2,24	0,032	
			-0,16 мм	25,6	10,9	0,094	
Л-2 К-6/66–69		Обломки кварц-полевошпатовых метасоматитов с вкрапленностью окисленного пирита	0,05	1,98	25,1	0,1	
р. Талая, с-3/13–15			2,57	629,3*	Нет данных		
Участок Шайтанка, строительный карьер		Неокисленный пирит разной морфологии	Нет данных	30,0	0,48	0,097	
Л-4 с-401/2,3–3,3		Гидроксиды железа	0,01	29,2	32,3	0,22	
Л-4 с-409/6,8–7,8		Окисленный пирит	0,03	1,99	0,21	<0,03	
Л-4 с-409/1,7–2,8		Электромагнитная фракция (80% окисленный пирит)	1,1	13,6	0,62	0,051	
Л-4 с-409/2,8–3,8		Окисленный пирит	0,6	10,7	0,27	0,026	

работ, образуют комплексные аномалии в плане и разрезе. На геохимическую связь Au и P, в свое время, указывал А.Е.Ферсман [9]. Достаточно показательными примерами такой связи служит золотоносность широко распространенных проявлений, а также отдельных месторождений фосфоритов Русской платформы — Егорьевского [14], Верхнекамского [10], Кингисеппского [3]. В качестве одной из причин такой связи некоторые авторы [7, 12] рассматривают резкие колебания кислотно-щелочной среды, вызывающие при совместном присутствии Au и P их выпадение из раствора. При этом привнос P может происходить как в результате эндогенных, так и экзогенных (хемогенных) процессов в области мелководного шельфа (в том числе

при обилии органики), где золото (при соответствующих условиях) находится в комплексных соединениях органических кислот или в форме хлорида [8].

Минерализованные зоны, по которым формируются коры выветривания, развиты вдоль тектонических нарушений, фиксирующихся в плане и разрезе по интенсивному ожелезнению пород и аномально высоким концентрациям Ti.

По степени сохранности и морфологическим особенностям выделяются остаточные линейно-трещинные, переотложенные контактово-карстовые и карстовые коры выветривания. Первые наиболее тесно связаны с золоторудной минерализацией. Они формируются по силикатной составляющей.

щей разреза — туфам разного состава, долеритам. В линейных зонах вертикальная мощность коры выветривания >50 м (проектные скважины не вышли из зоны структурных глин), а перекрывающих ее четвертичных делювиально-пролювиальных отложений до 2 м.

Ниже приводится обобщенный разрез остаточной золотоносной коры выветривания линейно-трещинного типа, составленный авторами с использованием данных горно-буровых работ и изучения естественных обнажений.

С некоторой долей условности в разрезе коры выветривания можно выделить три горизонта, различающихся по вещественному составу, отражающему степень преобразования золотого оруденения и вмещающих пород в зоне гипергенеза. Наиболее глинистые (57–76%) верхние горизонты (0–15 м) профиля выветривания представлены пестроцветными красно-желтыми бесструктурными глинами, в составе шламовой фракции (класс -0,02 мм) преобладают кварц, гетит, каолинит, гидрослюда. Обломочная часть представлена дресвой сильно выветрелых ожелезненных, иногда каолинизированных вулканогенных пород с вкрапленностью полуокисленного пирита. В тяжелой электромагнитной фракции преобладает трещиноватый эпидот, обеленный за счет замещения его глинистыми минералами. Выход тяжелой фракции очень низкий <1%. По данным полуколичественного минералогического анализа, она состоит из полуокисленного и неокисленного пирита, знаков киновари, полуокисленного игольчатого арсенопирита, знаков мелкого золота (<0,25 мм). В легкой фракции преобладает кварц (в тонких классах — рисовидный), много ожелезненных обломков пород с участками реликтовой серицитизации и вкрапленностью окисленного пирита, встречаются мусковит, альбит.

В среднем переходном горизонте (15–40 м), состоящем в основном из бесструктурных глин желто-коричневого цвета, сохранились отдельные фрагменты структурного элювия (с гнездами интенсивного ожелезнения и опесчанивания за счет выветривания окварцованных пород), а также разноориентированные дезинтегрированные кварцевые прожилки мощностью ~0,5–2,0 см. В легкой фракции преобладают ожелезненные обломки полевошпатовых пород с участками серицитизации, кварц, альбит. Тяжелая фракция состоит преимущественно из гидроксидов железа, окисленного и неокисленного пирита. По сравнению с нижележащими горизонтами минералы более полно высвобождены из агрегатов и сростков, в то же время они сохраняются от полного замещения их гипергенными минералами, как это наблюдается в верхних

горизонтах профиля выветривания. Глинистость по сравнению с верхними горизонтами несколько уменьшается и составляет 56%. В классе -0,02 мм преобладают кварц, гетит, в меньших количествах присутствует амфибол, гидрослюда, эпидот, плагиоклаз, хлорит, ярозит.

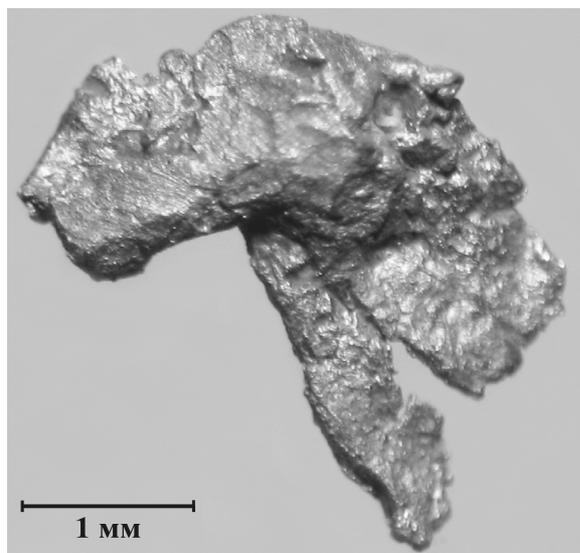
Самый нижний вскрытый буровыми скважинами горизонт (40–50 м) представлен структурными глинами по сильно смятым вулканогенным породам с ожелезнением вдоль слоистости. В легкой фракции много ожелезненных обломков кварц-полевошпатовых пород с участками серицитизации, вкрапленностью тонкого окисленного пирита. Тяжелая фракция состоит преимущественно из гидроксидов железа, примеси окисленных пирита и арсенопирита, знаков мелкого золота. В отличие от более верхних горизонтов в ее составе много сростков минералов, обломков пород, что свидетельствует о неполном их разрушении под действием выветривания. Степень глинистости 47%, в классе -0,02 мм преобладают кварц, гетит, в больших количествах отмечаются остаточные минералы коренного субстрата: калиевый полевой шпат и пиррофиллит — продукты гидротермально-метасоматического процесса. Таким образом, в изученном разрезе золотоносной коры выветривания заметна тенденция к постепенному ослаблению степени преобразования рудного вещества минерализованных зон и пород вмещающей толщи от верхнего горизонта к нижним.

Вскрытая мощность золотоносных кор равняется 50 м. Поскольку в самых нижних горизонтах преобладают глины, в целом зона окисления по золотоносным метасоматитам может составить не менее 100 м.

По результатам рентгенофазового анализа в тонких алеврит-пелитовых классах по всему вскрытому вертикальному разрезу преобладает кварц, на уровне примесей присутствуют каолинит, слюда, хлорит, плагиоклаз, смектит, т.е. кора выветривания развивалась по существенно окварцованным породам. В составе тонких классов сохранились остаточные минералы, что говорит о неглубоких гипергенных преобразованиях, которые соответствуют стадии гидратации, начального выщелачивания. Каолинит появляется только в верхних горизонтах профиля выветривания.

По составу наиболее зрелых горизонтов рассмотренная остаточная линейно-трещинная кора выветривания относится к коре выветривания неполного профиля каолинит-гидрослюдистого, гидрослюдисто-каолинистового состава с большим количеством кварцевой составляющей.

Представленный профиль выветривания сохра-



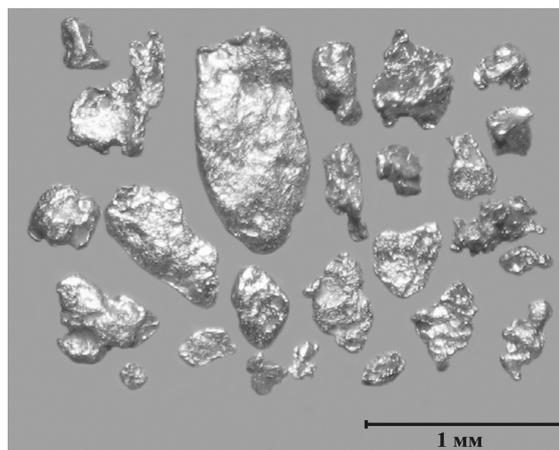
**Рис. 4.** Золото из остаточной коры выветривания вблизи дайки долеритов трещинно-прожилковой морфологии

нился в отдельных интенсивно проработанных линейных зонах. Наиболее широко развиты менее глинистые остаточные коры выветривания мощностью >30 м. Они представлены в основном щебнисто-глинистым материалом — глины с прослоями структурного элювия туфов, в разной степени метасоматически измененных.

Остаточная кора выветривания формируется не только по туфогенным прослоям среди известняков, в зоне гипергенеза встречаются и дайки основного состава. Степень выветривания последних зависит от твердости пород. Отмечаются дайки как дезинтегрированные, так и полностью выветрелые до глинистого состояния. Часто пространственно к дайковым телам приурочены кварцевые жилы. В результате выветривания в глинистом материале образуются более крепкие окварцованные обломки, дресва кварца.

В коре выветривания с обломками даек долеритов, кварцевых жил и прожилков, как правило, присутствует самородное золото >0,5 мм, иногда до 3,0 мм (рис. 4), представленное кристаллами, их сростками, дендритоидами, трещинно-прожилковыми и гемиидиоморфными выделениями, часто с примазками гидроксидов железа на поверхности. Пробность его 825–947%, в оболочке 982–1000%.

Практически все выявленные остаточные линейные коры выветривания, развитые по прослоям туфов среди карбонатных пород, золотоносны. В старых отработанных на девонские бокситы карьерах имеется большое количество крутопадающих



**Рис. 5.** Слабоокатанные кристаллы золота и их сростки, комковидные, гемиидиоморфные и пластинчатые частицы из карста вблизи рудной зоны

даек долеритов, габбро-диабазов, андезитов-базальтов мощностью 0,5–5,0 м с вкрапленностью окисленного пирита. Дайки хлоритизированы, эпидотизированы, карбонатизированы. По дайкам и серицитизированным, полевошпатизированным прослоям туфов среди известняков формируются линейные крутопадающие маломощные зоны (1,0–5,0 м) рыже-коричневых глин остаточной коры выветривания, в которой при опробовании установлено самородное золото размером 0,05–0,3 мм в количестве от 1 до 15 знаков на пробу объемом 5–10 кг. Кроме золота, в составе проб отмечаются пирит разной степени окисления, киноварь, обломки окварцованных, серицитизированных вулканогенных пород, мелкий бипирамидальный кварц, барит, альбит. По данным спектрального анализа в этих же участках фиксируются аномальные концентрации As, Cu, Zn, Pb.

В целом золото из глинизированных минерализованных зон преимущественно мелкое (0,05–0,2 мм) рудного облика, представлено главным образом кристаллами, их сростками, пластинчатыми трещинно-прожилковыми выделениями, часто в сростании с пиритом. Преобладает золото с пробностью 840–970%, встречается низкопробное 600–760%. В самородном золоте рудно-россыпного узла авторами установлен комплекс рудогенных элементов-примесей. По результатам локального микро-рентгеноспектрального анализа (на 13 элементов) самородного золота из 117 проб, отобранных из канав, скважин и отвалов техногенных россыпей, в нем, кроме примеси Ag, практически постоянно (в 100% проб) присутствуют Hg и Te, часто отмечаются W (в 93%), Cu (в 85%), Pt (в 65%), реже Bi (в 59%), Sb (в 31%). В золоте относительно небольшого коли-

чества проб содержатся Pb (в 14% проб), Pd (в 11% проб), As и Zn (в 8% проб).

Таким образом, самородное золото коры выветривания Ивдельско-Бурмантовской площади характеризуется устойчивой парагенетической ассоциацией рудогенных элементов-примесей (Hg, Te, W, Cu, Pt), которую можно рассматривать в качестве типоморфной для золота Кедровско-Ивдельского рудно-россыпного узла.

По данным электронной оже-спектроскопии на поверхности золота постоянно отмечается S при среднем содержании 5,3 ат. %. Пики серы фиксируются в 56 спектрах из 59. Исследование рыхлого материала коры выветривания методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии показало наличие S только в трех пробах из 12 в количестве 0,5 ат. %. Это дает основание предполагать, что достаточно большие концентрации серы на поверхности золота не связаны с пребыванием последнего в коре выветривания, а являются следствием тесной (парагенетической) связи его с сульфидами продуктивной золоторудной ассоциации. Многочисленные сростки золота с сульфидами отмечались авторами при изучении минерального состава золотоносных кор выветривания.

Выявленная устойчивая прямая корреляция Au и P, установленная по результатам спектрального анализа рудного материала золотоносных кор выветривания, подтверждается данными оже-спектроскопии: на поверхности ряда золотин зафиксирован P в ассоциации с Ca, что указывает на возможное присутствие в рудах апатита. Эти же элементы в ассоциации с N и Cl обнаружены на поверхности индукционных граней пирита.

С помощью метода оже-спектроскопии на поверхности некоторых золотин остаточных линейно-трещинных кор выветривания по туфам обнаружены тонкие пленки оксида золота, устойчивость которого определяется щелочными окислительными условиями [13]. Химический потенциометрический анализ водных вытяжек глинистых отложений коры выветривания по туфам показал слабощелочную среду — pH 7,7–7,9. По-видимому, именно слабощелочные условия рассматриваемой коры выветривания способствуют стабилизации и сохранности как пленок оксида золота, так и сульфидных фаз на поверхности золотин.

Облик самородного золота зависит от положения золотого оруденения в зоне профиля выветривания. У преобладающей массы золотин самых верхних горизонтов (наиболее «зрелой части» коры выветривания) существенно изменяется внутренняя структура — появляются высокопробные коррозийные каймы и межзерновые прожилки, наро-

сты высокопробного аутигенного золота. Поверхность золотин становится пористой в результате длительного пребывания в условиях гипергенеза. В отдельных образцах самородного золота изменениям подвергнута значительная часть среза золотины или вся его площадь. В нижних горизонтах профиля выветривания (структурный элювий, глинисто-щебнистые образования) нередко присутствует золото рудного облика без явных следов гипергенных изменений, иногда с фрагментами субструктуры роста на поверхности зерна. Характерно преобладание кристаллов, их сростков и зерен гемиидиоморфных форм. Внутренняя структура золота монотернистая, реже разнотернистая или крупнотернистая двойниковая.

Концентрации элементов-примесей в самородном золоте также зависят от его нахождения на определенном уровне профиля выветривания. Золото из остаточной коры нижних горизонтов, наиболее тесно связанное с коренным оруденением, характеризуется преобладанием концентраций Cu 0,07–0,18 и Bi 0,12–0,32% при частоте встречаемости последнего 64%. В верхних горизонтах коры концентрации Cu 0,01–0,06, Bi 0,00–0,11%, а частота встречаемости Bi 35%. В пробах из верхних наиболее зрелых горизонтов профиля выветривания по сравнению с нижними в 1,5 раза уменьшается содержание Hg и в два — Pb.

Рассматривая техногенные россыпи (с некоторой долей условности) в качестве самой верхней части экзогенного разреза, отметим, что в отобранном из них золоте (с учетом чувствительности используемого анализа) отсутствуют As, Sb, Zn, Pd, крайне редко (в 1% проб) встречается Pb.

Разные типы кор выветривания — остаточные линейно-трещинные, контактово-карстовые, карстовые — часто совмещены пространственно, при этом остаточные линейно-трещинные постепенно переходят в контактово-карстовые и карстовые. Контактново-карстовые золотоносные коры формируются по зонам минерализации на контакте силикатных (туфов или даек долеритов) и карбонатных пород. Материал в зонах крутопадающих контактов представлен смесью ожелезненных глин с нарушенной структурой и многочисленных обломков пород разного состава, что отражается в составе шлихов, полученных при промывке рыхлого материала.

Карстовые переотложенные коры выветривания образуются в результате заполнения карстовой полости глинистым, глинисто-щебнистым материалом, за счет переотложения, частичного перемива остаточной коры выветривания, аллювиальных, аллювиально-пролювиальных, делювиально-пролювиальных отложений. Карстовые полости заполне-

ны преимущественно глинами охристо-каолинитового, каолинитового состава, степень глинистости которых составляет от 35 до 54%.

При постепенном выщелачивании карбонатных пород, вышележащие терригенные породы, оказавшиеся в зоне гипергенеза, заполняли карстовую полость, сохраняя остаточную зональность коры выветривания. При этом менялась морфология литологических контактов и рудных тел за счет проседания, сползания вышележащих отложений (см. рис. 2). Рудные тела приобретали мульдообразную, линзообразную формы с наклонным залеганием. Среди частично перемытого рыхлого материала сохраняются линзы, блоки остаточной коры выветривания, отражающие минеральный состав коренного субстрата.

При быстром образовании карста заполнивший его материал имеет пестрый состав. В нем содержатся угловатые обломки пород, присутствует хорошо окатанная галька кварца, по-видимому, образовавшаяся при вмывании водными потоками или за счет просадки вышележащих отложений. И при первом, и при втором способах заполнения карстовых полостей происходил перемыв и сортировка материала. В тяжелой фракции преобладают ильменит, циркон, магнетит. Минералы имеют как угловатую форму, так и в разной степени окатанную.

В рудном карсте Ивдельской площади встречаются обломки полевошпатовых, серицитизированных пород с вкрапленностью, прожилками окисленного пирита, обильны гидроксиды железа. Содержания Au по результатам золото-спектрального анализа в основном низкие и не отражают присутствие самородного золота гравитационных классов. Содержания рудогенных элементов на порядок ниже. В шлихоминералогических пробах при этом содержания Au от 0,4 до 5,9 г/т. Кластогенное золото в карсте в отличие от золотоносной остаточной коры выветривания более крупное. Чаще отмечаются классы +0,5 мм (рис. 5), иногда зерна до 4,9 мм, в одной из канав был найден маленький самородок в сростании с платиной (находка В.Г.Зенковой). Золото в карсте преобразовано на 60%. Пробность не затронутых преобразованиями реликтов 825–950%, в коррозионной оболочке 982–990%, характерны сглаженная поверхность, наросты вторичного золота.

Значимые содержания Au (500–3000 мг/м<sup>3</sup>) обнаружены в ложковых россыпях, представленных делювиально-пролювиальными отложениями, пространственно тесно связанными с участками развития золотоносных кор выветривания. Золото в них крупнее, чем в корах, за счет перемыва и сортировки

и составляет 0,3–5 мм. Присутствует золото окатанное и рудного облика, часто в сростании с кварцем.

Приведенные данные позволяют сделать следующие выводы.

В пределах Кедровско-Ивдельского рудно-россыпного узла широко развиты золотоносные коры выветривания разных литологических и морфологических типов, характеризующиеся своеобразием золотоносности, вещественного состава и типоморфизма золота.

Золотоносные коры выветривания пространственно связаны с протяженными зонами золото-сульфидно-кварцевой минерализации и россыпями золота.

Для Ивдельской площади установлена минералогическая и геохимическая зональность золотоносной коры выветривания.

Комплекс прямых и косвенных признаков золоторудной минерализации, тесное пространственное совмещение эндогенных и экзогенных проявлений золота отвечают системе «коренной источник-кора выветривания-россыпь». Это — один из прогностно-поисковых критериев в пределах рудно-россыпных таксонов металлогенических провинций.

Типовая геологическая обстановка узла, характерная для Ауэрбах-Краснотурьинской металлогенической зоны, особенности вещественного состава золотоносных кор, а также локализованные в результате геологоразведочных работ прогнозные ресурсы служат весомыми предпосылками для выявления в пределах узла промышленного золоторудного объекта воронцовского типа [5, 6, 11].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышев А.Н., Тарасова Е.В. Макет карты для металлогенического районирования территории восточных регионов Северного, Приполярного и Полярного Урала (Цветные металлы) м-ба 1:1 000 000. – М.: ЦНИГРИ, 2008.
2. Золотоносность Урала (объяснительная записка к карте золотоносности Урала м-ба 1:1 000 000) / Н.К.Курбанов, П.С.Ревякин, П.Г.Кучеревский и др. – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2005.
3. Константинов В.М., Казаков А.А., Новиков В.М., Трубкин Н.В. Золото в фосфоритах Кингисеппского месторождения Русской платформы // Отечественная геология. 2005. № 5. С. 48–51.
4. Кривцов А.И. Металлогения андезитовидных вулканоплутонических поясов. Ч. II. – М.: ЦНИГРИ, 1999.
5. Полякова Т.П., Риндзюнская Н.М., Николаева Л.А. Золото в корах выветривания Урала // Руды и металлы. 1995. № 1. С. 42–52.
6. Риндзюнская Н.М., Полякова Т.П., Бобров В.Н. Геолого-минералогическая характеристика зоны гипер-

- генеза Воронцовского золоторудного месторождения // Руды и металлы. 1995. № 4. С. 42–52.
7. Рожков И.С., Никитин Н.М., Ясырев А.П. Россыпное золото в мезо-кайнозойских отложениях центральной части Русской платформы // Тр. ЦНИГРИ. 1996. Вып. 72. С. 185–199.
  8. Турлычкин В.М., Горенков Н.П. Фосфориты — адсорбенты золота и восстановители до свободного — металлического // Геол. вестн. центральных районов России. 1999. № 3. С. 14–17.
  9. Ферсман А.Е. Геохимия. Т. 4 — Л.: Госхитехиздат, 1939.
  10. Филиппов В.П., Иванов Н.М., Матвеева Е.В., Сычкин Н.И. Россыпное золото Русской платформы, его источники и перспективные типы // Разведка и охрана недр. 1998. № 9–10. С. 20–23.
  11. Черемисин А.А., Злотник-Хоткевич А.Г. Воронцовское золоторудное месторождение // Руды и металлы. 1997. № 1. С. 59–70.
  12. Шарков А.А. О генезисе фосфатных месторождений урана и редких земель Мангышлака // Отечественная геология. 2005. № 5. С. 29–41.
  13. Щегольков Ю.В. Пленочный оксид золота на поверхности золотин в корах выветривания по сульфидно-магнетитовым рудам месторождения Новогоднее-Монто // Руды и металлы. 2007. № 4. С. 53–57.
  14. Ясырев А.П. Золото и серебро в фосфоритах Русской платформы // Тр. ЦНИГРИ. 1967. Вып. 72. С. 200–203.

УДК 550.4:553.411

© А.Д.Чернова, Н.Н.Шатагин, 2013

## НЕКОТОРЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЕКУРА, ЧУКОТСКИЙ АВТОНОМНОЙ ОКРУГ

А.Д.Чернова, Н.Н.Шатагин (МГУ им. М.В.Ломоносова)

*Обсуждаются геохимические особенности руд золоторудного месторождения Кекура. Приведены данные исследования геохимических спектров золоторудных жил, показано распределение химических элементов во вмещающих породах и рудах, а также по классам содержания золота, выделены геохимические ассоциации элементов.*

*Ключевые слова: геохимические особенности, золото. Чернова Александра Дмитриевна, [a.d.chernova@gmail.com](mailto:a.d.chernova@gmail.com), Шатагин Николай Николаевич, [shatagin@geol.msu.ru](mailto:shatagin@geol.msu.ru)*

## GEOCHEMICAL FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF ELEMENTS IN GOLD DEPOSIT KEKURA, THE CHUKOTKA AUTONOMOUS DISTRICT

A.D.Chernova, N.N.Shatagin

*The geochemical features of ore in gold deposit Kekura are discussed. There are also presented the data of the geochemical spectra of gold veins. Moreover, the distribution of chemical elements are analyzed both in the host rocks and ores, and in the classes of gold contents. Finally, geochemical associations of the elements are highlighted.*

*Key words: geochemical features, gold mineralization.*

Месторождение Кекура находится в Билибинском районе Чукотского автономного округа Российской Федерации. Геологическое изучение района началось с проведения геолого-съёмочных работ в 60-х годах прошлого века. Наиболее результативными были работы С.П.Глотова (1995 г.), В.А.Шеховцева (2001 г.), в результате которых охарактеризовано с современных геодинамических позиций геологическое строение площади и выявлены рудопроявления кварцево-жильного типа на участках Кекура, Гонч, Бонд, Закол и Забытый. Установлена высокая перспективность Коральвеевского рудно-россыпного узла, рудных полей Кекура, Бонд и Гонч,

дана оценка прогнозных ресурсов категории  $P_2$  перечисленных рудопроявлений. В ранг месторождения Кекура переведено по данным поисково-оценочных работ 2004–2008 гг. (В.И.Уютов, С.В.Седенко, Б.А.Пятков и др., 2009 г.) в пределах Коральвеевского рудного узла, входящего в состав Стадухинского рудно-россыпного района.

Месторождение располагается в пределах линейно вытянутой в северо-западном направлении Южно-Аннуйской структурно-фациальной зоны, приурочено к центральной части Кекурского интрузивного массива площадью ~13 км<sup>2</sup>. Интрузия имеет штокообразную форму с крутыми контактами

ми, падающими от центра. Наблюдаются признаки кольцевого строения массива. Его периферия сложена кварцевыми диоритами первой фазы внедрения, основной объем составляют кварцевые монцодиориты (и монцониты) и сменяющие их в центральной части гранодиориты соответственно второй и третьей фаз внедрения (С.П.Готов, 1995 г.). Массив вмещают интенсивно тектонизированные верхнетриасовые флишоиды устиевской толщи, а также верхнеюрские и нижнемеловые терригенные и вулканогенно-терригенные породы (В.И.Уютов, С.В.Седенко, Б.А.Пятков и др., 2009 г.).

Положение месторождения контролируется узлом пересечения разрывных структур ортогонального и диагонального направлений. Рудоносны зоны наиболее ранних разрывных нарушений северо-западного–субширотного направления, маркированные дайками лампрофиров. Последние формируют серию сближенных пологих ( $15\text{--}40^\circ$ ) тектонических пластин, группирующихся в полосе шириной до 200 м, названной «рудная зона Пологая» (В.И.Уютов, С.В.Седенко, Б.А.Пятков и др., 2009 г.).

Рудовмещающие породы интенсивно березитизированы и представлены метасоматитами карбонат-полевошпат-слюдисто-кварцевого состава с мелкой вкрапленностью сульфидов, образовавшихся за счет березитизации гранитоидов, а также в значительно меньшей степени лампрофирами диоритового ряда. Основные породообразующие минералы метасоматитов — кварц, полевые шпаты различного состава, карбонаты, слюды, среди которых преобладают мусковит и гидромусковит, в резко подчиненном количестве присутствуют биотит, хлорит, каолинит и амфиболы. Хлорит образовался при изменении биотита и амфиболов, серицит и каолинит — продукты разрушения полевых шпатов (по данным исследований ООО «НВП Центр-ЭСТАгео»). Среди рудных минералов преобладают арсенопирит и пирит, в редких случаях отмечаются халькопирит, пирротин, герсдорфит, гидроксиды железа и самородное золото. Акцессорные минералы — магнетит, эпидот, рутил, шеелит, апатит и фосфаты РЗЭ.

Известно, что оруденение в березитах относится к сопряженному типу, но локализация любых руд закономерно связана с горизонтальной и вертикальной метасоматической зональностью. Богатые руды, как правило, приурочены к внутренней зоне метасоматической колонки в участках максимальной ее мощности. Рудные тела могут находиться и вне пределов внутренней зоны, но всегда сосредоточены внутри зонального ореола березитизации [3]. Таким образом, рудная минерализация во всех случаях приурочена к центральной зоне полно проявленных березитов и является наиболее поздним чле-

ном метасоматической зональности, т.е. продуктом завершающих стадий эволюции метасоматической системы. В первом приближении контурами рудного тела можно считать геологическую границу зоны полно проявленных березитов (В.И.Уютов, С.В.Седенко, Б.А.Пятков и др., 2009 г.). По классификации из работы [2] месторождение Кекура — жильное золото-кварцевое малосульфидное.

По данным работы [1], температура гомогенизации включений изменяется от 270 до 230°C. Судя по небольшому содержанию  $\text{CO}_2$  во флюиде (не более 2 мол. %), давление при консервации включений не превышало 200 бар, что соответствует глубинам 1–2 км от палеоповерхности.

По материалам поисково-разведочных работ 2004–2008 гг. (В.И.Уютов, С.В.Седенко, Б.А.Пятков и др., 2009 г.) авторами сделана попытка проанализировать распределение химических элементов во вмещающих породах и рудах. Обработаны данные анализов ~1500 проб на содержание 18 элементов: Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, Co, Mo, Sn, Mn, W, Bi, As, Sb, Be, Ba и Li. К сожалению, сведения о содержании перечисленных выше 18 химических элементов в литературных источниках оказались доступны только в сгруппированном виде — как средние значения, рассчитанные для восьми классов содержаний Au, г/т: <0,1 (512 проб), 0,1–0,5 (142), 0,5–1,0 (62), 1–2 (224), 2–4 (185), 4–16 (127), 16–64 (47), >64 (25). При имеющемся количестве проб средние содержания по классам (и другие описательные статистики) вызывают доверие, но выводы в отношении геохимических ассоциаций можно сделать лишь обобщенные. Тем не менее, набор данных позволил проанализировать распределение химических элементов как по вмещающим породам и рудам, так и по классам содержаний золота.

Геохимический спектр золоторудных жил месторождения относительно средних содержаний химических элементов в кислых породах [по 4] отражен в таблице. Видно, что для вмещающих пород и руд характерны высокие содержания Au, Ag, Sb, W, As, Cr. Превышают фоновые значения содержания Bi, Mo, Sn, Cu и Ni (рис. 1).

Обогащение некоторыми химическими элементами вмещающих пород по мере увеличения степени их метасоматической переработки проиллюстрировано на рис. 2. Содержания химических элементов в гранодиоритах (породах неизмененного субстрата) принимаются нами за фон. В ряду березитизированные гранодиориты → березиты → кварцевое ядро наблюдается резкое увеличение концентраций, в первую очередь, Au, As, W. Их количество равномерно возрастает по мере приближения к кварцевым жилам, что подтверждает вывод о приуроченности

богатых руд к внутренней зоне метасоматической колонки. Содержания Cr, Sb, Sn, Mo, Be увеличиваются, начиная с березитов, а Bi и Ag — только в кварцевом ядре. Содержания Ba и Co, напротив, обратно пропорциональны степени метасоматической переработки. По мере приближения к кварцевому ядру они уменьшаются.

Богатые руды по сравнению с рядовыми на 2–3 порядка обогащены Au, Sb, Pb, Ag, Cr, W, As, Bi. При переработке золотосодержащих руд необходимо будет учесть высокое содержание в них вредных примесей — As и Sb.

По материалам поисково-разведочных работ (В.И.Уютов, С.В.Седенко, Б.А.Пятков и др., 2009 г.) для проанализированных 18 элементов были построены линейные графики зависимости от классов содержаний Au в кварц-золоторудной зоне месторождения Кекура. Тесную положительную связь имеют Au, Ag и Pb (рис. 3, а). Таким образом, чем богаче кварцевая жила золотом, тем она одновременно богаче серебром и свинцом. Отношение содержаний Au и Ag (коэффициент Ag/Au) обнаруживает обратную зависимость, его величина уменьшается по мере увеличения содержания Au (см. рис. 3, б).

Анализ распределения содержаний других элементов показывает, что менее отчетливую

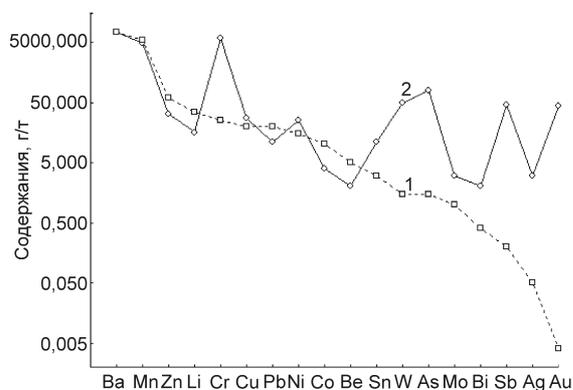


Рис. 1. Геохимический спектр распределения элементов в породах месторождения Кекура (в логарифмической шкале):

1 — среднее содержание, г/т; 2 — средние содержания элементов по результатам опробования, г/т

#### Основные описательные статистики содержаний химических элементов в кварцевых жилах месторождения Кекура, г/т

Элементы	Число значимых проб	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
Ba	1323	742,35	636,36	855,25	79,52
Cr		585,56	115,30	1076,56	383,92
Mn		472,79	336,00	545,59	66,37
As		78,31	21,67	127,36	33,19
W		49,72	20,44	97,36	28,48
Sb	1295	44,97	8,99	146,79	50,64
Au		43,42	0,03	303,74	105,70
Zn		32,30	23,12	40,49	7,21
Cu		26,94	15,40	36,26	7,75
Ni		24,70	15,56	35,50	7,40
Li		15,63	0,23	25,66	10,30
Pb		11,34	3,74	48,34	15,06
Sn		10,71	6,43	14,33	3,17
Co		3,93	2,16	7,83	2,03
Mo		3,23	1,29	4,80	1,20
Ag	1323	3,19	0,50	18,48	6,25
Bi		2,19	0,83	5,11	1,64
Be		1,85	1,04	2,65	0,67

положительную связь с Au имеют Cr, Sb и Bi (см. рис. 3, в). Аналогичную тенденцию к росту содержаний элемента по мере обогащения руды Au проявляют также Be, W, Sn и As. Для шести изученных элементов (Li, Ni, Cu, Mo, Zn и Mn) характерны большие разбросы содержаний в сравнении с изменениями концентраций Au. Обратные взаимоотношения с содержаниями Au проявляют Co и Ba. Их содержание заметно снижается при росте концентраций Au (рис. 3, г).

Содержания 18 элементов в 1337 пробах по материалам поисково-разведочных работ были обра-

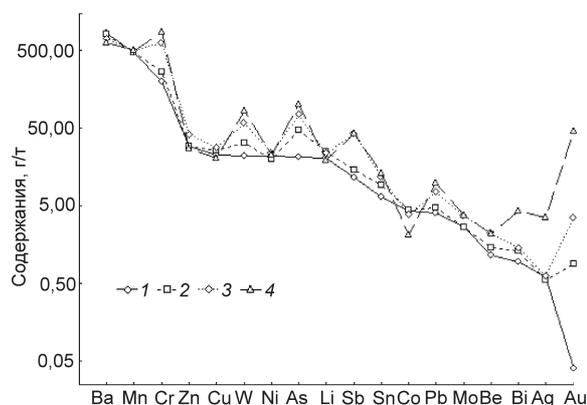


Рис. 2. Геохимические спектры содержаний химических элементов в породах (в логарифмической шкале):

1 — гранодиориты; 2 — березитизированные гранодиориты; 3 — березиты; 4 — кварцевое ядро

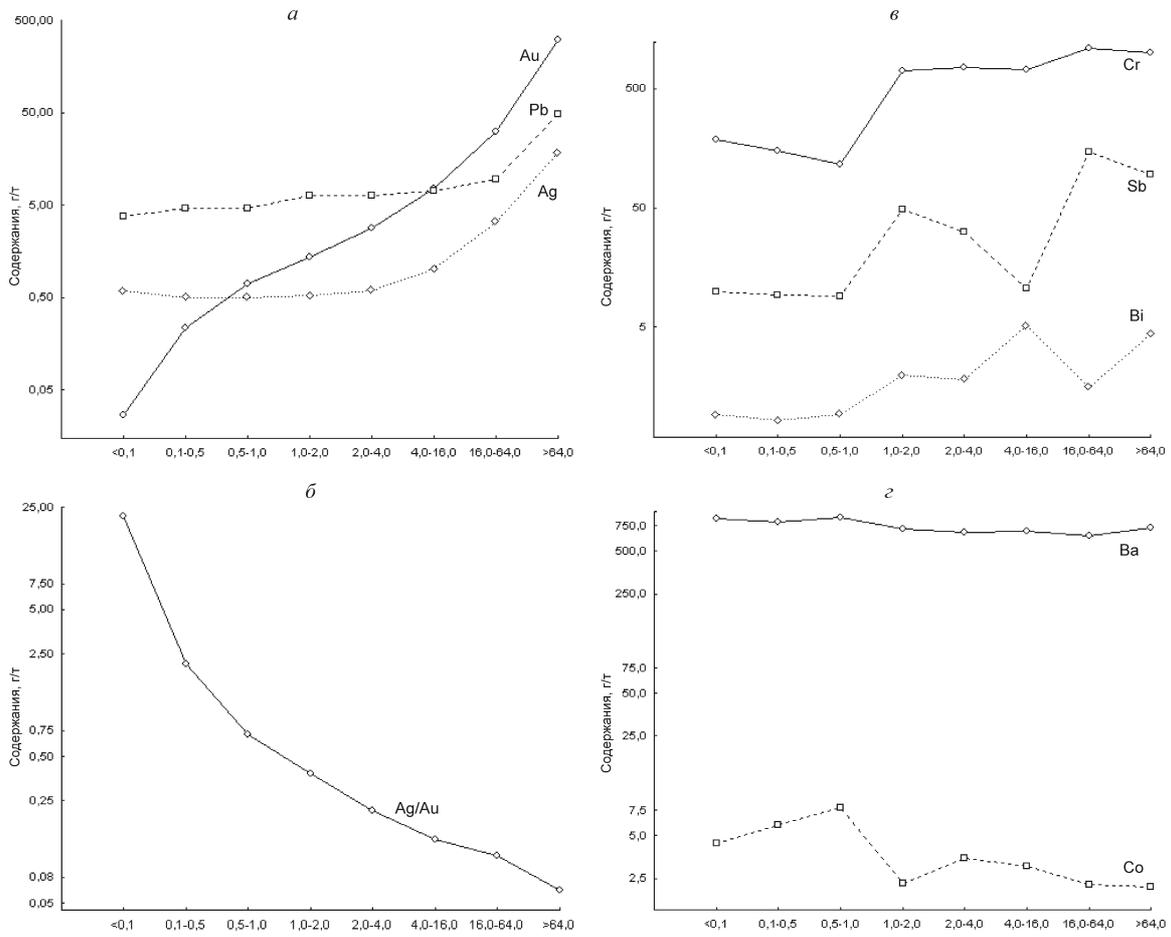


Рис. 3. Зависимость средних содержаний элементов от концентраций Au (в логарифмической шкале):

*a* — Au, Ag, Pb; *б* — отношение Au/Ag; *в* — Cr, Sb, Bi; *г* — Co, Ba

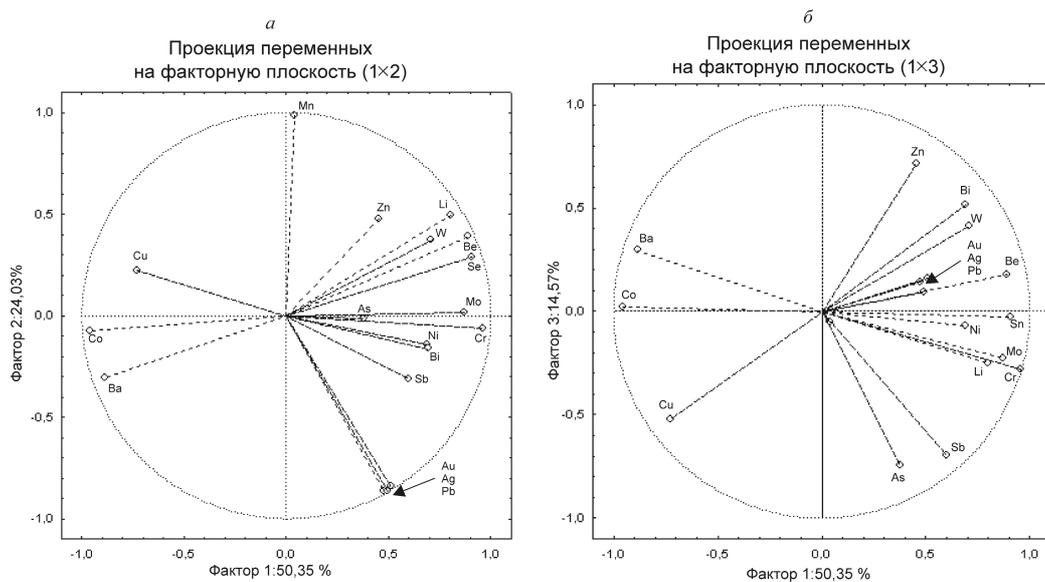


Рис. 4. Результаты факторного анализа:

*a* — плоскость факторов 1, 2; *б* — плоскость факторов 1, 3

ботаны с помощью модуля «метод главных компонент» пакета прикладных программ Statistica 6.0 с целью визуализации многомерной выборки. Четко выявились три основных фактора, на долю которых приходится 89% всей изменчивости многомерной совокупности (на 1-й фактор — 50,35, на 2-й — 24,03, на 3-й — 14,57% изменчивости). На 2-мерных проекциях в координатах 1–2, 1–3 и 2–3 факторов попарно были нанесены точки, соответствующие положению проанализированных химических элементов. С применением факторного анализа выполнена интерпретация основных взаимосвязей между переменными. Наиболее тесная связь проявилась у Au, Ag и Pb, образующих практически единую линию на графике с изображением плоскостей 1–2 и 1–3 факторов (рис. 4, а, б). Элементы Co, Ba и Cu на обоих графиках занимают отличные от остальных элементов позиции.

Можно сделать предварительные выводы о геохимических ассоциациях руд месторождения. В рудах месторождения Кекура намечаются три геохимических ассоциации: геохимическое ядро кварцево-жильных руд представлено Au, Ag и Pb; дополнительными по тесноте связи с золотом и геохимически значимыми являются Sb, Bi и Cr, а

также связанные с ними и с Au чуть менее тесно Be, W, Sn, Ni и As. Эта ассоциация может быть названа гранитоидной; отдельно стоит отметить ассоциацию Co и Ba, отрицательно коррелируемую с золотом. Для довольно большой группы элементов (Li, Cu, Mo, Zn, Mn) характерна сильная изменчивость содержаний и отсутствие заметных корреляций с содержаниями других элементов, в первую очередь, с Au.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Двуреченская С.С., Кряжев С.Г., Нургалиев Г.Н., Елманов А.А.* Минералогические особенности золоторудного месторождения Кекура (Чукотка) // Мат-лы Годичной сессии Российского минералогического общества. 2007. С. 23–26.
2. *Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф.* Золоторудные гиганты России и мира. – М.: Научный мир, 2000.
3. *Метасоматизм и метасоматические породы* / Под ред. В.А.Жарикова, В.Л.Русинова. – М.: Научный мир, 1998.
4. *Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:200 000 (Приложения)* / А.А.Головин, Н.Н.Москаленко, А.И.Ачкасов и др. – М.: ИМГРЭ, 2002.

УДК 550.42 (470.55/.57)

© С.Е.Знаменский, С.В.Мичурин, Н.Н.Анкушева, 2013

## ПРОИСХОЖДЕНИЕ РУДООБРАЗУЮЩИХ ФЛЮИДОВ ОРЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА, ЮЖНЫЙ УРАЛ

С.Е.Знаменский, С.В.Мичурин (Институт геологии УНЦ РАН), Н.Н.Анкушева (Институт минералогии УрО РАН)

*Изучены фазовый состав и температуры гомогенизации флюидных включений в кальците, изотопный состав кислорода и углерода кальцита и серы пирита из сульфидно-карбонат-кварцевых прожилков. Исследовано распределение редкоземельных элементов в рудовмещающих породах и пирите, а также элементов-примесей в пирите. Полученные данные свидетельствуют о метаморфогенном источнике рудообразующих флюидов Орловского месторождения золота.*

*Ключевые слова: месторождение золота, рудообразующий флюид, температура гомогенизации, изотопный состав серы, редкоземельные элементы.*

*Знаменский Сергей Евгеньевич, Znamensky\_Sergey@mail.ru, Мичурин Сергей Васильевич, s\_michurin@mail.ru, Анкушева Наталья Николаевна, [ankusheva@ilmeny.ac.l.ru](mailto:ankusheva@ilmeny.ac.l.ru)*

## THE ORIGIN OF ORE-FORMING FLUIDS OF ORLOVKA GOLD DEPOSIT, THE SOUTHERN URALS

S.E.Znamensky, S.V.Michurin, N.N.Ankusheva

*Phase composition and homogenization temperatures of fluid inclusions in calcite, carbon and oxygen isotope composition in calcite and sulfur in pyrite from sulfide-carbonate-quartz veins were studied. REE patterns in ore-bearing rocks and pyrite and also trace elements in pyrite was determined. The received dates evidence metamorphic source of ore-forming fluids of Orlovka gold deposit.*

*Key words: gold deposit, ore-forming fluids, homogenization temperature, isotope composition sulfur, rareearth elements.*

Орловское золото-сульфидно-кварцевое месторождение расположено в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале в 60 км северо-восточнее г. Учалы Республики Башкортостан. Оно открыто в конце XIX в. и с перерывами отрабатывалось карьерами и шахтами до середины прошлого столетия. Поисковые работы, выполненные в 2007–2009 гг. Учалинским филиалом ОАО «Башкиргеология», показали, что месторождение до сих пор обладает значительными прогнозными ресурсами золота. Изучением его геологического строения в разные годы занимались Н.И.Бородаевский, П.И.Соколов, Р.И.Валишин и другие геологи. Исследования, направленные на выяснение генезиса и источников вещества месторождения, до настоящего времени не проводились.

Месторождение локализовано в зоне взброса юго-восточного падения, образовавшегося вдоль контакта серпентинитового меланжа с блоком пород ирендыкской свиты ( $D_{2ef1}$ ) (рис. 1, а). В этой же зоне располагаются Асфандияровское месторождение и несколько мелких рудопроявлений с близкими по составу к орловским рудами. Взброс состоит из сегментов, различающихся строением по простиранию. Их границами служат субширотные и северо-западные разломы, по-видимому, представляющие собой трансферные сдвиги. Все известные месторождения и рудопроявления золо-

та приурочены к наиболее дислоцированному сегменту разломной зоны, который отличается чешуйчатой структурой с многократно повторяющимся разрезом ирендыкской свиты и интенсивным зеленосланцевым динамометаморфизмом слагающих его пород. В наиболее полных фрагментах ирендыкская свита представлена тремя пачками (снизу вверх): известняки с прослоями углеродсодержащих глинисто-кремнистых сланцев, алевролитов и песчаников; слоистые вулканогенно-осадочные породы основного состава; пироксен-плаггиоклазовые порфириды и их брекчии. Мощность свиты в таких фрагментах достигает 100–150 м.

Основные запасы золота месторождения локализованы в пределах Орловской рудной зоны. Она приурочена к разлому, разделяющему тектонические пластины (см. рис. 1, б). К востоку от нее во вторичных разрывах чешуйчатого взброса вскрыты еще несколько мелких рудных тел, среди которых промышленное значение имеет минерализованная зона Жила 2. Рудные тела сложены альбит-биотит-кварц-хлорит-эпидот-актинолитовыми сланцами с карбонат-кварцевыми прожилками. Для рудоносных сланцев характерны S–C структуры, подчеркиваемые распределением слюистых минералов, плейчатость, кинк-банды, структуры будинажа и вращения порфирокластов, а также локальные структуры растяжения, которые контролируют размещение карбонат-кварцевых прожилков. В ос-

новном прожилки сосредоточены на изгибах поверхностей расланцевания. Кроме того, они выполняют трещины отрыва и R-сколы Риделя в трансенсивных дуплексах и образуют включения в телях давления порфирокластов. Прожилки сопровождаются вкрапленной сульфидной, преимущественно пиритовой, минерализацией и самородным золотом. Кроме пирита, в незначительных количествах присутствуют халькопирит, галенит и арсенопирит. По нашим данным, содержания Au в пирите невысокие (0,07–7,7 г/т). Сульфиды и самородное золото концентрируются в зальбандах прожилков. За пределами рудовмещающих разрывов интенсивность динамометаморфических изменений падает. При этом заметно сокращается количество карбонат-кварцевых прожилков и сульфидной минерализации, а содержания золота становятся непромышленными. Рудоносный интервал зоны взброса нарушен серией мелких разрывов близмеридионального простирания, которые, по-видимому, играли роль рудоблокирующих структур.

Вдоль взбросовой зоны на месторождении присутствуют немногочисленные дайки диабазов и габбро-диабазов неизвестного возраста. В эндо-экоконтактных зонах даек развиты листовиты хлорит-карбонат-мусковит-кварцевого состава с вкрапленностью пирита. По данным Учалинского филиала ОАО «Башкиргеология», в листовитах содержания Au не превышают 0,16 г/т.

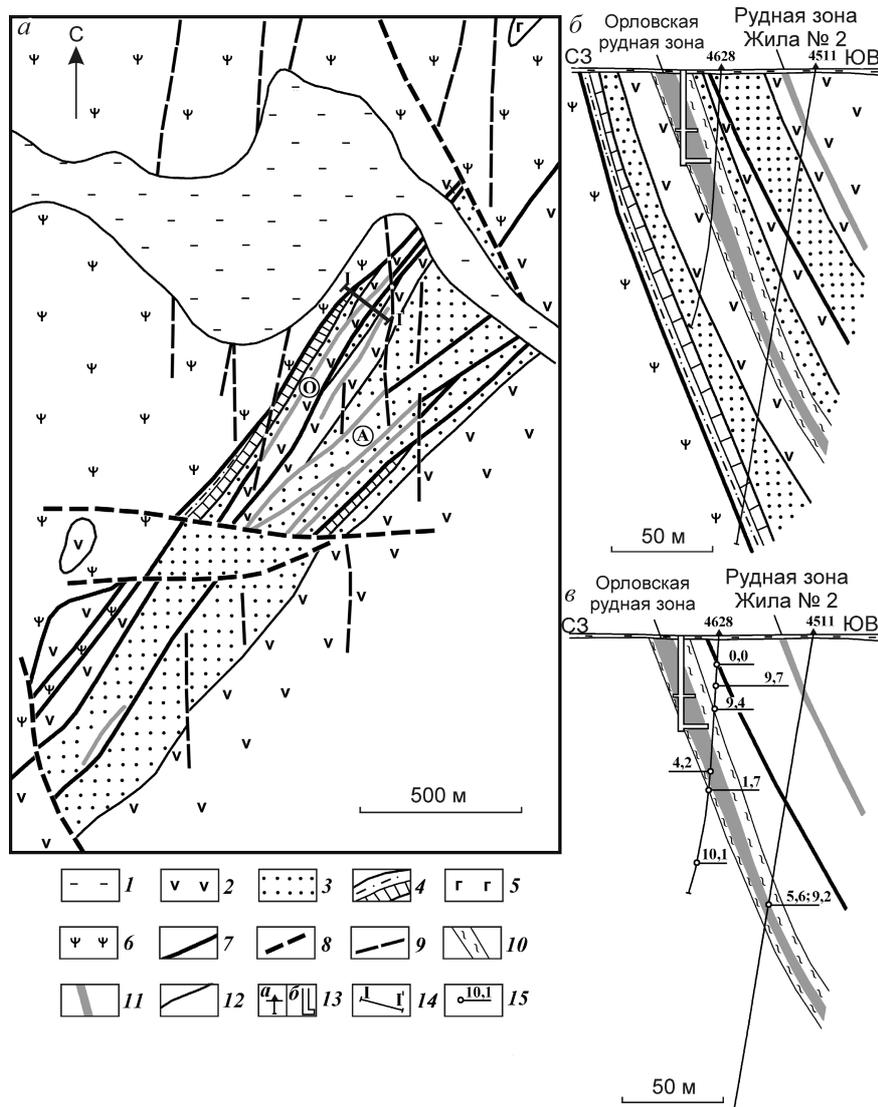


Рис. 1. Схема геолого-структурной позиции Орловского месторождения (а), разрез по линии I-I' (б), распределение значений δ³⁴S в пирите по разрезу (в); а, б составлены с использованием данных Учалинского филиала ОАО «Башкиргеология»:

1 — четвертичные отложения; ирендыкская свита, De<sub>1</sub>; 2 — пироксен-плагиоклазовые порфиры и их брекчии; 3 — вулканогенно-осадочные породы основного состава; 4 — известняки, алевролиты, песчаники; 5 — диабазы (O<sub>2</sub>?); 6 — серпентинитовый меланж; 7 — взбросы и надвиги; 8 — трансферные сдвиги; 9 — разрывы близмеридионального простирания; 10 — на разрезе зоны альбит-биотит-кварц-хлорит-эпидот-актинолитовых сланцев по вулканогенным и вулканогенно-осадочным породам; 11 — рудные тела; 12 — геологические границы; 13 — скважины (а) и горные выработки (б); 14 — линия разреза I-I'; 15 — значения δ³⁴S в пирите; O — Орловское, A — Асфандияровское месторождения

Возрастные соотношения даек с золото-сульфидно-кварцевой минерализацией не установлены.

Для определения возможных источников рудообразующих флюидов месторождения нами выполнены термобарогеохимические и изотопно-геохимические исследования.

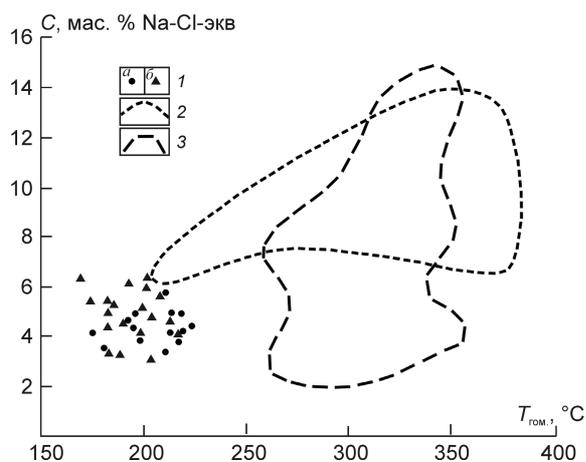


Рис. 2. Соотношение температур гомогенизации и концентраций растворов во флюидных включениях в кальците Орловского месторождения:

1 — из рудных тел (а), безрудных зон (б); 2 — Кочкарское, по данным В.Ю.Прокофьева и Э.М.Спиридонова, 3 — Березовское, по данным Н.С.Бортникова, месторождения

*Термобарогеохимические исследования.* С использованием методов криометрии и термометрии [1, 5] изучены фазовый состав солевых систем и температуры гомогенизации флюидных включений в кальците из карбонат-кварцевых прожилков, развитых в рудных телах и во вмещающих породах. Исследования выполнены в Институте минералогии УрО РАН в микрокриотермокамере THMSG-600 английской фирмы Linkam, позволяющей производить измерения температур фазовых переходов в интервале  $T$  от  $-196$  до  $600$  °C, на микроскопе Olimpus с объективом  $50\times$ . Точность измерений составляла  $\pm 0,1$  °C в интервале температур от  $-20$  до  $80$  °C и  $\pm 1$  °C за пределами этого интервала. Концентрации солей в растворе оценивались по температуре плавления льда в пересчете на систему  $H_2O-NaCl$  по данным работы [10]. Фазовый состав солевых систем определялся по данным А.С.Бо-

рисенко [1]. Обработка результатов измерений выполнена в программе Statistica 6.1.

В изучавшихся образцах кальцит представлен светлыми прозрачными в тонком слое зернами и мелкозернистой массой с аномальными цветами интерференции в скрещенных николях. Флюидные включения находятся в крупных прозрачных зернах. Присутствуют первичные и вторичные включения: вторичные приурочены к трещинам в минерале в виде цепочек или скоплений, первичные располагаются обособленно, редко образуя группы по два-три включения. Размер первичных включений в среднем  $5-10$  мкм до  $20-30$  мкм, форма округлая, овальная, часто с элементами огранки. Встречены однофазные и двухфазные включения. Измерения производились по двухфазным включениям, состоящим из прозрачной светлой жидкости и газового пузырька. При нормальных условиях ( $25$  °C) газовый пузырек занимает  $10-15\%$  объема включения. Физико-химические параметры растворов во флюидных включениях в кальците из рудных тел и безрудных зон близки между собой (табл. 1).

Температуры гомогенизации газовой-жидких включений составляют  $168-223$  °C (36 определений). Температуры эвтектики флюидных включений образуют несколько интервалов. Большая часть определений попадает в интервал от  $-23,0$  до  $-23,9$  °C (11 определений). Такие температуры эвтектики соответствуют солевой системе  $NaCl-KCl-H_2O$ . Единичные определения температур эвтектики  $-33,5$ ,  $-33,7$  (2 определения),  $-37,1$ ,  $-37,3$  (два определения) и  $-35,1$  °C указывают на присутствие солевых систем  $MgCl_2-H_2O$ ,  $NaCl-FeCl_2-H_2O$ ,  $FeCl_2-H_2O$  и  $Na_2CO_3-K_2CO_3-H_2O$ . Концентрации солей составляют  $3,0-6,4$  мас. %  $NaCl$ -экв (36 определений). Значения солёности варьируют в интервале  $3-5$  мас. %  $NaCl$ -экв.

Полученные данные показывают, что по физико-химическим параметрам гидротермальные растворы Орловского месторождения отличаются от гидротерм золото-сульфидно-кварцевых месторождений золота Урала, связанных с интрузивным маг-

#### 1. Температуры эвтектики и гомогенизации и фазовый состав газовой-жидких включений в кальците

Кальцит	Интервал $T_{эвт.}$ , °C	Солевая система	Интервал $T_{гом.}$ , °C	C, мас. % $NaCl$ -экв.
Из рудных тел	$-23,3 \dots -23,9$ (4) $-35,1$ (1) $-37,1 \dots -37,3$ (2)	$NaCl-KCl-H_2O$ $MgCl_2-NaCl-H_2O$ $Na_2CO_3-K_2CO_3-H_2O$	$173,9-223,3$ (16)	$3,5-5,7$ (16)
Из безрудных зон	$-23,0 \dots -23,9$ (7) $-33,5 \dots -33,7$ (2)	$NaCl-KCl-H_2O$ $MgCl_2-H_2O$	$168,3-217,3$ (20)	$3,0-6,4$ (20)

Примечание. В скобках — число изученных включений.

магизмом. Например, на Кочкарском месторождении, расположенном в Пластовском массиве плагиогранитов, концентрации солей в золотоносных флюидах составляют 6,3–16,7 мас. % Na-Cl-экв, а температуры растворов — 180–370°C (рис. 2). По-видимому, в период формирования карбонат-кварцевых прожилков в гидротермальную систему Орловского месторождения были вовлечены слабоминерализованные метеорные воды.

Геохимические исследования включали анализ изотопного состава углерода и кислорода кальцита из карбонат-кварцевых прожилков, серы пирита, а также изучение распределения РЗЭ в слабо измененных разностях ирендыкских пород, динамометаморфических сланцах и пирите из рудных тел и безрудных зон. Кроме того, было исследовано поведение элементов-примесей в пирите.

Измерение изотопного состава углерода и кислорода выполнены в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (руководитель группы В.Л.Андреичев). Разложение карбонатов до CO<sub>2</sub> проводилось в ортофосфорной кислоте при температуре 80°C. Измерения осуществлялись на масс-спектрометре DELTA V Advantage (Thermo Fisher Scientific, Бремен, Германия). Точность определений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  составляла  $\pm 0,2\%$ .

Проанализированы три пробы кальцита, отобранные из карбонат-кварцевых прожилков Орловской рудной зоны и вмещающих пород, которые слагают ее лежащий и висячий бока. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  составили для кальцита из рудной зоны -1,1 и 14,3 ‰, для кальцита из вмещающих пород лежащего бока — -2,3 и 13,9‰, для кальцита из вмещающих пород висячего бока — -1,9 и 15,3‰ соответственно. По изотопному составу углерода кальцит из рудных тел и безрудных зон практически не отличается. По изотопному составу кислорода отличие составляет всего 1–1,5‰.

Известно, что температуры гомогенизации флюидных включений отражают минимальные температуры минералообразования. С учетом этого для расчета изотопного состава углерода и кислорода флюида по уравнениям фракционирования в системах кальцит–CO<sub>2</sub> [13] и кальцит–H<sub>2</sub>O [17] нами использовано среднее значение температуры 200°C. Рассчитанные величины  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  флюида (4,1–5,5‰) соответствуют изотопному составу кислорода метаморфической воды [8]. Значения  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  (-2,1 до -0,9 ‰) близки к изотопному составу осадочных морских карбонатных пород.

Таким образом, данные, хотя и не многочисленные, по изотопному составу углерода и кислорода кальцита свидетельствуют в пользу метаморфоген-

## 2. Изотопный состав серы пирита Орловского месторождения

Номера образцов	Вмещающая порода	$\delta^{34}\text{S}$ , ‰ (CDT)
<i>Рудные зоны</i>		
17	Метаморфический сланец по пироксен-плагиоклазовому порфириду	5,1
19		3,3
20		2,3
12	Метаморфический сланец по туффиту основного состава	4,2
13		9,2
21		5,6
<i>Безрудные зоны</i>		
18	Метаморфический сланец по пироксен-плагиоклазовому порфириду	0,0
16		1,7
14	Метаморфический сланец по туффиту основного состава	9,7
22		9,4
9		10,1

Примечание. Номера образцов пород в таблицах, тексте и рисунках совпадают.

ного источника рудообразующих флюидов Орловского месторождения.

Измерения изотопного состава серы пирита проводилась на масс-спектрометре МИ-1201 в ИГ УНЦ РАН. Сера пирита для изотопного анализа окислялась до SO<sub>2</sub> в вакууме при ~770°C кислородом оксида меди. Воспроизводимость определений составляла  $\pm 0,3\%$ . Результаты измерений приведены в табл. 2.

Установлено, что изотопный состав серы пирита, сопровождающего карбонат-кварцевые прожилки, зависит от состава вмещающих пород и положения относительно рудных тел. В безрудных зонах, которые сложены динамометаморфизованными пироксен-плагиоклазовыми порфиритами, пирит отличается околонулевыми значениями  $\delta^{34}\text{S}$  (0,0–2,3‰). В безрудных динамометаморфических сланцах, образовавшихся по вулканогенно-осадочным породам, он значительно обогащен тяжелым <sup>34</sup>S изотопом (9,4–10,1‰). Такую зависимость можно объяснить процессами заимствования серы при формировании пирита из вмещающих пород. Выявленная зависимость сохраняется и в рудных телах. Однако здесь появляется пирит с промежуточными значениями  $\delta^{34}\text{S}$  (3,3–5,6‰). По-видимому, в зонах рудовмещающих разломов происходило смешивание серы, выделявшейся при метаморфизме как вулканогенных, так и вулканогенно-осадочных пород. Увеличение градиента в изотопном составе серы пирита по направлению от рудных зон в окружающие породы можно было бы объяснить с позиции модели инфильтрационного потока с внешней диф-

3. Содержание редкоземельных элементов в слабоизмененных породах и динамометаморфических сланцах Орловского месторождения, г/т

Элементы	Диабаз		Габбро-диабаз*		Известняки			Алевролит*		Песчаник*		Пироксен-плаггиоклазовые порфириты			Динамометаморфические сланцы			Туфолев-ролит
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	по туфо-алевро-лигиту	по пироксен-плаггиоклазовому порфириту	10	11			
La	35,72	27,89	1,26	1,71	10,12	8,27	8,89	10,03	5,98	9,36	6,06							
Ce	79,92	59,88	1,28	1,20	21,61	18,60	20,96	24,00	14,67	18,30	18,79							
Pr	9,34	7,38	0,22	0,20	2,87	2,61	2,93	3,10	1,85	2,92	2,57							
Nd	39,88	29,55	0,93	0,81	12,91	12,62	14,07	14,10	8,51	13,94	12,63							
Sm	7,47	5,51	0,19	0,15	3,36	3,10	3,58	3,69	2,02	3,50	3,03							
Eu	2,28	1,59	0,05	0,03	1,39	0,98	1,03	1,12	0,60	1,15	0,81							
Gd	6,50	3,61	0,22	0,18	3,68	3,14	4,01	4,27	2,40	4,25	3,17							
Tb	0,86	0,46	0,03	0,03	0,55	0,43	0,60	0,64	0,37	0,62	0,47							
Dy	4,57	2,92	0,20	0,18	3,81	2,81	3,56	4,05	2,31	3,91	2,70							
Ho	0,87	0,51	0,05	0,05	0,78	0,54	0,72	0,86	0,48	0,84	0,56							
Er	2,38	1,33	0,14	0,15	2,36	1,69	2,23	2,66	1,47	2,36	1,67							
Tm	0,31	0,17	0,02	0,02	0,34	0,21	0,31	0,38	0,22	0,32	0,22							
Yb	1,97	0,96	0,10	0,11	2,01	1,34	2,02	2,49	1,44	2,02	1,51							
Lu	0,30	0,14	0,02	0,01	0,25	0,18	0,31	0,39	0,22	0,30	0,22							
? P3Э	192,38	141,9	4,71	4,82	66,04	56,52	65,21	71,78	42,55	63,80	54,41							
P3Э <sub>1</sub>	174,61	131,8	3,93	4,11	52,26	46,18	51,45	56,03	33,63	49,17	43,88							
P3Э <sub>II</sub>	17,76	10,1	0,78	0,72	13,78	10,34	13,76	15,74	8,92	14,63	10,53							
? L/? H	9,83	13,05	5,03	5,73	3,79	4,47	3,74	3,56	3,77	3,36	4,17							
Eu/Eu*	1,04	1,01	0,85	0,66	1,19	0,72	0,93	0,93	0,91	0,99	0,87							
Ce/Ce*	1,04	1,0	0,48	0,34	0,94	0,97	1,0	1,03	1,08	0,84	1,27							
(La/Yb) <sub>N</sub>	12,80	20,9	9,32	11,09	3,62	4,44	3,19	2,87	3,07	3,37	2,92							
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	2,69	3,11	1,82	1,35	1,51	1,94	1,65	1,42	1,42	1,74	1,77							
(La/Sm) <sub>N</sub>	3,07	3,27	4,42	7,32	1,94	1,72	1,60	1,75	1,94	1,73	1,31							

Примечание. 1–11, а также 12–18 в табл. 4 — номера образцов. Анализы выполнены методом ICP MS в ИИПТМ РАН, \* — в ИГТ УрО РАН.  
 $Eu/Eu^* = Eu/(Sm + Tb + Eu)^{0.5 \cdot Yb}$ ;  $Ce/Ce^* = Ce/((2La + Sm)/3)$ .

фузионной зоной. Эта модель предполагает однонаправленное увеличение доли тяжелого  $^{34}\text{S}$  изотопа в околорудном ореоле по мере удаления от рудных тел [7], что не подтверждается результатами наших исследований (см. рис. 1, в).

Определение редкоземельных элементов выполнено методом ICP-MS в ИПТМ РАН и ИГТ УрО РАН (табл. 3, 4). Предел обнаружения редкоземельных элементов составляет 0,01 г/т. Максимальные концентрации РЗЭ ( $\Sigma\text{РЗЭ}=141,9\text{--}192,38$  г/т) обнаружены в диабазах (обр. 1) и габбро-диабазы (обр. 2), слагающих дайки. Они существенно обогащены легкими лантаноидами ( $\Sigma\text{L}/\Sigma\text{H}=9,83\text{--}13,05$ ;  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=12,8\text{--}20,9$ ). На нормированных графиках интрузивных пород аномалии европия ( $\text{Eu}/\text{Eu}^*=1,01\text{--}1,04$ ) и церия ( $\text{Ce}/\text{Ce}^*=1,01\text{--}1,04$ ) не выражены (рис. 3, а).

Породы всех разновидностей ирендыкской свиты также обогащены легкими РЗЭ, хотя и в меньшей мере, чем диабазы и габбро-диабазы. Наиболее низкие содержания лантаноидов ( $\Sigma\text{РЗЭ}=4,71\text{--}4,82$  г/т) в известняках (обр. 4, 3). Значения  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$  в карбонатных породах составляют 9,32–11,09, а  $\Sigma\text{L}/\Sigma\text{H}$  — 5,03–5,73. Среди стратифицированных пород известняки выделяются высоким отношением  $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ , характеризующим степень дифференциации внутри легких лантаноидов (4,42–7,32). На графиках распределения РЗЭ отчетливо проявлены негативные Eu ( $\text{Eu}/\text{Eu}^*=0,66\text{--}0,85$ ) и Ce ( $\text{Ce}/\text{Ce}^*=0,34\text{--}0,48$ ) аномалии (рис. 4, б).

Алевриты (обр. 5) и песчаники (обр. 6), слагающие вместе с известняками нижнюю пачку, по сравнению с карбонатными породами имеют более высокие содержания РЗЭ (56,62–66,04). Они характеризуются следующими отношениями:  $\Sigma\text{L}/\Sigma\text{H}=3,79\text{--}4,47$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=3,62\text{--}4,44$ ,  $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=1,72\text{--}1,94$ . На графиках распределения лантаноидов в осадочных породах отмечаются незначительные разнонаправленные европиевые аномалии.

По уровню концентрации и спектрам распределения РЗЭ к алевритам и песчаникам близки туф-

#### 4. Содержание редких элементов в пирите Орловского месторождения

Элементы	Пирит из динамометаморфических сланцев						
	по вулканогенно-осадочным породам основного состава				по пироксен-плагиоклазовым порфиритам		
	12*	13*	14***	15***	16*	17**	18***
La	2,03	2,11	1,23	2,43	1,77	3,40	5,06
Ce	4,76	5,45	2,88	5,71	4,52	7,07	8,26
Pr	0,59	0,68	0,41	0,79	0,54	1,05	1,03
Nd	2,54	3,19	2,10	3,95	2,40	5,10	4,60
Sm	0,56	0,90	0,61	1,47	0,55	1,32	1,13
Eu	0,13	0,27	0,17	0,36	0,12	0,45	0,32
Gd	0,54	1,02	0,64	1,90	0,55	1,46	1,12
Tb	0,08	0,17	0,11	0,34	0,08	0,23	0,17
Dy	0,53	1,10	0,66	2,21	0,47	1,47	1,00
Ho	0,11	0,22	0,14	0,44	0,10	0,29	0,21
Er	0,36	0,63	0,40	1,17	0,30	0,81	0,60
Tm	0,05	0,08	0,05	0,15	0,04	0,11	0,08
Yb	0,32	0,53	0,35	0,81	0,26	0,67	0,48
Lu	0,05	0,06	0,04	0,08	0,04	0,08	0,05
$\Sigma\text{РЗЭ}$	12,66	16,42	9,80	21,80	11,74	23,50	24,10
$\text{РЗЭ}_{\text{L}}$	10,62	12,60	7,41	14,69	9,90	18,39	20,40
$\text{РЗЭ}_{\text{H}}$	2,05	3,82	2,39	7,11	1,85	5,12	3,70
$\Sigma\text{L}/\Sigma\text{H}$	5,19	3,30	3,09	2,07	5,36	3,59	5,51
$\delta\text{Eu}$	0,79	0,91	0,87	0,74	0,79	1,01	0,91
$\delta\text{Ce}$	1,05	1,09	0,96	0,92	1,13	0,89	0,75
$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$	4,48	2,84	2,46	2,13	4,97	3,64	7,62
$(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$	1,40	1,56	1,51	1,94	1,75	1,85	1,90
$(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$	2,31	1,51	1,27	1,03	2,11	1,69	2,99
Bi	2,4	1,5	4,2	1,5	8,0	2,9	4,2
Se	29,1	18,4	69,1	30,0	19,1	48,2	125

Примечание. Анализы выполнены методом ICP-MS в ИПТМ РАН. \* — пирит из рудной зоны Орловская, \*\* — из рудной зоны Жила 2, \*\*\* — из безрудных интервалов.

фиты основного состава (обр. 11) и пироксен-плагиоклазовые порфириты (обр. 7, 8), входящие в состав второй и третьей пачек ирендыкской свиты. По сравнению с алевритами и песчаниками в вулканогенно-осадочных и эффузивных породах дифференциация между легкими и тяжелыми лантаноидами выражена в меньшей степени ( $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=2,87\text{--}3,19$ ). Для порфиритов характерны незначительные отрицательные европиевые ( $\text{Eu}/\text{Eu}^*=0,93$ ), а для туффитов — положительные цериевые ( $\text{Ce}/\text{Ce}^*=1,27$ ) аномалии.

Сопоставление спектров РЗЭ в динамометаморфических сланцах, образовавшихся по преобладающим в разрезе основным туффитам и пироксен-плагиоклазовым порфиритам, и в слабо измененных разностях этих пород показало, что они сходны между собой (см. рис. 3, б, в). Например, туффиты (обр. 11) и апотуффитовые сланцы (обр. 15) имеют следующие содержания лантаноидов и значения

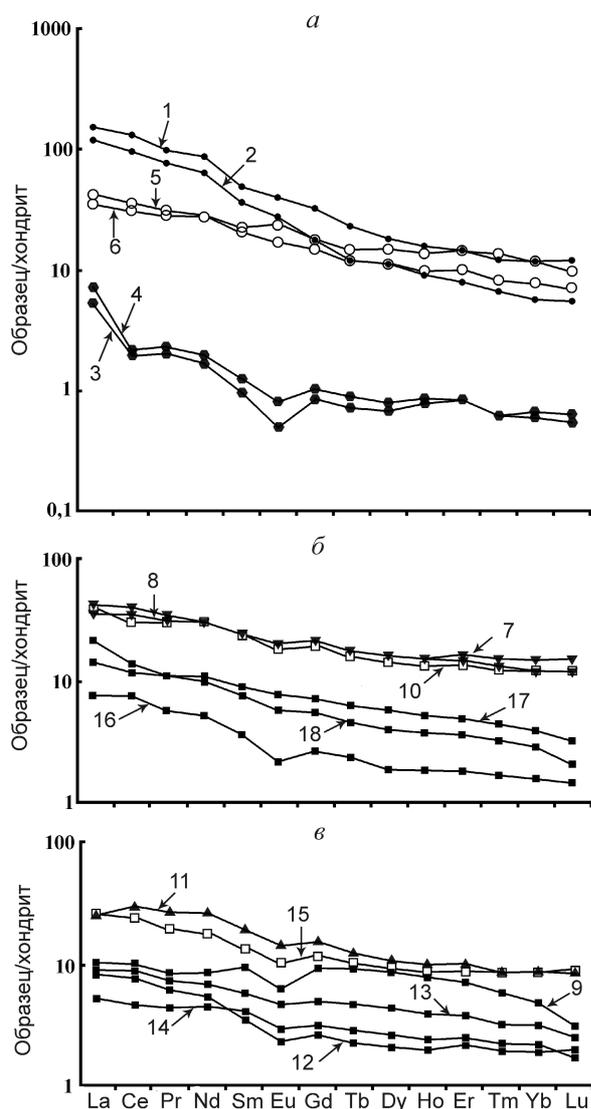


Рис. 3. Нормированные графики распределения РЗЭ в породах месторождения Орловское:

*а* — в диабазах, габбро-диабазе, известняках, алевролитах и песчаниках; *б* — пироксен-плагиоклазовых порфиритах, апорпорфировых сланцах и пирите из них; *в* — туффитах основного состава, апотуффитовых сланцах и пирите из них; исходные данные для построения графиков см. табл. 3, 4

геохимических коэффициентов:  $\sum \text{PЗЭ} = 54,41$  и  $42,55$  г/т,  $\sum \text{L} / \sum \text{H} = 4,17$  и  $3,77$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 2,92$  и  $3,07$ ,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 1,77$  и  $1,42$ ,  $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 1,31$  и  $1,94$ ,  $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,87$  и  $0,91$  соответственно (см. рис. 3, *в*). Сланцы отличаются от вулканогенно-осадочных пород незначительным выносом РЗЭ, главным образом легких лантаноидов, что, по-видимому, связано с их большей подвижностью при гидротермально-метаморфогенных процессах [12, 14 и др.].

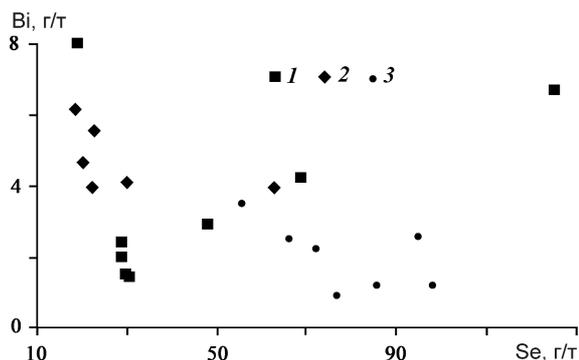


Рис. 4. Распределение Bi и Se в пирите из различных месторождений:

1 — Орловское, 2 — Убалинской зоны, 3 — Миндяк

Аналогичная тенденция прослеживается при сравнении графиков распределения РЗЭ в пироксен-плагиоклазовых порфиритах (обр. 7, 8) и в сланцах, образовавшихся по породам этого типа (обр. 10) (см. рис. 3, *в*). Для сланцев, независимо от состава протолита, характерны отрицательные Eu аномалии, свидетельствующие о формировании их из относительно окисленного флюида [9].

Как видно из приведенных данных, распределение РЗЭ в сланцах определяется составом исходных пород, что позволяет предполагать участие в минералообразующих растворах метаморфогенного флюида.

В качестве показателей состава и источников рудообразующих флюидов могут использоваться также данные о поведении РЗЭ в сульфидах, в том числе и в пирите [6, 11, 15 и др.]. Пирит из рудных тел и безрудных зон Орловского месторождения обогащен легкими лантаноидами, как и вмещающие сланцы. Величина отношения  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  в большинстве анализов  $< 1$ , что, как отмечалось выше, является показателем относительно окисленного флюида. Для нормированных графиков характерны также небольшие положительные или отрицательные аномалии Се, наличие которых может свидетельствовать о взаимодействии минералообразующего флюида с вмещающими породами [4]. Выяснено, что пирит из рудной зоны Жила 2 (обр. 17) и пироксен-плагиоклазовые порфириды (обр. 8), вмещающие это рудное тело, имеют весьма близкие спектры распределения лантаноидов (см. рис. 3, *в*) и, соответственно, значения геохимических коэффициентов:  $\sum \text{L} / \sum \text{H} = 3,59$  и  $3,56$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 3,64$  и  $2,87$ ,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 1,85$  и  $1,42$ ,  $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 1,69$  и  $1,75$ . Выявленная особенность в поведении РЗЭ наиболее удовлетворительно может быть объяснена процессами мобилизации лантаноидов при образовании пирита из вмещающих пород.

Более сложная картина распределения РЗЭ в пирите Орловской рудной зоны и ее флангов отражает изменение физико-химических параметров минералообразующих растворов в разных частях месторождения. Здесь на верхних горизонтах месторождения пирит из рудовмещающего разлома Орловской зоны (обр. 12, 16) и субпараллельных ему безрудных разрывов (обр. 18) обогащен легкими лантаноидами в значительно большей степени, чем пирит из пород за пределами разрывных нарушений (обр. 14, 15). Величина отношения  $(La/Yb)_N$  в первом случае составляет 4,48–7,62, а во втором — 2,13–2,46. Полученные данные показывают, что при дислокационном метаморфизме происходило перераспределение главным образом легких лантаноидов, а именно их вынос из менее метаморфизованных зон в разломные, где зеленосланцевый метаморфизм проявился наиболее интенсивно. Это нашло отражение в составе пирита. Тем не менее, и в Орловской рудной зоне спектры распределения лантаноидов в пирите и во вмещающих породах в целом сходны между собой.

В пирите Орловского месторождения не установлена обратная зависимость суммарных концентраций РЗЭ от величины европиевой аномалии, которая характерна для магматических пород и отсутствует в метаморфических образованиях [16].

Спектры распределения РЗЭ в динамометаморфических сланцах и пирите существенно отличаются от поведения лантаноидов в интрузивных диабазах и габбро-диабазах, в связи с чем последние не могли быть источником минералообразующих флюидов. Данные по геохимии РЗЭ показывают, что минералы зеленых сланцев и сопутствующий им пирит Орловского месторождения формировались из относительно окисленных растворов, обогащенных легкими лантаноидами. Источником РЗЭ в минералообразующем флюиде могли служить ирендыкские породы.

Индикатором при определении генетических особенностей месторождений золота может служить поведение Bi и Se в рудном процессе. Е.А.Будяк и Н.Н.Брюханова [2] на примере месторождений золота черносланцевой формации Бодайбинского района Восточной Сибири показали, что для оруденения гидротермально-метаморфогенного генезиса характерна прямая корреляционная зависимость их содержаний. На метаморфогенно-магматогенных месторождениях такая зависимость отсутствует. Результаты наших исследований хорошо согласуются с данными Е.А.Будяк и Н.Н.Брюхановой. В пирите из рудных тел и безрудных зон Орловского месторождения корреляция Bi и Se носит положительный характер (см. рис. 4). Это поз-

воляет предполагать его метаморфогенный генезис. На других месторождениях золота зоны Главного Уральского разлома на Южном Урале, имеющих гидротермально-плутоногенный (месторождения Убалинской зоны) и гидротермально-метаморфогенно-плутоногенный (месторождение Миндяк) генезис [3], в рудном пирите проявлена отрицательная корреляционная зависимость Bi и Se (см. рис. 4).

Таким образом, результаты термобарогеохимических и изотопно-геохимических исследований свидетельствуют в пользу метаморфогенного происхождения рудоносных флюидов Орловского месторождения, которое, по-видимому, относится к орогенному типу золоторудных объектов, связанных с зеленосланцевыми комплексами.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и АН РБ (грант 11-05-97021-р\_поволжье\_a), ФЦП Минобрнауки (ГК П 237), проекта молодых ученых и аспирантов УрО РАН (№ 11-5-НП-554).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисенко А.С.* Изучение солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–28.
2. *Будяк А.Е., Брюханова Н.Н.* Селен, висмут и ртуть месторождений золота различных генетических типов в черносланцевых формациях // Геохимия. 2012. № 9. С. 881–888.
3. *Знаменский С.Е., Мичурин С.В., Анкушева Н.Н.* Геолого-генетические типы месторождений золота в осадочных и вулканогенно-осадочных комплексах зоны Главного Уральского разлома на Южном Урале // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Мат-лы 9-й Межрегиональной научно-практической конференции. Уфа, 2012. С. 129–132.
4. *Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (северо-восток России) / Н.А.Горячев, О.В.Викентьева, Н.С.Бортников и др. // Геология рудных месторождений. 2008. Т. 50. № 5. С. 414–444.*
5. *Реддер Э.* Флюидные включения в минералах. Т. 1. – М.: Мир, 1987.
6. *Римская-Корсакова М.Н., Дубинин А.В.* Редкоземельные элементы в сульфидах подводных гидротермальных источников Атлантического океана // Докл. РАН. 2003. Т. 389. № 5. С. 672–676.
7. *Строение и развитие золотоносных рудообразующих систем. Сер.: Модели месторождений цветных и благородных металлов / М.М.Константинов, Т.Н.Косовец, С.Г.Кряжев и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002.*
8. *Тейлор Х.П.* Применение изотопии кислорода и водорода к проблемам гидротермального изменения вмещающих пород и рудообразования // Стабильные изо-

- топы и проблемы рудообразования. М., 1977. С. 213–294.
9. *Bau M.* Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state europium // *Chemical Geology*. 1991. Vol. 93. P. 219–230.
  10. *Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions // *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Pontignana-Siena, 1994. P. 117–130.
  11. *Existing forms of REE in gold-bearing pyrite of the Jinshan gold deposit, Jiangxi Province, China / M.Guangzhou, H.Renmin, G.Jianfeng et. al.* // *J. of rare earths*. 2009. Vol. 27. № 6. P. 1079–1087.
  12. *Jiang S., Yu J., Lu J.* Trace and rare-earth element geochemistry in tourmaline and cassiterite from Yunlong tin deposit, Yunnan, China: implication for migmatic-hydrothermal fluid evolution and ore genesis // *Chemical Geology*. 2004. Vol. 209. P. 193–213.
  13. *Ohmoto H., Rye R.O.* Isotope of sulfur and carbon, in Barnes // *Geochemistry of Hydrothermal deposits*. 1979. P. 509–567.
  14. *Plimer I.R., Lu J., Kleeman I.D.* Trace and rare earth elements in cassiterite — sources of components for the tin deposits of the Mole Granite, Australia // *Mineralium Deposita*. 1991. Vol. 26. P. 267–274.
  15. *Rare Earth Elements Geochemistry of Laowan Gold Deposit in Henan Province: Trace to Source of Ore-Forming Materials / X.Qiaoqin, X.Xiaochun, L.Xiaoxuan et. al.* // *J. of rare earths*. 2006. Vol. 24. № 1. P. 115–120.
  16. *Vinokurov S.F.* Geochemical significance of europium anomalies in the minerals of ore deposits // *Geochemical International Journal*. 1995. Vol. 32. № 2. P. 113–140.
  17. *Zheng Y.F.* Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals // *Geochemical Journal*. 1999. Vol. 33. P. 109–126.

# АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 662.7.098

© А.И.Романчук, В.В.Жарков, В.А.Богомолов, 2013

## ОЦЕНКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ Au В РУДАХ С КРУПНЫМ ЗОЛОТОМ

**А.И.Романчук, В.В.Жарков, В.А.Богомолов ( ФГУП «ЦНИГРИ»)**

*Приведены сравнительные результаты определения содержания Au в рудах пробирным анализом, по методикам с отсевом и гравитационным концентрированием крупного золота. Показано, что применение методики гравитационного концентрирования позволяет значительно снизить коэффициенты вариации и повысить прецизионность анализов.*

*Ключевые слова: золото, пробирный анализ, определение содержания Au, гравитационное концентрирование.*

*Романчук Александр Ильич, [romantchouk@yandex.ru](mailto:romantchouk@yandex.ru), Жарков Владимир Васильевич, Богомолов Василий Андреевич*

## EVALUATION OF METHODS OF DETERMINATION OF GOLD CONTENT IN ORES THAT CONTAIN COARSE GOLD

**A.I.Romanchuk, V.V.Zharkov, V.A.Bogomolov**

*The comparative results of the determination of gold content in the ores with assay test, with the scree-ning method and with gravitational concentration of coarse gold are presented. It is shown that the use of gravitational concentration technique can significantly reduce the coefficient of variation and improve the precision of analysis.*

*Key words: gold, fire assay, determination of content Au, gravitational concentration.*

Значительные расхождения между результатами параллельных определений содержания Au в геологических пробах руд, обусловленные его неравномерным распределением при отборе навесок для пробирного анализа, отмечаются многими исследователями, в том числе обсуждается возможность введения поправочных повышающих коэффициентов к результатам пробирных анализов [2–4]. Несоответствие результатов анализа истинному содержанию Au в основной массе пробы руды приводит к получению недостоверной исходной базы для подсчета запасов. Особенно большие ошибки возникают при изучении объектов с относительно низким содержанием Au. В ближайшие годы именно такие объекты будут вовлекаться в промышленную эксплуатацию и обеспечивать развитие золотодобывающей отрасли России. Поэтому актуальность обсуждаемого вопроса не вызывает сомнения.

В соответствии с рекомендациями ГКЗ для руд с крупными зернами золота, особенно с невысоким его содержанием (до 5 г/т), в целях повышения надежности определений рекомендуется применять пробирную плавку большой массы руды или гравитационное выделение свободного золота из всей массы отобранной пробы после дробления до крупности 1–2 мм. Подготовка к анализам хвостов гравитации осуществляется стандартными методами\*. Один из них отличается большой трудоемкостью и практически не применяется. Другой не позволяет добиться равномерного распределения металла в хвостах гравитации из-за того, что при дроблении золото крупностью >0,5–1 мм вскрывается не полностью и не извлекается в гравитационный концентрат.

ЦНИГРИ предложены методика и простая схема цепи аппаратов для гравитационного концентрирования золота, основанные на дроблении отоб-

\* Требования к обоснованию достоверности опробования рудных месторождений. ГКЗ РФ. 1992. С. 18.

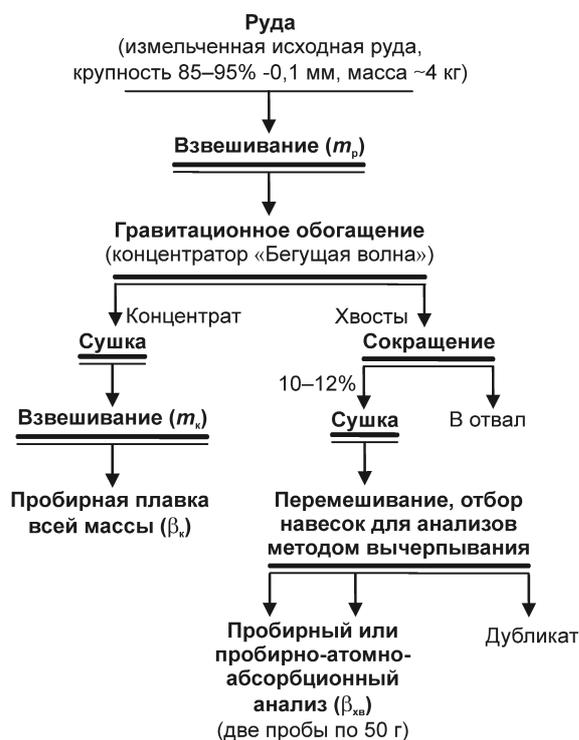


Рис. 1. Схема определения содержания Au в пробе по методике с предварительным гравитационным концентрированием

ранной пробы руды до крупности –2 мм и сухом измельчении представительной пробы до крупности 85–95% класса –100 мкм с последующим гравитационным извлечением золота в центробежных аппаратах. Методика хорошо себя зарекомендовала при опробовании руд месторождений Наталкинское, Дегдекан, Каральвеем и др. [5, 6]. Рекомендуемая схема основана на применении современного оборудования и содержит минимальное количество операций, что снижает возможность потерь золота в процессе подготовки проб и заражения материала остатками предыдущих проб.

Альтернативным является способ предварительного отсева золота крупностью >100 мкм на сите с последующим определением его содержания в оставшемся на сите и прошедшем через ячейку сита материале\*\*. Содержание Au в исходной пробе рассчитывается по балансу.

Сравнительная оценка указанных способов проведена на пробах золото-кварцевых руд Нижне-

Чиримбинского рудного узла с содержанием Au 3,0 г/т. По результатам фазового анализа до 83% золота в рудах при крупности измельчения 95% класса –74 мкм присутствует в свободной форме; еще 16% — в сростках с рудными и породообразующими минералами. Золото представлено зернами различной крупности от 1 мм до нескольких микрометров. Каждым методом обработано по 16 проб. При гравитационном концентрировании самородного золота масса навесок составляла 4 кг, отсева на сите — 0,5 кг, прямом пробирном определении — 50 г.

Схема определения содержания Au в пробе по методике с предварительным гравитационным концентрированием приведена на рис. 1. Дробление руды осуществляли в дробильно-сократительном модуле «Бойд», обеспечивающем получение материала крупностью 85–90% класса –2 мм и отбор из общего потока дробленой руды от 10 до 50% материала среднего состава. Для определения минимальной массы дробленой руды после сокращения использовали известную формулу

$$m_d = kd^2, \quad (1)$$

где  $m_d$  — минимальная масса пробы дробленой руды после сокращения, кг;  $k$  — коэффициент, зависящий от степени неоднородности содержания Au в руде (во всех случаях принимался равным 1,0);  $d$  — размер максимального куска руды, мм.

Измельчение дробленой руды массой не менее 4 кг до крупности 85–90% класса –100 мкм проводили в двухъярусной непрерывной кольцевой мельнице, гравитационное концентрирование — в установке на базе центробежно-прецессионного концентратора «Бегущая волна». Руду массой  $m_p$  после измельчения до крупности 85–95% класса –100 мкм загружали в контактный чан, откуда в виде пульпы непрерывно подавали в концентратор. Хвосты гравитации также непрерывно разгружались по периметру верхней окружности чаши концентратора, оборудованной пробоотборником, обеспечивающим отбор пробы хвостов с частотой прецессионных колебаний чаши 135 раз/мин. Принципиально важным является то, что пробы отбирались непосредственно с верхней кромки чаши без промежуточных сборников. В результате обеспечивался отбор представительных навесок, химический и гранулометрический состав которых соответствует среднему составу хвостов гравита-

\*\* ОСТ 48-276-86. Руды и концентраты цветных металлов с попутным содержанием благородных металлов. Отбор и подготовка проб для определения содержания благородных металлов и влаги.

ции. Масса отбираемой пробы составляет 10–12% от общей массы хвостов гравитации. Это избавляет от необходимости обезвоживания и сушки всей массы полученных хвостов.

После сушки гравитационный концентрат, содержащий частицы свободного золота ( $m_k$ ), целиком направляли на пробирный анализ. По результатам пробирных анализов определяли средневзвешенное содержание Au в концентрате ( $\beta_k$ ). От хвостов гравитации отбирали две пробы для определения содержания Au комбинированным пробирно-атомно-абсорбционным анализом ( $\beta_{хв}$ ).

Содержание Au в исходной руде рассчитывается по балансу его содержания в продуктах концентрирования по формуле:

$$\alpha = \frac{m_k}{m_p} \cdot \beta_k + \left(1 - \frac{m_k}{m_p}\right) \cdot \beta_{хв}, \quad (2)$$

где:  $\alpha$  — содержание Au в исходной руде, г/т;  $m_p$  — масса руды, направляемой на гравитационное концентрирование, кг;  $m_k$  — масса гравитационного концентрата, кг;  $\beta_k$  — содержание Au в концентрате, г/т;  $\beta_{хв}$  — содержание Au в хвостах гравитации, г/т.

По результатам прямого пробирного анализа среднее содержание Au в руде составило 3,06 г/т при максимальном значении 7,38 г/т, минимальном — 1,26 г/т (рис. 2). Коэффициент вариации ( $v$ ) превышал 60%. В случае применения методики с предварительным отсевом золота коэффициент вариации снизился более чем в два раза — до 28,7%. Применение гравитационного концентрирования позволило снизить его до 16,2%. Таким образом, определение содержания Au из укрупненных навесок с предварительным выделением золота позволяет существенно повысить прецизионность анализов руд.

Преимущества гравитационного концентрирования перед альтернативными методами предварительного выделения свободного золота при подготовке руд к анализам состоят в следующем.

1. Возможность подготовки проб большей массы, что обусловлено высокой производительностью центробежных концентраторов. В частности, используемый при выполнении работ прецессион-

но-центрибежный концентрат имеет производительность 300 кг/ч. Время обработки одной пробы массой 4 кг, включая разгрузку концентрата и про-

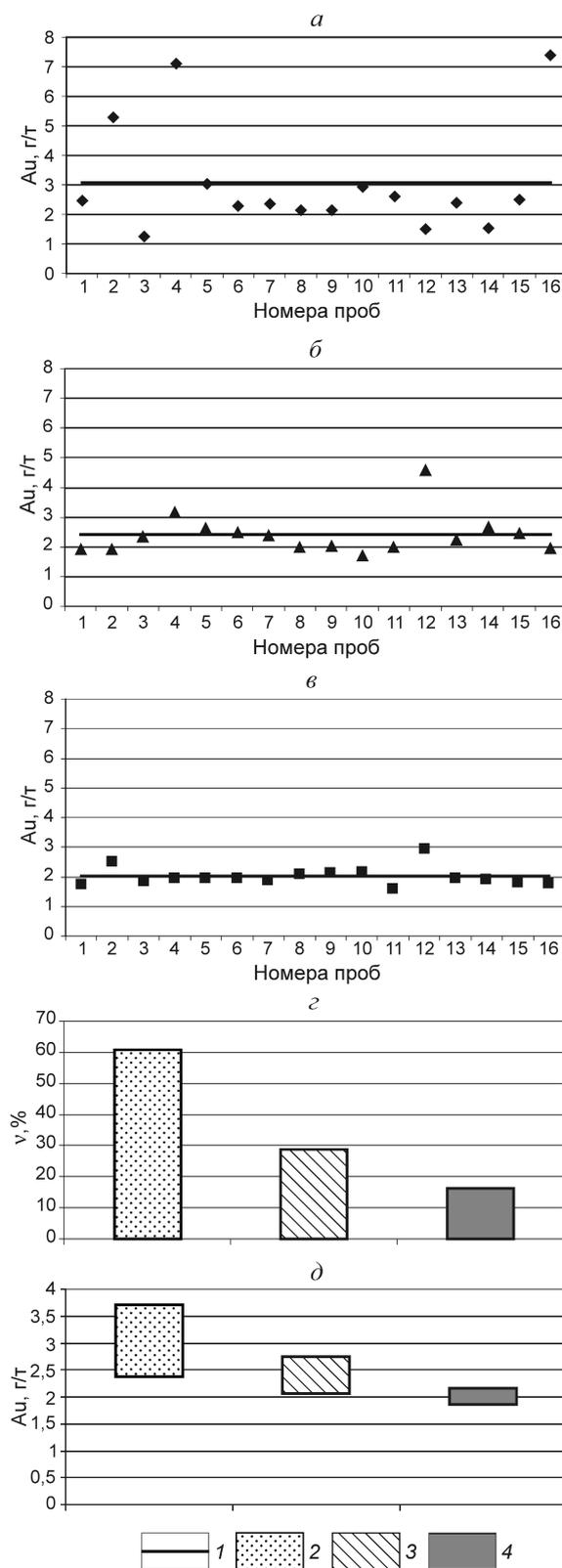


Рис. 2. Результаты определения содержания Au в руде Нижне-Черембинского рудного узла различными методами:

*a* — прямое определение, *b* — методом рассева, *в* — методом гравитационного концентрирования, *г* — коэффициент вариации, *д* — доверительный интервал; 1 — среднее содержание Au; 2 — методом рассева; 3 — методом гравитационного концентрирования

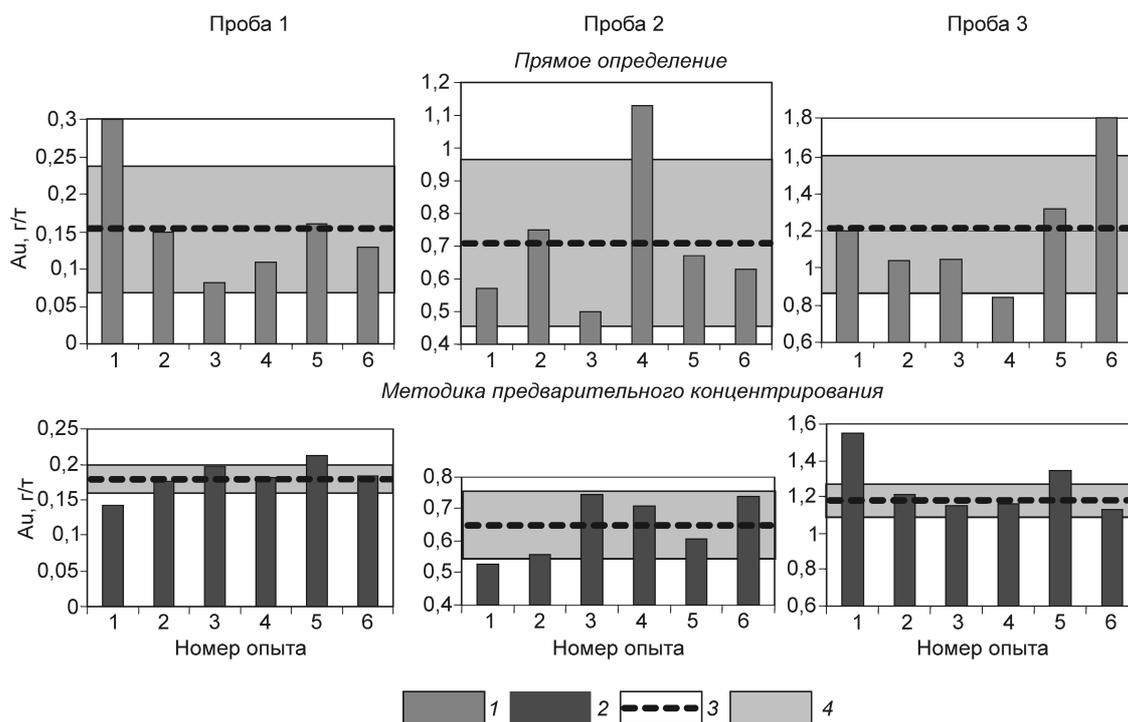


Рис. 3. Результаты определений содержания Au в рудах Наталкинского месторождения:

1 — прямое определение; 2 — методика предварительного концентрирования; 3 — среднее содержание Au; 4 — доверительный интервал среднего значения

мывку оборудования, составляет 15–20 мин. Аналогичное время требуется для мокрого отсева золота, но из навесок массой ~500 г.

2. При гравитационном концентрировании извлекается золото всего диапазона крупности, в то время как при отсеве — только зерна, размер которых превышает размер ячейки сита по трем осям, удлиненные зерна золота проходят через сетку сит. Это подтверждается тем, что его содержание в классе крупности –100 мкм на 40–60% больше, чем в хвостах гравитации.

3. При гравитационном концентрировании возможны автоматический отбор и сокращение проб хвостов гравитации. Это избавляет от необходимости обезвоживания, сушки и подготовки к анализам всей массы хвостов гравитации. Указанные операции являются трудоемкими и, по существу, определяют сроки выполнения определений содержания Au.

4. Применение методики гравитационного концентрирования позволяет повысить прецизионность анализов по сравнению с методикой предварительного отсева крупного золота.

Рекомендуемые технологическая и аппаратурная схемы гравитационного концентрирования золота проверены на рудах многих объектов раз-

личного вещественного состава, содержащих золото крупностью до 2–3 мм. Результаты некоторых из них приведены на рис. 3–6 и в таблице.

*Наталкинское месторождение.* Эффективность рекомендуемой методики применительно к рудам месторождения оценена на пробах, характеризующих интервалы с различным содержанием Au, г/т: проба 1 от 0 до 0,5, проба 2 от 0,5 до 1,0, проба 3 от 1,0 до 1,5.

По результатам прямого анализа содержание Au (г/т) в руде пробы 1 колеблется от 0,08 до 0,16, в пробе 2 от 0,5 до 1,13, в пробе 3 от 0,84 до 1,81, а коэффициенты вариации — в пределах 27,7–49,1% (см. рис. 3).

Применение предлагаемой методики позволило существенно увеличить точность определений содержания Au. За счет извлечения вскрытого при измельчении золота в гравитационный концентрат коэффициент вариации снизился до допустимых значений (6,1–14,1%), доверительные интервалы для средних значений содержаний Au уменьшились в 2,4–4,6 раза.

На основании полученных данных методика предварительного гравитационного концентрирования была рекомендована для применения при анализе геологических проб. По результатам дораз-

**Результаты определения содержания Au прямым пробирным анализом и по методике предварительного гравитационного концентрирования золота в руде Коневинского месторождения**

Прямой пробирный анализ		Определение с предварительным концентрированием золота							
Au, г/т	v, %	α, г/т	v, %	Выход концентрата, %	β <sub>к</sub> , г/т	β <sub>хв</sub> , г/т		Извлечение Au в концентрат, %	
						Определения			Среднее
						1	2		
4,66	51,3	6,5745	8,1	0,47	880,00	2,72	2,18	2,45	62,9099
3,51		5,9443		0,42	934,00	2,08	1,98	2,03	65,9929
8,21		7,6929		0,63	908,00	1,88	2,09	1,985	74,3595
9,1		6,2795		0,71	560,00	2,28	2,36	2,32	63,3169
3,82		7,3874		0,40	1309,00	2,07	2,25	2,16	70,8778
12,5		6,7022		0,52	890,00	2,06	2,11	2,085	69,0524
6,9667 (m <sub>n</sub> )	6,7634 (m <sub>к</sub> )								

ведки руд Наталкинского месторождения с ее использованием запасы золота возросли на 200 т.

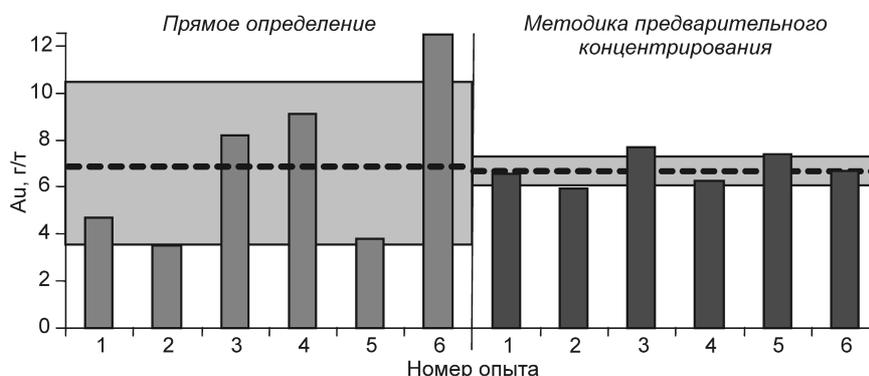
*Коневинское золоторудное месторождение (Бурятия).* По данным технологических исследований, выполненных на пробе массой 500 кг, содержание Au в руде составило 6,46 г/т. Крупность самородного золота в пробе достигает 3,0 мм. Это обусловило разницу в результатах параллельных определений пробирным методом. Для исследований по методике гравитационного концентрирования от исходной руды была отквартована лабораторная проба массой 31 кг, разделенная желобчатым делителем на семь частей массой в среднем по 4,4 кг, шесть из которых направили на гравитационное концентрирование.

Анализ пробирным методом шести параллельных навесок показал, что содержание Au колеблется в пределах от 3,5 до 12,5 г/т, коэффициент вариации превышает 50% (см. рис. 4). Таким образом, метод прямого определения содержания Au пробирной плавкой из навесок массой 50 г для данной руды неприемлем.

При гравитации извлечение золота в концентраты составило 62,9–74,3%, что обеспечивает его равномерное распределение в хвостах гравитации. Это подтверждают результаты параллельных определений содержания Au в хвостах (см. таблицу). Коэффициент вариации и доверительный интервал снижаются более чем в шесть раз с 51,3 до

8,1 и с 3,57 до 0,54 г/т соответственно по сравнению с прямым пробирным анализом (см. рис. 4 и таблицу). По данным баланса продуктов гравитационного концентрирования содержание Au в руде составляет 6,76 г/т. Это практически совпадает с определением по результатам технологических исследований (6,46 г/т) и среднему содержанию по шести определениям пробирным методом (6,95 г/т).

*Месторождение Каральвеем* — один из находящихся в эксплуатации объектов с крупным золотом, на котором применяется методика гравитационного концентрирования. На рис. 5 приведены результаты определений золота по схеме, показанной на рис. 1. Исследования выполнены на пробе руды массой 120 кг, на гравитационное концентрирование параллельно поступали 30 навесок массой по 4 кг. При пробирном анализе руд месторождения коэффициент вариации составил 94,4%, а среднее содержание Au по 30 определениям оказалось даже больше, чем по методике с гравитационным кон-



**Рис. 4. Результаты определений содержания Au в руде Коневинского месторождения:**

усл. обозн. см. рис. 3

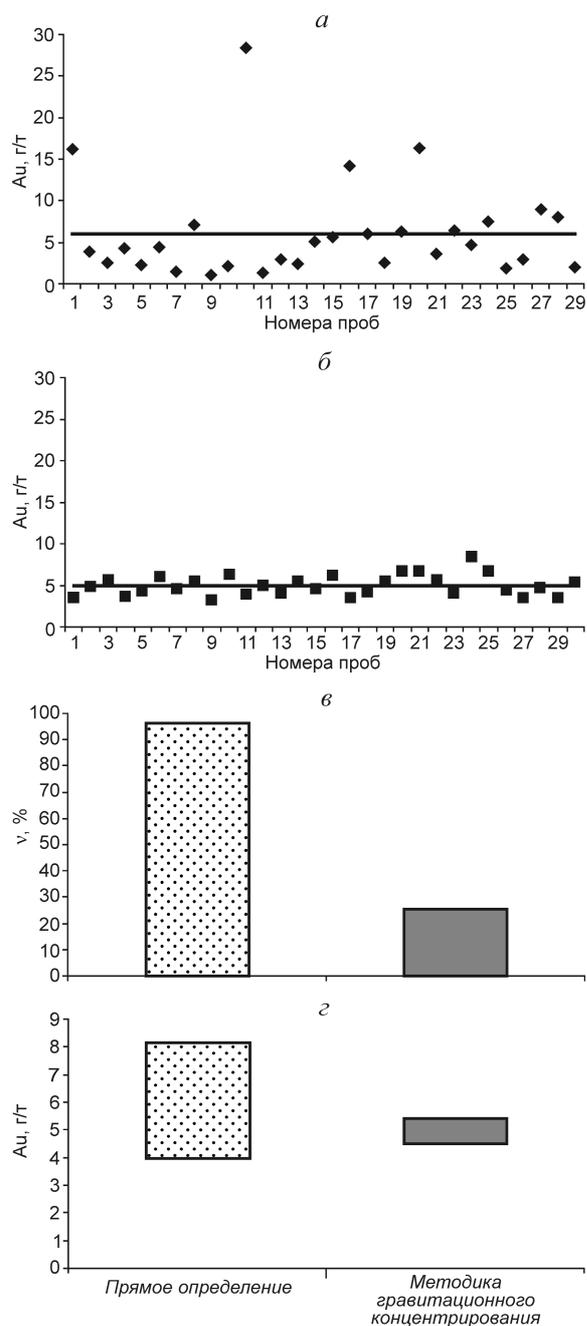


Рис. 5. Результаты определения содержания Au в руде месторождения Каральвеем:

*a* — прямое определение, *б* — методом гравитационного концентрирования, *в* — коэффициент вариации, *д* — доверительный интервал; остальные усл. обозн. см. рис. 2

центрированием — 6,08 против 4,95 г/т. Как и для руд месторождения Дегдекан, увеличение массы навесок и анализ с предварительным выделением свободного золота позволили снизить коэффициент вариации в несколько раз с 96,4 до 25,3%.

*Дегдеканское рудное поле.* Для проверки методики были составлены четыре пробы массой по 300 кг каждая по четырем интервалам содержаний [1]. Проба 1 составлена из частных проб с содержанием Au от 0 до 0,6 г/т, проба 2 — из проб с содержанием Au от 0,6 до 1,0 г/т. Пробы 3 и 4 составлены из частных проб с содержанием Au от 1,0 до 2,0 и >2,0 г/т соответственно.

Пробы подвергли стадийному дроблению и измельчению с тщательным перемешиванием после каждой стадии и сокращению с применением механических делителей до массы 1 кг. В результате по каждому интервалу содержаний получено по 300 дубликатов массой ~1 кг каждая крупностью 95% класса -0,074 мм. Из них по 200 дубликатов каждого интервала содержаний использовали для определения содержания Au по методике с предварительным гравитационным концентрированием в двух организациях — ЦНИГРИ и аналитической лаборатории ОАО «РиМ». В ЦНИГРИ концентрирование осуществляли в концентраторе «Бегущая волна», в ОАО «РиМ» — в центробежном концентраторе ЦВК-100. Еще по 100 дубликатов проб каждого интервала содержаний анализировали в ЦНИГРИ прямым пробирным анализом.

Таким образом, по методике гравитационного концентрирования в двух независимых лабораториях выполнено 800 определений содержаний Au в навесках массой по 1 кг и 400 определений стандартным пробирным анализом из навесок массой по 50 г.

Пробирные анализы показали, что результаты параллельных определений содержаний Au (г/т) колеблются в следующих пределах (см. рис. 6): в пробе 1 от 0,14 до 1,34 (среднее 0,38), 2 — от 0,26 до 1,98 (0,64), 3 — от 0,20 до 3,97 (1,34), 4 — от 2,03 до 12,2 (3,86). Это свидетельствует о неравномерном распределении зерен золота при отборе навесок небольшой (50 г) массы и заметном влиянии «эффекта самородка» на результаты определений. Стандартное отклонение определений составило 0,216–1,429, а коэффициент вариации 37,0–56,6%, причем наибольшее его значение относится к рудам с более низким содержанием Au.

Применение методики гравитационного концентрирования золота сопровождалось снижением стандартных отклонений в 2,2–3,0 раза, а коэффициентов вариации — от 13,5 до 24,6 % в зависимости от содержания Au в руде. Средние содержания Au по результатам 100 параллельных определений в двух независимых лабораториях близки к данным прямых пробирных анализов и составляют, г/т: 0,37–0,39 (проба 1), 0,70–0,76 (проба 2), 1,21–1,21 (проба 3), 3,40–3,33 (проба 4).

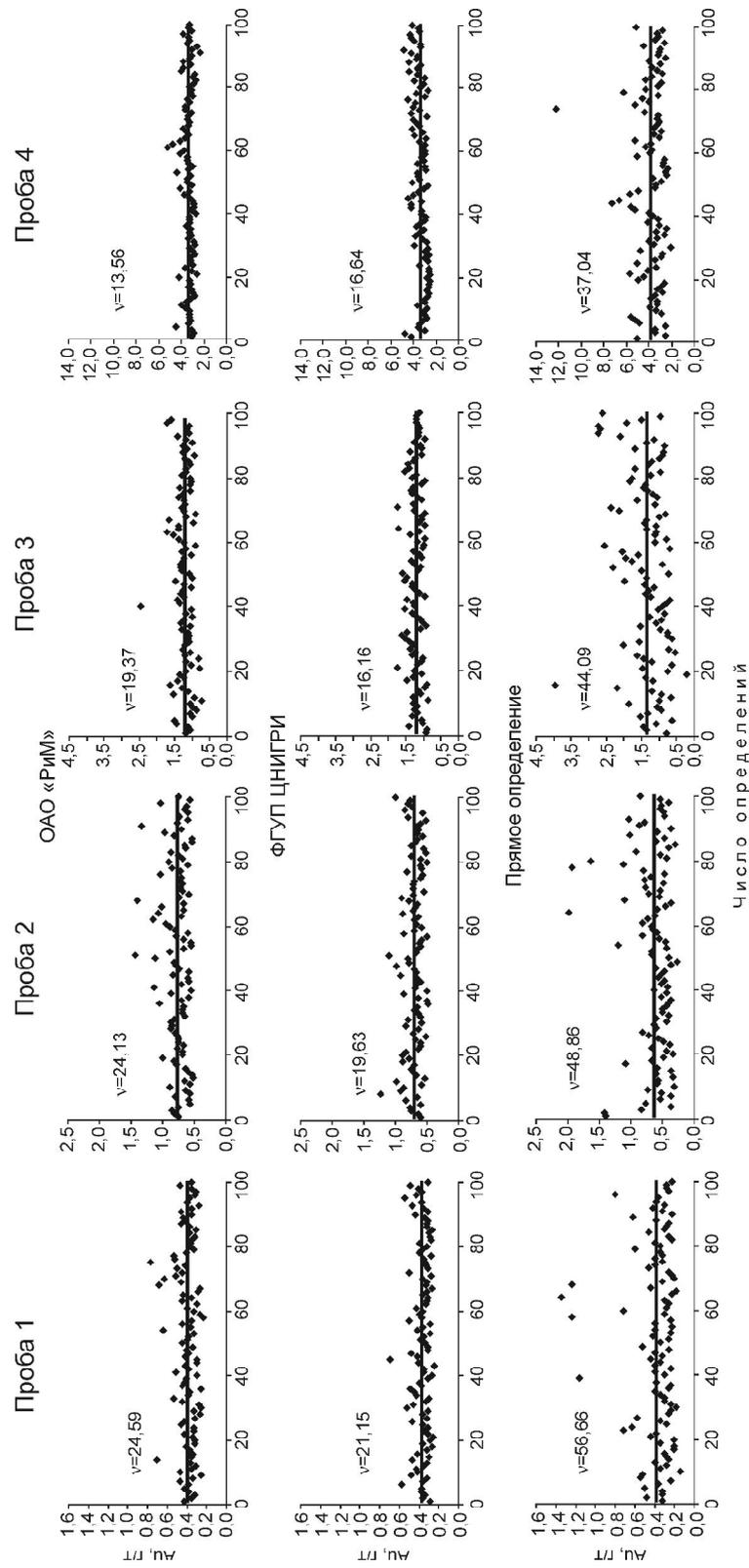


Рис. 6. Результаты определения содержания Au в рудах месторождения Деддекан:

$v$  — коэффициент корреляции

В заключение можно отметить следующее.

При подготовке проб золоторудных месторождений к пробирному анализу неравномерное распределение золота приводит к несоответствию его содержания в навесках для пробирного анализа истинному содержанию Au в отобранной пробе. Увеличение массы навесок и предварительное выделение из них крупного золота позволяет снизить влияние неравномерности распределения золота на результаты его определений. При этом существенно снижаются коэффициенты вариации содержания Au и повышается прецизионность анализов, однако данных, говорящих о правомерности применения повышающих поправочных коэффициентов к результатам пробирных анализов, не получено ни по одному из исследованных объектов. Поэтому при выявлении устойчивой тенденции к увеличению содержания Au в аналитических пробах при сравнении результатов пробирных анализов и результатов, полученных при анализе укрупненных навесок с предварительным выделением крупного золота, необходимо, в первую очередь, обратить внимание на возможные систематические ошибки при подготовке и анализе проб руд.

Минимальная масса навесок для анализа с предварительным выделением крупного золота определяется для каждого объекта в зависимости от крупности золота. При массовом анализе рекомендуется выполнять анализ навесок массой ~4 кг. Это позволяет оперативно осуществить подготовку и

анализ проб по простой технологической схеме с минимальным количеством операций и не исключает возможности корректировки массы навесок в зависимости от прецизионности анализов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казимиров М.П., Никитенко Е.М., Лукиных В.Е., Новикова Т.М.* Применение технологических методов пробоподготовки для оценки большеобъемных золоторудных объектов на примере Наталкинского месторождения // Бюл. Золотодобыча. 2008. № 119. С. 16–21.
2. *Коньшев В.О.* Опыт оценки погрешностей опробования и совершенствования методологии разведки месторождений с бонанцевым распределением золота // Отечественная геология. 2006. № 4. С. 22–35.
3. *Литвиненко И.С., Цимбалюк Н.В.* О достоверности оценки крупнообъемных кварцево-сульфидных месторождений золота в черносланцевых углеродисто-терригенных толщах на Северо-Востоке России // Руды и металлы. 2005. № 2. С. 57–63.
4. *Оценка достоверности опробования руд на крупнообъемных золоторудных месторождениях / Л.А.Остапенко, С.Ф.Стружков, О.Б.Рыжов и др.* // Руды и металлы. 2004. № 2. С. 42–55.
5. *Романчук А.И., Богомолов В.А., Никитенко Е.М., Кушнарев П.И.* Сравнительная оценка достоверности определения содержания золота в рудах // Недропользование XXI век. 2011. № 3 (28). С. 58–63.
6. *Романчук А.И., Никулин А.И., Жарков В.В.* Технология и технические средства для извлечения свободного золота из проб золотосодержащих руд // Горный журнал. 2003. № 12. С. 79–83.

# НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ

---

## МАТЕРИАЛЫ XXXIV СЕССИИ МЕЖДУНАРОДНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КОНГРЕССА\* MATERIALS OF 34th IGC

*Разным аспектам использования комплекса современных экспрессных полевых и лабораторных методов изучения минерального вещества в практике геологоразведочных работ посвящено около 100 докладов (раздел 5).*

Методика высокоточного определения возраста Cu-Ni месторождений на основе SHRIMP U-Pb геохронологических определений по циркону может служить для разбраковки по возрасту слабо изученных объектов. Анализ пространственных вариаций литогеохимии крупных металлогенических (никеленосных) провинций дает новые возможности для оценки их перспективности на Cu-Ni оруденение. Данные микрозондовых исследований элементов-примесей слюд (биотит, флогопит) из пород крупных Ni-Cu-ЭПГ месторождений как показатели положения такой минерализации в разрезе рудоносных интрузивов можно использовать для разбраковки рудоносных и «пустых» пород. Так, слюды, встречающиеся внутри или ниже «платиноносного рифа» (риф Меренского), обогащены Ni (до 2000 г/т) и Cu (~30 г/т), что в несколько раз больше, чем в «пустых» частях интрузивов. Предварительно обосновано положение о связи потенциально рудоносных (ЭПГ-Ni-Cu) комплексов с комбинированными линейными и кольцевыми структурами, проявленными в различных тектонических обстановках. Результаты космических, геологических, геохимических исследований кольцевых структур могут стать основой для открытия новых месторождений в неосвоенных районах. При поисках перекрытого полиметаллического оруденения предложена новая методика выделения наложенных геохимических ореолов. При этом анализируются данные о соотношении содержаний подвижных и прочносвязанных форм нахождения свинца в сочетании со сведениями о его изотопном составе. Прогноз глубоко погребенных (~700 м) сульфидных месторождений при слабо расчлененном рельефе осуществим по данным экспериментальных исследований методом MSG (Metals-in-Soil-Gas). Высоко оцениваются перспективы применения портативных РФА-анализаторов при поисках рудных месторождений (Au, Cu-Ni, Pb-Zn) в условиях развития мощных ледниковых отложений. Для изучения состава и строения рудовмещающих пород и руд рекомендована рентгеновская компьютерная томография высокого разрешения, позволяющая выполнять реконструкции и трехмерную визуализацию внутренней структуры объектов исследования. Метод основан на регистрации значений плотности в пределах определенного объема, что соответствует задачам изучения структурно-текстурных особенностей пород и руд, в которых рудные минералы с высокой плотностью находятся в массе менее плотных силикатных или карбонатных жильных минералов. При трехмерном отображении с разрешением в первые микрометры внутреннее строение пород и минералов распознается с высокой точностью, значительно быстрее и надежнее, чем при использовании только традиционных методов отображения на плоскости. Для экспрессной оценки перспектив значительных по размерам территорий на различные виды твердых полезных ископаемых рассматривались эффективные проксимальные дистанционные методы.

---

\* Продолжение, начало см. № 2/2013.

*T. Neofen et al.* (Геологическая служба США) показаны возможности использования спутникового спектрометра с аппаратурой Хай Мэп. Многоканальный спектрометр Hyperspectral Mapper работает в интервале длины электромагнитных волн от 0,45 до 2,5 мкм. Разработан в Австралии, стал доступен для предприятий горнодобывающей промышленности с начала 2000-х годов; может устанавливаться как на космических, так и на воздушных летательных аппаратах. Позволяет получать спектры поглощения волн определенной длины в пределах элементарной ячейки (пиксела) земной поверхности и сравнивать их с эталонами, используя в качестве последних спектры отдельных минералов и, возможно, их смесей из заранее подготовленной компьютерной базы данных. Охарактеризованы возможности интеграционной 4D модели, подходящей для составления прогнозных карт рудных (Ni, Cu, ЭПГ) объектов применительно к крупным территориям. С этой целью для обработки на основе ГИС привлекаются данные аэромагнитных, гравитационных и магнитотеллурических исследований, а также геологического картирования и петрофизических материалов. Обоснована высокая эффективность комплексирования аэрометодов — электромагнитной разведки аппаратурой VTEM (Versalite Time-domain ElectroMagnetic), наземных геологических исследований и горно-буровых работ — при поисках объектов медноколчеданного типа.

Проблемы прогноза, поисков и оценки медно-порфировых и сопряженных эпитеpmальных месторождений отражены в 11 докладах, авторами которых являются специалисты из Австралии, Ирана, Канады, Китая, США, Филиппин. Наряду с традиционными геохимическими методами поисков (по вторичным литохимическим ореолам и потокам рассеяния), освещены современные методы и технологии, применяемые при поисках и оценке данных месторождений, а также приведены рекомендации для их эффективного проведения. В их числе интерпретация цифровых изображений (image processing), метод наложения (index overlay), нечеткой логики (fuzzy logic), анализа иерархий (АНР), 3D моделирование, минералого-геохимический метод поисков по обломочному магнетиту, геохимические векторы и дискриминантная функция, фрактальный (концентрация-число) метод. Особо следует отметить широкое применение высокоточных, в том числе новых, аналитических методов, таких как сканирующая электронная микроскопия, инфракрасная спектроскопия, ICP MS с высоким разрешением, рентгенофлуоресцентный и рентгеноструктурный анализы, микрозондовые исследования и др. Кроме того, подчеркивается необходимость всестороннего пересмотра имеющейся геологической, геофизической и геохимической информации при поисковых работах даже в хорошо изученных районах, расположенных в непосредственной близости от существующих горнодобывающих предприятий.

*D.R. Cooke et al.* (Австралия, Великобритания, Китай) при детальном исследовании ряда месторождений, включающих уникальные Collahuasi и El Teniente, установлены геохимические векторы и дискриминантная функция, позволяющие прогнозировать минерализацию порфирового типа в ореолах пропилитизации за пределами ее обнаружения традиционными геохимическими методами. Предложенная методика позволяет эффективно проводить разведку поисковых участков, используя редкую (0,5–1 км) сеть геохимического опробования, что увеличивает вероятность выявления объектов, сокращает время и снижает стоимость поисково-разведочных работ.

*Z. Chang et al.* (Австралия, Канада, Филиппины) при изучении рудовмещающей системы Lepanto (Филиппины) установили, что аргиллизиты имеют пространственную, временную и генетическую связь с глубокозалегающими интрузивами, вмещающими интенсивно сульфидизированную эпитеpmальную минерализацию, особенно в контролируемых разломами корневых зонах. Инфракрасная спектроскопия (смещение длины волны 1480 нм в коротковолновом инфракрасном спектре алунита) и химический состав (изменение содержаний Ca, Pb, Sr, La и отношений Sr/Pb, La/Pb) алунита из аргиллизитовых покровов (lithocaps) над рудоносными порфировыми интрузивами позволяют идентифицировать площади с высоким рудным потенциалом.

*R.G. Eppinger et al.* (США) при использовании высокоразрешающего (более дробное разделение вещества по массам) ICP MS выявлены гидрогеохимические ореолы гигантского Cu-Au-Mo-порфирового месторождения Pebble (Аляска), перекрытого мощным чехлом ледниковых отложений. При этом низкие (нг/л) концентрации рудных элементов в ореолах не могли быть обнаружены традиционным квадрупольным ICP MS. Предложенный метод оценивается как новый мощный инструмент при поисках скрытых месторождений.

*M. Ghorbani* (Иран) в результате поисковых и оценочных работ на порфировых месторождениях одного из наиболее перспективных в Иране меденосного пояса Kerman определены следующие ключевые пои-

сковые признаки медно-порфировых месторождений: значительное (не менее четырех) количество магматических фаз в интрузивах эоцен-четвертичного возраста; концентрация разломов и наличие вертикальных сбросов; существенная мощность андезитов и андезитобазальтов с высокими фоновыми содержаниями Cu; значительное количество проявлений меди, а также широкое развитие проявленных на космоснимках гидротермально измененных пород.

*H. Etminan* (Австралия) представлены основные поисковые признаки медно-порфировых месторождений, разработанные при изучении месторождения мирового класса Sungun (Иран): пересечение нескольких основных систем разломов, наличие гидротермальных брекчий, проявления медной и молибденовой минерализации штокверкового типа; широкое развитие метасоматически измененных пород (калиевые, филлизитовые, аргиллизитовые), сменяющихся в периферических частях пропилитами; дополнительные признаки, выявленные в результате изучения флюидных включений в жильных и метасоматических минералах.

*S. Yousefifar, B. Rashidi* (Иран) продемонстрировали высокую эффективность применения современных методов интерпретации геологической и минералого-геохимической информации с использованием передовых аналитических технологий на примере изучения Cu-Au месторождения Dalí — первого месторождения, связанного с диоритовыми порфиритами в Центральном Иране. Выделенные и идентифицированные с помощью компьютерной интерпретации цифровых изображений (image processing) зоны гидротермально измененных порфировых пород были заверены при полевых геологических наблюдениях, изучении шлифов, XRF (рентгенофлуоресцентном), XRD (рентгеноструктурном) и ICP анализах. Сканирующая электронная микроскопия (SEM) показала наличие самородного золота в сульфидной фазе. Обработка аналитической информации, полученной при геохимических исследованиях, проводилась с применением методов математической статистики, а для выделения слабых аномалий Cu и Au — фрактального (концентрация–число) метода. Выделение участков под бурение осуществлялось с использованием приемов наложения (index overlay), нечеткой логики (fuzzy logic) и анализа иерархий (АНР). В соответствии с полученными результатами высоко оценены перспективы исследованной площади и установлена очередность последующих геологоразведочных работ.

*T. Ireland* (Австралия) разработан и апробирован новый метод поисков медно-порфировой минерализации, основанный на изучении обломочного магнетита из шлиховых проб. Исследования на микрозонде показали, что магнетит из Cu-Au- и Cu-Mo-порфировых месторождений, связанных с интрузивами, и магнетит из метасоматически измененных пород по химическому составу отличаются от акцессорного магнетита вмещающих вулканогенных пород. По аномальному составу обломочного магнетита достоверно идентифицированы площади всех изученных месторождений, при этом ложные аномалии выявлены не были.

*M. Greenwood et al.* (Австралия) в целях наиболее полного отражения геологического строения, геофизических особенностей, оценки минерагенического потенциала и определения направления поисковых работ составлена 3D геологическая модель площади Quambu (Квинсленд, Австралия). Для установления взаимоотношений между ключевыми поисковыми критериями Cu-Au минерализации и реальными проявлениями был применен статистический метод Весов Признака (A Weights of Evidence). Критерии значимой корреляции с минерализацией, после оценки их достоверности, использовались для создания Индекса Минерагенического Потенциала. 3D модель Минерагенического Потенциала представляет собой относительную вероятность каждой индивидуальной ячейки в отношении обнаружения определенного типа минерализации.

*Z. Meng et al.* (Китай) как важный прорыв в региональных поисковых работах оценили открытие гигантского порфирового молибден-полиметаллического месторождения Chalukou в результате геохимических поисков по вторичным литохимическим ореолам и потокам рассеяния на закрытых площадях Северо-Восточного Китая. Открытие и разведка молибденового месторождения Chalukou — пример исследования объекта с переходным от молибден-порфирового к жильному Pb-Zn-Ag типу минерализации, что имеет большое значение для региональных поисков рудных месторождений.

*L. Queen, R. Logan* (Австралия) показана необходимость всестороннего анализа имеющейся информации даже для хорошо изученных районов, расположенных в непосредственной близости от горнодобывающих предприятий. В результате анализа материалов геологических, геохимических, геофизических и аэrorадиометрических съемок, проведенных более чем за 40-летний период на площади >600 км<sup>2</sup>, в непосредственной близости от действующего рудника Ok Tedi Mine (Папуа-Новая Гвинея) выявлено перспективное Au-Cu-порфировое проявление.

*B. Hochwimmer, D. Turnbull* (Австралия) считают, что открытие месторождения Unicorn — первого Mo-Cu-Ag-порфирового месторождения Climax-типа — позволяет говорить о перспективной молибденовой

провинции в пределах Северо-Восточной Виктории (Австралия). Предполагается гибридная природа месторождения Unicom. На первый план выдвигаются перспективы распространения минерализации на глубину и аналогии в геологическом строении площади с месторождениями Climax-типа. Гибридная тектоника отражает сходство содержаний Zr-Sr-Rb-Nb с типичными месторождениями молибдена Climax-типа, расположенными в задуговой (the back arc) обстановке, с некоторыми модификациями, характерными для околодуговой (near arc). К ним относятся более высокие содержания Cu, характерные для месторождения Unicom (типичные месторождения Climax-типа содержат только Mo), и Ag, объясняемые пониженными концентрациями F. Признаки, подтверждающие аналогию с месторождениями Climax-типа, включают: идентичный с комплексом Urad-Henderson масштаб проявления геохимических и метасоматических признаков (footprint); установленное 3DIP (3D image processing) геофизическими исследованиями расширение вмещающих комплексов с глубиной; высокие содержания Mo на глубоких горизонтах, а также наличие восточной геохимической аномалии 1 км диаметром, предположительно связанной с глубоко залегающим рудным телом.

*G. Tasev et al.* (Македония, Швейцария) полагают, что открытие медно-порфировой минерализации на месторождении Kadiica (Восточная Македония) в пределах металлогенической зоны с широким проявлением свинцово-цинковой минерализации можно рассматривать как пример развития сопряженной эпitherмальной минерализации в периферических частях порфировых систем. Первоначально известную на месторождении минерализацию связывали с развитием фреатомагматических брекчий (с магнетитом, гематитом и лимонитом). Халькозин и ковеллин — главные рудные минералы залежи (600 м по простиранию, мощностью 100 м), локализованной в зоне окисления – вторичного сульфидного обогащения, связанной с порфировыми породами, развитыми на более глубоких горизонтах. Скважины глубиной >250 м вскрыли метаморфические породы с жилами и прожилками халькопирита, что подтверждает развитие первичной халькопиритовой минерализации на глубине. Главные типы гидротермальных изменений вмещающих пород характерны для порфировых систем. Это калишпатизированные породы, кварц-серицитовые метасоматиты и пропилиты, а также хорошо проработанные аргиллизиты со спорадически развитой лимонитовой шляпой на поверхностных горизонтах.

В программе МГК-34 большое внимание уделено гиперспектральному преимущественно дистанционному зондированию с помощью спутниковых и аэровоздушных мультиспектральных датчиков, таких как Landsat, ASTER, ALI и SPOT. Оно применяется в целях минералогического картирования, выявления различных геологических элементов строения территорий, а также участков, перспективных для поисков и оценки твердых полезных ископаемых. Подчеркивается, что гиперспектральное дистанционное зондирование относится к бесконтактной технологии, которая позволяет оперативно получать минералогическую информацию для геологических пространств различного размера. При этом, как правило, устанавливаются площади развития минералов метасоматических зон или минеральных комплексов, характерных для определенных типов пород.

*J.C. Sicoli Seoane et al.* (Бразилия) для выбора объекта поисковых работ на Cu-Au оруденение определили набор индикаторных метасоматических минералов (мариалит, альбит, биотит, хлорит) на известном месторождении Караджас. Спектральные характеристики этих минералов, выписанные из спектральной библиотеки Геологической службы США, сопоставлялись с данными, полученными с помощью аппаратуры ASTER на площади исследований. В результате из 197 аномалий были выбраны 28, на которых сделанные выводы заверены с помощью других методов, подтвердивших индикаторные свойства минералов методом дистанционного зондирования.

*S. Asadzadeh, T. Cudahy* (Иран) продемонстрировали, как результаты аэровоздушных гиперспектральных съемок на золото-медно-порфировом месторождении Шэдан с применением методики распознавания множественных признаков позволили определить места развития белых слюд, каолинита, оксидов железа, соотношения гематита и гетита, коррелирующиеся с минерализованными зонами, и выбрать точки бурения скважин.

*Z. Zhao et al.* (Китай) показали, что использование данных ASTER при устранении влияния ряда факторов (растительность, тени, вода и др.) позволяет применять количественные методы выделения участков карбонатизации, окварцевания и других изменений, сопутствующих свинцово-цинковой минерализации.

*A. Ciampalini et al.* (Италия) утверждают, что обработанные мультиспектральные данные Landsat ETФМ для Западной Сахары дают возможность оконтурить перспективные железорудные площади на основании характеристик известных месторождений железа в девонских отложениях юга Алжира.

*S.Asadzadeh, B.Rashidi* (Иран), используя мультиспектральные данные спутника World View-2 с восьмью спектральными полосами, достаточно надежно определили гематит, лимонит, магнийсодержащие минералы одного из скарных железорудных месторождений. Авторы считают, что метод применим при поисках аналогичных объектов.

*T.A.Carrino, A.P.Crósta* (Бразилия) с помощью аппаратуры ASTER, VNIR, SNIR и TIR в одном из золоторудных районов Перу выявили зоны развития алуни-каолиновых, иллит-мусковит-сметитовых изменений, пространственно совпадающие с проявлениями золоторудной минерализации.

*T.Ko Oo* (Мьянма), используя 14-полосный VASTER, получил минералогическую информацию о распространении кварц-алуни-лимонитовых изменений на медном месторождении района Монуйва, что позволило прогнозировать оруденение в дистальной части известных залежей.

*M.C.Hussey, P.Schwann* (Австралия), проанализировав гиперспектральные данные, полученные с помощью HyMap аэровоздушного спектрометра, на двух площадях, в том числе и под мощными наносами, выделили участки развития ассоциаций карбонатов, сульфидов, преобразованных в гетит и ярозит, слюд. Геохимические работы подтвердили наличие здесь аномалий Cu и Ni.

*A.Кирсанов* с соавторами (Россия) продемонстрировали, как с помощью гиперспектральных данных ASTER, обработанных на основе пакетов программ ENVI, можно выявить минералы-индикаторы золото-молибденового оруденения Дальнего Востока России — кварц, серицит, турмалин, сульфиды. Эти локализованные в пространстве минеральные ассоциации рассматриваются в качестве поисковых критериев.

*J.G.Rejas et al.* (Испания) путем анализа гиперспектральных данных в видимом (VIS), коротковолновом инфракрасном (SWIR) и тепловом инфракрасном (TIR) диапазонах, полученных с помощью аэровоздушных датчиков HyMap и MASTER, в центральном вулканическом хребте Коста Рики зафиксировали площади с минералами гидротермальных изменений — каолинитом, иллитом, алунином, каолинит-сметитом.

*R.F.Kokaly, V.V.King, T.M.Hoefen* (США) в кооперации с правительством Афганистана собрали комплексные HyMap-данные для площади 430 000 км<sup>2</sup>, которые проанализировали, используя алгоритм идентификации и характеристики материалов MICA, для определения минеральных классов на основе сопоставления с эталонными спектрами стандартных минералов. В результате построены две карты — железосодержащих минералов и глинистых минералов, карбонатов, сульфатов и ряда метасоматических минералов. На картах отражены геологические особенности территории, зоны разломов и потенциальные рудоносные площади.

*H.Вилор* с соавторами (Россия) утверждают, что инфракрасное излучение (IR) диапазона 3,7–11 мкм, полученное с аппаратуры A-VHRR и MODIS на борту спутников NOAA и EOS, фиксирует поверхности современных активных региональных разломов. При этом поток яркости IR был пересчитан на тепловой поток F. Предполагается, что F в различных структурах коррелируется с сейсмическими параметрами или поверхностными тепловыми потоками, а также с глубиной залегания поверхности Мохо или скоростью перемещения тектонических блоков.

*R.B.Binotto et al.* (Бразилия) на основе дистанционных данных по вулканическим породам бассейна р. Парана подготовили цифровую библиотеку их тепловых инфракрасных спектров. Сравнили последние со спектрами, полученными с планетарного и низкоорбитального спутников. Спектральные признаки образцов пород коррелировались с литогеохимическими и петрографическими характеристиками, что дало возможность авторам достаточно уверенно картировать различные типы пород.

*M.P.Doublier, T.Roache, S.Potel* (Австралия, Франция) предлагают применять коротковолновую инфракрасную спектроскопию (SWIR) для получения физико-химической информации по белым слодам и хлориту для определения ступеней метаморфизма путем количественных сопоставлений K и Al. Предлагаемый метод, по мнению авторов, — низкочастотный и применим в случае, когда метод дистанционного зондирования представляет собой единственно возможный вариант съемки.

*A-K.Nguno et al.* (Намибия, Япония) использовали спутниковую аппаратуру ASTER и гиперспектральные данные HyMap для геологического картирования различных пород в центральной части Западной Намибии. Применены методы обработки изображений, такие как нормирование полос и спектральная угловая картировочная система SAM. Выделены карбонатные породы, вмещающие золоторудную и медную минерализацию.

Ряд сообщений посвящен результатам использования спектральной сканирующей системы и тепловой инфракрасной спектральной аппаратуры HyLogger для картирования (документации) керна скважин.

*K. Yang, L. Whitbourn, P. Mason* (Австралия) для разработки методики надежного картирования химического состава никелевых латеритов с помощью отражательной спектроскопии протестировали сканирующую систему на уступах карьера месторождения Коннамбо. В результате проведена калибровка соответствия количественной характеристики спектральных отражательных данных и весового процентного состава Ni, MgO, SiO<sub>2</sub>, Fe, что, как представляется авторам, позволит сочетать отражательную спектроскопию с традиционными методами опробования.

*M. Berman et al.* (Австралия) предлагают с помощью HyLogging разделять керн на участки (области), характеризующиеся близкими тепловыми инфракрасными спектрами, которые, как правило, фиксируют от четырех до шести поддающихся определению минералов. Затем можно определять эти области в автоматическом режиме, а также выявлять в их пределах распределение минералов.

*A. Green, M. Schlodlok, J. Huntington et al.* (Австралия) проанализировали результаты интерпретации тепловых инфракрасных данных при составлении разреза на гиперспектральной основе HyLogger по десяти буровым скважинам. Установлено, что ряд рудных, порообразующих и метасоматических минералов легко определяются в смесях в ближней инфракрасной (VNIR), коротковолновой инфракрасной (SWIR) и тепловой инфракрасной (TIR) областях. Полевые шпаты, хлориты, слюды, оксиды железа более трудны для диагностики. Отмечается, что интегральная интерпретация данных всех областей инфракрасной спектроскопии в сочетании с геологической информацией — наиболее надежный метод при документации керна.

*J.-I. Zhang* (Китай) показал возможность применения гиперспектрального анализа для документации керна буровых скважин, канав и увязки разрезов. Найдены соотношения между интенсивностью урановой минерализации и аномальными спектральными характеристиками, затем выявлены и систематизированы корреляционные спектральные алгоритмы. Метод применен при поисках и изучении месторождений различных типов на юге и северо-западе Китая.

*G.A. Gordon, A.J. Mauger* (Австралия) при гиперспектральном каротаже керна на шельфе Стюарт использовали видимую коротковолновую инфракрасную спектрометрию (VSWIR) для обнаружения слюды, хлорита, карбонатов и оксидов железа, а также тепловую инфракрасную спектроскопию для установления силикатов. Полученные данные с учетом результатов каротажа использованы для распознавания пород двух основных вулканических единиц — потоков спилитов и базитовых даек, а также отдельных вулканических потоков и корреляции пород между скважинами.

*R. Bärts, P. Harris, H. Karjalainen* (Финляндия, ЮАР) полагают, что развитие технологий инфракрасной съемки керна стало возможным благодаря появлению доступных и приемлемых по цене спектральных камер. В настоящее время обработка и анализ данных гиперспектральной съемки керна нацелены на идентификацию минералов и их ассоциаций. Предполагается, что в будущем при изучении керна будут применяться и другие методы, например 3D лазерное сканирование, цветовые модели (RGB), которые в совокупности с инфракрасной спектроскопией дадут новую информацию о керне (структура, состояние керна и т.п.)

Несколько сообщений посвящены комплексному анализу и интеграции результатов разных видов работ для определенных целей.

*C. Laukamp, T. Cudahy, M. Haest* (Австралия) показали, что результаты сопоставления и корреляции в рамках единой пространственной системы данных отражательной спектроскопии, геохимических исследований и геофизических работ могут использоваться для создания литологических и 3D геологических карт, включающих типы вмещающих пород, зоны метасоматоза и гидротермальной проработки. Аномальные зоны на 3D картах оценены по их связям с известной минерализацией, что привело к оконтуриванию новых перспективных площадей.

*D. Barbuena et al.* (Бразилия) с помощью обработки и интерпретации аэровоздушных гиперспектральных (ASTER) и магнитных данных создали региональную геологическую карту золоторудной провинции Алта Флореста, территория которой покрыта густой растительностью и малодоступна для непосредственных геологических наблюдений. При этом спектральные характеристики растительности и почв были отфильтрованы из изображений системы ASTER. Объемные модели золоторудных месторождений созданы с применением методов анализа главных компонент и аппарата нечеткой логики (Fuzzy Logic).

*A. Авезов, А. Глик, И. Сидорова* (Узбекистан) объединили пространственную (географические информационные системы ГИС) и спектральную информацию по данным Landsat TM для района Центральных Кызылкумов. При этом панхроматические и мультиспектральные изображения были объе-

динены в синергетические с применением анализа главных компонент (PCA). В результате выявлены геологические структуры — линейменты, кольцевые структуры, контролирующие золоторудную минерализацию, и новые перспективные участки.

Особый интерес вызвали реальные шаги по централизованной систематизации, обобщению гиперспектральных данных и созданию баз и банков данных в Национальной виртуальной библиотеке ядра (NYCL) в Австралии (проект Au Scope).

*J.Huntington et al.* (Австралия) охарактеризовали процесс, цели и задачи создания Библиотеки. Проект Au Scope Национальной виртуальной библиотеки по ядру развернул разработанную в Австралии инструментальную систему документации разреза по буровому ядру на гиперспектральной основе HyLogging современного уровня в семи библиотеках ядра государственной и территориальных геологических служб, где проводится стандартное минералогическое сканирование тысяч метров ядра и образцов из десятков общественных и частных объектов ГРП. Национальная виртуальная библиотека ядра — интегрированная, кооперативная инфраструктурная система, включающая библиотеки ядра, хранящие информацию о ~8 000 000 м материала, HyLogging аппаратуре, местных операторах и геологах, интерпретирующих данные при поддержке централизованной экспертизы. Для минералогической интерпретации используются программные средства геолога-спектроскописта, а относительные базы данных, объединенные с интернет-порталом, обеспечивают легкий глобальный общественный доступ. К настоящему времени ~500 000 м материала признаны приоритетными, сохранены в форме изображений и отсканированы гиперспектральным методом в видимом (ближнем инфракрасном (VNIR), коротковолновом инфракрасном (SWIR) и затем в тепловом инфракрасном (TIR) диапазонах длин волн с плотностью документации ~125 образцов на 1 м. Распределенный характер этой сети является средством беспрецедентного публичного доступа к историческому ядровому материалу, систематическим обзорам прошлых успехов и неудач, улучшенным геологическим и геологоразведочным моделям.

*M.Shodlok et al.* (Австралия) представили библиотеку тепловых инфракрасных (TIR) спектров отражения стандартных минералов и пород для использования при составлении разрезов, профилей HyLogging. Данные из этой библиотеки также были включены в стандартный набор алгоритма The Spectral Assistant (TSA), метода разделения спектров, использованного в программном пакете TSG-HotCore. Сбор данной спектральной библиотеки и создание стандартного набора тепловых инфракрасных спектров (TIR) продолжаются. В библиотеку и стандартный набор включаются новые образцы в зависимости от потребностей сообщества HyLogging. Растущее собрание замеренных образцов привело к преобразованию коллекции текущих данных в надлежащую базу данных, которая позволит применять подходящие поисковые опции (т.е. проводить поиск по различным параметрам, таким как названия минералов, элементов в формуле или минеральных групп) и обеспечивает возможность web доступа. Первая бета версия новой базы данных успешно разработана. Кроме того, внимание в сборе библиотеки сосредоточено на включении новых минералов — сульфидов, оксидов и карбонатов. Их спектральные характеристики и вариации представлены и обсуждаются вместе с наблюдаемым спектральным поведением.

# ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



23 августа 2013 г. исполнилось 75 лет доктору геолого-минералогических наук, специалисту в области геологии и методов поисков месторождений цветных металлов, старшему научному сотруднику отдела цветных металлов ЦНИГРИ **Александр Ивановичу Донцу**.

А.И.Донец трудится в институте более сорока лет. Занимается изучением закономерностей размещения свинцово-цинковых руд, структур рудных полей и месторождений, в том числе месторождений Озернинского рудного узла (Бурятия) и Хандинзинского рудного поля (Южный Узбекистан). Разрабатывал методы и методики прогнозирования и поисков (прогнозно-поисковые комплексы) месторождений свинца и цинка в карбонатных и вулканогенно-карбонатных формациях Якутии, Средней Азии и Казахстана. Исследовал парагенезис свинцово-цинковых месторождений и нефти в осадочных бассейнах. Участвовал в создании системы моделей стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах. Все исследования увязаны с запросами практики, что привело к обнаружению новых рудоносных площадей.

В период с 2011 г. по настоящее время принимает участие в НИР по апробации площадей, выделенных для постановки прогнозно-поисковых работ на цветные и благородные металлы в пределах Алтае-Саяно-Енисейской минерагенической области.

Результаты исследований А.И.Донца отражены во многих производственных отчетах и многочисленных печатных трудах, в том числе в пяти монографиях.

А.И.Донец награжден медалями «Ветеран труда», «В память 850-летия Москвы» и знаком «Отличник разведки недр», отмечен Почетной грамотой МПР России в связи с 75-летием ЦНИГРИ.

Поздравляем Александра Ивановича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия, новых творческих успехов.

*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*



3 августа 2013 г. исполнилось 80 лет академику РАЕН, доктору геолого-минералогических наук, старшему научному сотруднику отдела благородных металлов ЦНИГРИ **Виктору Борисовичу Чекваидзе**.

В.Б.Чекваидзе работает в институте с 1965 г. Он — известный в нашей стране и за рубежом специалист в области геологии, геохимии, методов поисков и прогноза месторождений цветных и благородных металлов. Разработал формационную систематику околорудных метасоматитов большой группы месторождений цветных металлов, систематизировал морфогенетические типы рудных объектов, усовершенствовал комплекс минералого-геохимических методов поисков на золоторудных полях многих регионов страны. Выдвинул положение о вещественных триадах — породно-минерально-элементных ассоциациях, закономерно повторяющихся на месторождениях разных формационных типов. Обосновал и внедрил в практику поисковых работ комплексную петрографо-минералого-геохимическую методику поисков и ионно-потенциметрическую методику выявления геохимических ореолов и рудоносных зон глубоко скрытых месторождений.

В настоящее время выполняет работы по оценке перспектив золотоносности магматических и метаморфических комплексов Востока России. Постоянно участвует в работах по научному сопровождению ГРР, направленных на поиски месторождений золота в пределах Республики Карелия, Мурманской и Архангельской областей.

В.Б.Чекваидзе — автор более 250 печатных трудов, включая семь монографий. Он — член Ученого совета ЦНИГРИ, член диссертационных советов ЦНИГРИ и МГУ, методического совета отдела металлогении, лауреат премии им. М.Б. и Н.И.Бородаевских (1999 г.).

Поздравляем Виктора Борисовича с юбилеем, от всей души желаем крепкого здоровья, благополучия, новых творческих успехов.

*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*