



# **и РУДЫ МЕТАЛЛЫ**



научно-технический журнал

**1**  
**2016**



***Уважаемые коллеги,  
работники геологической отрасли!***

От всей души поздравляю вас с профессиональным праздником!

В этом году исполняется 50 лет с того дня, как 31 марта 1966 года Указом Президиума Верховного Совета СССР был учрежден профессиональный праздник – День геолога как официальное признание государством той важнейшей роли, которую сыграла отечественная геология в обеспечении экономики страны минеральными ресурсами. Инициаторами обращения о создании праздника выступили советские геологи во главе с естествоиспытателем, геологом академиком А.Л.Яншиным. Поводом стало открытие в 1966 году первых месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Самоотверженными усилиями многих поколений геологов были открыты и разведаны тысячи месторождений полезных ископаемых, которые стали надежной основой успешного развития экономики России. Но и сегодня геологи успешно решают свою главную задачу – развитие минерально-сырьевой базы Российской Федерации. За последнее десятилетие открыты полтора десятка месторождений благородных и цветных металлов мирового класса, геологи-нефтяники существенно расширили перспективы нефтегазоносности Восточной Сибири и шельфа России. Значительные успехи достигнуты в отстаивании геополитических интересов страны. Комиссией ООН по континентальному шельфу принято решение о признании Охотского моря шельфовой зоной России, а в настоящее время рассматривается заявка Российской Федерации на установление внешних границ континентального шельфа в Северном Ледовитом океане.

В октябре 2016 года будет проведен VIII Всероссийский съезд геологов, который должен всесторонне рассмотреть и оценить современное состояние отечественной геологической науки и практики, структурное построение геологической службы страны, организационные, технико-технологические, управленческие, кадровые и другие проблемы, наметить пути их решения. Значительной частью повестки съезда станет обсуждение стратегии развития минерально-сырьевой базы. Решения съезда будут положены в основу развития отрасли на ближайшие годы, что определяет его значение и важность для каждого из нас.

В канун праздника хочу поздравить вас ещё раз с Днем геолога и искренне пожелать вам крепкого здоровья, счастья, благополучия, новых геологических открытий и успехов во всех делах на благо Родины!

Заместитель Министра  
природных ресурсов и экологии РФ –  
Руководитель Федерального агентства  
по недропользованию

Е.А.Киселев

# И РУДЫ и МЕТАЛЛЫ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
ОСНОВАН В 1992 ГОДУ  
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

## 1/2016

Главный редактор А.И.Иванов

Заместитель главного редактора В.С.Жаркова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Б.И.Беневольский  
В.И.Ваганов  
С.С.Вартанян  
А.М.Вахрушев  
А.В.Волков  
Ю.К.Голубев  
В.С.Звездов  
П.А.Игнатов  
С.Г.Кряжев  
В.В.Кузнецов  
Д.А.Куликов  
Г.А.Машковцев  
И.Ф.Мигачев  
Г.В.Ручкин  
Г.В.Седельникова  
И.Г.Спиридонов



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 2016

Руды и металлы

№ 1 – 2016

ISSN 0869–5997

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

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

Редакция: *Г.В.Вавилова, В.С.Жаркова*

Верстка и оригинал-макет: *Т.И.Хариш*

Подписано в печать 01.03.16 г. Формат 30×42 1/2. Бумага листовая. Печать цифровая.

Отпечатано в ФГУП ЦНИГРИ: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1

Адрес редакции:

117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ФГУП ЦНИГРИ

Телефоны: 8 (495) 315-06-29, 8 (495) 315-28-47

Факс: 8 (495) 315-43-47

E-mail: [rudandmet@tsnigri.ru](mailto:rudandmet@tsnigri.ru), [rudandmet@yandex.ru](mailto:rudandmet@yandex.ru)

Web: <http://www.tsnigri.ru/?q=node/24>

Подписной индекс 47218

Сайт Научной Электронной Библиотеки: <http://elibrary.ru>

© «Руды и металлы», 2016

<b>ОТ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА</b> .....	5
 <b>ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ</b>	
<i>Григоров С.А.</i> Структура регионального геохимического поля Колымской золотоносной области как фактор металлогенического районирования и прогнозной оценки.....	11
<i>Николаев В.И., Руднев А.В.</i> Типы хромоворудных концентраций и закономерности их размещения в альпинотипных массивах Урала.....	15
<i>Юшманов Ю.П.</i> Покровско-Троицкий рудный узел: геолого-структурные особенности и перспективы золотоносности, Нижнее Приамурье.....	25
 <b>СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ</b>	
<i>Ежков Ю.Б., Рахимов Р.Р., Рустамжонов Р.Р., Новикова И.В.</i> Рудно-метасоматическая система и перспективы месторождения Дайковое (W, Mo, Bi, Au, Te), Восточный Узбекистан .....	33
<i>Корчагин А.У., Гончаров Ю.В., Субботин В.В., Грошев Н.Ю., Габов Д.А., Иванов А.Н., Савченко Е.Э.</i> Геология и вещественный состав руд малосульфидного платинометального месторождения Северный Каменник в Западно-Панском массиве, Кольский полуостров .....	42
<i>Окулов А.В., Шатилова Л.В., Рожченко В.А.</i> Минералого-геохимическая характеристика золоторудных проявлений Топольнинского рудного поля .....	52
<i>Пересторонин А.Е.</i> Боргуликанская золото-медная рудно-магматическая система в Приамурской золотоносной провинции .....	63
 <b>ДИСКУССИИ</b>	
<i>Остапенко Н.С.</i> О естественной флотации гидрофобных минералов в гидротермальном рудообразовании и ее следствиях (на примере месторождений золота).....	78
 <b>ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ</b>	
Г.В.Седельникову.....	87
Б.И.Беневольского.....	89
 <b>НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ</b>	
Конференция ЦНИГРИ .....	91
Выставка «Недра-2016» .....	92

<b>EDITORIAL</b> .....	5
 <b>APPLIED METALLOGENY</b>	
<i>Grigorov S.A.</i> Geochemical structure of the Kolyma gold field.....	11
<i>Nikolaev V.I., Rudnev A.V.</i> Types of chromium concentrations and patterns of their distribution in alpine-type massifs of the Urals .....	15
<i>Yushmanov Yu.P.</i> Pokrovsko-Troitsky ore node: geological-structural peculiarities and prospects of gold mineralization, the Lower Amur region .....	25
 <b>GEOLOGY OF ORE DEPOSITS</b>	
<i>Yezhkov Yu.B., Rakhimov R.R., Rustamjonov R.R., Novikova I.V.</i> Ore-metasomatic system and the prospects of the Daykovo deposit (W, Mo, Bi, Au, Te), Eastern Uzbekistan .....	33
<i>Korchagin A.U., Goncharov Yu.V., Subbotin V.V., Groshev N.Yu., Gabov D.A., Ivanov A.N., Savchenko Ye.E.</i> Geology and ores composition of the North Kamennik low-sulfide PGE deposit in the West-Pansky massif, Kola peninsula.....	42
<i>Okulov A.V., Shatilova L.V., Rozhchenko V.A.</i> Mineralogical and geochemical characteristics of gold objects of Topolinskoe ore field. ....	52
<i>Perestoronin A.E.</i> Borgulikanskaya gold-copper ore-magmatic system in Priamurskaya gold province .....	63
 <b>DISCUSSIONS</b>	
<i>Ostapenko N.S.</i> Natural flotation of hydrophobic minerals in hydrothermal ore formation and its consequences (exemplified by gold deposits) .....	78
 <b>OUR CONGRATULATIONS</b>	
G.V.Sedelnikova .....	87
B.I.Benevolsky.....	89
 <b>NEWS, INFORMATION</b>	
Conference of TSNIGRI .....	91
Exhibition «Entrails-2016» .....	92



### Уважаемые коллеги!

Приближается День геолога, учрежденный Указом президиума Верховного Совета СССР 50 лет назад 31 марта 1966 г. Для коллектива ФГУП ЦНИГРИ, как и для всех работников отрасли, этот день особенный – мы не только поздравляем друг друга, вспоминаем пройденные маршруты, но и подводим определенные итоги. Мне приятно отметить, что праздник институт встречает с чувством гордости. В 2015 г. нами завершён ряд проектов, по которым получены новые и наиболее значимые результаты.

В ходе выполнения работ по Государственному контракту «Поисковые работы на выявление нетрадиционных для России месторождений алмазов триасового возраста на севере Оленекского поднятия (Республика Саха (Якутия)» (ответственный исполнитель Ю.К.Голубев) на основе геолого-структурных и геофизических предпосылок (критериев), яв-

ляющихся индикаторами потенциально алмазоносных кимберлитовых полей и кустов тел в их пределах, на севере Оленекского поднятия локализовано прогнозируемое Келимярское потенциально алмазоносное кимберлитовое поле. На его территории выделены четыре участка возможного сосредоточения кустов кимберлитовых тел. В пределах одного из них ранга куста тел – Верхненикабытского – при заверке бурением локальных магнитных аномалий вскрыты кратерные части кимберлитовых трубок. В долине р. Никабыт обнаружена богатая россыпь алмазов. На основе палеогеографических реконструкций установлена связь данной россыпи с кустом кимберлитовых тел, где вскрыты кратерные части кимберлитовых трубок. Непосредственно к Верхненикабытскому кусту тел также примыкает наиболее богатая часть россыпи в составе рэтского яруса верхнего триаса (булунканская свита). В результате были оценены и апробированы прогнозные ресурсы коренных алмазов категории  $P_2$  в количестве 78 млн карат для Верхненикабытского куста тел и россыпных алмазов категорий  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  для долины р. Никабыт – 797, 677, 940 тыс. карат соответственно.

При проведении работ по Госконтракту «Поисковые работы на золото-серебро-полиметаллическое оруденение в пределах Змеиногорско-Березовогорской площади в Змеиногорском рудном районе (Алтайский край)» (отв. исполнитель В.В.Кузнецов) составлен комплект карт локального прогноза Змеиногорско-Березовогорской площади м-ба 1:25 000 на комплексное золото-серебро-полиметаллическое оруденение с картами врезками м-ба 1:5000 на геолого-структурной и литолого-фациальной основе. На основании анализа совмещенных слоев комплектов прогнозных карт (литолого-фациальных, рудной нагрузки, геофизических, геохимических) в пределах Змеиногорско-Березовогорской площади выделены детализационные участки Петровский, Восточно-Майский, Центрально-Березовогорский, Головинско-Ганьковский и Привет.

Для детализационных участков составлены литолого-стратиграфические, литолого-фациальные, геохимические карты и разрезы м-ба 1:5000–1:2000. Определен вещественный состав пород, руд и околорудных метасоматитов. Проведены геохимические работы ионно-потенциометрическим (ионно-сорбционным) методом. Для выявления вторичных наложенных ореолов рассеяния над полиметаллическими объектами применена методика частичного извлечения рудных и петрогенных химических элементов азотнокислотными вытяжками с ICP анализом полученных растворов, что в комплексе с геофизическими исследованиями методом МЗСБ позволило уточнить места заложения

поисковых скважин. К наиболее перспективным отнесены участки Петровский, Восточно-Майский, Центральнo-Березовогорский.

Петровский участок соответствует геолого-поисковой модели Зареченского и Среднего месторождений, причем степень сходства очень высокая. Две рудные зоны локализованы в породах мельничной и одна – заводской свит. Форма рудных зон пластовая или линзовидная. Общая протяженность зон до 1500 м по простиранию и до 700 м по падению при мощности от 1 до 27 м. Зоны сопровождаются серицит-кварцевыми и кварц-серицитовыми метасоматитами. Минерализация представлена вкрапленностью, гнездами, прожилками сфалерита и галенита с пиритом, реже галенитом. Участок готов к лицензированию. Прогнозные ресурсы отвечают крупному объекту. Расположение вблизи действующего Зареченского ГОКа повышает его инвестиционную привлекательность.

Восточно-Майский участок соответствует геолого-поисковой модели Майского месторождения. Здесь при поисковом бурении выявлена зона рудной минерализации, прослеженная между линиями V и X по простиранию на расстояние около 1500 м, по падению до 300 м. Ее характерная черта – четкая минералого-геохимическая зональность в виде смены с юго-востока на северо-запад полиметаллической минерализации медно-колчеданной. Сульфиды образуют вкрапленные, гнездово-вкрапленные, прожилковые, реже массивные текстуры, причем прожилки более характерны для верхних уровней, а массивные сульфиды встречаются на глубине, где также, как и прожилки, перемежаются с вкрапленными участками. Лицензирование объекта возможно совместно с Майским месторождением. На последнем необходимо перестроить разрезы для пересчета запасов. Как показывает переоценка между 8-м и 12-м профилями, это позволит нарастить запасы металлов почти на 50%.

На Центральнo-Березовогорском участке проведено бурение, отстроены литолого-фациальные и литолого-стратиграфические разрезы. Скважинами 29зб и 30зб на глубине около 300 м вскрыта рудная минерализация галенит-сфалеритового состава, которая сопоставляется по простиранию с рудой, выявленной скв. 289. Возможно лицензирование совместно с Тушканихинским месторождением с последующим доизучением. Объект представляет интерес в связи с, возможно, высокими содержаниями золота и серебра в рудах (скв. 29 вскрыла рудную зону мощностью 18,7 м со средним содержанием Au 2,53 г/т, Ag 30,53 г/т).

Суммарные апробированные прогнозные ресурсы, выявленные в результате реализации проекта, составили: кат. P<sub>1</sub> – Cu 106,7 тыс. т (план 40 тыс. т), Pb 301,5 (план 65), Zn 774,3 (план 190), Au 1,6 т (план 10 т), Ag 285,1 (план 150); кат. P<sub>2</sub> – Cu 353 тыс. т (план 200 тыс. т), Pb 747 (план 350), Zn 2699 (план 950), Ag 956 т (план 600 т), Au 52 (план 40). Таким образом, апробированные прогнозные ресурсы по всем элементам значительно превысили планируемые показатели.

В 2015 г. завершены работы по Госконтракту **«Геологическое обеспечение и сопровождение геологоразведочных работ по воспроизводству МСБ твердых полезных ископаемых, выполняемых за счет средств федерального бюджета (за исключением урана). Апробация и мониторинг прогнозных ресурсов»** (отв. исполнитель А.Г.Волчков), которые проводились ФГУП ЦНИГРИ и субподрядными организациями ФГУП ВИМС, ИМГРЭ, ЦНИИГеолнеруд с 2001 г. За это время была создана система внедрения в практику ГРР научно-методических разработок отраслевых НИИ, осуществляемая в тесной взаимосвязи с производственными организациями и направленная на эффективное и ускоренное воспроизводство фонда недропользования.

Подчеркнем, что комплекс работ по научно-методическому обеспечению и сопровождению ГРР представляет собой ключевой блок системы программно-целевого планирования воспроизводства МСБ ТПИ, обеспечивает реализацию среднесрочных и долгосрочных программных мероприятий, способствует оптимизации ГРР на объектах Госзаказа и повышению их результативности.

Работы по Госконтракту в 2015 г. проводились на 130 объектах (ФГУП ЦНИГРИ курировал ГРР на 91 объекте) и были направлены на обеспечение безусловного выполнения геологических заданий на объектах Госзаказа за счет контроля их качества, соответствия применяемых методик ГРР нор-

мативно-методическим документам, а также разработки рекомендаций по устранению недостатков в ходе ГРР.

Комплекс работ по научно-методическому сопровождению и обеспечению ГРР способствовал достижению ожидаемых результатов на объектах Госзаказа, подготовке Перечня объектов ГРР Роснедра на 2016 г. и актуализации Пообъектного плана ГРР до 2020 г. Ряд объектов методического сопровождения по итогам завершённых в 2015 г. ГРР отнесен к высокоперспективным, и эти объекты могут быть переданы в недропользование (курсивом обозначены объекты, на которых работали специалисты ФГУП ЦНИГРИ):

- Гитче-Тырнаузский, Кабардино-Балкарская Республика (прогнозные ресурсы кат.  $P_1+P_2$  – 238 т Au);
- Гора Рудная, Республика Саха (Якутия) (кат.  $C_1+C_2$  – 45 т,  $P_1+P_2$  – 100 т Au);
- *зона Северная Светловского рудного поля, Иркутская область* (кат.  $P_1+P_2$  – 126 т Au);
- *Олбот, Магаданская область* (кат.  $P_2$  – 100 т Au);
- Пони-Мулинский, Хабаровский край (кат.  $P_2$  – 395 тыс. т Cu со средним содержанием 1,5%, 71,7 т Au со средним содержанием 2,7 г/т);
- *Петровский, Восточно-Майский, Центральнo-Березовогорский участки Змеиногорско-Березовогорской площади, Алтайский край* (кат.  $P_1+P_2$  – 1048,5 тыс. т Pb, 3473,3 Zn, 459,7 Cu, 1241,1 т Ag, 53,6 Au);
- *Оленекский, Республика Саха (Якутия) (алмазоносная россыпь: кат.  $P_1+P_2$  – 1474 тыс. карат,  $P_3$  – 940; Верхненикабытский куст кимберлитовых тел: кат.  $P_2$  – 78 млн карат).*

За этот же период апробированы прогнозные ресурсы ТПИ, локализованные при ГРР на объектах Госзаказа, выполнен их мониторинг, подготовлен банк данных прогнозных ресурсов ТПИ по состоянию на 01.10.2015 г., доступный для пользователя; продолжено составление интерактивных карт по 49 видам ТПИ. Полученные результаты обеспечивают решение одной из важных задач отрасли – выделение территорий, на которых необходима интенсификация ГРР на отдельные виды ТПИ, как наиболее перспективных для воспроизводства МСБ ТПИ, востребованных в горно-металлургическом производстве.

В целом работа по Госконтракту способствовала повышению эффективности ГРР и надежности оценок выявляемых прогнозных ресурсов при рациональном использовании средств федерального бюджета, оперативному учету ресурсной базы полезных ископаемых, что обеспечивает возможность принятия управленческих решений для удовлетворения потребностей экономики страны в минерально-сырьевых ресурсах и достижения простого воспроизводства МСБ, выражающегося в компенсации погашения запасов их приростом.

Работы по Госконтракту **«Поисковые работы на выявление новых геолого-промышленных типов золотого оруденения в пределах Лебединского рудно-россыпного узла»** (отв. исполнители В.С.Звездов, В.В.Столяренко) были сосредоточены в южной части Республики Саха (Якутия) в Лебединском рудно-россыпном узле. Здесь в результате многолетней эксплуатации практически полностью отработаны богатые золотоносные залежи и жилы так называемого «лебединского типа» (месторождения Лебединское, Колтыконское, Самодумовское, Радостное), а также сопровождающие их крупные промышленные россыпи золота. Определены критерии прогноза, поисков и оценки оруденения новых геолого-промышленных (морфологических) типов – штокверкового и жильно-прожилкового. Разработаны прогнозно-поисковые модели Лебединского рудно-россыпного узла и выделенных в его пределах золоторудных полей. С учетом элементов-признаков этих моделей и результатов предшествующих ГРР установлены наиболее перспективные рудные поля и поисковые участки, на которых в результате комплекса поисковых работ (геолого-поисковых маршрутных, геофизических, геохимических, заверочных горно-буровых, лабораторно-аналитических) выявлены и прослежены золоторудные зоны различных морфологических типов в разломных структурах, пересекающих мезозойские интрузивы, породы архейского фундамента и его венд-кембрийского осадочного чехла, определены их морфология и параметры, характер распределения золота и сопутствующих полезных компонентов, локализованы и оценены прогнозные ресурсы коренного золота

кат.  $P_1$  – 27 т (при среднем содержании 3 г/т) и  $P_2$  – 25 т (4 г/т), подготовлены рекомендации по направлению дальнейших геологоразведочных работ на южном фланге узла.

При выполнении работ по Госконтракту **«Поисковые работы на большеобъемное золотое оруденение, локализованное в углеродисто-терригенных комплексах в пределах Енисейской, Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской золоторудных провинций»** (отв. исполнители Л.С.Сущинский, В.Е.Васюков, А.В.Инякин, Р.Х.Мансуров):

- созданы прогнозно-поисковые модели рудных районов, рудных узлов и рудных полей, перспективных на обнаружение большеобъемных месторождений золота, составлены прогнозно-поисковые комплексы;
- составлены карты золотоносности м-ба 1:200 000 рудных районов Енисейской, Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской золоторудных провинций, перспективных на выявление большеобъемных месторождений золота (на структурно-формационной основе), с картами-врезками м-ба 1:25 000 (на структурно-литологической основе) эталонных и перспективных рудных полей и м-ба 1:10 000 поисковых участков, а также комплектом разрезов по опорным профилям (м-бы 1:200 000 для рудных районов, 1:25 000 для рудных полей, 1:10 000 для поисковых участков) с рудной, геофизической, геохимической нагрузкой;
- изучены рудоносные зоны в пределах перспективных рудных полей и поисковых участков Южный (Енисейская провинция), Светловский (Байкало-Патомская провинция), Олбот (Верхояно-Колымская провинция); локализованы и оценены прогнозные ресурсы рудного золота кат.  $P_1$  – 46 т и  $P_2$  – 184 т;
- разработаны рекомендации по технологии прогноза, поисков и оценки большеобъемных золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах и проведению дальнейших ГРР.

В процессе работ по Госконтракту **«Поисковые работы на рудное золото в углистых карбонатно-терригенных комплексах южной части Бодайбинского рудного района (Иркутская область)»** (отв. исполнитель Е.Е.Котельников):

- созданы прогнозно-поисковые модели рудных полей золото-кварц-сульфидной и золото-кварцевой формаций в черносланцевых толщах, адаптированные к условиям южной части Бодайбинского рудного района;
- установлены «сквозные» поисковые признаки золотоносности черносланцевых толщ – зоны складчато-разрывных деформаций третьего и более высоких порядков, осложненные субсогласными со складчатостью тектоническими нарушениями, зоны метасоматитов березит-лиственитового и железо-магнезиально-карбонатного типов с жильной и жильно-прожилковой сульфидной минерализацией, геохимические аномалии золота и мышьяка;
- выделены рудные узлы, рудные и потенциально рудные поля (Анангро-Аунакитский рудный узел с тремя потенциально рудными полями и Южно-Бодайбинский с пятью рудными и 14 потенциально рудными полями);
- оценены и апробированы прогнозные ресурсы коренного золота кат.  $P_3$  Южно-Бодайбинского (553 т) и Анангро-Аунакитского (137 т) рудных узлов в сумме 690 т;
- подготовлены рекомендации к проведению дальнейших ГРР.

Для значительного количества объектов проводилась **геолого-экономическая оценка**, включающая анализ геологического строения, переоценку прогнозных ресурсов полезных компонентов, разработку производственно-технологической части, расчеты технико-экономических показателей эффективности освоения (отв. исполнитель Д.А.Куликов).

В результате оценки четырех перспективных медно-порфировых проявлений Южного Урала (Госконтракт № 168) установлено, что с хорошими экономическими показателями может быть освоено проявление Салават (Республика Башкортостан), где оценены прогнозные ресурсы  $Cu$  кат.  $P_1$  в количестве 993 тыс. т со средним содержанием 0,48%. Кроме того, дана геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов рудопроявлений золота Делянкир, Приисковый, Олбот (Магаданская область), рудных полей Лебединское (Якутия), Светловское и Джалагунское (Иркутская область),

участков колчеданно-полиметаллических руд Петровский, Восточно-Майский, Головино-Ганьковский (Алтайский край).

В рамках Госконтракта «**Мониторинг передовых технологий поисков, оценки, разведки и обработки месторождений ведущих геолого-промышленных типов меди и золота с подготовкой предложений по их использованию**» осуществлены исследования с характеристикой мировых и российских современных технологий поисков, оценки, разведки, разработки месторождений меди и золота и переработки руд, а также тенденций и прогноза использования минерально-сырьевой базы рудных месторождений указанных компонентов.

**Технологические исследования** (отв. исполнитель А.И.Романчук) проведены по более 10 пробам руд благородных металлов различных регионов России – Алтайский край (Суеткинская перспективная площадь), Красноярский край (Марокское рудное поле), Ростовская область (Бургустинская перспективная площадь), Кабардино-Балкария (Гитче-Тырнаузское и Карданское рудные поля), Северная Осетия (Теплинский рудный узел) и др. Изучены вещественный состав и обогатимость руд, обоснованы оптимальные технологии и показатели извлечения полезных компонентов из руд различных природных и технологических типов.

Подготовлен аналитический обзор «Передовые технологии переработки руд меди и золота основных геолого-промышленных типов», включающий базовые схемы обогащения руд геолого-промышленных и технологических типов; современные тенденции в области переработки руд (процессы рудоподготовки, крупнокусковой радиометрической сепарации, интенсивное цианирование золотосодержащих гравитационных концентратов, современное состояние технологии кучного выщелачивания, биогидрометаллургической и автоклавной переработки сульфидных руд и концентратов, практика переработки руд на обогатительных фабриках).

Разработаны и изданы ЦНИГРИ в 2015 г. методические рекомендации «Подготовка проб и определение содержания благородных металлов в рудах со свободным золотом», которые применяются как геологическими организациями при поисках и разведке месторождений золота, так и недропользователями при эксплуатационной разведке и анализе продуктов обогащения руд на фабриках.

Продолжены исследования по созданию технологии комплексного использования нетрадиционного минерального сырья Мирового океана – железо-марганцевых конкреций и глубоководных полиметаллических сульфидов. В результате предложена рациональная малоотходная и экологически безопасная схема совместной переработки обоих видов океанического сырья с высокими показателями извлечения металлов в товарные концентраты.

В **Аналитическом Центре ЦНИГРИ** (руководитель А.В.Мандругин), аккредитованном Федеральной службой по аккредитации (Аттестат № РОСС RU.0001.511741, дата внесения сведений в реестр аккредитованных лиц 16.06.2014), в 2015 г. выполнялись работы по аналитическому обеспечению ряда государственных контрактов на проведение поисковых работ на золото в пределах Енисейской, Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской золоторудных провинций, Лебединского рудно-россыпного узла и др., на золото-серебро-полиметаллическое оруденение в Змеиногорском рудном районе и оруденение медно-порфирового типа на Южном Урале.

В 2015 г. проанализировано более 20 тыс. проб с определением содержания золота (пробирным, пробирно-атомно-абсорбционным, атомно-абсорбционным методами), серебра (атомно-абсорбционным методом), цветных металлов (атомно-абсорбционным, атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой), платиновых металлов (пробирным, пробирно-атомно-абсорбционным, пробирно-атомно-эмиссионным, пробирно-масс-спектрометрическими методами, в том числе с плавкой на никелевый штейн).

Высокое качество результатов анализов обеспечивается внутренним (анализ стандартных образцов и контрольных проб) и внешним контролем, а также подтверждается положительными результатами регулярного (несколько раз в год) участия Аналитического Центра в межлабораторных сравнительных испытаниях и аттестации стандартных образцов состава руд на благородные и цветные металлы.

**В отделе минералогии и изотопной геохимии** (руководитель С.Г.Кряжев) в 2015 г.:

- разработаны методические рекомендации по использованию газохроматографических и изотопных методов для выявления алмазоносных кимберлитовых тел по газовым и изотопно-геохимическим ореолам в породах околотрубного пространства (для АК «АЛРОСА»);
- проведен термобарогеохимический анализ жильного кварца золоторудных полей Центрально-Ичуевемской площади на Чукотке с выделением перспективных поисковых участков (для ООО «а/с Чукотка»);
- определены минералого-петрографические характеристики вулканогенно-терригенных и рудно-метасоматических комплексов пород в пределах Карданского рудного поля (для Кабардино-Балкарской ГРЭ);
- разработан комплекс минералого-геохимических критериев для разбраковки минерализованных зон по степени перспективности Макаровской площади, Красноярский край (для ГПКК КНИИГИМС);
- выполнены минералогические и изотопные исследования цирконов с оценкой их абсолютного возраста (для ООО «Рио Тинто Алмазпоиск»);
- определены минералогические характеристики золоторудных проявлений Баранчинской площади, Алтайский край (для ОАО «ГАЭ»);
- установлен состав флюидных включений в кварце золоторудных месторождений и рудопроявлений Северо-Востока России (для ИГЕМ РАН);
- разработаны новые изотопно-геохимические и термобарогеохимические критерии локально-прогноза и поисков в рамках госконтрактов ФГУП ЦНИГРИ большеобъемного золотого оруденения в углеродисто-терригенных комплексах (на примере объектов Енисейской, Байкало-Патомской, Верхояно-Колымской золоторудных провинций), золоторудного оруденения Лебединского рудно-россыпного узла, проявлений медно-порфировой минерализации в вулканоплутонических поясах Южного Урала;
- определены параметры минералогической зональности, вещественный состав руд и околорудных метасоматитов на поисковых участках в Змеиногорском рудном районе Алтайского края.

Поздравляю коллектив ФГУП ЦНИГРИ и сотрудников всех геологических организаций отрасли с Днем геолога, желаю здоровья, благополучия, удачи!

А.И.Иванов

# СТРУКТУРА РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ КОЛЫМСКОЙ ЗОЛОТОНОСНОЙ ОБЛАСТИ КАК ФАКТОР МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ

С.А.Григоров

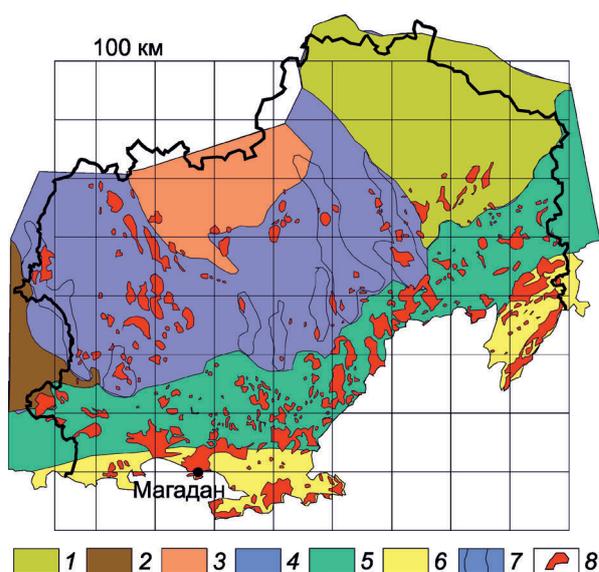
ООО «Хужир Энтерпрайз»,  
г. Улан-Удэ

*Самоорганизующиеся ореоло- и рудообразующие процессы возникают в наложенном на геологический субстрат энергетическом поле, которое и является первопричиной формирования металлогенических таксонов. С этой точки зрения важнейшей информационной основой могут служить геохимические поля как главные индикаторы металлогенических построек. Структура пространственного распределения ореолов золота и серебра в региональном масштабе позволяет оценить размещение рудных районов в Колымском регионе и ранжировать их по относительной перспективности.*

*Ключевые слова: Колыма, золото, серебро, металлогения, самоорганизация, энерго-, массоперенос, структура геохимического поля, ранжирование металлогенических построек.*

Традиционно при металлогеническом районировании исходят из того, что на последовательных этапах истории геологического развития земной коры в ее крупных структурных подразделениях со свойственными им процессами осадконакопления, тектоники и магматизма закономерно формируются строго определенные группы рудных месторождений. По этой причине металлогенические таксоны привязаны к структурно-вещественным комплексам и временным циклам их образования. Фундаментальное научное обоснование не выходит за рамки детерминистского представления о предполагаемой линейной эволюции минерального вещества и энергии, тогда как геологические процессы, по определению, нелинейны. Нелинейная природа рудообразования (ореолообразования) требует иного подхода к определению граничных критериев рудных и металлогенических объектов, генетическая связь между которыми очевидна,

познания динамики рудообразования, определяющей иерархичность его продуктов в виде взаимообусловленного ансамбля, на пути трансформации минерального вещества от рудного тела в составе локализованного рудного объекта до металлогенических таксонов. Пространственно-временная связь рудных таксонов в системе рудное тело – рудная зона – рудное поле – рудный узел выявлена на примерах известных золото-рудных месторождений на Колыме (Наталка, Дегдекан, Чай-Юрья и др.). Установлено, что рудные объекты адекватно отражены в структурах геохимических полей (ГП) однотипными концентрически-зональными конструкциями, сформированными относительно энергетических центров в процессах рассеяния и концентрации минерального вещества. В первом случае возникают центробежные геохимические поля на иерархических уровнях от рудной зоны до рудного узла, во втором – минеральное вещество накапливается



**Рис. 1. Металлогеническая схема Колымы:**

металлогенические провинции и пояса: 1 – Охотская, 2 – Омолонская, 3 – Приколымо-Черско-Полуостровная, 4 – Яно-Колымская, 5 – Охотско-Чукотский, 6 – Корякско-Камчатский; 7 – контур совмещения структур ОЧВП и Яно-Колымской металлогенической провинции; 8 – гранитоидные массивы

в режиме центростремительного энерго-, массопереноса, образуя месторождения (рудные тела) [1, 2]. В обоих случаях появляются концентрические структуры ГП относительно областей приложения и реализации ореолообразующей энергии, как правило, в виде иерархии рудно-магматических систем. На уровнях, соответствующих металлогеническим таксонам, теряется прямая структурно-геохимическая связь с локализованными рудными объектами, но сохраняется пространственная с глубинными энергетическими источниками, изначально вызвавшими широкомасштабные преобразования ГП. Анализ структуры пространственного развития проявлений золота и серебра в региональном масштабе позволяет оценить размещение рудных районов в Колымском регионе и оценить их относительную перспективу. Структурно-геохимический анализ выполнен по результатам геохимической съемки по потокам рассеяния (м-б 1:200 000). Полнота покрытия территории (0,5–2 пробы/км<sup>2</sup>) обеспечивает надежность структурно-геохимического моделирования.

Геолого-структурная позиция Колымского региона определяется положением в Яно-Колым-

ской складчатой области в зоне влияния Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) (рис. 1). Существующая металлогеническая схема региона в целом повторяет границы структурно-вещественных и возрастных комплексов горных пород, увязывая их с соответствующей каждому комплексу металлогенической специализацией и индивидуальной историей рудообразования. Однако фактическое распределение химических элементов дает возможность по-иному взглянуть на историю металлогенических преобразований Колымского региона. Поскольку эндогенная энергия, способная в рассматриваемом масштабе вызвать адекватное сдвижение химических элементов, связана либо с магматическим основанием ОЧВП, либо с магматическим основанием Яно-Колымской складчатой области, можно полагать, что именно эти энергетические воздействия лежат в основе металлогенических конструкций. Следовательно, региональные ГП должны отражать основные черты металлогенического строения территории. Секущие взаимоотношения между структурами геохимических полей должны указывать на кардинальную смену структурных и временных планов тектономагматических активизаций и наличие самостоятельных металлогенических циклов. Пространственно согласованные между собой структуры ГП свидетельствуют о едином структурно-минералогеническом плане. Объем статьи не позволяет рассмотреть широкий спектр химических элементов, но сам подход к этой проблеме достаточно наглядно отражен в сопоставлении ГП золота и серебра, во многом определяющих геохимическую специализацию региона. Традиционно золото связывают с Яно-Колымской металлогенической провинцией, а серебро – с ОЧВП, но при сопоставлении структур региональных ГП напрашивается другой вывод.

Геохимическое поле Au и Ag Колымского региона является фрагментом Яно-Колымской золотоносной провинции. Оба элемента образуют ритмично-зональную структуру в пространственной связи со складчато-глыбовыми поднятиями в терригенном комплексе палеозоя – мезозоя, структурами ОЧВП и юрско-меловым интрузивным магматизмом (рис. 2).

По структурному признаку могут быть выделены два структурно-геохимических ансамбля – Колымский и Омолонский, отвечающих рангам рудной области и рудного (металлогенического)

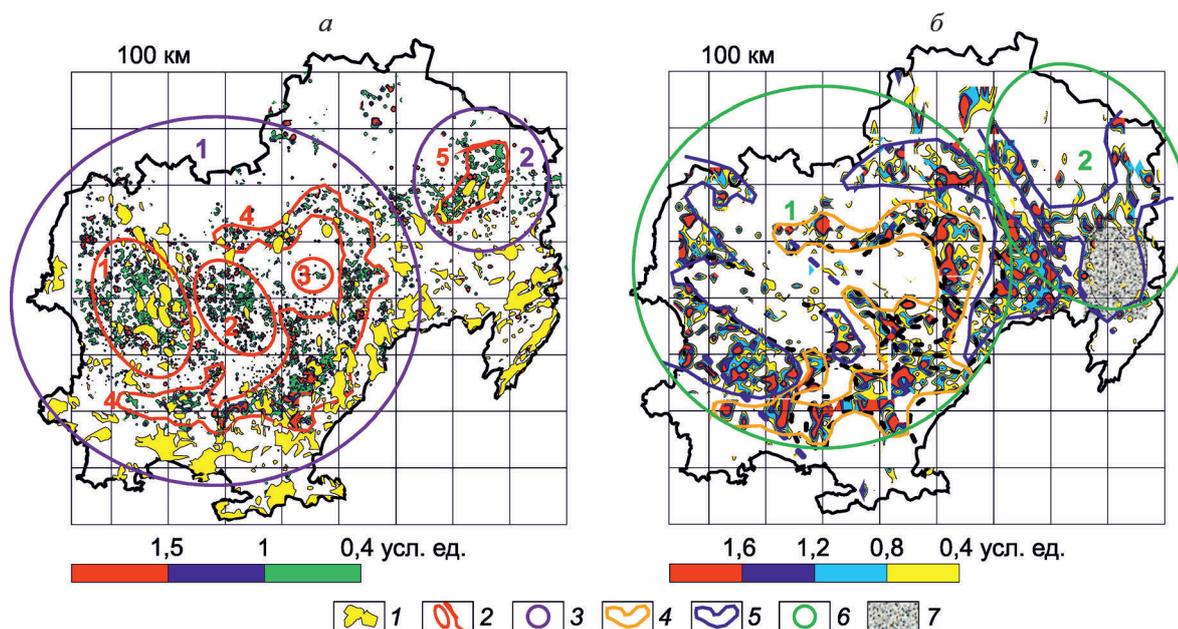


Рис. 2. Структуры ГП золота (а) и серебра (б) Колымского региона:

1 – магматические тела; 2 – аномалии геохимического поля Au (1 – Сусуман-Тенькинская, 2 – Центрально-Колымская, 3 – Буюндино-Балыгычанская, 4 – золотоносный пояс, 5 – Омолонская); 3 – структурно-геохимические ансамбли золота (1 – Колымский, 2 – Омолонский); 4 – пояс серебра, ассоциированного с золотом; 5 – пояс серебра в зональной связи с ГП золота; 6 – аномалии геохимического поля Ag (1 – Колымская, 2 – Омолонская); 7 – область экстраполяции ГП серебра

района соответственно. Границы раздела между ними совпадают с геологическими структурами, оконтуривающими крупные блоки земной коры [3]. Геохимическое поле Колымской рудной области имеет зонально-волновую структуру, в которой золотоносный пояс обрамляет цепочно-островное «золотое» ядро. В Омолонском рудном районе «золотое» ядро оконтурено «серебряной» фронтальной зоной с относительно малой долей золота. Морфоструктурный облик ГП золота и серебра позволяет отнести выделенные структурно-геохимические ансамбли к региональным аномалиям геохимического поля. В ядре Колымского ансамбля размещены компактные области повышенных концентраций золота – Сусуман-Тенькинская, Центрально-Колымская и Буюндино-Балыгычанская, окаймленные протяженным золотоносным поясом. Они трассируют палеозойско-мезозойский терригенный комплекс пород и корреспондируют с его генерализованным структурно-тектоническим каркасом и структурами ОЧВП.

Наиболее крупное локальное скопление оролов золота приурочено к Сусуман-Тенькинскому

рудному району, к сочленению Инъяли-Дебинского синклиория и Аян-Юрхского антиклиория. Его площадь составляет ~30 000 км<sup>2</sup>. Здесь добыто ~1500 т россыпного золота, разведано ~2500 т коренного. Учитывая количество добытого россыпного золота, можно полагать, что остаточные ресурсы в коренном залегании составляют не менее 50% от их общего количества. Следовательно, удельная продуктивность может составить 180 кг/км<sup>2</sup>, а общее количество в коренном залегании ~8500 т золота (сюда не входит золото в пределах ОЧВП и Омолонского рудного района). Открытия последних лет указывают на реалистичность данной цифры (Наталка, Дегдекан, Павлик, Чай-Юрья и др.). Приведенный расчет приблизительно характеризует реальную действительность, но объективно ориентирует в масштабности явления.

К востоку от Сусуман-Тенькинского рудного района на западном крыле Буюндино-Балыгычанского антиклиория находится Центрально-Колымский площадью ~20 000 км<sup>2</sup>. На восточном крыле антиклиория расположена одноименная область площадью ~5000 км<sup>2</sup>. В пределах ан-

тиклинория широко развиты дайки разнообразного состава, предполагается глубинное магматическое основание. К Сусуман-Тенькинской и Центрально-Колымской областям относятся металлогенические объекты в ранге рудного района, Буюндино-Балыгычанской – в ранге рудного узла. Подавляющее большинство россыпных и коренных месторождений, а также проявлений золота на Колыме расположено на площади этих геохимических аномалий.

Значительная часть «серебряного» пояса накладывается на геологические структуры ОЧВП, но выходит из него и на трети своего протяжения размещается в породах протерозойско-мезозойского комплекса, занимая секующее положение относительно геологических структур. Пояс протягивается почти на 1000 км при ширине от 30 до 100 км; его площадь составляет ~40 000 км<sup>2</sup>. К восточному флангу Колымского ансамбля примыкает Омолонский структурно-геохимический ансамбль, в котором ГП золота площадью ~15 000 км<sup>2</sup> располагается в ядре кольцевой структуры, обрамленном ареалами серебра.

Пространственное размещение крупных структурных элементов региональных ГП золота и серебра во многом не соответствует традиционному металлогеническому районированию, но коррелирует выходам на поверхность магматических тел как в терригенном комплексе, так и в связи с ОЧВП. Тренд относительной продуктивности ГП золота в терригенном комплексе свидетельствует о снижении ее с запада на восток и достижении минимума в связи с Буюндино-Балыгычанским рудным узлом. Омолонский ансамбль не оконтурен в северном и восточном направлениях, и судить о закономерностях его геохимического строения не представляется возможным.

«Золото-серебряный пояс» обрамляет Колымский структурно-геохимический ансамбль на 3/4 его периметра. Потoki серебра накладываются на структурно-вещественные комплексы всех традиционных металлогенических конструкций. Глубокое проникновение потоков серебра в протерозойско-мезозойский комплекс по тектоническим структурам субмеридионального и северо-западного простирания подчеркивает план проницаемых тектонических структур в период становления регионального геохимического поля серебра. Следует отметить, что исторически сложившееся мнение о генетической

связи серебра с ОЧВП, а золота с мезозойской активизацией в терригенном комплексе является не столь очевидным. Золото и серебро образуют зонально-волновую структуру в связи с энергетическими центрами, расположенными в ядрах ансамблей и магматическом основании ОЧВП. Такая трактовка структуры регионального ГП поддерживает идею «плюмов» [4] и причинно-следственный вывод о концентрическом строении региональных ГП относительно энергетических центров. Таким образом, структурное сходство крупномасштабных и региональных ГП свидетельствует о едином механизме ореолообразования (рудообразования) в рамках единого металлогенического цикла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григоров С.А. Нелинейная структура геохимического поля рудообразующей системы // Разведка и охрана недр. 2013. № 8. С. 50–54.
2. Григоров С.А. Нелинейная структура геохимического поля рудообразующей системы (структурная геохимия). – М.: ИМГРЭ, 2015.
3. Тектоническая карта и карта полезных ископаемых Охотско-Колымского региона. М-б 1:500 000 / Н.Г.Маннафов, С.Д.Вознесенский, В.А.Огородов и др. – Магадан, 1999.
4. Morgan W. J. Convection plumes in the lower mantle // Nature. 1971. 230 (5288). P. 42–43.

Григоров Сергей Александрович,  
кандидат геолого-минералогических наук  
grigorovrim@mail.ru

#### GEOCHEMICAL STRUCTURE OF THE KOLYMA GOLD FIELD

S.A.Grigorov

*The self-organizing halo- and ore-forming processes are formed in the energy field superimposed on the geological substrate, which is the prime cause of metallogenic taxons formation. From this point of view, geochemical fields as a leading indicator of metallogenic formation could be named as the most important information basis. The structure of the spatial distribution of gold and silver on a regional scale allows to evaluate placement of ore districts in the Kolyma region and rank them by relative prospects.*

*Key words: Kolyma, gold, silver, metallogeny, self-organization, translocation of energy and masses, the structure of the geochemical field, ranking metallogenic formations.*

## ТИПЫ ХРОМОВОРУДНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ В АЛЬПИНОТИПНЫХ МАССИВАХ УРАЛА

В.И.Николаев,  
А.В.Руднев

ФГУП Всероссийский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского,  
г. Москва

*На основе материалов по геологическому строению и хромитонности альпинотипных массивов Урала выделены и охарактеризованы типы хромоворудных концентраций. Для каждого типа приведены его структурное положение, размеры месторождений, состав рудного хромшпинелида и его зависимость от вмещающих пород.*

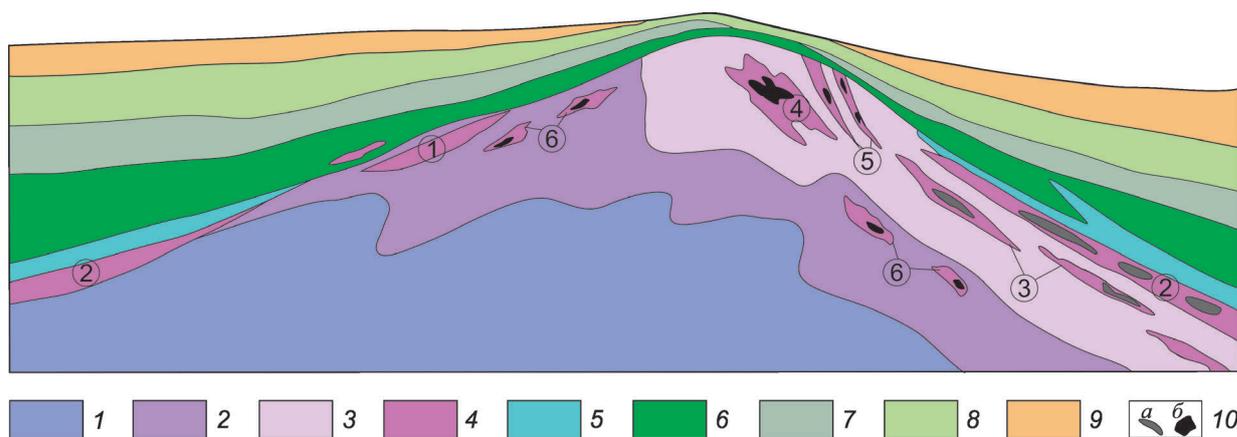
*Ключевые слова: хромовое оруденение, альпинотипный массив, дуниты, гарцбургиты, структурно-вещественный комплекс.*

Освоение хромитовых месторождений в альпинотипных массивах Урала имеет длительную историю. В предвоенные годы XX в. основные исследования были проведены на гипербазитовых массивах Южного Урала: Халиловском, Верблюжьегорском, Хабарнинском, наиболее объемные – на открытых в 1935 г. уникальных месторождениях Кемпирсайского массива. С разной детальностью изучены морфология и размеры рудных тел, состав руд, намечены закономерности размещения оруденения по площади и в разрезе массивов [12]. В этот период особенности состава хромовых руд объяснялись положением месторождений в выделенных условных горизонтах массива: первый – в зоне сопряжения троктолитов и порфиридных гарцбургитов в юго-западной части массива; второй – в северной части в директивных гарцбургитах с незначительными дунитовыми обособлениями; третий – в юго-восточной части в гарцбургитах с максимальным развитием дунитов.

Исследователи 60-х годов связывали изменение состава рудного хромшпинелида различных месторождений не только с положением в упомянутых горизонтах, но и с петрографическим составом пород – повышением их глиноземистости (нарастанием во вмещающих петрографических комплексах содержания  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) [6]. В

результате значительных картировочных, поисковых и сопровождающих их исследовательских работ на хорошо обнаженных массивах Полярного Урала (Рай-Из, Войкаро-Сыньинский, Сьум-Кей) в составе пород альпинотипных массивов по степени деплетирования и насыщенности линзо-, жилообразными телами дунитов выделены структурно-вещественные комплексы (СВК), с каждым из которых связан определенный тип хромового оруденения [7]. Ниже приведены закономерности распространения СВК, характеристики различных типов хромового оруденения, установлены возможные масштабы месторождений хромовых руд в каждом из СВК.

Размещение хромового оруденения в альпинотипных массивах тесно связано с их структурой и распределением фаций перидотитов. Анализ структур хромитонных массивов, особенно крупных, в которых наиболее полно сохраняются элементы первичного строения, показывает, что они образовались в антиформных поднятиях океанического ложа. В обобщенном разрезе центральная часть такой конструкции сложена различными фациями мантийных перидотитов, краевые части – полосчатым дунит-верлит-клинопироксенитовым комплексом и коровыми габброидами (рис. 1). В некоторых случаях в окружении перидотитов выше габброидов остались



**Рис. 1. Принципиальная схема размещения хромового оруденения в обобщенном разрезе альпинотипного массива:**

1 – лерцолиты; 2 – неистощенные габцбургиты; 3 – истощенные габцбургиты; 4 – хромитонесущие дуниты (цифры в кружках: 1 – на контакте габбро и перидотитов или в основании габбро, 2 – дунит-верлит-клинопироксенитового комплекса, 3 – близкраевые, 4 – крупные тела дунитов дунит-габцбургитового комплекса, 5 – полосчатого комплекса, 6 – габцбургитового комплекса); 5 – дунит-верлит-клинопироксенитовый комплекс; 6 – габбро, габбронориты, оливиновое габбро, анортозиты; 7 – комплекс диабазовых даек; 8 – андезиты, базальты; 9 – эффузивно-осадочный комплекс; 10 – залежи хромовых руд (а – бедных, б – богатых)

фрагменты комплекса параллельных даек и эффузивно-осадочные отложения верхних частей офиолитового разреза. В составе мантийных перидотитов альпинотипных массивов Урала отмечаются следующие разновидности: плагиоклазовые и шпинеливые лерцолиты, истощенные и неистощенные габцбургиты (граница между ними проводится примерно по 20-процентному содержанию ортопироксена), дуниты, верлиты, пироксениты. В распределении фаций перидотитов в массивах со сложным составом СВК наблюдается вполне определенная закономерность – степень деплетирования перидотитов и объемы эпигенетических дунитов увеличиваются к краевым частям массивов [10]. По интенсивности проявления деплетирования и развития эпигенетических дунитов, образующих жильные, линзовидные и штокообразные тела среди перидотитов, в металлогении хрома выделяются лерцолитовый, габцбургитовый, дунит-габцбургитовый (ДГ), дунит-верлит-клинопироксенитовый (ДВК) с так называемыми краевыми дунитами в основании [7, 9] структурно-вещественные комплексы.

В составе ДГ комплекса в зависимости от насыщенности мелкими обособлениями эпигенетических дунитов выделяются габцбургиты с содержанием дунитовой составляющей 10, 10–30,

30–70 и >70%. Количество и размеры тел дунитов различной морфологии возрастают от первого из перечисленных СВК к последнему. Во многих массивах объемы краевых дунитов огромны, и они являются наиболее вероятной причиной возникновения ДВК комплекса [1]. Их внедрение и взаимодействие с перекрывающими габброидами приводит к образованию полосчатого комплекса, похожего по строению на разрезы стратиформных массивов и краевых частей платиноносных массивов Урал-Аляскинского типа. Однако в отличие от них формирование разреза ДВК комплекса происходит в неспокойной обстановке тектонической зоны кора – мантия. Тектонические подвижки по границе Мохо подтверждаются наличием элементов изоклинальной складчатости в породах полосчатого комплекса.

Распределение СВК в массивах может быть симметричным или асимметричным. Примеры асимметричного строения: Сыум-Кеу на Полярном Урале, Нурали на Южном Урале, Ключевской в Свердловской области. У первых двух массивов центральную и западную части слагают лерцолиты и неистощенные габцбургиты, восточную – в виде узкой полосы истощенные габцбургиты с линзовидными телами дунитов, полосчатые ДВК комплексы, габбро и габброамфиболиты. В мас-

сиве Сыум-Кеу (рис. 2) при эксгумации по западному и южному краям перидотитов сохранились небольшие блоки метаморфизованных габброидов, непосредственно контактирующих с гарцбурггитами. По восточному краю гарцбурггитового ядра массива между ним и развитыми восточнее габбро и габброамфиболитами размещается ДВК комплекс. Сложную косую асимметрию имеет Ключевской массив (рис. 3), на юге которого широко развиты краевые дуниты, сменяющиеся юго-западнее верлитами, пироксенитами и габброидами. Центральную часть массива слагают неистощенные гарцбурггиты, переходящие на северо-востоке в истощенные. Последние с северо-востока обрамлены небольшими останцами габброидов. Каплевидная форма массива, его расширение на юге и внедрение здесь громадного объема хромитонесных дунитов, возможно, объясняется влиянием трансформного разлома на рифтовую структуру, в которой образовался массив.

Относительную симметрию строения антиформы демонстрируют отдельные блоки Войкаро-Сыньинского массива – Лагортинский, Погурейский, Лаптапайский, в краевых частях которых с запада и востока от их центральных частей, сложенных гарцбурггитами, последовательно размещаются краевые дуниты, переходящие в верлит-клинопироксенитовый комплекс и габброиды, в разной степени метаморфизованные по восточному и западному краям массива. Симметричное строение блоков подчеркивается однотипной последовательностью пород в ДВК комплексе, обращенной по восточному краю блоков на восток, по западному на запад (рис. 4).

В альпинотипных массивах дуниты и хромовые руды (по запасам-ресурсам месторождения хромовых руд можно подразделить на уникальные >100, крупные >10, средние 1–10, мелкие <1 млн т, рудопроявления в несколько тонн) образуют устойчивую, генетически единую дунит-хромитовую ассоциацию. Встречаемые в публикациях сведения о локализации хромитов в гарцбурггитах, редко в габброноритах грешат неточностью, так как при этом авторы опускают наличие пусть и небольшой оторочки дунитов вокруг рудного тела.

Дуниты среди вмещающих перидотитов формируют субсогласные и несогласные тела по отношению к метаморфическим текстурам перидотитов. Даже в тех случаях, когда они образуют

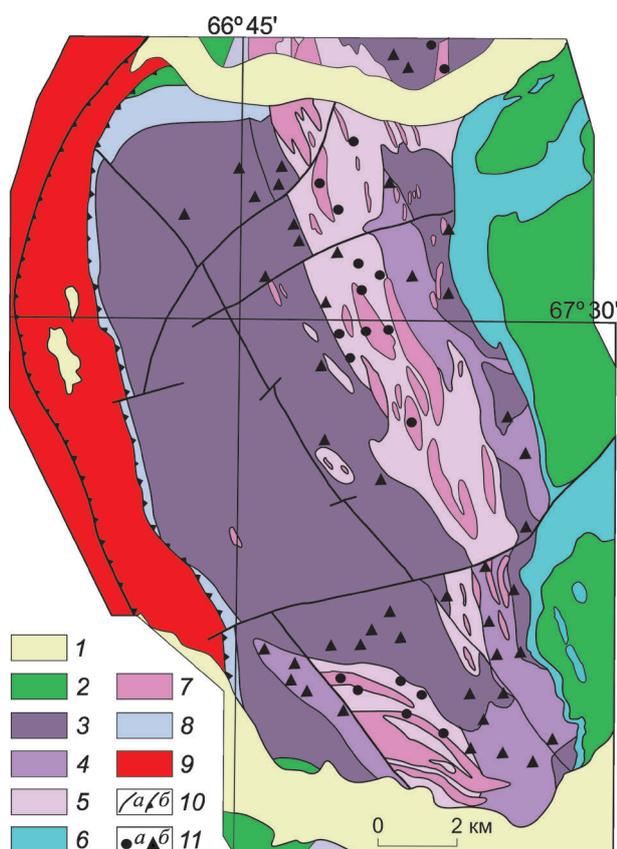
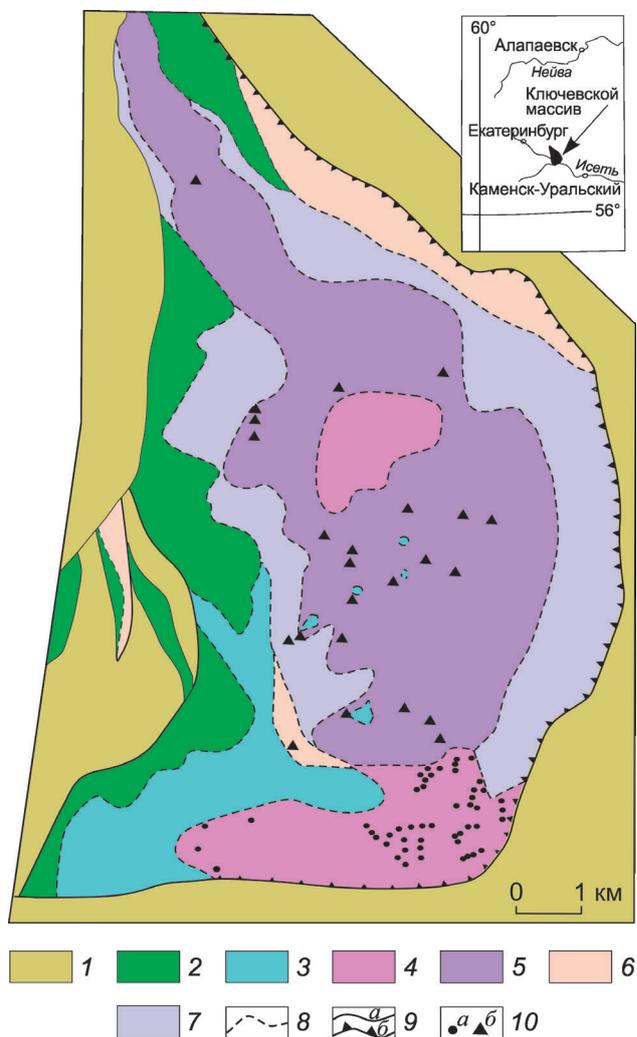


Рис. 2. Схематическая геологическая карта массива Сыум-Кеу (И.И. Попов, 2007 г.):

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – габбро, габброамфиболиты; гарцбурггитовый комплекс: 3 – гарцбурггиты с 20–35% пироксена, с мелкими жильными и шлировыми выделениями дунитов до 10%, 4 – гарцбурггиты с 20–35% пироксена, с мелкими жильными и шлировыми выделениями дунитов >10%; 5 – дунит-гарцбурггитовый комплекс – гарцбурггиты с 10–20% пироксена с мелкими и крупными линзовидными телами дунитов; 6 – дунит-верлит-клинопироксенитовый комплекс; 7 – дуниты; 8 – серпентиниты; 9 – протерозойские метаморфические комплексы; 10 – разрывные нарушения (а – разломы, б – надвиги); 11 – рудопроявления хромовых руд с высокохромистыми рудами (а), глиноземистыми рудами (б)

в гарцбурггитах так называемый полосчатый комплекс, апофизы «прослоев» дунитов в прослоях гарцбурггитов указывают на их эпигенетический характер по отношению к гарцбурггитам [4]. Размеры дунитов в перидотитах альпинотипных массивов изменяются от незначительных по величине линз, прожилков и жильно-сетчатых образо-



**Рис. 3. Схематическая геологическая карта Ключевского массива (И.С.Понамарев 1970 г.):**

1 – эффузивно-осадочные отложения позднего ордовика – раннего силура; габбро и гипербазиты среднего – позднего ордовика; 2 – габбро; 3 – дунит-верлит-клинопироксенитовый комплекс; 4 – дуниты (краевые) ДВК комплекса; 5 – гарцбургиты с мелкими телами дунитов; 6 – тальк-карбонатные породы по гарцбургитам; 7 – серпентиниты по перидотитам не установленного состава; 8 – геологические границы; 9 – разрывные нарушения (а), зона надвига (б); 10 – рудопроявления хромовых руд с высокохромистыми рудами повышенной железистости в дунитах ДВК комплекса (а), рудами глиноземистыми низкохромистыми в гарцбургитах центральной части массива (б)

ваний до крупных тел линзовидной, пластообразной, штокообразной или сложной формы, мощностью до нескольких сотен метров и протяженностью до 1,5 км. Крупные тела, как правило, сопровождаются ореолом жильных и жильно-штокверковых дунитов, количество которых возрастает по направлению к ним. Они не имеют ясно выраженного локального контроля и в целом в своей ориентации подчиняются метаморфической структуре перидотитов и тектонической границе кора – мантия.

Большой объем исследований, проведенных на хромитовых месторождениях Кемпирсайского массива (Казахстан) и массива Рай-Из по сопоставлению разрывной и трещинной тектоники с ориентацией тел хромитоносных дунитов и элементов морфологии рудных тел, показал, что размещение дунитов и хромитов не подчиняется разрывной тектонике и установленные в перидотитах нарушения носят наложенный пострудный характер [8].

В обобщенном разрезе альпинотипного массива (см. рис. 1) выделяются шесть наиболее распространенных структурных позиций дунит-хромитовой ассоциации:

- 1) дуниты с глиноземистыми рудами в основании габброидов на контакте с перидотитами;
- 2) краевые дуниты ДВК комплекса с бедными высокохромистыми рудами;
- 3) близкраевые дуниты ДГ комплекса также в основном с бедными высокохромистыми рудами;
- 4) крупные субизометричные дунитовые тела с жильными апофизами и сопровождающими их линзообразными телами дунитов ДГ комплекса с богатыми и бедными высокохромистыми рудами в краевой части массивов;
- 5) дуниты полосчатого ДГ комплекса в краевой и центральной частях массивов со средними и богатыми по содержанию  $Cr_2O_3$  высокохромистыми рудами;
- 6) дуниты гарцбургитового СВК с глиноземистыми, преимущественно средними по содержанию  $Cr_2O_3$ , рудами с тенденцией к локализации в краевой части массивов.

В каждой структурной позиции хромитоносные дуниты содержат оруденение, обладающее своими особенностями морфологии рудных тел, структурой и текстурой руд, масштабами рудных концентраций. Деление хромовых руд на высокохромистые и глиноземистые проводится по

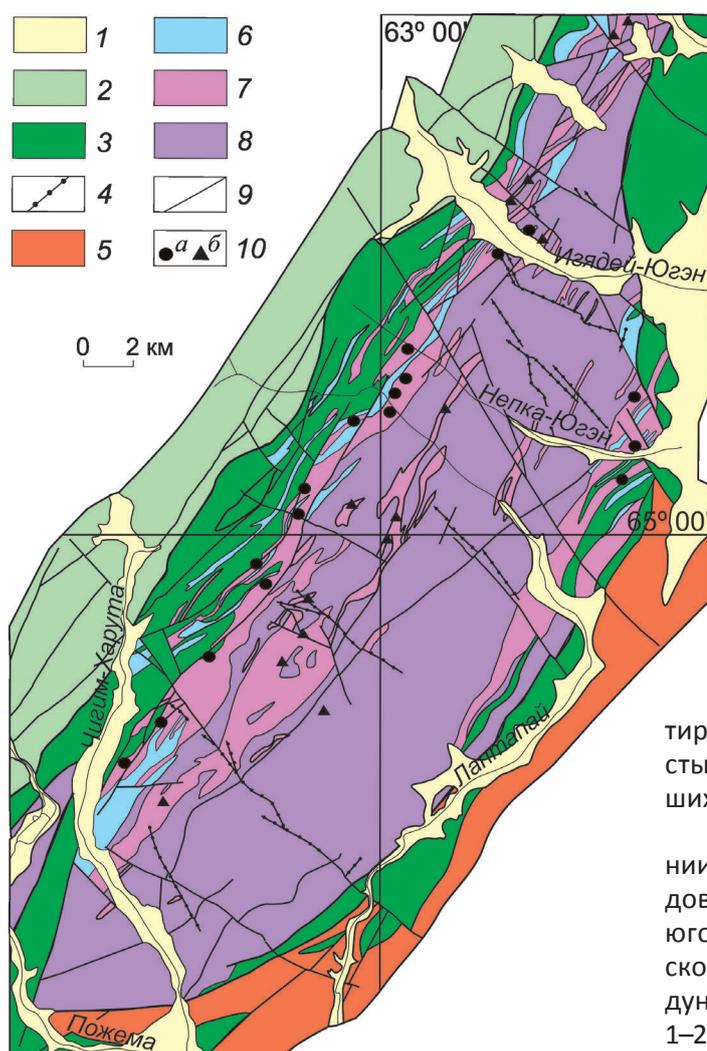


Рис. 4. Схематическая геологическая карта Лаптайского блока Войкаро-Сыньинского массива (А.А.Савельев, Г.Н.Савельева, 1971 г.):

1 – четвертичные отложения; 2 – эффузивно-осадочные отложения ордовика; офиолитовый комплекс позднего ордовика – раннего силура; 3 – габбро, габброамфиболиты; 4 – дайки диабазов; 5 – плагиограниты, кварцевые диориты; 6 – дуниты, верлиты, клинопироксениты; 7 – дуниты; 8 – гарцбургиты, войкариты; 9 – разрывные нарушения; 10 – рудопроявления хромитов в дунитах ДВК комплекса (а), близкромитов в дунитах (б)

составу рудного неметаморфизованного хромшпинелида: в высокохромистых рудах он содержит  $>52-55 \text{ Cr}_2\text{O}_3$  и  $<12\% \text{ Al}_2\text{O}_3$ , в глиноземистых –  $<48 \text{ Cr}_2\text{O}_3$  и  $>18-23\% \text{ Al}_2\text{O}_3$ . По содержанию  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  руды ориентировочно подразделяются на богатые ( $>40\%$ ), средние (25–40%), бедные (10–25%), очень бедные (убогие) ( $<10\%$ ). На конкретном месторождении подразделение может производиться в других границах. Дуниты перечисленных структурных позиций близки по геохимическим характеристикам [2]. Нигде не отмечаются случаи пересечения одних дунитов другими, а сближенность в пространстве рудных объектов различных структурных обстановок позволяет предполагать одноэтапность их образования. Наблюдаемое на месторождениях Кемпирсайского массива пересечение руд одного типа другим, а также внутрирудные жильные дуниты интерпре-

тированы как связанные с проникновением в застывшие участки рудоотложения еще не застывших порций дунит-хромитового расплава [6].

Наличие хромитонесных дунитов в основании габброидов на контакте с перидотитами – довольно редкое явление. Они установлены в юго-западной части южного блока Кемпирсайского массива. Здесь мелкие линзовидные тела дунитов содержат рудные тела мощностью до 1–2 м в виде шлиров и линз длиной метры – первые десятки метров. Состав рудного хромшпинелида отличается низким содержанием (30–35%)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и высоким (32–33%)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [3].

Краевые дуниты ДВК комплекса чрезвычайно широко развиты в альпинотипных массивах. Из 40 массивов, вошедших в Реестр хромитопроявлений в альпинотипных ультрабазитах Урала [9], в 15 установлены краевые дуниты, в девяти – месторождения и многочисленные рудопроявления хромовых руд. В разрезе альпинотипных массивов они всегда залегают на гарцбургитах и через линзовидное переслаивание с верлитами, пироксенитами, габброноритами сменяются вышележащим габбро. Жильные апофизы краевых дунитов проникают в подстилающие гарцбургиты, что, вместе с хромитонесностью, говорит об их эпигенетическом характере по отношению к последним. Объемы дунитов часто весьма значительны. Суммарная их протяженность по западному краю Войкаро-Сыньинского массива

на Полярном Урале составляет 70 км при ширине выхода 300–700 м, по восточному – 55 км при ширине выхода десятки – первые сотни метров. Протяженность дунитов Ключевского массива 5 км, мощность 1,2–1,5 км (см. рис. 3). Без изменения мощности они прослежены бурением до глубины 300 м. Площадь пород ДВК комплекса Хабарнинского массива 90 км<sup>2</sup>, из них на краевые дуниты приходится ~50%. В редких случаях краевые дуниты и образуемый ими ДВК комплекс, в виде апофиз от основной полосы их распространения, проникают по ослабленным зонам в перекрывающие габбро. Такая ситуация наблюдается по западному краю Лаптапайского блока Войкаро-Сыньинского массива (см. рис. 4).

Проявления хромовых руд в краевых дунитах достаточно многочисленны: на Полярном Урале в массивах Сыум-Кеу, Войкаро-Сыньинском, Олыся-Мусюрском, на Среднем – в Устейском, Алапаевском, Верхне-Тагильском, Верх-Нейвинском, Ключевском, на Южном – в Хабарнинском, Среднем Крака. Для краевых дунитов характерна неравномерная повышенная (2–5%) вкрапленность акцессорной хромшпинели; на этом фоне отмечаются рудоносные зоны, в которых ее содержание достигает 30–40% и более. Протяженность данных зон может достигать первых километров, ширина и длина по падению составляет первые сотни метров. В них может содержаться до 10–12 рудных тел с редковкрапленными рудами, внутри которых выделяются линзы и полосы средне-густовкрапленных. Редковкрапленные руды мелко-тонкозернистой структуры, густовкрапленные – средневкрапленной, изредка встречаются руды нодулярной структуры. Руды имеют струйчато-полосчатое, шлирово-полосчатое строение. В пределах рудных зон рудные тела образуют неравномерно распределенные эшелонированные и кулисообразные скопления. Длина рудных тел при мощности 0,5–3,0 м достигает десятков – первых сотен метров. Их внутреннее строение представляет собой чередование тонких линз с элементами косякой слоистости. Содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в рудах 6–25%, в линзах – шлирах густовкрапленных до 45–49%. Состав рудной шпинели изменяется в пределах, %: Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 52–63; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7–9,5; FeO<sub>общ</sub> 22–24. Запасы хромовых руд немногочисленных изученных месторождений краевых дунитов первые десятки – сотни тысяч тонн с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 17–21%. Ресурсы одного из месторождений Ха-

барнинского массива оценены в 600 тыс. т (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 17%). Ресурсы убогих руд в краевых дунитах Ключевского массива с содержанием 8–9% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 40 млн т.

Под термином близкраевые понимаются протяженные полосовидные и линзовидные тела хромитоносных дунитов, располагающиеся в краевой части массивов субпараллельно контактам гипербазитов с габброидным комплексом. Происходит как бы смещение ослабленной тектонической зоны от границы Мохо внутрь перидотитов, и вместо краевых дунитов формируется полоса близкраевых с похожим хромовым оруденением. В подавляющем числе случаев близкраевые дуниты размещаются в гарцбургитах с дунитовой составляющей 10–30%. Запасы хромовых руд изученных месторождений в близкраевых дунитах, как и в краевых, десятки – первые сотни тысяч тонн с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11–15%. Ресурсы наиболее крупного месторождения Енгайское массива Рай-Из оценены в 700 тыс. т (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11%). Этот тип хромитоносных дунитов ярко проявился в массивах Полярного Урала (Сыум-Кеу, Рай-Из, Войкаро-Сыньинский) и практически отсутствует на Среднем и Южном Урале. Исключение составляет массив Средний Крака, где в его юго-западной части в основании ДВК комплекса залегает трудно разделяемая серия краевых и близкраевых дунитов с мелкими рудопроявлениями хромитов с убогими рудами.

Вдоль южного края массива Рай-Из близкраевые хромитоносные дуниты образуют рой крупных линз в восточной части полосы гарцбургитов шириной 4 км и протяженностью 12 км, вдоль западного края Войкаро-Сыньинского массива в Лаптапайском блоке – серию линзовидных тел в полосе шириной 4 км субпараллельно и вблизи краевых дунитов. Длина тел дунитов в обоих случаях изменяется в пределах (400–800)–1500 м, ширина (80–120)–300 м. В зависимости от их размера в рудных зонах размещается от 3 до 24 рудных тел. Протяженность рудных зон в дунитах массива Рай-Из достигает 500–700 м при ширине 80–250 м, в Лаптапайском блоке – 800–1500 м при ширине 80–150 м. Размеры, особенности строения рудных тел аналогичны рудным зонам в краевых дунитах. Рудный хромшпинелид близкраевых дунитов ДГ комплекса содержит, %: 50–59 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5,5–12,7 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Как и в краевых дунитах, в рудных объектах близкраевых дунитов преобладают бедные руды с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 7

до 18%. В редких случаях на мелких месторождениях содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  достигает 30%.

Самые крупные месторождения хромовых руд альпинотипных массивов Урала связаны с ДГ комплексом, с участками экстремального насыщения гарцбургитов эпигенетическими хромитоносными дунитами (дунитовая составляющая >70%). Рудовмещающие дуниты состоят не только из дунита, но и содержат до 30–40% линз, полос, участков, сложенных гарцбургитами, энстатовыми дунитами. На картах массивов и рудных полей они отображаются в виде сплошных серпентинизированных дунитов. На Урале подобные хромитоносные дуниты выявлены в массивах Рай-Из и Кемпирсайский. На последнем в его юго-восточном блоке субмеридионального простираения размером ~225 км<sup>2</sup>, ограниченном на юго-востоке контактом массива с вмещающими габброамфиболитами, на северо-западе дайкой габбродиабазов, установлены два крупных и серия мелких дунитовых тел. Крупные тела дунитов площадью 35 и 90 км<sup>2</sup> вмещают основные, уникальные в мировом масштабе, месторождения – семь крупных, 10 средних и большое количество мелких.

Месторождения Кемпирсайского массива представлены серией сближенных уплощенных и вытянутых рудных тел линзовидной формы со сложными окончаниями и изменяющейся мощностью по площади тела. Текстуры руд полосчатые, шлирово-полосчатые, равномерно-вкрапленные, пятнистые, брекчиевые с цементацией обломков одного текстурного типа руд другим. Структуры руд мелко-, средне-, крупнозернистые и нодулярные. Крупно- и грубозернистые руды обычно массивные, содержат линзы нодулярных. Встречаются смешанные структурно-текстурные разновидности.

Число рудных тел, составляющих отдельные месторождения, от нескольких до 99. Длина варьирует от нескольких десятков до 1500 м, мощность – от нескольких до 140 м. Среднее содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в рудах 37–48%, в сплошных и густовкрапленных 50–53%. Состав рудного хромшпинелида, %: 57,05–64,58  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 7,67–12,35  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 12,0–19,1  $\text{FeO}_{\text{общ}}$  [4].

Месторождение Центральное массива Рай-Из, локализованное в крутопадающем изометрическом теле дунитов площадью ~0,3 км<sup>2</sup> и его линзо- и полосовидных апофизах, содержит рудные тела двух типов [11]. В северо-западной ча-

сти дунитового блока развита рудоносная зона длиной 500 м, мощностью от 120 до 200 м. Она включает 20 рудных тел редко-средне-вкрапленных руд с участками густовкрапленных с прослоями и линзами пустых дунитов. Длина рудных тел от 11 до 93 м, протяженность по падению >200 м, средняя мощность 2 м. Руды имеют полосчатые и шлировидные текстуры.

Содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в рудах 6,21–37,17%, в среднем 21,63%. Шлировидный облик рудных тел, нерезкие их границы с вмещающими дунитами, преобладающие низкие содержания хрома сближают руды этой зоны с вышеописанными близкравевых дунитов, в полосе которых и находится месторождение.

В юго-восточной рудной зоне длиной 600 м, мощностью от первых метров на юге до 120 м на севере обнаружено 19 рудных тел длиной от первых до 300 м по простираению и до 360 м по падению (склонению). Мощность тел 0,5–39,5 м при средней 5,7 м. Их форма уплощенно-линзовидная, иногда причудливых очертаний как в плане, так и в разрезе. Крупные тела сопровождаются мелкими. Преобладают средне-густовкрапленные руды полосчатой и массивной текстуры. Содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в рудах 40,55–49,85%. В составе рудного хромшпинелида участвуют следующие основные компоненты, %: 58–62  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 8–13  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 12–18  $\text{FeO}_{\text{общ}}$ .

На Южном участке рассматриваемого месторождения в полосовидных и линзовидных телах дунитов выявлено 27 рудных тел, по морфологии и содержанию полезного компонента аналогичных юго-восточной рудной зоне. Основной дунитовый блок месторождения и тела рудовмещающих дунитов участка обрамлены гарцбургитами с возрастающей дунитовой составляющей от 10% в основном рудном поле до 50–70% в экзоконтакте рудовмещающих дунитов.

Несмотря на разницу в масштабах рудоносных дунитов, размерах рудных тел и особенностях геологического строения, месторождения Донского рудного поля Кемпирсайского массива и Центральное месторождение массива Рай-Из, несомненно, относятся к одному типу. В обоих массивах они располагаются в рудных полях, приближенных и субпараллельных контактам массивов с габброидами. Ориентация рудных зон и рудных тел имеет такое же направление. В обоих рудных полях в участках крупных дунитовых тел, наряду с богатыми рудами, встречаются

ся месторождения и рудные зоны, отвечающие по своим характеристикам рудным объектам в близкраевых дунитах. Это месторождение Геофизическое XII в Кемпирсайском массиве и северо-западная рудная зона месторождения Центральное в массиве Рай-Из. Незначительно, в меньшую сторону, отличается и площадная продуктивность дунитов Центрального месторождения от дунитов Кемпирсайского массива.

На Южном Урале в нескольких гипербазитовых массивах развит комплекс жильных и пластообразных хромитоносных дунитов, образующих протяженные линзы и пластообразные субпараллельные тела среди истощенных гарцбургитов (пятая структурная позиция в данной классификации). Именно субпараллельное согласное с полосчатостью гарцбургитов расположение хромитоносных дунитов и определяет название этого типа хромового оруденения в полосчатом комплексе. Дуниты данного типа развиты на массивах Аккаргинский, Халиловский и Южный Крака. В один тип они объединяются на основании подобия морфологии дунитовых тел и характера их хромитоносности. Апофизы дунитов во вмещающие гарцбургиты, усложненные формы контактов на отдельных участках и хромитоносность однозначно свидетельствуют об их эпигенетичности по отношению к гарцбургитам. Протяженность дунитов от десятков до многих сотен метров, мощность от единиц до нескольких десятков метров. Хромитоносные дуниты среди гарцбургитов образуют серии сближенных пластообразных тел в зоне мощностью ~200 м в пределах Главного рудного поля Аккаргинского массива и рассредоточенные тела с расстоянием до 400–800 м между ними на Халиловском массиве.

Рудные тела в дунитах локализуются в виде единичных или сближенных тел длиной от 15–30 до 50–150 м. Серия сближенных узких лентообразных тел месторождения им. Менжинского в массиве Южный Крака протягивается на 700 м; мощность их 0,5–3,5, реже 5–12 м, по падению они прослежены до 90–100 м. Форма рудных тел жилообразная, четковидная, иногда столбовобразная и причудливых очертаний. Текстуры руд полосчатые, массивные, брекчиевые. По разности текстур руды Халиловского массива схожи с рудами месторождений Кемпирсайского. Преобладают средне-густовкрапленные руды с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  30–45%, в сплошных

рудах 50–60%. Состав рудной хромшпинели халиловских месторождений, %: 55–62  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 8,47–13,19  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 13–16  $\text{FeO}_{\text{общ}}$ .

Месторождения в основном мелкие с запасами единицы – десятки тысяч тонн. Однотипность строения мелких месторождений в пределах рудного поля Халиловского массива площадью 36 км<sup>2</sup> или в Главной рудной зоне Аккаргинского массива длиной 1,7 км позволяет рассматривать их как одно месторождение с суммарными ресурсами в обоих случаях в первые сотни тысяч тонн.

В гарцбургитовом СВК месторождения и проявления хромовых руд, как и в других структурных позициях, размещаются в верхней части гипербазитов на различном, но все же приближенном расстоянии к границе кора – мантия. Это особенно ярко проявляется на севере и в средней части Войкаро-Сыньинского массива, Алапаевском, Первомайском и Верблюжьегорском. Хромовое оруденение гарцбургитового СВК приурочено преимущественно к полям развития полосчатых гарцбургитов, но встречается и в массивных разностях. Рудные тела залегают в телах дунитов небольшого размера, чаще дуниты слагают маломощную оторочку рудных тел. Для последних характерны линзо-жилообразная, коротколинзовидная и трубообразная формы тел. Преобладают проявления и месторождения с единичными рудными телами размером по простиранию и падению первые десятки метров, мощностью от первых до 10–13 м. В редких случаях число сближенных рудных тел доходит до 5–6. Протяженность крупных рудных тел достигает 150 и даже 300 м, по падению они прослежены на глубину 50–70 м; их мощность 9–16 м. В составе руд доминируют массивные, изредка полосчатые, средне-крупнозернистые, иногда нодулярные, густовкрапленные разновидности. Контакты рудных тел обычно резкие.

В неметаморфизованных разностях рудный хромшпинелид содержит от 39 до 48%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , 20–26%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 14–17%  $\text{FeO}_{\text{общ}}$ . В рудах диапазон содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  16–45%, типичны значения 39–44%, исключительно редки 48% (в массивных рудах).

Руды с повышенной глиноземистостью и пониженной хромистостью – характерная особенность гарцбургитового СВК [5]. Однако они отмечаются на участках, где состав перидотитов изменяется от преобладающих истощенных гарцбургитов дунит-гарцбургитового СВК с много-

численными проявлениями высокохромистых руд к неистощенным гарцбургитам с редкими проявлениями глиноземистых руд. Такая ситуация наблюдается на Халиловском массиве, где основное рудное поле слагают породы дунит-гарцбургитового СВК с высокохромистыми рудами, а на южном фланге расположены немногочисленные рудные тела среди гарцбургитового СВК с глиноземистыми рудами. При этом ориентировка и размеры вмещающих дунитов не изменяются.

Анализ условий локализации месторождений хромовых руд позволяет сделать следующие выводы.

Масштаб месторождений хромитов и состав их руд тесно связаны с составом вмещающих пород и структурой альпинотипных массивов. Массивы образуются в антиформных поднятиях рифтовых структур океанической коры. Состав пород массивов и размещение внутри их месторождений хромитов контролируются специфической тектонической зоной по границе кора – мантия. Специфичность проявляется в том, что при отсутствии в зоне ее влияния разрывных нарушений здесь создаются условия для процессов деплетирования и инъекций в верхние части гипербазитов хромитоносных дунитов. Расположение месторождений хрома вдоль границы кора – мантия может говорить о влиянии мощности коровых образований на локализацию хромитов.

Хромовые руды формируют в альпинотипных массивах устойчивую дунит-хромитовую ассоциацию. Хромитоносные дуниты, являясь интрузивными телами по отношению к вмещающим перидотитам, наблюдаются в виде жил, линз, штоков; внедрение их по границе кора – мантия приводит к возникновению ДВК комплекса. Интрузивный характер краевых дунитов, в первую очередь, подчеркивается их хромитоносностью.

Хромитоносные дуниты входят в состав трех основных СВК: гарцбургитового с неистощенными гарцбургитами, дунит-гарцбургитового с истощенными гарцбургитами и дунит-верлит-клинопироксенитового. Рудным объектам каждого СВК свойственны свои максимальные размеры месторождений, особенности строения рудных тел, преобладающие структуры и текстуры руд, состав рудного хромшпинелида. Постоянно высокохромистый низкоглиноземистый состав руд-

ного хромшпинелида в крупных массах дунитов (в краевых дунитах или в крупных телах дунитов Кемпирсайского и Рай-Изского массивов) и низкохромистый повышенной глиноземистости среди неистощенных гарцбургитов и габброидов позволяет предполагать, что изменение состава хромовой шпинели происходит в процессе движения хромит-дунитового расплава и реакционного взаимодействия его с вмещающими породами. Об этом свидетельствуют такие факты: при сближенном положении рудных концентраций в дунит-гарцбургитовом и гарцбургитовом СВК руды в первом обладают низким содержанием глинозема и высоким во втором, что коррелирует с разным содержанием глинозема во вмещающих дунит-хромитовую ассоциацию породах.

При некоторой специфичности текстур и структур хромовых руд в различных СВК в каждом из них отмечаются нодулярные руды, что указывает на формирование дунит-хромитового расплава в магматической камере; особенности локализации хромитоносных дунитов говорят об их инъекционно-магматическом внедрении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Варлаков А.С.* Дунит-верлит-клинопироксенитовый комплекс офиолитов и его происхождение. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996.
2. *Лазько Е.Е.* Петрология, формационная принадлежность и критерии рудоносности ультрамафитов офиолитов (на примере Войкаро-Сыньинского массива на Полярном Урале) // Роль магматизма в эволюции литосферы. М., 1984. С. 3–80.
3. *Магматические горные породы. Ультраосновные породы* / Под ред. Е.Е.Лазько. – М.: Недра, 1988.
4. *Павлов Н.В., Григорьева И.И.* Рудные месторождения СССР. Т. 1. – М.: Недра, 1978.
5. *Павлов Н.В., Григорьева И.И., Гришина Н.В.* Образование и генетические типы хромитовых месторождений геосинклинальных областей // Условия образования магматических рудных месторождений. М., 1979.
6. *Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чупрынина И.И.* Хромиты Кемпирсайского плутона. – М.: Наука, 1968.
7. *Перевозчиков Б.В.* Особенности изучения хромитоносности альпинотипных гипербазитов. – М.: Геоинформмарк, 1998.

8. *Поиски, разведка и оценка хромитовых месторождений* / Под ред. Т.А.Смирновой, В.Н.Сегаловича. – М.: Недра, 1987.
9. *Реестр хромитопроявлений в альпинотипных ультрабазах Урала* / Б.В.Перевозчиков, Л.Д.Булыкин, И.И.Попов и др. – Пермь: КамНИИКИГС, 2000.
10. *Савельева Г.Н.* Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. – М.: Наука, 1987.
11. *Хромиты* массива Рай-Из на Полярном Урале (Россия) / Б.В.Перевозчиков, В.В.Кениг, А.А.Лукин и др. // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47. № 3. С. 230–248.
12. *Хромиты СССР. Т. I–II* / Под ред. А.Е.Ферсмана, Ф.Г.Бетехтина. – М.: Изд-во АН СССР, 1937.

*Николаев Владимир Иванович,*  
старший научный сотрудник  
vims\_Cr@mail.ru

*Руднев Алексей Вячеславович,*  
заместитель генерального директора  
vims\_Cr@mail.ru

## TYPES OF CHROMIUM CONCENTRATIONS AND PATTERNS OF THEIR DISTRIBUTION IN ALPINE-TYPE MASSIFS OF THE URALS

V.I.Nikolaev,  
A.V.Rudnev

*Based on materials describing the geological structure of chromite ores in Alpine-type massifs of the Urals, the types of chromium concentrations are characterized. For each type, its structural position, the size of the deposits, the composition of the ore chrome spinel and its dependence on host rocks is given.*

*Key words: chrome mineralization, Alpine-type massif, dunites, harzburgites, structural-material complex.*

### ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ В ЖУРНАЛ «РУДЫ И МЕТАЛЛЫ»

1. Статьи направляются на e-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru.
2. К тексту прилагаются документы: письмо (разрешение на опубликование) руководителя учреждения, экспертное заключение о возможности публикации в открытой печати, сведения об авторе (авторах) – имя, отчество, фамилия, место работы, должность, ученая степень, ученое звание, телефон, e-mail. В конце статьи ставятся подписи всех авторов.
3. Обязательно наличие УДК, аннотации (5–7 предложений) и ключевых слов на русском и английском языках.
4. Максимальный объем статьи – 20 страниц в редакторе MS Word, включая таблицы, графику, список литературы. Таблицы и рисунки помещаются в отдельные файлы (их максимальный размер 23×16 см).
5. Для набора математических формул рекомендуется использовать MS Equation 3.0. Все используемые символы, сокращения и аббревиатуры необходимо расшифровать. Десятичный символ – запятая (0,47); между цифрами – тире без пробелов (5–10); кавычки – «елочки».
6. Иллюстративные материалы (не более 5–7) представляются в цветном или черно-белом варианте в одном из следующих форматов: CDR для векторной графики, JPG, BMP, TIFF для фотографий, диаграмма MS Excel. Подписи прилагаются на отдельной странице после списка литературы.
7. Список литературы приводится в конце статьи и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. Ссылки в тексте на источник даются соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. Неопубликованные работы в список не включаются, при необходимости на них делается ссылка в тексте, например (А.А.Иванов, Б.Б.Петров, 2003 г.).
8. Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или же намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.

## ПОКРОВСКО-ТРОИЦКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ: ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ, НИЖНЕЕ ПРИАМУРЬЕ

Ю.П.Юшманов

ФГБУН Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,  
г. Биробиджан

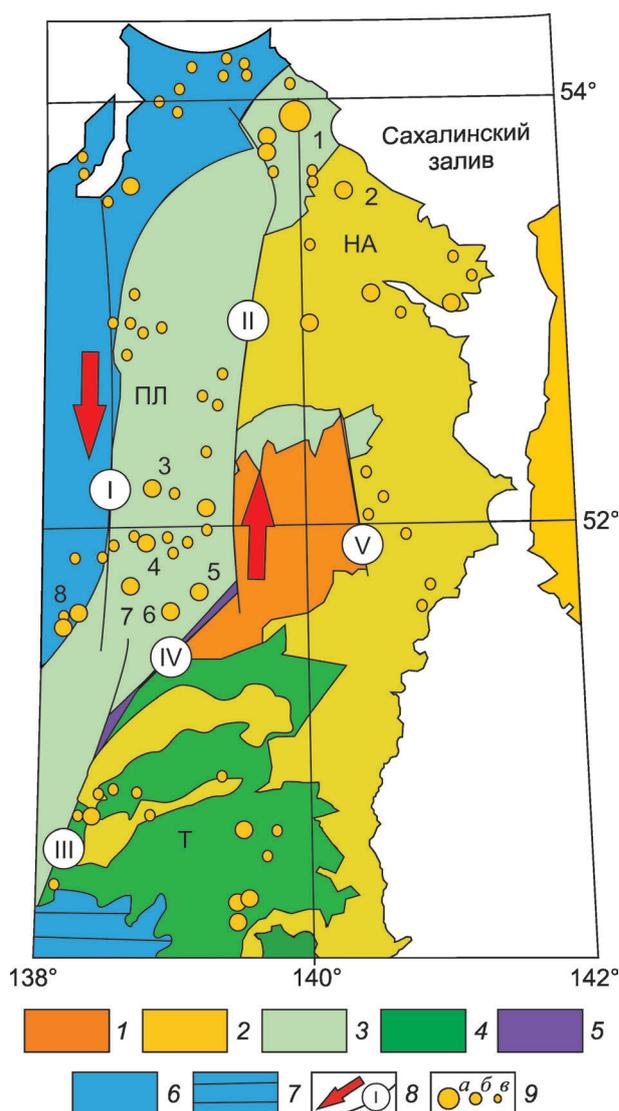
*Рассмотрены геологическое строение и структура Покровско-Троицкого рудного узла Пильда-Лимурийского рудного района на территории Нижнего Приамурья. Установлено, что золоторудную минерализацию контролирует северо-восточная зона вязкого сдвига, оперяющая региональный меридиональный Лимурчанский разлом. Золото-кварцевая жильная, штокверковая и прожилково-вкрапленная золото-сульфидная минерализация представляет практический интерес для поисков и разведки мелких богатых золотом жильных месторождений и большеобъемного штокверкового месторождения с рядовыми содержаниями золота.*

*Ключевые слова:* золото, зона вязкого сдвига, черные сланцы, штокверк, рудный узел, рудный столб, Нижнее Приамурье.

Покровско-Троицкий рудный узел расположен в Ульчинском районе Хабаровского края на водоразделе рек Бичи и Битки (верховья р. Малые Битки) в 110 км к северу от пристани Киселевка на левобережье р. Амур. Золотой промысел на его территории известен с 1912 г., за это время из россыпей добыто 15 т золота. Покровско-Троицкое золото-кварцевое месторождение было открыто в 1937 г., в 1941 г. началась его разведка, в следующем году – попутная добыча на участках с богатыми рудами. Из 135 выявленных кварцевых жил 42 разведывались штольнями и только из 12 добывалось золото. Основное его количество извлечено из жил 63 Троицкого участка и 4 Покровского. Быстрое истощение запасов богатых руд привело к закрытию рудников в 1958 г. Всего из кварцевых жил добыто 4,2 т рудного золота со средним содержанием ~40 г/т [9], причем тонкие прожилки и вкрапленные руды с более низкими содержаниями и извлечениями в отработку не вовлекались [10]. Слабая геологическая изученность территории, высокое качество руд, содержащих легко извлекаемое гравитационным

методом золото, и тесная связь с зонами штокверковой и золото-сульфидной прожилково-вкрапленной минерализации служат благоприятными признаками для обнаружения новых промышленных типов месторождений. Множество фактов доказывает, что мелкие и средние жильные месторождения золото-кварцевой формации – всего лишь сателлиты большеобъемных месторождений, относящихся к штокверковому морфологическому типу [11]. Поэтому весьма актуально изучение геолого-структурных особенностей Покровско-Троицкого рудного узла в целях его вовлечения в разведку и разработку.

Структурная позиция Покровско-Троицкого рудного узла определяется его приуроченностью к Джатко-Бичинскому северо-восточному разлому (СВ 30–50°), оперяющему Лимурчанский меридиональный сдвиг – региональную рудоконтролирующую структуру Пильда-Лимурийской золотоносной зоны [2, 16, 17]. По Лимурчанскому левому сдвигу Ульбанский юрский турбидитовый террейн и Журавлевско-Амурский террейн раннемелового турбидитового бассейна транс-



**Рис. 1. Тектоническая схема контроля золоторудных месторождений Нижнего Амура, по [4, 17]:**

1 – четвертичные континентальные отложения Удыль-Кизинской впадины; 2 – Восточно-Сихотэ-Алиньский вулканоплутонический пояс позднемеловой – неогеновый; террейны: 3 – Журавлевско-Амурский, 4 – Кемский, 5 – Киселевско-Маноминский, 6 – Ульбанский, 7 – Самаркинский; 8 – разломы и их номера (I – Лимурчанский, II – Приозерный, III – Утанский, IV – Центральный Сихотэ-Алиньский, V – Киселевский стрелки указывают направление сдвига); 9 – месторождения золота крупные (а), средние (б), рудопроявления (в) и их номера (1 – Многовершинное, 2 – Белая Гора, 3 – Покровско-Троицкое, 4 – Агние-Афанасьевское, 5 – Дяппе, 6 – Мартемьяновское, 7 – Учаминское, 8 – Делькен); рудные районы: ПЛ – Пильда-Лимурский, НА – Нижнеамурский, Т – Тумнинский

формной окраины смещены на амплитуду 200 км в виде S-образной магмо-рудовмещающей флексуры (рис. 1).

Площадь рудного узла сложена нижнемеловыми песчано-глинистыми отложениями преимущественно песчаниковой горинской свиты и углеродсодержащими флишоидами пионерской свиты, смятыми в складки северо-восточного простирания, осложняющие ядро крупной антиклинали [2, 9]. Они прорваны позднемеловыми интрузивами умеренно кислых и существенно натровых тоналитов и гранодиоритов нижнеамурской серии, а также многочисленными дайками гранодиоритов, гранодиорит-порфиров, гранитов, аплитов, пегматитов, микродиоритов, андезитов и дацитов позднемелового и палеоценового возрастов (рис. 2). Наиболее крупный интрузив г. Сахарная Голова (площадь >10 км<sup>2</sup>) сложен тоналитами [6]. На его небольшой эрозионный срез указывает сохранившийся останец кровли. По соседству в верховьях ключа Покровский располагается одноименный гранодиоритовый массив (площадь 8 км<sup>2</sup>). Контакты интрузивов с роговиками резкие, без признаков ассимиляции.

Джатко-Бичинская сдвиговая зона контролирует интрузии, дайки и продуктивную золото-кварцевую минерализацию. Она характеризуется отсутствием единой плоскости разлома, вместо которой наблюдаются многочисленные параллельные сколы межпластового скольжения на границе пород разной компетентности. Интрузивные массивы слегка вытянуты в меридиональном направлении, образуя правоступенчатый кулисный ряд. Кулисы – это присдвиговые раздвиги (pull apart). Амплитуда левого сдвига, судя по мощности внедрившихся интрузивных тел, ~5 км. Сдвиги сопровождаются складками волочения с крутонаклонными шарнирами, к которым часто приурочены золотоносные кварцевые жилы и прожилки. В углеродсодержащих флишоидах пионерской свиты, вовлеченных в деформацию вязкого сдвига, расположены все продуктивные золото-кварцевые жилы, золото-сульфидная минерализация и россыпи. Еще в начале прошлого века золотоискатели руководствовались правилом – искать золото по долинам там, где они пересекаются черными «мартемьяновскими» сланцами (пионерская свита в нашем понимании) или ниже, и признавать малоперспективными участки, лежащие выше выходящих сланцев, а также долины, в которых сланцы не выходят [1]. По

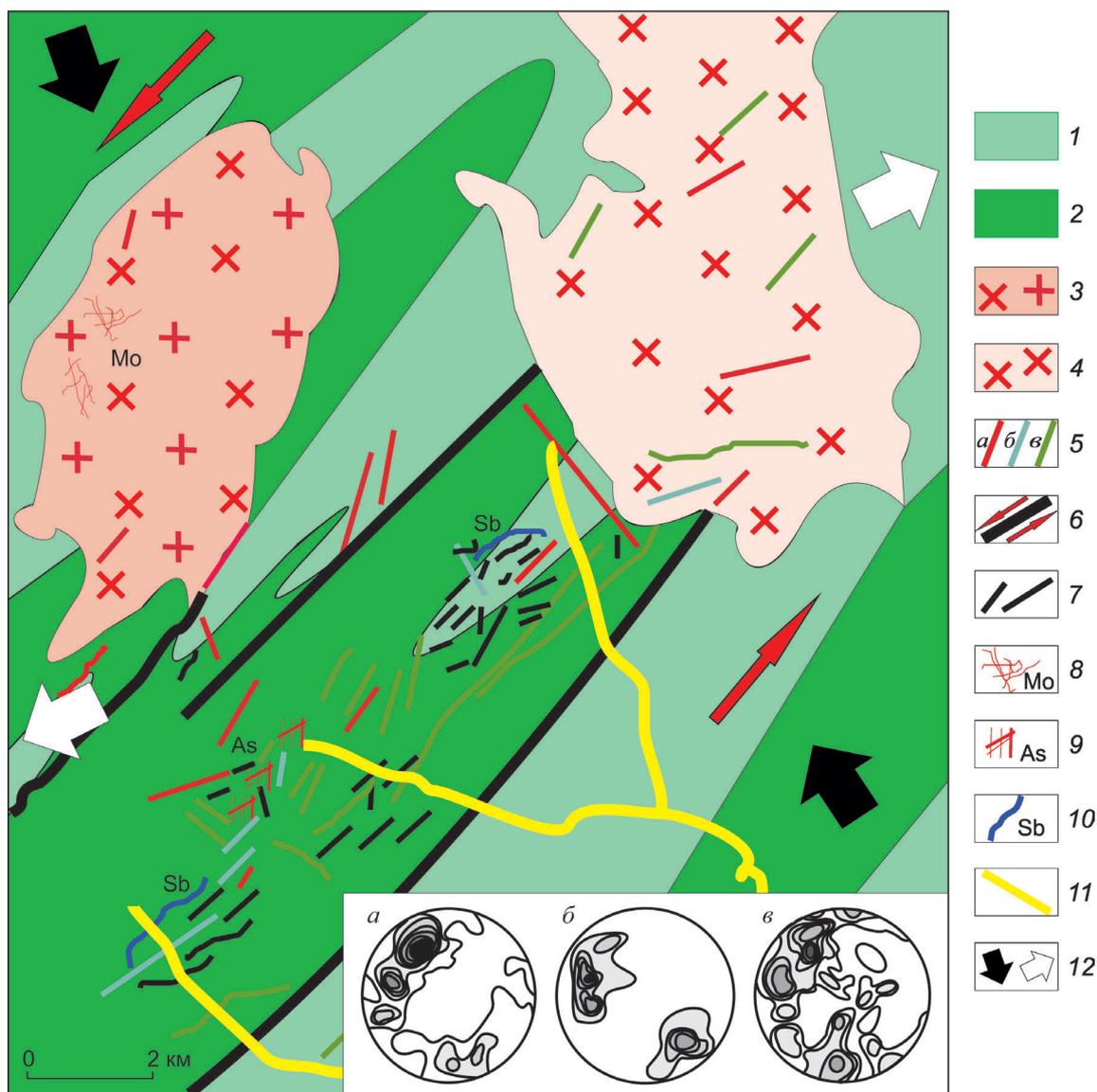
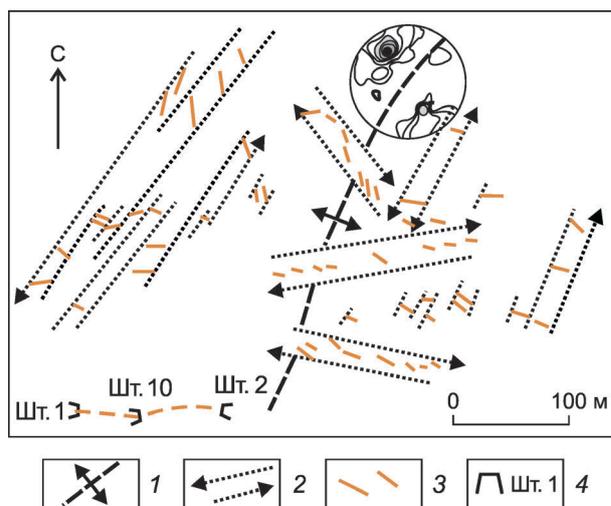


Рис. 2. Геолого-структурная схема Покровско-Троицкого рудного узла, по [6] с дополнениями:

1 – песчаники с прослоями глинистых пород; 2 – флишоиды углеродсодержащие; 3 – гранодиориты; 4 – тоналиты; 5 – дайки кислого (а), среднего (б) и основного (в) составов; 6 – тектонические нарушения с вектором смещения крыльев разлома; 7 – золото-кварцевые жилы; 8 – грейзены с Мо; метасоматиты серицит-кварцевые, содержащие: 9 – As, 10 – Sb; 11 – россыпи золота; 12 – направления сжатия (черное) и растяжения (белое); на врезке стереографические диаграммы ориентировки (проекция на нижнюю полусферу): а – разрывов (290 замеров), б – даек (63), в – рудных кварцевых жил (152)

составу и условиям нахождения слабозолотоносные слои черных сланцев рассматриваются как первичные руды [1, 2, 8]. Продуктивные жильные поля связаны с поздней наложенной золото-кварцевой минерализацией. По отношению к рудоносному Покровскому гранодиоритовому массиву установлена горизонтальная рудно-метасо-

матическая зональность. По данным работы [6], грейзены расположены в западной эндоконтактной части интрузии. Кварц-серицитовые метасоматиты, развитые во вмещающих интрузию осадочных породах и дайках гранитов, по составу близки к грейzenам. В обоих случаях в них присутствует Мо и Au. Кварц-арсенипиритовые золо-



**Рис. 3. Зоны скальвания с эшелонированным расположением кварцевых жил в антиклинали участка Троицкий (по материалам геологоразведочных работ 1955 г.):**

1 – ось антиклинали в нижнемеловых песчаниках и алевролитах пионерской свиты; 2 – зоны скальвания; 3 – кварцевые жилы; 4 – штольни и их номера; врезка – диаграмма полюсов слоистости, 184 замера

тоносные жилы, содержащие W и Mo, секут кварцсерицитовые метасоматиты. На удалении в жилах уменьшается количество арсенопирита, и они сменяются золото-кварцевой и наложенной на последнюю кварц-карбонатно-сульфидной минерализацией (участки Покровский, Троицкий, Красный Стан). На флангах проявлена низкотемпературная кварц-антимонитовая минерализация в виде прожилков, секущих золото-кварцевые и кварц-карбонатно-сульфидные жилы и прожилки, характеризующаяся сниженным содержанием золота. Таким образом, наиболее ранняя и высокотемпературная золото-редкометалльная минерализация наблюдается в эндо- и экзоконтактах интрузива, а более поздняя и низкотемпературная – на большем удалении от него.

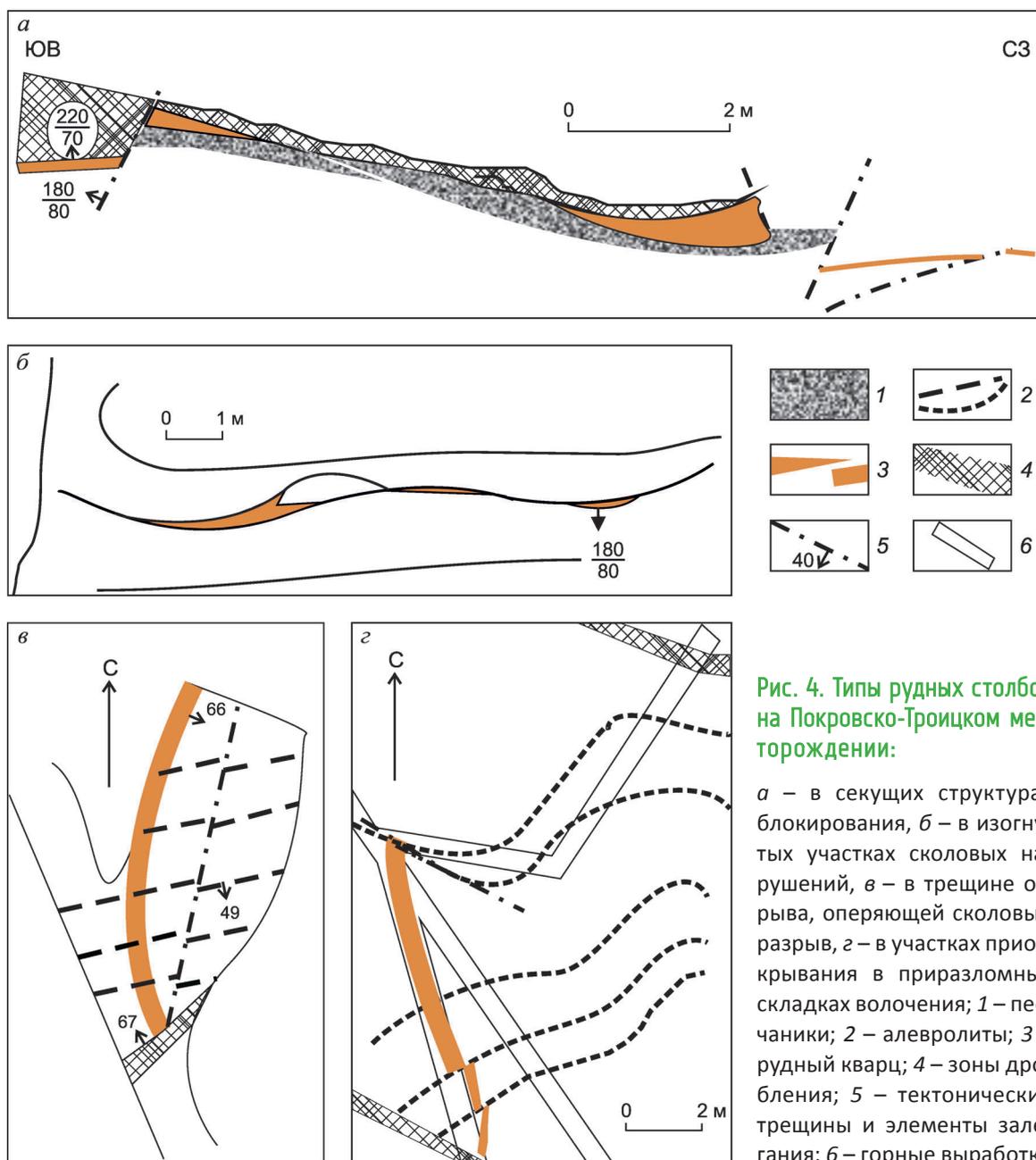
Для структурного анализа на основании фондовых материалов геологоразведочных работ прошлого века была проведена статистическая обработка замеров разрывов, даек, кварцевых жил и складок в осадочных породах с широкомасштабным развитием крутонаклонных разрывов межпластового скольжения, при этом близмеридиональные, северо-западные и широтные разрывы имеют подчиненное значение (см. рис. 2,

врезка, а). По данным [17], левые сдвиги простираются по азимуту СВ-СЗ 40–330°, а сопряженные правые сдвиги – СЗ 270–320°, СВ, В 70–90°. Вероятно, их образование связано с латеральным сжатием, ориентированным в направлении СЗ 330°. Разрывы растяжения ориентированы субпараллельно горизонтальному сжатию.

Ведущая форма контроля локализации руд в разломах – секущие структуры блокирования. Диорит-гранодиорит-гранитные штоки и дайки также формировались в условиях присдвигового растяжения. Дайки ориентированы в близмеридиональном и северо-восточном направлениях и круто падают под углами 70–80° (см. рис. 2, врезка, б). Как правило, они простираются под острым углом к межпластовым левым сдвигам, занимая положение трещин отрыва. Мощность даек от 0,09 до 30 м, протяженность до 1 км. Нередко дайки порфиритов контролируют кварцевые жилы, в которых по данным химического анализа (В.Т.Дьяченко, 1955 г.) содержится Au до 12 г/т (единичные пробы), что свидетельствует о неоднократном их приоткрывании в режиме трансензии. Зоны динамометаморфизма, по видимому, формировались в режиме транспрессии при северо-западном региональном горизонтальном сжатии. Для них характерны глина трения, катаклаз, брекчирование, милонитизация, рассланцевание, зеркала скольжения и приразломная складчатость. Зоны сопровождают серицит-кварцевые метасоматиты с кварцевыми и кварц-сульфидными жилами и прожилками, контролируют месторождения золота и многочисленные пункты минерализации.

Участок Троицкий приурочен к антиклинали с размахом крыльев >400 м. На диаграмме слоистости (рис. 3, врезка) замеры элементов залегания показывают, что наклоны флишоидов пионерской свиты на крыльях северо-восточной складки крутые (60–70°). В ядре антиклинали горными выработками вскрыты сопряженные северо-западные, северо-восточные и близширотные зоны скальвания с эшелонированным расположением кварцевых жил, на крыльях – штокверковые зоны лестничного типа, контролируемые сколами послыного срыва.

Все золото-кварцевые жилы месторождения развиты в трех системах трещин: на диаграмме (см. рис. 2, врезка, б) основной максимум образуют жилы согласные с напластованием вмещающих пород (аз. пад. 325° ∠65°); второй макси-



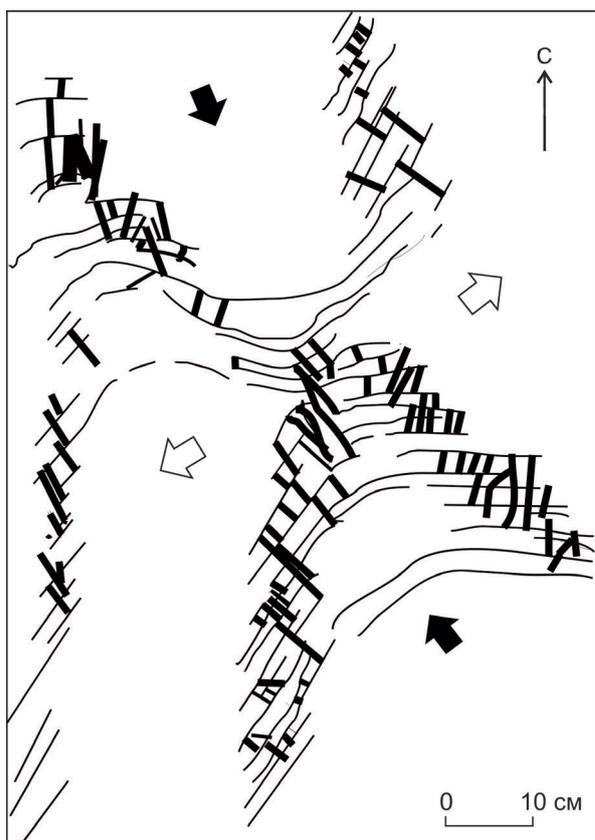
**Рис. 4. Типы рудных столбов на Покровско-Троицком месторождении:**

*a* – в секущих структурах блокирования, *б* – в изогнутых участках сколовых нарушений, *в* – в трещине отрыва, оперяющей сколовый разрыв, *г* – в участках приоткрывания в приразломных складках волочения; 1 – песчаники; 2 – алевролиты; 3 – рудный кварц; 4 – зоны дробления; 5 – тектонические трещины и элементы залега; 6 – горные выработки

мум – секущие жилы близмеридионального простирания с крутыми углами падения (аз. пад.  $270\text{--}290^\circ \angle 70^\circ$ ); третий – широтные крутонаклонные (аз. пад.  $180^\circ \angle 75^\circ$ ) и пологие седловидные жилы (аз. пад.  $180^\circ \angle 35^\circ$ ). По данным работы [17], пологие жилы короткие и маломощные, вскрыты горными выработками в северо-западной части участка Покровский, слабо изучены. Как правило, золото-кварцевые жилы располагаются группами, состоящими из 4–5, иногда 10 и

более параллельных жил, длина которых обычно не превышает 25–40 м. В зонах скалывания жилы кулисно заходят одна за другую, образуя эшелонированные разрывные структуры протяженностью 200–300 м, иногда до 1 км.

Оруденение принадлежит к золото-кварцевой формации. Промышленное значение имеют крутопадающие золото-кварцевые жилы и жильные серии, штокверки, содержащие вкрапленность самородного золота, пирита, антимонита,



**Рис. 5. Пример сопряженных пластических зон скалывания с эшелонированной расстановкой прожилков кварца в песчанистых алевролитах:**

стрелками показана ориентировка латерального сжатия (черное) и растяжения (белое)

галенита, сфалерита, халькопирита, арсенопирита. Золото представлено пленочными, проволочными и неправильными комковидными скоплениями размером 0,3–0,5 мм. Проба варьирует от 625 до 790‰. Участки обогащения золотом в форме гнезд в совокупности образуют рудные столбы, направленные по падению жил. В 1955 г. В.Т.Дьяченко пришел к выводу, что более высокие концентрации золота встречаются в жилах северо-восточного простирания (от следов до нескольких килограмм на тонну, а в секущих – от следов до 10 г/т). Отрабатывались рудные тела длиной 400–500 м, на глубину 100–350 м, мощностью 0,02–1,2 м. Морфология жил сложная, с пережимами, раздувами, апофизами, тонкопрожилково-сетчатыми интервалами. Распределение золота в рудных телах неравномерное, столбовое (бананцевое).

Практическое значение рудных столбов общеизвестно. Часто они содержат основную массу благородного металла и определяют ценность месторождения. Выявление рудных столбов – задача первостепенная уже на ранней стадии изучения месторождения. До настоящего времени нет единого подхода к определению рудного столба. Согласно определению В.М.Крейтера [7], под термином рудный столб следует подразумевать участок промышленных руд или руд значительно более высокого качества по сравнению со всеми другими рудами данного месторождения или рудного тела. Многие геологи приходят к заключению, что рудные столбы прослеживаются на глубину [12, 13]. Однако, принимая определение В.М.Крейтера, к рудным столбам относятся и обогащенные участки, ограниченно распространенные на глубину [3].

По сохранившейся в архивах геологоразведочной документации на Покровско-Троицком месторождении можно выделить четыре типа рудных столбов. Они возникли при ведущей роли структурных факторов (рис. 4): в секущих структурах блокирования, по Ю.С.Шихину [15]; в изогнутых участках сколовых нарушений, раскрывшихся в период рудообразования при перемещении по ним прилегающих блоков пород; в трещинах отрыва, оперяющих сколовые разломы; в участках приоткрывания в приразломных складках волочения. Рудоконтролирующие структуры блокирования распространены широко и свойственны зонам вязкого сдвига. Рудовмещающие трещины всегда сколового типа, раскрывшиеся в период рудоотложения вблизи поперечных сколовых нарушений (см. рис. 4, а). Как правило, рудные жилы обрываются на блокирующих сколах, притыкаясь к ним. В случае притыкания наблюдаются тупые окончания рудных тел и увеличение мощности или расщепление на несколько ветвей, что свидетельствует о дорудном возрасте смещений. Обычно их амплитуды незначительны (1–2 м). Эти участки, обогащенные золотом, и являются рудными столбами, которые круто склоняются на глубину. По данным рудничных геологов, обогащенные блоки отрабатывались по простиранию на 50–100 м, по падению в 2–2,5 раза больше.

Под штокверком понимается геологическое тело с нечеткими контурами, в пределах которого масса горных пород насыщена закономерно ориентированными рудными прожилками и вкрапленностью рудных минералов [14]. Выделяются

четыре типа штокверков: в интрузивах, осадочных породах, дайках и зонах смятия. Все они присутствуют на рассматриваемой территории и требуют дальнейшего изучения. На рис. 5 приведен пример штокверка, сформированного в сопряженных пластичных зонах скалывания. Фрагмент аналогичной структуры вскрыт канавами на Покровско-Троицком месторождении (см. рис. 4, г), что служит благоприятным признаком поисков подобных структур в зонах вязкого сдвига.

Наряду с кварцевыми жилами, зонами дробления и штокверками, широко развита прожилково-вкрапленная золото-сульфидная минерализация. Она проявлена на левом борту ключа Покровский, где единичными пересечениями установлена золотоносность серицит-кварцевых сульфидизированных метасоматитов мощностью до 100 м, которые контролируются зонами интенсивной трещиноватости, дробления и милонитизации мощностью 4–5 м с гнездовым и тонкопрожилково-сетчатым окварцеванием с содержанием Au до 10 г/т [17]. По ключу Рогозинский и в средней части распадка Глубокий залегает небольшой массив гранодиоритов, вытянутый в северо-восточном направлении согласно простиранию вмещающих пород. Гранодиориты дроблены и местами превращены в дресву. Магматические и вмещающие осадочные породы пронизаны густой сетью прожилков рудоносного кварца с вкрапленностью пирита и арсенопирита. Содержание Au во вмещающих песчаниках от следов до 1,2–4,0 г/т, в зонах дробления 120 г/т на мощность 0,25 м. Отсюда следует, что вмещающие золото-кварцевые жилы зоны дробления, песчаники, сланцы, дайки и штоки с наложенной гидротермальной минерализацией сами являются рудными телами.

Таким образом, зоны вязкого сдвига представляют большой практический интерес, поскольку, будучи благоприятны для миграции и аккумуляции магматического и рудного вещества, являются перспективными структурами при поисках месторождений золота жильного, штокверкового и прожилково-вкрапленного морфологических типов.

Автором установлены региональные и локальные геолого-структурные особенности Покровско-Троицкого рудного узла и перспективы его золотоносности:

- золотая минерализация Покровско-Троицкого рудного узла локализована в северо-вос-

точной зоне Джатко-Бичинского вязкого сдвига, оперяющего Лимурчанский разлом – региональную рудоконтролирующую структуру Пильда-Лимурийского золоторудного района;

- рудовмещающая зона вязкого сдвига обладает рядом литологических, структурных и магматических признаков, благоприятных для поисков золота в нижнемеловых черносланцевых углеродистых отложениях пионерской свиты;
- перспективы золотоносности Покровско-Троицкого рудного узла оцениваются положительно и связываются с богатой (Au до 30 г/т) кварцево-жильной минерализацией. Надежды возлагаются и на линейные мегаштокверки, которые с прожилково-вкрапленными золото-сульфидными рудами в метасоматитах серицит-кварцевого состава содержат большие объемы небогатых руд. Рудные тела, как правило, оконтуриваются по данным опробования при заданном бортовом содержании.

*Автор выражает благодарность сотрудникам ФБУ «Территориальные фонды геологической информации по Дальневосточному федеральному округу», предоставившим возможность использовать фондовые геологические материалы, доктору геолого-минералогических наук В.П.Новикову за ценные замечания и предложения, которые способствовали улучшению содержания статьи.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анерт Э.Э. Богатство недр Дальнего Востока. – Хабаровск-Владивосток: Книжное дело, 1928.
2. Буряк А.В., Виславных Н.А., Врублевский А.А. Условия локализации кварцево-жильного оруденения в дислоцированных осадочных толщах (Пильда-Лимурийский район). Геологические условия локализации эндогенного оруденения. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1989.
3. Вольфсон Ф.И., Яковлев П.Д. Структуры рудных полей и месторождений (Учебное пособие). – М.: Недра, 1975.
4. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2-х кн. / Под ред. А.И.Ханчука. – Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1.
5. Геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Лист N-54-XXXI. Серия Нижнеамурская / Ред. А.В.Сав-

- ченко. – Ленинград: Ленинградская картфабрика, 1969.
6. *Изох Э.П., Русс В.В., Кунаев И.В., Наговская Г.И.* Интрузивные серии Северного Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья, их рудоносность и происхождение. – М.: Наука, 1967.
  7. *Крейтер В.М.* Структуры рудных полей и месторождений. – М.: Гостехиздат, 1956.
  8. *Пискунов Ю.Г., Забелин В.В.* Геохимия золота в стратиграфическом разрезе Северного Сихотэ-Алиня // Геология, минералогия и геохимия месторождений благородных металлов Востока России и новые технологии переработки благороднометалльного сырья. Благовещенск, 2005. С. 226–229.
  9. *Покровско-Троицкая площадь* // Золото рудное. Хабаровский край, Ульчинский район [Электронный ресурс] / Аукционы и месторождения. – Режим доступа: [nedgradv.ru](http://nedgradv.ru), свободный. – Загл. с экрана. (Дата обращения 06.11.15).
  10. *Секисов Г.В., Нигай В.В., Соболев А.А.* Перспективность освоения малых и весьма малых золоторудных месторождений в Восточно-Российском регионе // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. Т. 9. № 12. С. 192–202.
  11. *Сидоров А.А.* Большеобъемные рудные месторождения // Вестн. Российской академии наук. 1965. Т. 65. № 10. С. 901–912.
  12. *Смолин А.П.* Структурная документация золоторудных месторождений. – М.: Недра, 1975.
  13. *Формы геологических тел (терминологический справочник)* / Под ред. Ю.А.Косыгина, В.А.Кулындышева, В.А.Соловьева. – М.: Недра, 1977.
  14. *Фролов А.А.* Штокверковые рудные месторождения. – М.: Недра, 1978.
  15. *Шихин Ю.С.* Геологическое картирование и оценка рудоносности разрывных нарушений. – М.: Недра, 1992.
  16. *Юшманов Ю.П.* Закономерности размещения золотого оруденения на Нижнем Амуре // Вестн. Приамур. гос. ун-та им. Шолом-Алейхема. 2012. № 2 (11). С. 98–99.
  17. *Юшманов Ю.П.* Структурно-тектонические закономерности размещения золота в Пильда-Лимурийском районе Нижнего Приамурья // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 4. С. 99–109.

*Юшманов Юрий Петрович,*  
кандидат геолого-минералогических наук  
[yushman@mail.ru](mailto:yushman@mail.ru)

## POKROVSKO-TROITSKY ORE NODE: GEOLOGICAL-STRUCTURAL PECULIARITIES AND PROSPECTS OF GOLD MINERALIZATION, THE LOWER AMUR REGION

Yu.P.Yushmanov

*The geological structure of Pokrovsko-Troitsky ore node of Pilda-Limurisky ore region (Lower Amur region) is considered. It was established that gold mineralization is controlled by the north-eastern area of viscous shear around the regional meridional Limurchansky fault. The gold-quartz vein, stockwork and veinlet-disseminated gold-sulfide mineralization is of practical interest for prospecting and exploration of small gold-rich vein deposits and large-stockwork deposit with average gold content.*

*Key words: gold, viscous shear zone, the black shales, stockwork, ore node, ore pillar, the Lower Amur region.*

## РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДАЙКОВОЕ (W, Mo, Bi, Au, Te), ВОСТОЧНЫЙ УЗБЕКИСТАН

Ю.Б.Ежков,  
Р.Р.Рахимов,  
Р.Р.Рустамжонов,  
И.В.Новикова

ГП «Научно-исследовательский институт минеральных ресурсов» Госкомгеологии РУз, г. Ташкент

*Месторождение Дайковое представляет собой надынтрузивное жильно-штокерковое шеелитовое (с Mo, Bi, Au, Te) оруденение в зоне экзоконтакта Чаватинского гранитоидного интрузива. Рудная минерализация развивается в мощном ареале метасоматических фаций, где главную роль играют грейзены, скарноиды, кварциты и фации тремолит-актинолитов. Основная рудно-магматическая структура месторождения – силлообразные (дайкообразные) тела гранодиорит-порфиоров. Новые рудные тела на поверхности и глубоких горизонтах объекта увеличивают его перспективы.*

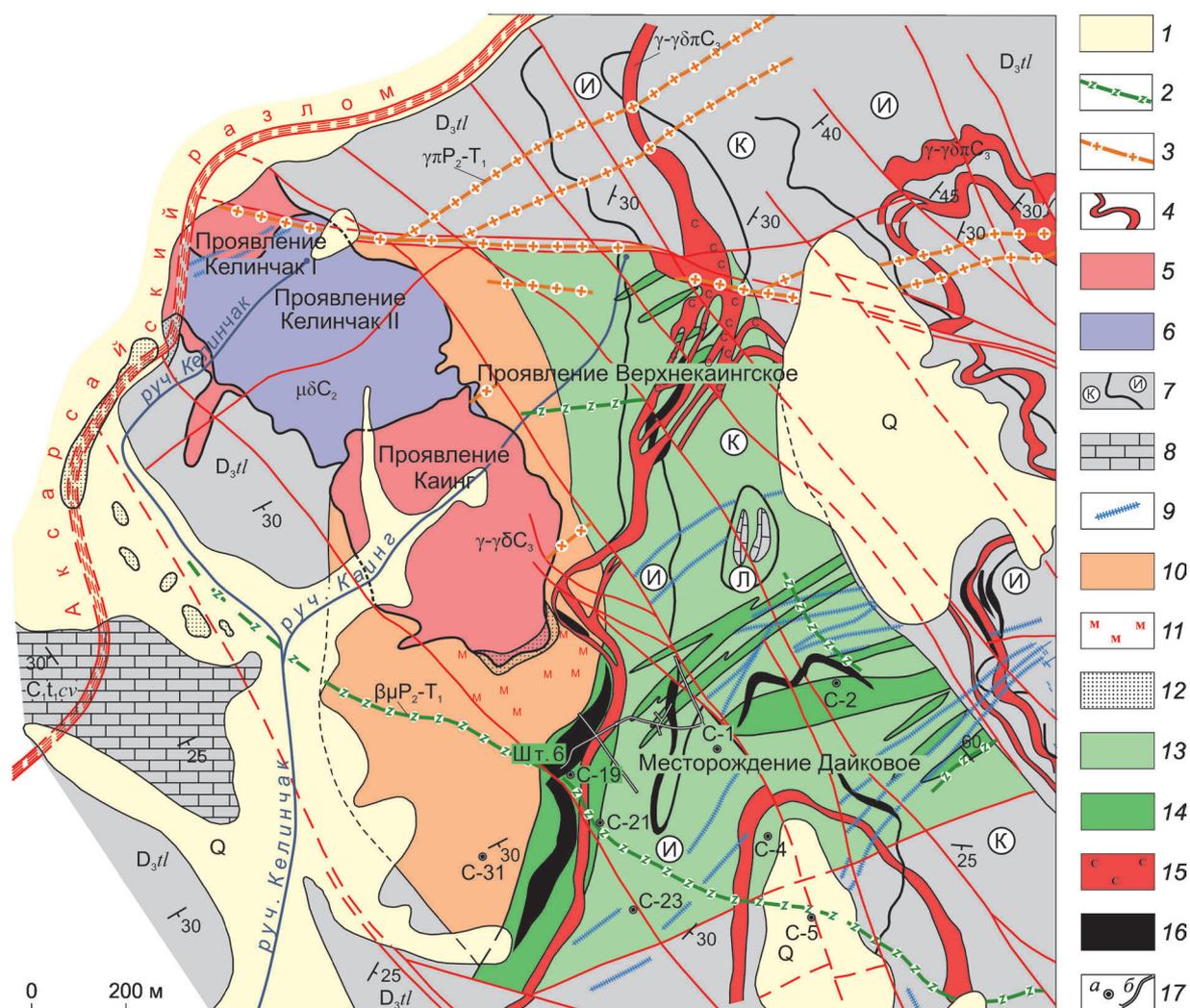
*Ключевые слова: вольфрам, молибден, висмут, золото, теллур, оруденение, Чаватинский интрузив, метасоматиты, Узбекистан.*

Кварц-сульфидное с минералами вольфрама, молибдена, висмута, золота, теллура месторождение Дайковое расположено в приводораздельной части Пскемского хребта между саем Келинчак и урочищем Парагнов в северном блоке висмут-редкометального Чавата-Бричмуллинского рудного поля. Объект относится к надынтрузивному линейному жильно-штокерковому типу, представляет собой северо-восточный фланг экзоконтактовой зоны Чаватинского интрузива, сложенного в основном гранитоидами повышенной основности (гранодиориты-адамеллиты) фазы сателлитов средне-верхнекаменноугольного интрузивного комплекса (Ю.Б.Ежков и др., 1977 г.).

Интрузив трещинно-штокообразной формы вскрыт эрозией на площади ~0,58 км<sup>2</sup> в ядре брахиантиклинали, обрезанной надвигами, среди песчано-сланцевых пород позднего девона. Погружение его апикальной поверхности проходило в востоко-юго-восточном направлении к р. Коксу. Неровная поверхность кровли формировавшейся гранитоидной интрузии способствовала по-

явлению в ней блок-провесов монцонитоидов (0,15 км<sup>2</sup>) гибридного состава (рис. 1). В складки смяты контактово-метаморфизованные песчаники и алевролиты живет-франского возраста (тюлькубашская свита), обнажающиеся в ядерной части брахиантиклинали, на крыльях которой появляются карбонатные отложения фамен – раннего карбона.

Отнесение некоторыми авторами биотитизированных песчаников и алевролитов (приконтактовых роговиков) к образованиям позднего ордовика (предполагаемая аюрторская свита) лишено, по нашему мнению, каких-либо оснований. Многолетние детальные геолого-петрографические наблюдения над контактом «аюрторских» и «тюлькубашских» пород не позволяют выделить между ними существенного несогласия, которое можно было бы предполагать при перекрытии пород позднего ордовика отложениями среднего–позднего девона. Наличие же в разрезе терригенных пород месторождения крупноглыбовой карбонатно-кремнистой конгломерато-брекчии, имеющей пятнистое распрост-



**Рис. 1. Геологическая карта и минеральные ассоциации контактового метаморфизма и метасоматоза месторождения Дайковое:**

1 – четвертичные отложения; пермо-триасовый дайковый комплекс: 2 – диабазовые порфиры ( $\beta\mu P_2-T_1$ ), 3 – гранит-порфиры ( $\gamma\mu P_2-T_1$ ); средне-верхнекаменноугольный интрузивный комплекс: 4 – дайки гранодиорит-адамеллит-порфиров ( $\gamma-\gamma\delta\mu C_1$ ), 5 – гранодиориты, адамеллиты ( $\gamma-\gamma\delta C_3$ ), 6 – монцодиориты ( $\mu\delta C_2$ ); вмещающая среда: 7 – терригенная толща ( $D_3tl$ ), пачки (буквы в кружках: И – песчаники полимиктовые, олигомиктовые, полевошпатово-кварцевые, К – песчаники кварцитовидные, кварциты, Л – алевролиты полимиктовые и олигомиктовые с линзами известняков), 8 – известняки, доломиты ( $C_1t_1cv$ ), 9 – кварцевые жилы, прожилки; минеральные ассоциации контактового метаморфизма и метасоматоза: 10 – флогопит+карбонат+кварц, 11 – мусковит+кварц, 12 – флогопит+полевошпатовый кварц (зоны ороговикования), 13 – пироксен+тремолит (актинолит)+эпидот+серицит+карбонат+кварц, 14 – флогопит+тремолит (актинолит)+эпидот+серицит+карбонат+кварц, 15 – серицит+кварц; 16 – зоны шеелит-медно-висмут-сульфидного оруденения; 17 – горные выработки (а – скважины, б – горизонт штольни)

ранение, рассматривается нами только как межформационное явление, а ослабленная зона между биотитизированными алевропесчаниками и перекрывающими их амфиболитизированными песчаниками и алевролитами – как основной ли-

толого-структурный элемент месторождения, поскольку кварцевые жилы и прожилки, пересекая этот горизонт, резко обогащаются шеелитом.

Растрескивание (контракция) терригенного купола и гранитоидного штока сопровождалось

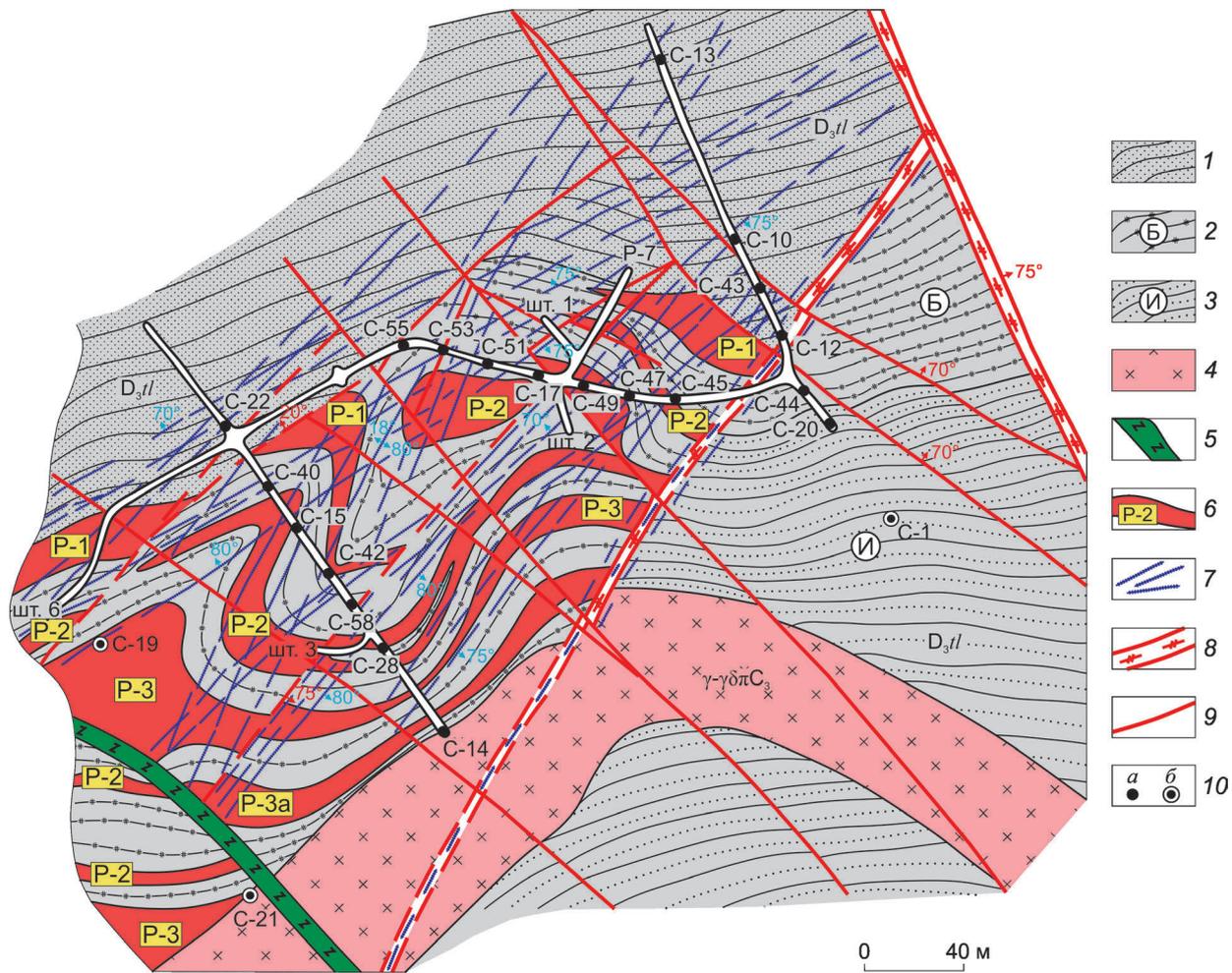


Рис. 2. Геологический план горизонта штольни 6 месторождения Дайковое:

$D_3tl$ : 1 – полимиктовые песчаники с прослоями алевролитов, 2 – переслаивание песчаников, алевролитов, пелитолитов метасоматически измененных (продуктивный горизонт Б), 3 – кварцевые песчаники, кварцевые алевролиты (пачка И); 4 – гранодиорит-порфиры,  $\gamma$ - $\gamma\delta\lambda C_3$ ; 5 – диабазовые порфиры,  $\beta\mu P_2-T_1$ ; 6 – рудные тела, их номера; 7 – кварцевые жилы, системы кварцевых прожилков; 8 – зоны дробления; 9 – разломы; 10 – скважины, их номера (а – пробуренные с горизонта штольни, б – с поверхности)

возникновением крутопадающих систем трещин преимущественно северо-восточной – юго-западной ориентировки. Неоднократные тектонические импульсы, приводившие к закрыванию и приоткрыванию трещин, проявлялись как до, так и после завершения активной интрузивной деятельности, сопровождаемой поздней, постмагматическими, в том числе и рудообразующими, процессами. Устойчивый преимущественно северо-восточный – юго-западный план деформаций на месторождении способствовал в ряде случаев совмещению в пространстве разнотемпературных рудных ассоциаций. Рассеянная

вольфрам-молибден-висмутовая минерализация отмечается по всей площади Чаватинского интрузива и во вмещающих породах, но сконцентрирована только в зоне интенсивной трещиноватости, пересекающей южное окончание интрузива (Чаватинское молибденовое месторождение). Аналогичная, но более узкая зона трещиноватости главным образом с шеелит-сульфидным оруденением расположена к югу от интрузива среди вмещающих терригенных пород (месторождение Дайковое).

Интересную магматическую структуру создают многочисленные дорудные гранитоидные

силлообразные тела (рис. 2). Так, пологозалегающая дайка гранодиорит-порфиоров, давшая название месторождению, в своем основном выходе прослеживается на площади  $>1,5 \text{ км}^2$  при мощности 10–25 м, иногда играя роль экрана метасоматических и рудообразующих процессов. Элементы залегания подобных менее мощных даек (азимут простирания  $110\text{--}130^\circ$ ,  $\angle 10\text{--}30^\circ$ ) несколько отличаются от таковых вмещающих пород, поэтому по простиранию и падению дайки постепенно переходят из одних терригенных горизонтов в другие. Инtrarудные жильные образования, представленные диабазами, проявлены слабее. Наиболее протяженная диабазовая дайка прослеживается в юго-восточном направлении от слияния саев Келинчак и Каинг, пересекает месторождение Дайковое и уходит далее в урочище Парагнов, достигая мощности 4–7 м. По данным микроисследований диабазы состоят из беспорядочно ориентированных призм андезина, интерстиции которых заполнены ксеноморфными зернами пироксена, вторичных (хлорит, карбонат, эпидот, амфибол, кварц) и акцессорных (титаномагнетит, магнетит, ильменит, апатит, пирит) минералов. Вкрапленники в порфиритовых разновидностях диабазов представлены андезин-лабрадором, реже пироксеном.

На месторождении проявлена околорудная и рудная зональность, обусловленная термально-метасоматическими процессами, строением поверхности кровли Чаватинского интрузива, развитием различных систем контракционной трещиноватости, литологическим составом пород рамы и другими факторами.

В пределах Чаватинского сегмента Чавата-Бричмуллинского рудного поля нами установлены три зоны метасоматического преобразования пород: внутренняя, промежуточная и внешняя.

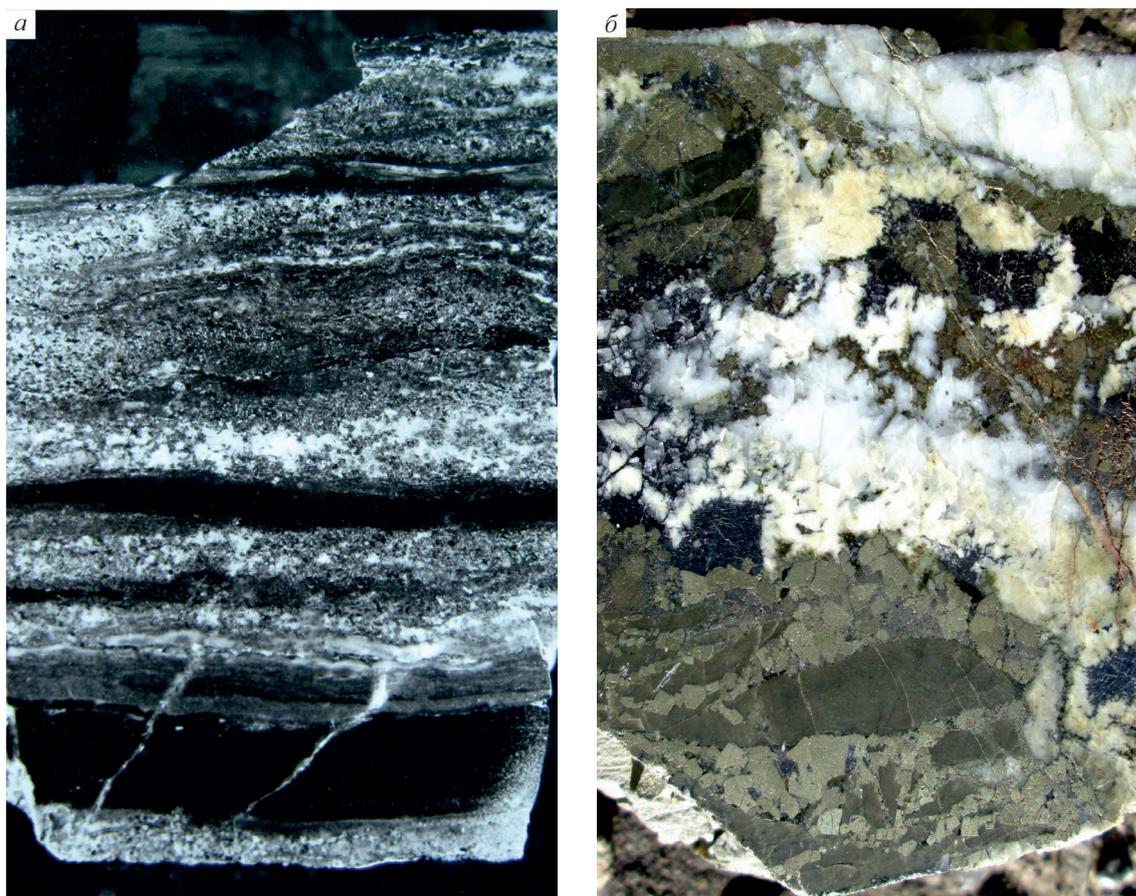
*Внутренняя зона* приурочена к краевой части гранодиоритового интрузива (Чаватинское молибденовое месторождение). Здесь можно выделить участки наиболее распространенной калишпатизации (микроклин), менее интенсивных альбитизации, грейзенизации и окварцевания, которые последовательно сменяют друг друга с запада на восток с удалением в зону интрузивного экзоконтакта. Иногда продукты всех этих процессов встречаются в одной трещине.

*Промежуточная зона* охватывает около- и надинтрузивные части рудоносного блока вмещающих пород. Непосредственно на контакте с

гранитоидами размещаются биотитовые роговики, окаймляющие интрузив со всех сторон полосой шириной до 100 м и более. При этом интенсивность процесса ороговикования непосредственно за пределами рудной зоны резко снижается. Скарнированные породы (скорее, скарноиды) имеют относительно небольшую площадь распространения, образуют ареал в ее восточной и юго-восточной частях, захватывающий конгломерато- и гравелито-брекчии пачки Б, вскрытой на глубоких горизонтах, и алевропесчаники пачки И тюлькубашской свиты. По вертикали скарнирование развивается до 70, редко 200 м. В промежуточной зоне аналогично интенсивно проявлены метасоматиты: серицит-кварцевые по алевролитам, песчаникам кварц-полевошпатового и полимиктового составов (рис. 3), а также по дайке гранодиорит-порфиоров; калишпат-амфиболовые и ортоклаз-амфиболовые по переслаивающимся филлитовидным сланцам и песчаникам; пироксен-амфибол-калишпатовые и плагиоклаз-амфибол-пироксеновые по алевролитам и песчаникам с прослоями первично-глинистых пород. Ширина ареала всех фаций метасоматитов  $>800 \text{ м}$ . В его пределах морфологически выделяются ленто- и трубообразные тела полевошпат-амфибол-пироксеновых с кварцем метасоматитов, приуроченные к участкам интенсивной трещиноватости, достигают максимальной плотности локализации кварц-шеелит-сульфидные жилы и прожилки.

*Внешняя зона* наиболее удалена от контакта с гранодиоритами и представлена кварцитовидными песчаниками и кварцитами, содержащими серицит и хлорит. Здесь слабо развита трещиноватость и относительно нешироко распространены линейные зоны кварц-сульфидных штокверков. При еще большем приближении к границам зоны наблюдаются слабо измененные песчаники, алевролиты, сланцы.

Результаты изучения поведения основных петрогенных элементов (45 силикатных анализов) в метасоматических зонах свидетельствуют о наиболее контрастном геохимическом привносе в промежуточной зоне. Сульфидная сера как важный показатель восстановительного режима системы накапливается в амфиболитизированных породах, где ее содержания максимальны. Фтор, литий, рубидий и цезий отмечены в низких содержаниях, но имеют тенденцию к накоплению в березитоподобных метасомати-



**Рис. 3. Рудовмещающие метасоматиты и кварц-сульфидная жила на горизонте штольни б месторождения Дайковое:**

полированные штуфы, натуральная величина: *а* – обр. 10203, штрек 3, северная стенка, интервал 16–17 м, метасоматит полосчатый кварц-амфиболовый пирит-пирротиновый с шеелитом, прожилково-вкрапленная руда (темное – алеврит); *б* – обр. 13179, рассечка-5, интервал 87,1–87,5 м, кварц-пирит-галенитовая жила в полимиктовых песчаниках с марказитом, арсениопиритом, шеелитом, пирротинном, неяснополосчатая и вкрапленно-пятнистая руда

тах. Фосфор ведет себя индифферентно, слабые всплески его содержания фиксируются только в биотитовых роговиках и флогопитизированных породах. Формульное количество ОН значительно возрастает среди наиболее метасоматически измененных пород, что достаточно обычно. Количество Na существенно уступает концентрации К, их графики зеркально симметричны. Например, если в биотит-флогопитизированных породах К накапливается (4,7%), то содержание Na в них минимально (2–2,3% Na<sub>2</sub>O). В целом для кремнщелочных грейзенизированных и березитизированных пород, в зависимости от интенсивности процесса, характерна последователь-

ная мобилизация (переход во вполне подвижное состояние, по Д.С.Коржинскому) Si, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na, частично Al и K с постоянным привносом Mg, Ca, FeO, OH, CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>.

Полученная генерализованная картина привноса-выноса петрогенных элементов в промежуточной зоне говорит об интенсивном развитии процесса тию-фтор-хлор-щелочно-железо-магnezияльного метасоматоза, особенно в гравелитобрекчиях и алевропесчаниках основания пачки И.

Взаимоотношения околорудных метасоматитов и профилирующего элемента месторождения – вольфрама – характеризуются тем, что последний в биотитовых роговиках концентрируется

преимущественно в кварцевых жилах, а в амфиболитизированных породах его содержания в кварцевых жилах и в метасоматической матрице, пронизанной кварцевыми прожилками, сближаются. Причина этого явления в том, что кварцевые жилы и прожилки, пересекая амфиболитизированные породы, существенно обогащаются вольфрамом (шеелит).

Поскольку рассмотренные петрохимические особенности характеризуют литолого-структурный фрагмент как матрицу рудного штокверка месторождения, можно утверждать, что метасоматическая природа высоковольфрамоносных кварцевых жил и определяет, в частности, их вертикальный размах. За пределами зон развития метасоматитов рудная нагрузка кварцевых жил резко снижается до фоновой.

В неизменных осадочных породах W обнаруживается в околочларковых количествах, иногда достигая 4 г/т. В метасоматически слабо измененных породах содержание W увеличивается до 30–60 г/т и более, при этом высокие концентрации (до 360 г/т) тяготеют к участкам безитизированных гранодиоритов Чаватинского интрузива. С зонами наиболее интенсивного метасоматоза пространственно совмещаются участки максимального насыщения вольфрамоносными кварцевыми жилами и прожилками, что обуславливает значительный объем кварцево-жильной массы и, соответственно, более высокий уровень содержания W в рудах. Все эти процессы определили возникновение и вектор проявления рудной зональности в отношении W, Mo, Bi и других элементов-спутников.

Наибольшую ценность на месторождении представляют первичные штокверковые вольфрамовые руды. Главный рудный минерал – шеелит (содержание вольфрамит незначительно), концентрирующийся в основном в кварцево-жильной массе и в меньшем количестве (микропрожилки) в зонах метасоматитов. В вертикальном срезе рудного штокверка вольфрам – ведущий элемент его надынтрузивной зоны с попутной минерализацией Mo, Pb, Zn, Ag и Bi. Распределение богатого шеелитового оруденения в штокверке линзовидное, ленточное, ленточно-каркасное и столбовое. В общей линейной зоне северо-восточного простирания обогащенные ленты формируют косую лестничную структуру. Последняя более четко проявлена в юго-восточной части штокверка на горизонте

шт. 6 (см. рис. 2). Сближенные параллельные ленты местами группируются в своеобразные рудные столбы. Наиболее интенсивное шеелитовое оруденение наблюдается в участках пересечения двух или нескольких разноориентированных минерализованных трещин. На глубину обогащенные рудные участки прослеживаются в виде крутых плито-трубообразных тел и наклонных линз.

В рудном поле выявлена необычная рудно-геохимическая латеральная зональность – пространственная разобщенность основной массы молибдена (кварцевые жилы в гранитоидах – месторождение Чавата) и вольфрама (околоинтрузивный штокверк – месторождение Дайковое). При этом концентрация Mo увеличивается в нижней части штокверка. Собственно вольфрамовая минерализация развивается в центральной амфиболитизированной части рудного блока (горизонт шт. 6), где отмечаются максимальные концентрации сульфидов Fe, Pb, Zn и сульфосолей (Pb, As, Bi), характерных и для флангов месторождения. Наблюдается и интересная локальная минеральная зональность, возникающая когда в амфиболитизированных породах шеелит ассоциирует с незначительным количеством флюорита, а в серицитизированных – с новообразованным обильным турмалином (шерл).

Первичные руды месторождения Дайковое с поверхности претерпели определенные гипергенные изменения. Зона окисления имеет мощность 5–40 м. Выделяются подзоны выщелачивания до глубины 20 м и лимонитизации до 40 м. Ниже, до уровня не более 80 м, находится собственно лимонитовая подзона, где вторичные минералы отлагались только по трещинам. Вглубь процессы гипергенеза проникают по крутопадающим зонам брекчирования и рассланцевания. Так, в штреке 2 шт. 6 выделены амфиболитизированные алевролиты, в которых полностью выщелочены гнезда сульфидов и порода приобрела кавернозный облик. Типичная зона вторичного сульфидного обогащения практически отсутствует, а незначительное количество ковеллина фиксируется непосредственно в приповерхностной части месторождения.

Изучение внутренних взаимоотношений жильно-прожилковых серий и пространственной зональности минеральных ассоциаций позволило установить основные этапы в последовательном образовании месторождения Дайковое. Собственно рудно-постмагматический этап от-

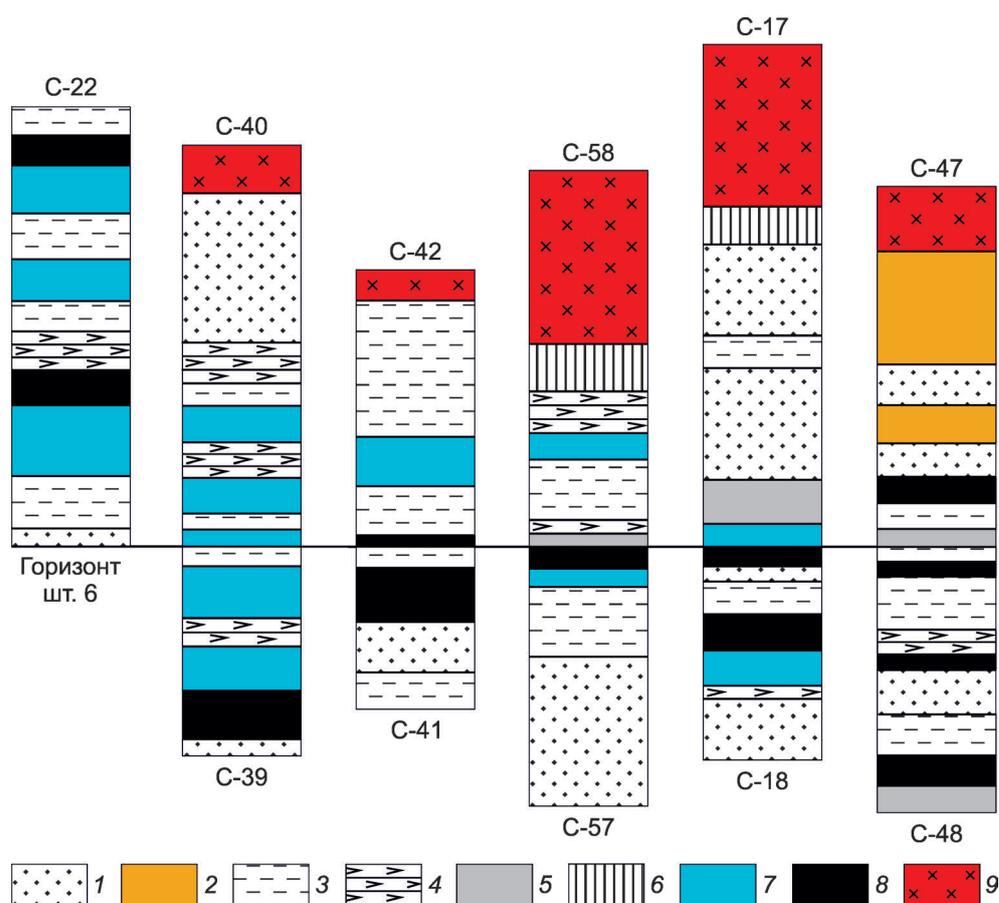


Рис. 4. Литология рудовмещающих толщ и фации метасоматитов в разрезах скважин на месторождении Дайковое:

1 – песчаники полимиктовые, олигомиктовые, полевошпатово-кварцевые; 2 – кварцитовидные песчаники, кварциты; 3 – алевролиты полимиктовые, олигомиктовые; 4 – сланцы филлитовидные; метасоматиты: 5 – серицит-кварцевые, 6 – биотитовые роговики, 7 – калишпат-амфиболовые, олигоклаз-амфиболовые, 8 – пироксен-амфибол-калишпатовые, пироксен-амфибол-плагноклазовые; 9 – дайка гранодиорит-порфиоров

четливо распадается на два подэтапа. На первом формируются кварц-вольфрамит-шеелитовая, пирротин-пирит-марказитовая, кварц-молибденитовая, арсенопирит-пиритовая минеральные ассоциации, после чего происходит внедрение диабазовых даек. На втором подэтапе возникают теллур-сульфосолюно-висмутовая с золотом, сфалерит-халькопирит-пирротиновая, галенит-серебро-висмутовая. Завершается процесс образованием карбонатной (доломит-сидерит-кальцитовой) минеральной ассоциации.

По отношению к магматитам вольфрамово-сульфидное оруденение месторождения Дайковое формируется в две стадии: до внедрения даек основного состава (диабазов, диабазовых

порфириров) и после них. Первая стадия – это минерализация, представленная молибденитом, редким вольфрамитом и главными сульфидами – пирротином, пиритом, арсенопиритом, сопровождаемыми кварц-шеелитовыми прожилками. Вторая, кварцево-карбонатно-сульфосолюно-полиметаллическая, минерализация (галенит, козалилит и др.) развивается преимущественно в породах экзоконтактной сферы интрузива, где иногда образует самостоятельные рудопроявления, в которых основная масса шеелита связана с мелко- и микропрожилковым кварцем.

Пространственное размещение минеральных ассоциаций различных этапов и стадий создает в рудном поле довольно четкую картину прибли-

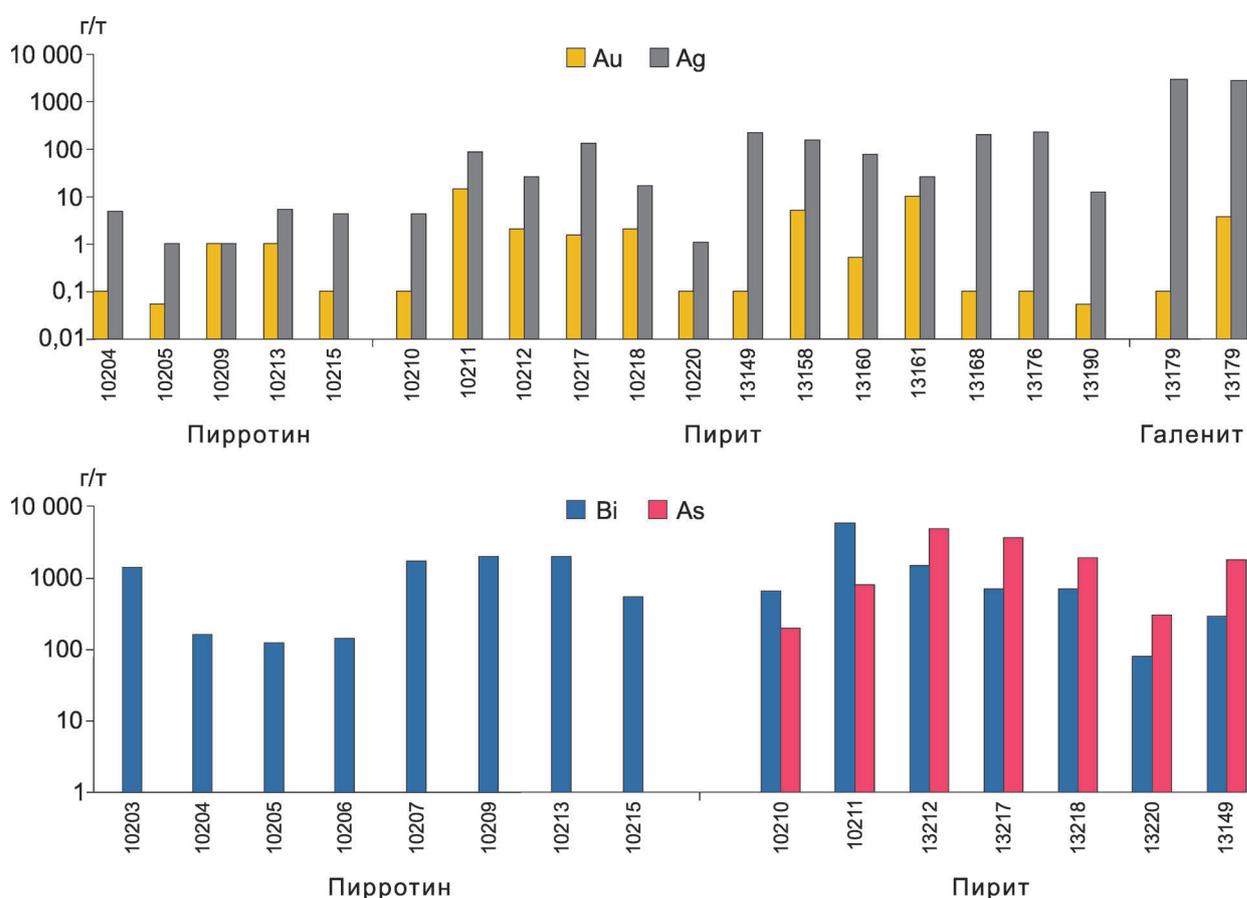


Рис. 5. Распределение благородных (пробирный анализ) и рудных (химический анализ) элементов в сульфидах месторождения Дайковое

женно латеральной геохимической зональности: в гранитоидах концентрируются в основном Mo и W, в надынтрузивной зоне – W (вольфрамит, шеелит) и Bi, далее от интрузива развивается мышьяковая минерализация с Zn, Cu и Bi, а в наиболее удаленной зоне, на флангах месторождения Дайковое, – полиметаллическое оруденение с Te, Se, Bi, Au, Ag.

Итак, интенсивное проявление рудно-метасоматической системы на Чаватинском сегменте Чавата-Бричмуллинского рудного поля (месторождения Чаватинское и Дайковое) привело к возникновению сложного, уникального по мощности (суммарно >1110 м) рудоносного метасоматического ареала, образованного активным кремнещелочным и Mg-Fe-Са процессом, охватившим гранитоидную интрузивную камеру и породы рамы. Фациально в ареале метасоматиты сформировали на рудном поле последователь-

ность: грейзены – березиты – скарноиды – гумбеито- и эйситоподобные образования – кварциты – зона амфиболизации (тремолит-актинолиты).

Перспективы глубинного прогнозирования шеелитового и сопутствующего оруденения на месторождении авторы связывают с наличием в рудовмещающей толще зон рудоносных метасоматитов, располагающихся ниже наиболее изученного горизонта шт. 6 (рис. 4).

Как уже отмечалось (Ю.Б.Ежков, Р.Р.Рахимов, Р.Р.Рустамжонов, А.Т.Холиеров, 2015), детальными исследованиями (ICP и др.) в 2013–2104 гг. в зоне среднеинтенсивных вольфрам-висмут-медно-свинцовых аномалий на поверхности месторождения Дайковое выявлено новое рудное тело мощностью 13,2 м, представленное комплексной медно-вольфрам (шеелит)-висмут (жозеит, тетрадимит) с золотом минеральной ассоциацией. Содержания WO<sub>3</sub> и Bi на уровне 0,1% с

характерной аномально высокой концентрацией Se и Te около 200 г/т. Особенности концентрирования Se и Te пространственно разделяют локализованные в рудном теле сульфидный (селеновый) и редкометалльный (теллуrowый) типы руд. Совместное нахождение при этом в отдельных рудных скоплениях высоких содержаний Te и Au позволяют предположить их присутствие в форме золототеллуридов.

В качестве неучтенного резерва рудного потенциала месторождения можно рассматривать и установленные содержания элементов, особенно Bi, Au и Ag, в пирит-пирротиновых рудах (рис. 5). Таким образом, определилась возможность увеличить запасы комплексного месторождения Дайковое за счет новых поверхностных рудных сечений и глубоких горизонтов, где нами выделены зоны метасоматитов с вольфрам-висмут-сульфидно-золото-теллуrowой минерализа-

цией, промышленный потенциал которой ранее оставался не оцененным. Как интересный факт приведем обнаруженные в тремолите (четыре пробы) из зоны амфиболитизации месторождения Дайковое аномальные средние содержания оксидов редких земель (сумма) 534 г/т и оксида иттрия 135 г/т, всего 669 г/т.

*Ежков Юрий Борисович,*

кандидат геолого-минералогических наук, зав. отделом  
larsim@yandex.ru

*Рахимов Рахман Рахимович,*  
зав. сектором

*Рустамжонов Равшан Рустамжонович,*  
инженер-геолог

*Новикова Ирина Викторовна,*  
ведущий инженер-геолог

### ORE-METASOMATIC SYSTEM AND THE PROSPECTS OF THE DAYKOVUE DEPOSIT (W, Mo, Bi, Au, Te), EASTERN UZBEKISTAN

Yu.B.Yezhkov,  
R.R.Rakhimov,  
R.R.Rustamjonov,  
I.V.Novikova

*The Daykovoie deposit is an over-intrusive vein stockwork scheelite (including Mo, Bi, Au, Te) mineralization in the exocontact zone of the Chavatinsky granitoid intrusive. The ore mineralization is developed in a powerful range of metasomatic facies, where the main role is played by the greisens, scarnoids, quartzite and tremolite-actinolite facies. The basic ore metasomatic structure of the deposit is sill-like (dyke-like) bodies of granodiorite-porphyrries. New ore bodies on the surface and deep horizons of the object increase its prospects.*

*Key words: tungsten, molybdenum, bismuth, gold, tellurium, mineralization, Chavatinsky intrusive, metasomatic rocks, Uzbekistan.*

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

По вопросам размещения рекламы или издания целевого номера, посвященного вашему предприятию, организации, ее продукции и услугам обращаться по телефону 8 (495) 315-06-29 или электронной почте [rudandmet@tsnigri.ru](mailto:rudandmet@tsnigri.ru)  
Реклама по заказам отраслевых организаций и высших учебных заведений выполняется по льготным расценкам

# ГЕОЛОГИЯ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД МАЛОСУЛЬФИДНОГО ПЛАТИНОМЕТАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНЫЙ КАМЕННИК В ЗАПАДНО-ПАНСКОМ МАССИВЕ, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ

А.У.Корчагин<sup>1</sup>,  
Ю.В.Гончаров<sup>2</sup>,  
В.В.Субботин<sup>1</sup>,  
Н.Ю.Грошев<sup>1</sup>,  
Д.А.Габов<sup>1</sup>,  
А.Н.Иванов<sup>1</sup>,  
Е.Э.Савченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты

<sup>2</sup>ОАО «Пана», г. Апатиты

*Северный Каменник – новое платинометальное месторождение интрузивного комплекса Федорово-Панских тундр – приурочено к западному флангу Нижнего расслоенного горизонта в Западно-Панском массиве. Пластообразные рудные тела представлены сульфидной вкрапленностью, развитой в основном в мезократовых габброидах (нередко оливинсодержащих). Содержание Pt+Pd+Au 0,2–14,6 г/т (Pd/Pt 5,5), Ni и Cu 0,01–0,4% и 0,01–0,6% соответственно. Главными концентраторами благородных металлов являются золото-серебряные сплавы, сульфиды и висмутотеллуриды Pt и Pd, а также пентландиты с изоморфной примесью Pd.*

*Ключевые слова: малосульфидные платинометальные месторождения, платиноносный риф, элементы платиновой группы, состав руд.*

Поисково-оценочными работами 2011–2013 гг. на участке Северный Каменник в Западно-Панском массиве выявлено, оценено и утверждено в ГКЗ (2015 г.) одноименное месторождение комплексных платинометальных руд малосульфидного типа. Оруденение сосредоточено в пределах Северного платиноносного рифа в Нижнем расслоенном горизонте массива, прослеженно на десятки километров на восток [4]. В шести километрах к востоку от участка на территории площади Малая Пана ранее (2008 г.) разведано и поставлено на баланс аналогичное месторождение Киевей (рис. 1).

Западно-Панский массив – наиболее крупное тело интрузивного расслоенного комплекса Федорово-Панских тундр – сложен в основном габброноритами, образующими зону пород мощностью ~3700 м, разделенную на нижнюю, среднюю и верхнюю подзоны (см. рис. 1). В нижней части массива проявлены породы норитовой зо-

ны. Главная особенность массива – наличие двух контрастно расслоенных горизонтов – Нижнего (НРГ) и Верхнего (ВРГ), отделяющих подзоны габброноритов друг от друга. Они надежно маркируют элементы мощной толщи основных пород и именно к ним приурочены представляющая наибольший интерес сульфидная медно-никелевая минерализация и связанное с ней платинометальное оруденение. С НРГ связан Северный, с ВРГ – Южный платиноносные рифы.

Одной из характерных черт геологического строения массива является присутствие на уровне НРГ и выше по разрезу средней габброноритовой подзоны различных по размеру и форме тел тонкозернистых магнетитовых и магнетитосодержащих габбро (см. рис. 1), занимающих согласное, субсогласное и явно секущее положение относительно общего простирания пород. Там, где они расположены в непосредственной близости к НРГ, установлены факты пересечения ими и рас-

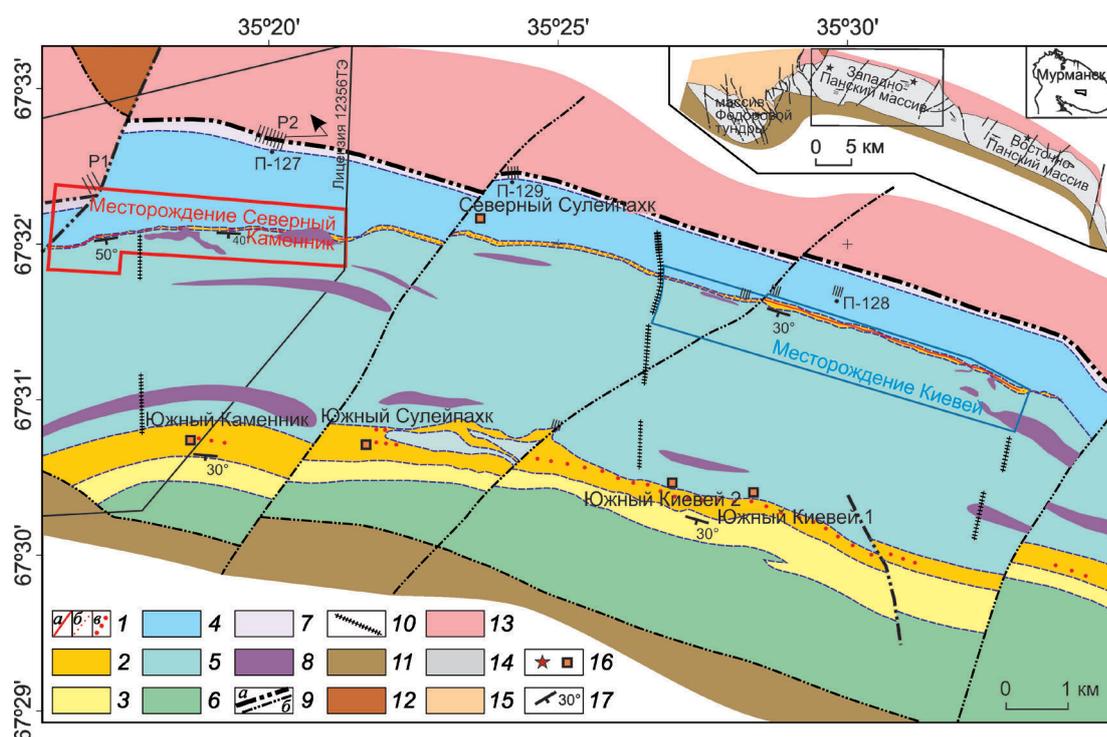


Рис. 1. Расположение месторождений и рудопроявлений элементов платиновой группы в Западно-Панском массиве:

1 – платиноносные рифы: Северный (а – установленный, б – предполагаемый), Южный (в); 2 – расслоенные горизонты (Нижний и Верхний); 3 – расслоенный горизонт оливинсодержащих пород; 4–6 – габброноритовая зона (4 – породы нижней, 5 – средней, 6 – верхней подзона); 7 – норитовая зона; 8 – магнетитовое габбро; 9 – тектонизированный нижний контакт массива (а), разрывные нарушения (б); 10 – дайки габбродиабазов; 11 – вулканогенно-осадочные породы зоны Имандра-Варзуга; 12 – архейские анортозиты Цагинского массива; 13 – архейские щелочные граниты; на врезке: 14 – породы Федорово-Панского раннепротерозойского интрузивного расслоенного комплекса, 15 – архейские гранитогнейсы; 16 – месторождения (а), рудопроявления (б); 17 – элементы залегания

слоенного горизонта, и платинометального оруднения.

Месторождение Северный Каменник имеет протяженность 5200 м. На западе ограничено разломом северо-восточного простираения, на востоке – краем лицензионной площади, на севере – выходом рифа под элювиальные отложения, на юге не оконтурено. Разведочными скважинами изучено на глубину 200–250 м от поверхности. Главная геологическая структура месторождения – НРГ, протягивающийся практически через всю площадь с запада на восток. Перерыв длиной 800 м отмечается в восточной части месторождения и обусловлен пересечением горизонта поздним магматическим телом магнетитового габбро (рис. 2).

В разрезе массива НРГ выделяется частым чередованием контрастных по составу пород

(анортозитов, лейкократовых габброидов, габброноритов, норитов, пироксенитов) на фоне преобладающих однородных массивных средне- или мелкозернистых габброноритов. Специфический для НРГ признак – оливинсодержащие породы, а также породы группы норитов-пироксенитов. Наибольшие мощности этих магнетитовых дифференциатов, с которыми, как правило, пространственно сближена комплексная сульфидная минерализация, наблюдаются в местах прогибов подошвы НРГ. Поскольку формирование НРГ традиционно объясняется дополнительной инъекцией магмы в камеру, авторы предполагают, что подобные прогибы являются результатом магматической эрозии закристаллизовавшихся кумулатов потоками порций «свежей» магмы. Мощность НРГ в западной части площади от 5 м в пережимах до 70 м в разду-



вах-углублениях (в среднем 30–40 м). В восточной части площади она более постоянная, с вариациями 50–80 м. Падение НРГ в южном направлении выдерживается на всем протяжении; углы падения в среднем 40–45°, однако в западной части участка нередко возрастают до 50–55°, в восточной снижаются до 35°.

Уровни сульфидного и связанного с ним платинометалльного оруденения локализируются главным образом в средней или приподошвенной части НРГ (см. рис. 2). В отдельных разрезах насчитывается несколько таких уровней. Мощность зоны НРГ, включающей оруденение, обычно 3–10 м, в раздувах-углублениях до 35 м. При минимальной мощности НРГ (10 м и менее) оруденение, как правило, отсутствует. Наиболее выдержанные богатые и мощные рудные интервалы объединены в Основное рудное тело (ОРТ), прочие – отнесены к Нижнему рудному телу (НРТ) и серии локальных рудных линз.

Оруденение может быть связано со всеми типами пород (рис. 3), однако в местах их частого переслаивания сконцентрировано преимущественно в мезократовых габброидах (в основном в габброноритах, норитах) и их оливинсодержащих разновидностях, в меньшей степени – в лейкогабброноритах, лейкогаббро, анортозитах. Это существенно отличает рассматриваемое месторождение от месторождения Киевей на восточном фланге Северного рифа, где рудоносны главным образом, лейкократовые габброиды, которым значительно уступают пироксениты и габбронориты (табл. 1).

Анализ геологических разрезов показывает, что с увеличением мощности НРГ, количества и суммарной мощности слоев меланократовых кумулатов и слоев оливинсодержащих пород возрастает мощность рудных тел и линз, а также содержание в них платиновых металлов. Платинометалльное оруденение не имеет геологических границ, поэтому его контуры определяются по результатам опробования. Рудные тела и линзы, залегая согласно с расслоенностью пород НРГ, приурочены к прослоям, наиболее обогащенным сульфидами Ni и Cu (см. рис. 3). Расстояние между телами по вертикали от 3 до 20 м. Форма тел пластообразная, линзовидно-пластообразная.

Основное рудное тело фиксируется практически на всем протяжении в западной и восточной частях месторождения. В центральной части, где мощность НРГ значительно уменьшается (до

15–20 м), ОРТ прерывается и делится безрудным «окном» протяженностью ~1400 м на Западный и Восточный рудные объекты. В их пределах длина ОРТ по простиранию составляет соответственно 1700 и 900 м. Истинная мощность ОРТ колеблется от 0,28 до 4,75 м; повышенные ее значения чаще наблюдаются в восточной части месторождения. В западной части наибольшие мощность и продуктивность ОРТ отмечаются в местах углублений подошвы НРГ (см. рис. 2), которые в плане образуют форму, напоминающую русло водного потока (рис. 4). Содержание благородных металлов Pt+Pd+Au 0,2–14,6 г/т; повышенные значения характерны для западной части месторождения. Руды существенно палладиевые: среднее Pd/Pt=5,5. Содержание цветных металлов, %: 0,01–0,4 Ni, 0,01–0,6 Cu. Основные запасы руды и металлов сосредоточены в ОРТ. По экономической значимости полезные компоненты образуют следующий ряд, %: 55 Pd, 20 Pt, 16 Ni, 6 Cu, 3 Au.

Результаты изучения геологического строения месторождения Северный Каменник можно рассматривать как свидетельство близкого расположения западного фланга платиноносного рифа к пульсировавшему магмоподводящему каналу, обеспечившему на различных стадиях формирования массива и поступление рудоносной магмы. На это указывают следующие факты:

- увеличение углов падения пород рудовмещающего расслоенного горизонта;
- прогибы подошвы НРГ, имеющие общее направленное размещение и образовавшиеся, вероятно, вследствие эродирования подстилающей толщи кумулатов внедрявшейся порцией рудоносной магмы;
- вытянутая русловидная форма зоны наибольшей концентрации рудного вещества, совпадающая с размещением прогибов подошвы НРГ;
- преобладающая роль мезократовых оруденелых габброидов и возрастание объема оливинсодержащих пород в НРГ, часто слагающих ОРТ.

Минеральный состав руд месторождения Северный Каменник практически аналогичен такому месторождения Киевей, локализованного в восточной части Северного рифа Западно-Панского массива [3, 4]. Оруденение представлено тонкой, неравномерной интерстициальной сульфидной и сульфидно-оксидной (с магнетитом,

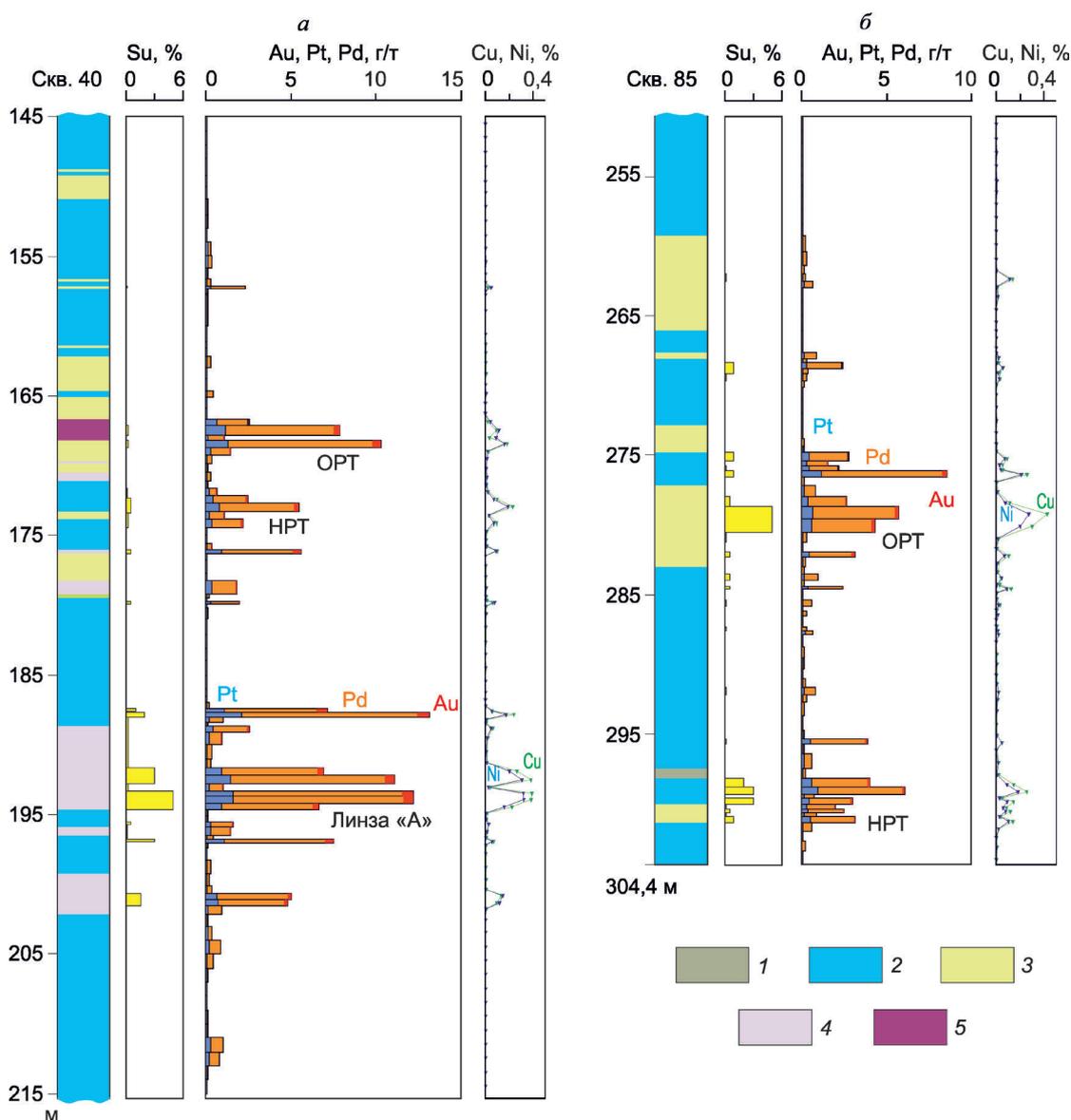


Рис. 3. Распределение сульфидов и главных рудогенных элементов в Западном (а) и Восточном (б) рудных объектах:

1 – магнетитовое габбро; 2 – габбронориты (с прослоями норитов, лейкогаббро, анортозитов); 3 – лейкократовые габбро и габбронориты, анортозиты; 4 – нориты, пироксениты; 5 – оливиновые габбронориты

1. Распределение рудных проб из месторождений Северного рифа по литотипам, %

Месторождения	Число анализов	GL	G	GNL, A	GN	P, N	GN <sub>ол</sub>
Северный Каменник	323	11,2		16,9	53,2	7,8	10,9
Киевей	458	41,5	4,6		25,5	28,4	

Примечание. GL – лейкогаббро; G – крупнозернистое габбро; GNL, A – лейкогаббронориты, анортозиты; GN – габбронориты; P, N – пироксениты, нориты; GN<sub>ол</sub> – оливинсодержащие породы (габбронориты, в меньшей степени нориты, пироксениты; гарцбургиты).

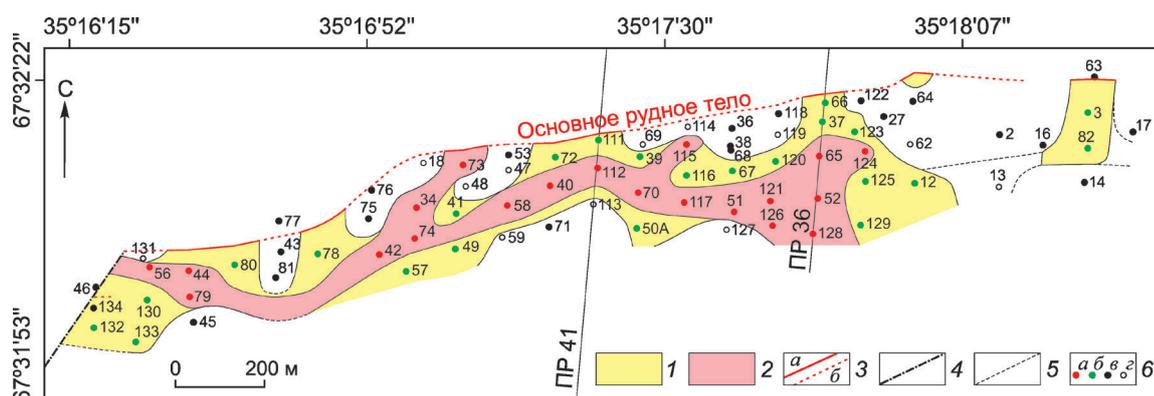


Рис. 4. Проекция ОРТ на горизонтальную плоскость при бортовом содержании  $Pd_{ycl}$  3,0 г/т до глубины 250 м:

1 – область развития платинометаллических руд ( $m \cdot C > 3$  м·г/т  $Pd_{ycl}$ ); 2 – зона локализации наиболее продуктивных платинометаллических руд ( $m \cdot C > 20$  м·г/т  $Pd_{ycl}$ ); 3 – выход ОРТ на поверхность (а – установленный, б – предполагаемый); 4 – разрывное нарушение; 5 – предполагаемые границы зон локализации руд; б – проекции пересечений скважинами ОРТ различной продуктивности (а –  $m \cdot C > 20$  м·г/т  $Pd_{ycl}$ , б –  $m \cdot C > 3$  м·г/т  $Pd_{ycl}$ , в – скважины с некондиционным оруденением, з – безрудные скважины)

ильменитом и лейкоксеном) вкрапленностью. Содержание сульфидов в руде ~1–1,5 мас. %. Главные сульфидные минералы – пирротин, пентландит, халькопирит в примерном соотношении 1:1:1,9. Доля этих минералов в общей сульфидной массе составляет обычно 95–100%. Они же служат главными концентраторами цветных металлов, а в пентландите в виде твердого раствора сосредоточено до половины валового Pd. Содержание Pd в пентландите достигает 3,15 мас. %. В качестве второстепенных, аксессуарных и вто-

ричных минералов в переменных количествах в руде присутствуют пирит, троилит, маккинавит, миллерит, годлевскит, зигенит, борнит, сфалерит, марказит, виоларит. К редким аксессуарным относятся галенит, аргентопентландит, молибденит, хаулеит, кобальтин, гессит, клаусталит, науманнит, таркианит и др.

В составе руд установлено 30 минералов и семь не названных минеральных фаз благородных металлов (табл. 2). Как и в других объектах Федорово-Панского комплекса, на месторожде-

## 2. Минералы и минеральные фазы ЭПГ и золота месторождения Северный Каменник

Золото (Au,Ag,Pd)	Холлингуортит (Rh,Pt,Pd)AsS	Соболевскит PdBi
Серебро (Ag,Au,Pd)	Сперрилит PtAs <sub>2</sub>	Меренскиит (Pd,Pt)(Te,Bi) <sub>2</sub>
Pt-Fe-сплавы	Стиллуотерит Pd <sub>8</sub> As <sub>3</sub>	Теллурупалладинит Pd <sub>9</sub> Te <sub>4</sub>
Хонгшит (Pt,Pd)Cu	Палладоарсенид Pd <sub>2</sub> As	Сопчеит Ag <sub>4</sub> Pd <sub>3</sub> Te <sub>4</sub>
Паоловит Pd <sub>2</sub> Sn	Винцентит (Pd,Pt) <sub>3</sub> (As,Sb,Te)	Теларгпалит (Pd,Ag) <sub>3</sub> (Te,Bi)
Атокит (Pd,Pt) <sub>3</sub> Sn	Атенеит (Pd,Hg) <sub>3</sub> As	МФ (Pd,Ag) <sub>4</sub> S
Паларстанид Pd <sub>5</sub> (Sn,As) <sub>2</sub>	Меньшиковит Pd <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub> As <sub>3</sub>	МФ Pd <sub>2-x</sub> (Bi,Pb)(S,Se)
Брэггит (Pt,Pd,Ni)S	Тернроозит Pd <sub>11</sub> As <sub>2</sub> Te <sub>2</sub>	МФ (Ni,Fe,Cu,Co) <sub>2</sub> (Rh,Pt)S <sub>4</sub>
Высоцкий (Pd,Pt,Ni)S	Мертиит Pd <sub>11</sub> (Sb,As) <sub>4</sub>	МФ (Pd,Ag) <sub>7</sub> Se <sub>5</sub>
Маланит Cu(Pt,Ir) <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	Мончеит (Pt,Pd)(Te,Bi) <sub>2</sub>	МФ (Pd,Au) <sub>2+x</sub> (As,Sn)
Лафламмеит Pd <sub>3</sub> Pb <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	Кейтконнит Pd <sub>20</sub> Te <sub>7</sub>	МФ Pd <sub>3</sub> Te <sub>2</sub>
Лаурит (Ru,Os,Ir) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	Котульскит Pd(Te,Bi)	МФ Pd <sub>2</sub> (Pb,Bi)
Ирарсит (Ir,Ru,Rh,Pt)AsS		

Примечание. Жирным шрифтом выделены главные минералы, остальные – второстепенные и редкие.

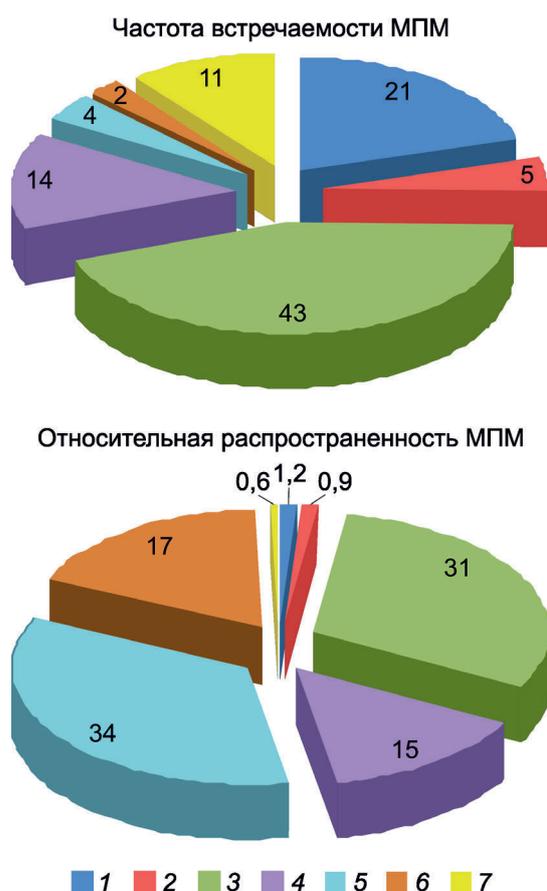


Рис. 5. Частота встречаемости (%) и относительная распространенность МПМ (в процентах от общего объема):

1 – редкие; 2 – меренскиит; 3 – котульскит; 4 – мончеит; 5 – высокоцкит; 6 – брэггит; 7 – золото; число диагностированных зерен 1900

нии Северный Каменник >95% элементов платиновой группы (ЭПГ), связанных с собственными минеральными формами, находятся в зернах размером >20 мкм. Главные собственные минералы-концентраторы Pd в составе руд месторождения – высокоцкит, котульскит, меренскиит, мончеит, брэггит; Pt – брэггит, мончеит, высокоцкит, меренскиит; Au – золото-серебряные сплавы (рис. 5). Минералы характеризуются наиболее крупными размерами зерен: высокоцкит до 50×300 мкм, котульскит до 100×100 мкм.

Морфология зерен платиноидов весьма разнообразна. Наблюдаются идиоморфные кристаллы, округлые включения, резко ксеноморфные зерна, каемчатые обособления. Внутреннее строение зерен часто неоднородное – блочное, зо-

нальное (рис. 6, а–в). Нередко встречаются тесные сростания двух и более платиноидов, что особенно характерно для теллуридов и арсенидов (см. рис. 6, г–и). Типичное положение относительно крупных зерен минералов платиновых металлов (МПМ) – на границе «крупнозернистый сульфид – силикат» и в «ореальной» зоне тонкозернистых сульфидов и вторичных силикатов. Большинство зерен размером <5 мкм рассеяны в силикатах, но в непосредственной близости от скоплений сульфидов.

Химический состав МПМ изучен SEM/EDS и микрозондовыми методами в нескольких десятках аншлифов, отобранных по рудным сечениям разведочных скважин. Результаты исследований состава минералов в сравнении с аналогичными исследованиями благороднометальной минерализации месторождений Киевей и Федорова тундра говорят о схожести условий рудообразования в этих объектах. Согласно современным экспериментальным и геологическим данным [1, 2, 5, 6], все главные МПМ могли кристаллизоваться в высокотемпературных позднемагматических условиях непосредственно из сульфидного расплава и остаточного газовой-жидкого флюида после кристаллизации главных сульфидных минералов (500–1100°C). Так, для химического состава сульфидов Pt и Pd, как и на других месторождениях Федорово-Панского комплекса, характерен непрерывный ряд твердых растворов высокоцкит-брэггит (рис. 7, а). Зональность кристаллов (см. рис. 6, а–в) и некоторая дискретность в зависимости от содержаний Pt и Pd, наблюдаемая на диаграмме (см. рис. 7), могут служить свидетельством существенных колебаний условий минералообразования в системе.

По экспериментальным данным [6], примесь Ni в составе высокоцкитов-брэггитов снижает температуру стабилизации структуры этих минералов, а следовательно, в перенасыщенной Ni среде является функцией температуры минералообразования. Авторы эксперимента описывают это следующей зависимостью:  $T[^\circ\text{C}] = 998,07 (\pm 7,88) + 0,05 (\pm 0,02) \cdot \text{Pt}^2 - 4,24 (\pm 0,16) \cdot \text{Ni}^2$ . Оценочные значения температур формирования платино-палладиевых сульфидов месторождений Федорово-Панского комплекса в расчете на их средний состав хорошо согласуются с геологической позицией оруденения, особенностями петрогенезиса рудных и рудовмещающих пород и минеральным составом руд (табл. 3).

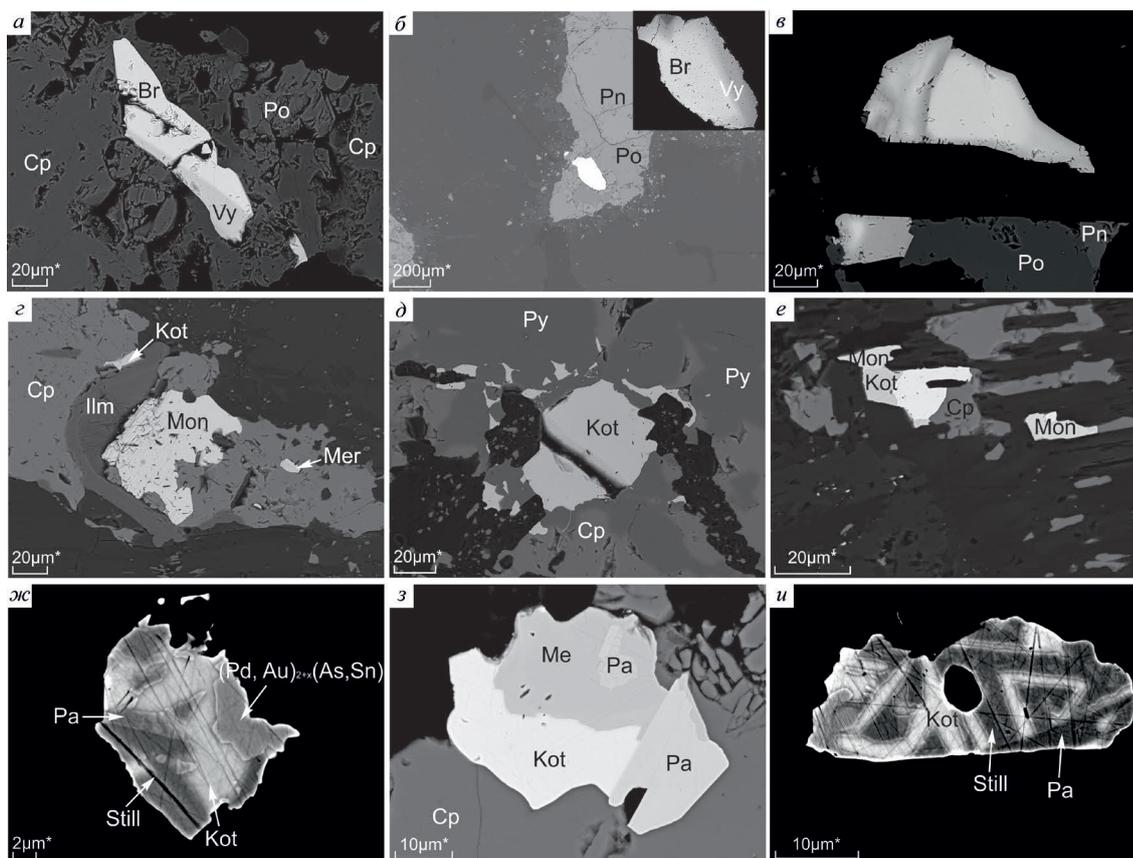


Рис. 6. Морфология и взаимоотношения минералов ЭПГ и Au:

SEM-фото. Сульфиды Pd и Pt: а – комплексный кристалл висоцкита (серое) и брэггита (белое) в сульфидном агрегате (темно-серое); б – крупное зональное брэггит-высоцкитовое зерно в пирротин-пентландитовом вкрапленнике; в – блочные, зональные зерна висоцкита (белое и светло-серое) в силикате (черное) и на краю сульфидного агрегата (темно-серое). Висмута-теллуриды Pd, Pt и самородное золото: г – различные теллуриды в комплексном сульфидно-оксидном вкрапленнике; д – крупное зерно и тонкая вкрапленность котульскита в пирит-халькопиритовом агрегате; е – сростание самородного золота (белое) с мончеитом и котульскитом. Арсениды Pt, Pd: ж – фаза  $(Pd, Au)_{2-x}(As, Sn)$  в сростании с палладоарсенидом, стиллуотеритом и котульскитом; з – комплексный сросток котульскита, палладоарсенида и меньшековита в халькопирите; и – сложный «мозаичный» сросток котульскита, стиллуотерита и палладоарсенида; Cp – халькопирит, Po – пирротин, Br – брэггит, Vy – висоцкит, Pn – пентландит, Mon – мончеит, Mer – меренскиит, Kot – котульскит, Ilm – ильменит, Py – пирит, Pa – палладоарсенид, Still – стиллуотерит, Me – меньшековит

Химический состав висмута-теллуридов из руд месторождения Северный Каменник довольно сложный, но для известных минералов всегда близкий к стехиометрии. Изоморфные ряды котульскит–соболевскит и меренскиит–мончеит проявлены здесь, как и на Киевее, недостаточно. Значительно полнее они представлены на месторождении Федорова тундра (см. рис. 7, б). Для последнего также не характерны высокопалладиевые теллурупалладинит и кейтконнит, которые хотя и не повсеместно, но распространены

на месторождениях Северный Каменник и Киевей. Среди сплавов и самородных элементов преобладают соединения Au и Ag с незначительными примесями Pd, Cu и Fe. Состав золото-серебряных сплавов изменяется в широких пределах от высокопробного самородного золота  $Au_{0,87}Cu_{0,07}Ag_{0,05}Fe_{0,01}$  и палладистого золота  $Au_{0,85}Pd_{0,11}Ag_{0,02}Fe_{0,01}Cu_{0,01}$  до серебра с существенной примесью золота и незначительной железа  $Ag_{0,57}Au_{0,42}Fe_{0,01}$ , что, видимо, также свидетельствует о широких вариациях условий рудогенеза.

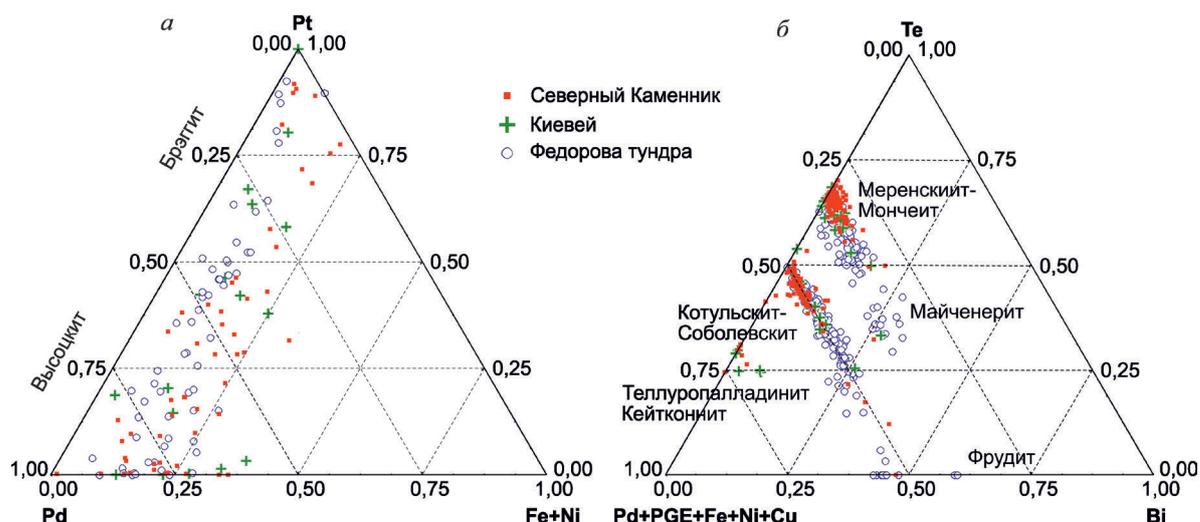


Рис. 7. Тройные диаграммы состава (атомные количества) сульфидов Pd и Pt (а) [129 анализов] и висмутотеллуридов Pd и Pt (б) [507 анализов] из месторождений Северный Каменник, Киевей и Федорова тундра

Самой малораспространенной группой МПМ в минерализованных зонах месторождения Северный Каменник, как и в пределах всего Северного рифа, являются арсениды. В основном они связаны с локально развитой низкотемпературной борнит-миллеритовой сульфидной ассоциацией. Для арсенидов характерно образование сложных полиминеральных комплексных сростков с теллуридами и сплавами (см. рис. 6, ж–и).

В практическом аспекте открытие нового месторождения платинометаллических руд означает установление промышленных рудных объектов на обоих флангах Северного платиноносного рифа (Северный Каменник – на западном, Киевей – на восточном), подтверждает общую перспективность последнего и нацеливает на тщательное изучение его средней части, имеющей протяженность, сопоставимую с каждым из флангов. Риф

здесь изучен преимущественно с поверхности, трассируется по развалам сульфидоносных элювиальных глыб и подтвержден четырьмя расчистками, в которых истинная мощность оруденения составляет 0,9–1,6 м с содержанием Pt+Pd+Au 3,1–3,8 г/т. Кроме того, на небольшом участке несколькими буровыми скважинами выявлено рудное тело протяженностью ~700 м, мощностью 0,4–3,2 м, с содержанием Pt+Pd+Au 2,4–6,2 г/т (рудопоявление Северный Сулейпахк). Таким образом, дальнейшие геологоразведочные работы целесообразно сконцентрировать в средней части Северного рифа, в которой весьма вероятно обнаружение нового промышленного объекта.

Работы проводились при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 15-35-20501-мол-а-вед, № 13-05-12055-офи-м).

### 3. Оценка температуры формирования минералов ряда брэггит–высоцкит на основе экспериментальных данных по системе PtS–PdS–NiS в интервале температур 1200–700°C [6]

Участки	Средний состав	Число SEM и микрозондовых анализов	T, °C
Южный риф	$(Pd_{0,51}Pt_{0,21}Ni_{0,15})_{0,87}S_{1,00}$	41	745
Киевей, Северный риф	$(Pd_{0,49}Pt_{0,26}Ni_{0,14})_{0,89}S_{1,00}$	17	825
Северный Каменник, Северный риф	$(Pd_{0,61}Pt_{0,31}Ni_{0,11})_{1,03}S_{1,00}$	32	878
Федорова тундра	$(Pd_{0,54}Pt_{0,26}Ni_{0,10})_{0,90}S_{1,00}$	59	898
Вост. Чуарвы	$(Pd_{0,65}Pt_{0,30}Ni_{0,10})_{1,05}S_{1,00}$	20	919

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Надретт А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. – СПб.: Изд. СПбГУ, 2003.
2. *Петрология сульфидного магматического рудообразования / В.В.Дистлер, Т.Л.Гроховская, Т.Л.Евстигнеева и др.* – М.: Наука, 1988.
3. *Субботин В.В., Корчагин А.У., Савченко Е.Э.* Платинометаллическая минерализация Федорово-Панского рудного узла: типы оруденения, минеральный состав, особенности генезиса // Вестн. КНЦ. 2012. № 1. С. 55–66.
4. *Korchagin A.U., Subbotin V.V., Mitrofanov F.P., Mineev S.D.* Kievev PGE-bearing deposit in the West Pana layered intrusion // Strategic Mineral Resources of Lapland – Base for the Sustainable Development of the North. Apatity, 2009. P. Vol. II. P. 12–32.
5. *Makovicky E.* Ternary and quaternary phase systems with PGE / Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements // Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. 2002. Spec. Vol. 54. P. 131–176.
6. *Verryn S.M.C., Merkle R.K.W.* The system PtS–PdS–NiS between 1200° and 700°C // Canadian Mineralogist. 2002. Vol. 40. № 2. P. 571–584.

*Корчагин Алексей Урванович,*  
кандидат геолого-минералогических наук  
pana@com.mels.ru

*Гончаров Юрий Владимирович,*  
кандидат геолого-минералогических наук  
korchagin@geoksc.apatity.ru

*Субботин Виктор Владимирович,*  
кандидат геолого-минералогических наук  
sub@geoksc.apatity.ru

*Грошев Николай Юрьевич,*  
кандидат геолого-минералогических наук  
nikolaygroshhev@gmail.com

*Габов Дмитрий Александрович,*  
кандидат геолого-минералогических наук  
gabov\_da@mail.ru

*Иванов Антон Николаевич,*  
младший научный сотрудник  
aniva51@mail.ru

*Савченко Евгений Элланович,*  
ведущий электроник  
evsav@geoksc.apatity.ru

GEOLOGY AND ORES COMPOSITION OF THE NORTH KAMENNIK LOW-SULFIDE PGE DEPOSIT IN THE WEST-PANSKY MASSIF, KOLA PENINSULA

A.U.Korchagin,  
Yu.V.Goncharov,  
V.V.Subbotin,  
N.Yu.Groshev,  
D.A.Gabov,  
A.N.Ivanov,  
Ye.E.Savchenko

*North Kamennik – a new platinum-metal deposit of Fedorovo-Pansky tundra intrusive complex – is confined to the western flank of the Lower layered horizon in the West-Pansky massif. Tabular ore bodies are presented by sulfide impregnation, developed mainly in mesocratic gabbros (often olivine). The content of Pt+Pd+Au 0,2–14,6 g/t (Pd/Pt 5,5), 0,01–0,4% Ni, 0,01–0,6% Cu. The main concentrators of noble metals are gold-silver alloys, sulfides, bismuth tellurides of Pt and Pd, as well as pentlandite with isomorphic admixture of Pd.*

*Key words: low-sulfide PGE deposits, PGE reef, platinum group elements, ores composition.*

## МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ТОПОЛЬНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

А.В.Окулов,  
Л.В.Шатилова

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

В.А.Рожченко

ОАО «Горно-Алтайская Экспедиция»,  
с. Малоенисейское

*Рассмотрены минералогическая и геохимическая характеристики золоторудных скарнов, зон окварцевания и березитизации, проявленных на объектах Топольнинского рудного поля. Изучен типоморфизм самородного золота. Определена последовательность рудообразования.*

*Ключевые слова: золотоносные скарны, зоны окварцевания, вещественный состав, геохимические характеристики, тиморфизм золота.*

Топольнинское рудное поле (Солонешенский район Алтайского края), выделяемое в составе Ануйского медно-золоторудно-россыпного узла, сформировалось при внедрении Топольнинского и Караминского массивов габбро-гранодиорит-гранитной топольнинской ассоциации ( $D_2$ ) в карбонатно-терригенные отложения раннего девона (камышенская свита) и раннего силура (громотухинская серия и полатинская свита). Комплекс даек «пестрого» состава развит главным образом в экзоконтактах массивов, реже среди пород последних. Ранние дайковые тела сложены риолитами, риодацитами и дацитами куюганского комплекса ( $D_2$ ). Более поздние гранит-порфиры, диоритовые порфириты, монцодиориты, кварцевые диориты, плагиогранит-тоналит-порфиры и другие породы связаны со становлением топольнинской ассоциации. В структурном плане рудное поле представляет собой систему блоков карбонатно-терригенных пород преимущественно северо-западного простирания. Осадочные породы – алевролиты, известняки, известковистые алевролиты, мергели, а также песчаники с редкими прослоями гравелитов – вблизи массивов гранитоидов в различной степени ороговикованы, мраморизованы и скарнированы. Мощность ореола измененных пород достигает 800 м.

Основное оруденение (~85%) связано с телами золотоносных скарнов, хотя в пределах рудного поля известны золото-сульфидно-кварцевые рудные тела в виде кварцевых жил, жильно-прожилковых и штокверковых зон, которые сопровождаются березитоподобными изменениями вмещающих пород.

подавляющая часть золото-скарновых объектов рудного поля сосредоточена в области юго-западного экзоконтакта Топольнинского массива, отличающейся крайне сложным строением. Последнее обусловлено проявлением многочисленных апофиз гранитоидного состава, часто конформных простиранию контактово-метаморфизованных терригенно-карбонатных толщ громотухинской серии, наличием комплекса даек «пестрого» состава и др. В соответствии с различиями в элементах геологического строения золоторудные проявления разделяются на две группы. К первой, наиболее многочисленной, принадлежат объекты, рудные тела которых представлены золотоносными скарнами, как правило, конформными вмещающей толще (Сухая Грива, Чертова Яма и др.). Ко второй относятся объекты, строение и золотоносность рудных тел которых определяются наличием золотоносных скарноидов и скарнов, а также совмещенных с ними золото-

носных зон прожилково-вкрапленной минерализации кварцевого и сульфидно-кварцево-серицит-карбонатного составов (Баяниха, Лог-26). В соответствии с этим возникают и основные различия в минералого-геохимической характеристике рудных тел и их промышленной значимости. Минералого-геохимическая характеристика руд с той или иной степенью детальности приведена в публикациях М.Ф.Розена, В.С.Рузаева, Б.Г.Семенцова, А.И.Гусева, Н.П.Бедарева, Т.В.Тимкина, В.Г.Ворошилова, О.В.Савиновой и др. [2–5, 8, 10, 11, 13, 15]. Однако основное внимание в них было направлено на изучение тел золотоносных скарнов, в меньшей мере рассматривались прожилково-вкрапленные образования золото-сульфидно-кварцевого состава, фрагментарно – типоморфизм золота. На важность анализа взаимоотношений золото-скарнового и золото-сульфидно-кварцевого оруденения указывалось и ранее [1]. В рамках данного исследования нами проведено специализированное изучение минералого-геохимических характеристик проявлений Сухая Грива, Баяниха и Лог-26. Кроме того, в полном объеме использованы результаты опытно-методических работ ФГУП ИМГРЭ, полученные в последние годы (Н.А.Юшко, 2014 г.). Изучение самородного золота выполнялось по методике, разработанной в ЦНИГРИ [12, 16].

**Проявление Сухая Грива** расположено в северной части Топольнинского массива гранитоидов. Основные элементы его геологического строения во многом определяются локализацией в области изменения простирания контакта массива с субширотного на юго-восточное. На участке юго-восточного простирания контакт массива круто падает на север или на юг (75–90°), осложнен несколькими крупными апофизами, отдельные фрагменты которых ориентированы в субмеридиональном направлении, в то время как другие, наиболее мощные, – в субширотном и юго-восточном, субпараллельно контакту массива и конформно рудовмещающей толще.

Рудовмещающая толща формирует северную часть проявления. Она конформна контакту массива, представлена пачкой известняков (мощностью 120 м) камышенской свиты ( $D_1$ ) с редкими тонкими прослоями в различной степени ороговикованных алевролитов. При удалении от контакта неравномерно мраморизованные известняки сменяются роговиками с линзами известняков. Простирание пород рудовмещающей толщи

в пределах рудоносного участка субширотное, но в области разворота контакта гранитоидов на юго-восток изменяется на юго-восточное.

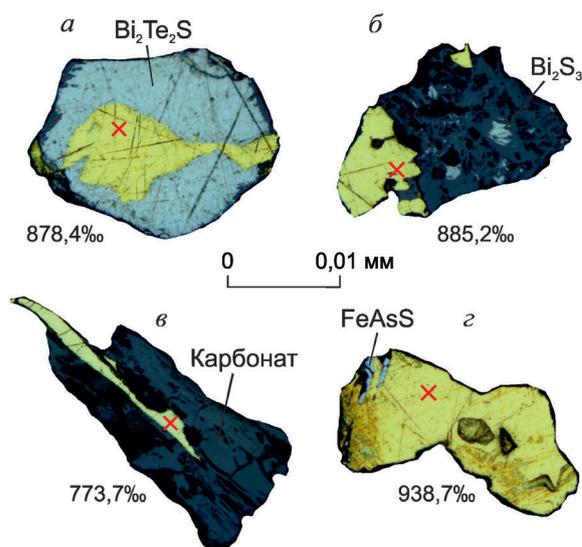
Южную часть проявления слагают гранитоиды сложного состава – от биотитовых гранитов до тоналитов и гранодиоритов. В некоторых участках, особенно в апофизах, доминируют порфиридные разности. Породы крайне неравномерно преобразованы, в большинстве участков замещены тонкозернистым хлорит-карбонатным агрегатом, а по плагиогранитам с той или иной степенью интенсивности развиты вторичные цоизит и серицит.

Комплекс даек – один из постоянных элементов геологического строения перспективных участков – в данном случае проявлен ограниченно и представлен дайками диоритовых порфиритов и гранит-порфиров северо-западной ориентировки.

Среди зон разрывных нарушений преобладают субширотные и субмеридиональные. Они подчеркиваются ориентировкой фрагментов апофиз гранитоидов. Следует отметить, что для тел золотоносных скарнов характерна субширотная и юго-восточная ориентировка.

Тела скарнов конформны породам массива. Форма тел линзо-, жилообразная и сложная с ответвлениями, мощность от 2 до 30 м, протяженность от 50 до 450 м. Основная часть скарнов и рудных тел находится в восточной части проявления, где пространственно тяготеет к апофизе тоналит-порфиров. По мере упрощения формы контакта к западу мощности скарнов и рудных тел уменьшаются. Скарны биметасоматические, реже инфильтрационные, сложены главным образом гранатом и клинопироксеном, встречаются также амфибол-пироксеновые скарны при подчиненной роли гранат-волластонитовых, гранат-эпидотовых и кальцит-везувиан-гранатовых (М.Ф.Розен, 1957 г.; В.С.Рузаев, 2002 г.). Отчетливая зональность метасоматитов по отношению к интрузивному контакту не наблюдается. Рудные тела повторяют форму скарнов и не выходят за их пределы.

Гранат, клинопироксен, роговая обманка, волластонит и везувиан являются собственно скарновыми минералами. Прочие минералы, ассоциирующие с ними, согласно представлениям большинства авторов, связаны с постскарновыми процессами [7, 14]. Гранат присутствует в двух генерациях: ранний образует анизотропные зо-



**Рис. 1.** Самородное золото в сростании с тетрадимитом (а), висмутином (б), карбонатом (в), проявление Сухая Грива; включения арсенопирита в золоте из зоны окварцевания (г), проявление Баяниха (монтир. полир. шлиф)

нальные кристаллы, реже зерна неправильной формы; гранат-II изотропен, образует редкие прожилки мощностью  $n \cdot 0,1$  мм. Клинопироксен формирует пойкилобласты, а также плотные скопления зерен в гранате. Роговая обманка наблюдается в виде обособлений неправильной формы, кристаллов, их скоплений и, возможно, замещает клинопироксен. Волластонит слагает отдельные гнезда и линзы в скарнах (В.С.Рузаев, 2002 г.). Основной минерал скарнов – гранат – составляет до 90% объема породы. Количество клинопироксена ~15%. Роговая обманка развита спорадически в количестве не более 5–10%. Распределение минералов в телах скарнов неравномерное. Микроструктура пород гетерогранобластовая, часто ситовидная, текстура массивная и пятнистая.

В постскарновую стадию отлагались актинолит, хлорит, эпидот, кальцит и кварц. Игольчатые кристаллы актинолита замещают роговую обманку. Хлорит, как правило, выполняет интерстиции в клинопироксене или трещины в гранате, замещает роговую обманку и актинолит. Эпидот сравнительно редок, образует неправильной формы зерна и их скопления. Тонкие, мощностью  $n \cdot 0,01$  мм, трещины в скарнах и межзерновое пространство скарновых минералов залечены преимущественно карбонатом, кварцем, ре-

же хлоритом и эпидотом. Карбонат слагает зерна. Кварц-карбонатные линзы и обособления цементируют клинопироксен, актинолит и другие минералы. Содержание актинолита, хлорита и карбоната составляет от 5 до 30–35% в наиболее интенсивно измененных породах, кварца и эпидота не более 5%. Ассоциация актинолита, хлорита, карбоната и кварца, вероятно, связана с процессом пропилитизации, а кварц-карбонатные линзы и обособления маркируют завершение этого процесса. Мусковит встречается крайне редко и в незначительном количестве.

Вне зависимости от состава в скарнах фиксируется редкая вкрапленность рудных минералов – магнетита, пирита, халькопирита, борнита и халькозина (М.Ф.Розен, 1957 г.; В.С.Рузаев, 2002 г.). Повсеместно в виде отдельных зерен присутствуют висмутин, бисмутит, тетрадимит, реже шеелит, молибдошеелит, молибденит (В.С.Рузаев, 2002 г.). Очень редко отмечаются цумоит, галенит, герсдорфит, киноварь (В.Г.Ворошилов, Т.В.Тимкин, 2014 г.). В целом рудная минерализация отличается убожеством и неравномерностью распределения и обычно не превышает 2–3%.

Наиболее распространенный рудный минерал скарнов – магнетит – образует октаэдрические кристаллы, каймы по периферии роговой обманки, реже неправильной формы выделения и скопления или пластинчатые выделения по спайности в актинолите. Редкие изометрические округлые выделения пирита заключают в себе более ранний магнетит. Халькопирит встречается в сростании с магнетитом или в виде мельчайших включений в магнетите или висмутине, а также эмульсионной вкрапленности в сфалерите (В.Г.Ворошилов, Т.В.Тимкин, 2014 г.). Установлены сростания висмутина и тетрадимита. Включения самородного золота в сульфидах не обнаружены.

Для золота из скарнов проявления Сухая Грива характерны сростания с висмутином, тетрадимитом, окисленными сульфидами, минералами скарнов (гранатом, пироксеном) и послескарновых ассоциаций (актинолитом, карбонатами) (рис. 1, рис. 2, а). Золото весьма мелкое при подчиненной роли более крупного, до 1,6 мм. Формы его в основном неправильные цементационные, трещинные, есть и смешанные (гемиидиоморфные) (рис. 3, а). Кристаллы изометрические и искаженные, их сростки весьма редки.

При изучении химического состава методом рентгеноспектрального микроанализа золото

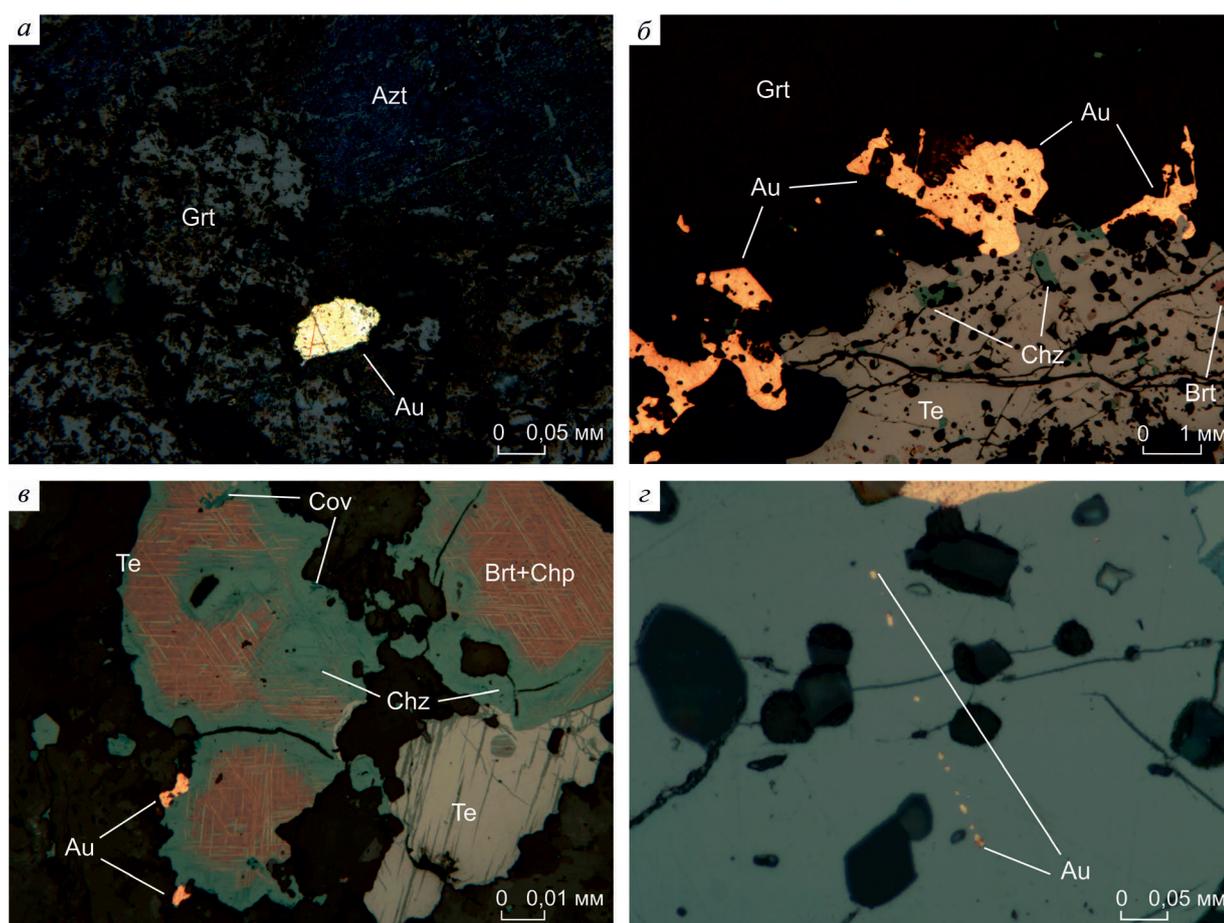


Рис. 2. Выделение самородного золота по трещине в гранате в срastании с азуритом (а), проявление Сухая Грива; самородное золото в срastании с тетраэдритом (б); нарастание самородного золота на халькозине, замещающем борнит и образующем каемку по периферии его зерен (в); выделения золота по микротрещине в тетраэдрите (з), проявление Баяниха:

Au – золото; Brt+Chp – борнит с халькопиритовой решеткой; Te – тетраэдрит; Chz – халькозин; Cov – ковеллин; Azt – азурит; Grt – гранат

отчетливо разделяется на две группы (рис. 4, а). В золоте-I пробностью 878–890‰ (средняя 884‰) присутствуют постоянные примеси Te (в среднем 0,05 мас. %) и Bi (0,14 мас. %) с частотой встречаемости 100 и 80%, спорадические Cu и Hg (по 0,01 мас. %) с частотой встречаемости 23 и 11% соответственно.

Золото-II обладает более низкой средней пробностью 799‰ при широких ее вариациях 774–835‰. Помимо постоянных примесей Te (0,08 мас. %) и Bi (0,16 мас. %), в 89% отмечается Hg (0,10 мас. %) и в 29% – Cu (0,01 мас. %). Примечательно, что срastания с сульфидами висмута и теллура характерны для золота-I, хотя макси-

мальное количество этих элементов установлено в золоте-II, для которого подобные срastания не выявлены. Внутреннее строение золота-I и золота-II монокристаллическое, иногда двойниковое. В отдельных случаях в структуре золота-II сохраняются следы эндогенных деформаций. Гипергенные преобразования проявлены в виде единичных высокопробных межзерновых прожилков и тонких коррозионных оболочек (рис. 5, а–в). Сопоставив результаты изучения золота с геологической обстановкой, можно сделать вывод о том, что его кристаллизация проходила в относительно стабильных условиях. Закономерные отличия золота-I из биметасоматических скарнов непо-

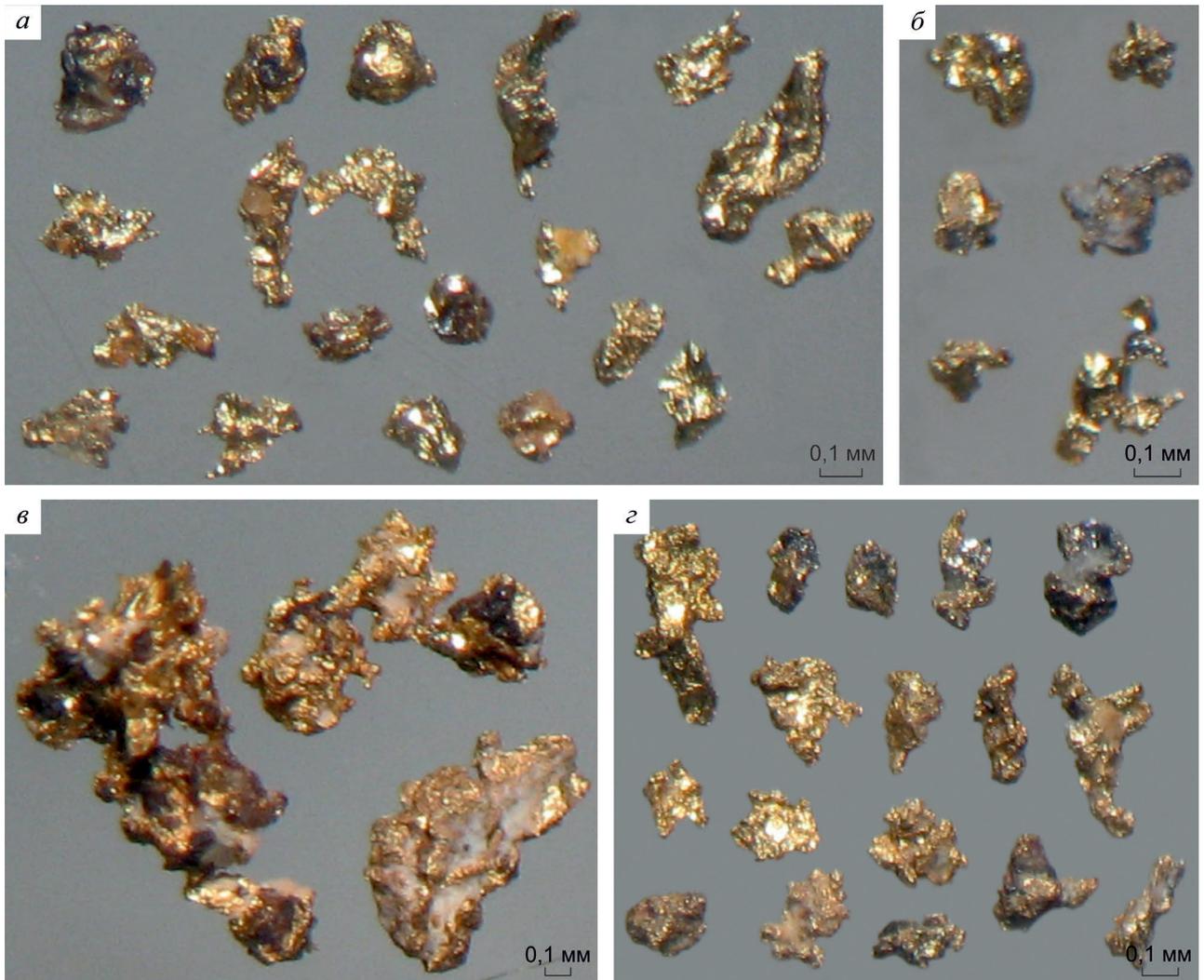


Рис. 3. Комковидное и интерстициальное золото из скарнов (а), проявление Сухая Грива; комковидно-ячеистое и трещинно-прожилковое золото из скарноидов (б) и окварцованных алевролитов (в), проявление Баяниха; комковидные, интерстициальные и трещинно-прожилковые формы золота (г), проявление Лог-26

средственно на контакте массива с гранитоидами и золота-II из инфильтрационных скарнов на небольшом удалении от апофизы массива тоналит-порфирового состава, очевидно, определяются латеральной зональностью месторождения. Установлено, что примеси Cu, Bi, Hg и Te характерны для золота из скарнов Синюхинского месторождения [9].

Золотоносные скарны в первичных ореолах, как правило, выделяются среди других пород повышением содержаний Bi, Cu и Sn, иногда ореолами Zn, обусловленными неравномерной

вкрапленностью сфалерита. Ореолы W и As зафиксированы над скарнами и за их пределами над тоналитами и гранитоидами. Вольфрам свойствен и скарнам, и породам массива и связан, скорее всего, с редкой вкрапленностью шеелита и молибдошеелита (В.С.Рузаев, 2002 г.). Появление ореолов As вызвано, вероятно, редкими зернами арсенопирита. Ореолы Cu объясняются наличием халькопирита, борнита, халькозина, а Bi – висмутина, бисмутита, тетрадимита, которые тяготеют к скарнам. Из-за редкости и неравномерности сульфидной вкрапленности

золото в первичных ореолах не всегда сопровождается аномалиями. Обычно рудным телам соответствуют аномалии Bi, Cu, W и Sn.

Во вторичных геохимических полях проявлению Сухая Грива сопутствуют обширные ореолы Au, Bi и W, наиболее контрастные из которых приурочены к его восточной части, где локализованы основные рудные тела. Медь, частично олово, свинец и серебро формируют ореолы над основными рудными и скарновыми телами (В.А.Рожченко, 2014 г.).

Опытно-методическими литохимическими работами над известными телами золотоносных скарнов на востоке проявления были выделены комплексные Au-Bi-Cu-W с повышенными содержаниями Ag вторичные геохимические аномалии. Их ориентировка повторяет простирание рудных тел, а состав близок к составу вторичных аномалий, развитых в экзоконтактовой зоне гранитоидного массива на проявлении Баяниха (Н.А.Юшко, 2014 г.).

Таким образом, практически все золотое оруденение на проявлении Сухая Грива сосредоточено в различной степени пропилитизированных скарнах. Рудные минералы представлены редкой вкрапленностью магнетита, сульфидов меди и висмута. Их образование связано, возможно, с постскарновыми эпидот-хлорит-актинолит-кварц-карбонатными изменениями. Интенсивность пропилитизации не оказывает видимого влияния на количество сульфидной вкрапленности и содержание золота, высокие концентрации которого часто наблюдаются в практически не измененных породах. Вероятно, это объясняется избирательной приуроченностью золота к трещинам и неоднородностям, что характерно для золото-скарновых объектов. Рудные тела в первичных и во вторичных ореолах выражены аномалиями Au, Bi, Cu и W. Содержания элементов в первичных ореолах низкие, обычно не более  $n \cdot 0,01\%$ , что отражает убогую вкрапленность сульфидов.

**Проявление Баяниха**, как и объект Сухая Грива, расположено в области погружения Топольнинского массива гранитоидов, в зоне его юго-западного контакта с терригенно-карбонатными образованиями громотухинской серии. Для площади проявления характерна отчетливая северо-северо-западная ориентировка основных элементов его геологического строения – фрагментов контакта массива, конформных прости-

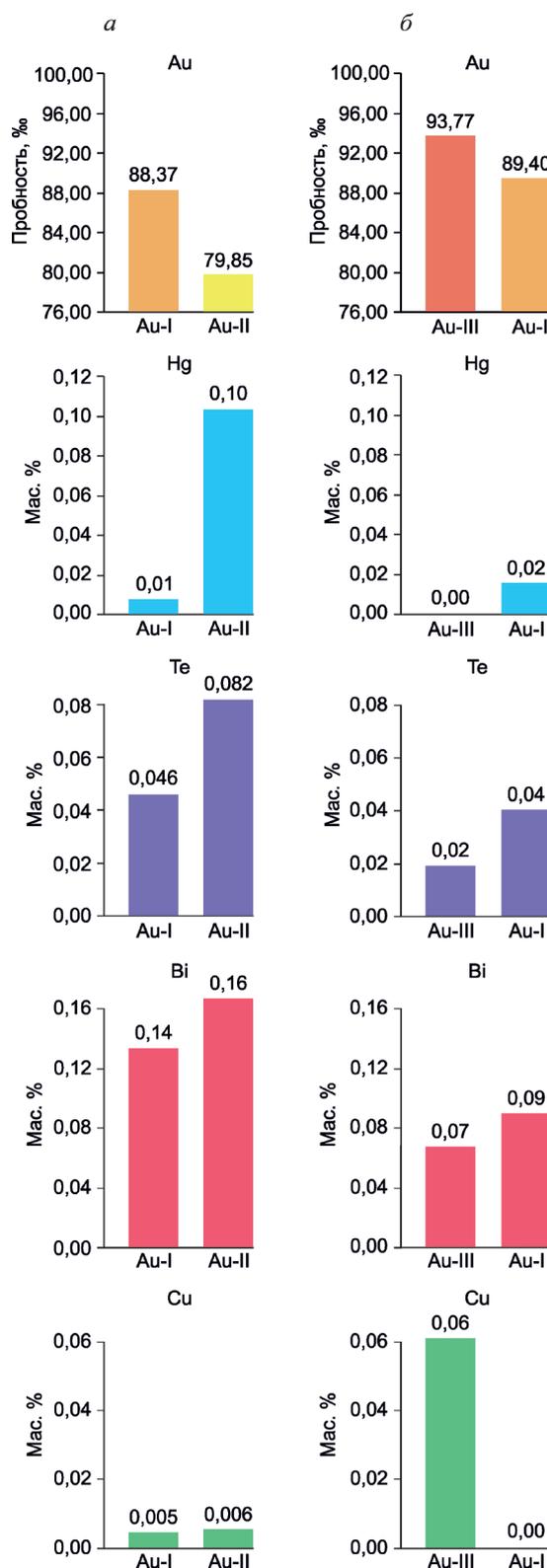


Рис. 4. Гистограммы распределения пробыности и элементов-примесей в золоте проявлений Сухая Грива (а) и Баяниха (б)

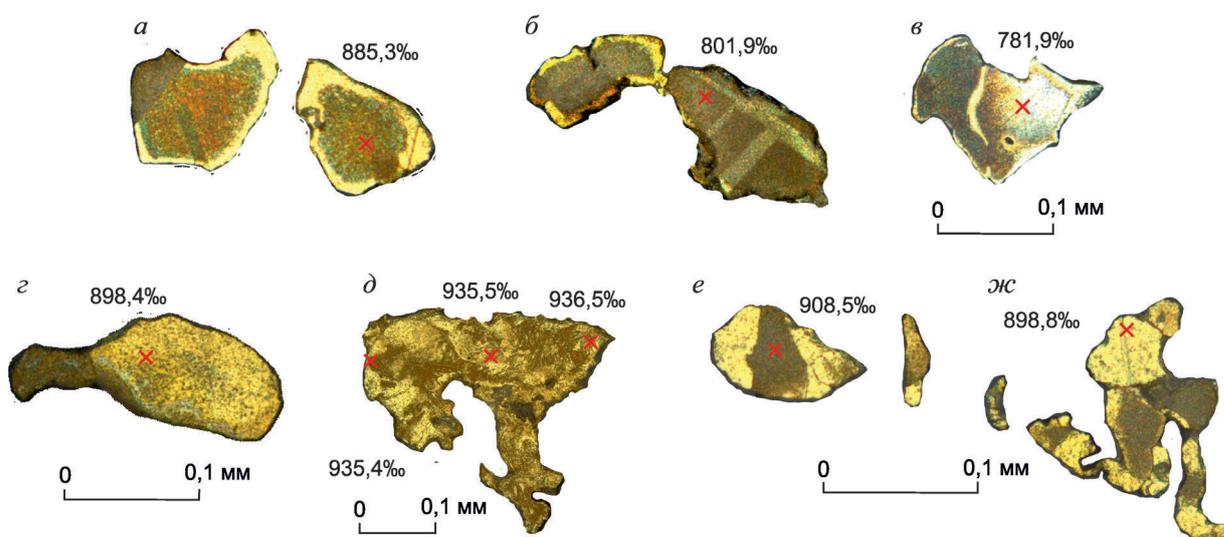


Рис. 5. Монокристаллическое и двойниковое строение золота-I (а) и золота-II (б, в) с коррозионными каймами и высокопробными межзерновыми прожилками, проявление Сухая Грива; зернистое строение золота-I (г) и деформированная структура золота-III (д), проявление Баяниха; зернистое строение золота (е, ж), проявление Лог-26 (монтаж. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ )

ранию метаморфизованной рудовмещающей толщи, даек, сопряженных с формированием массива, тел риолит-дацитов куюганского комплекса и зон разломов. Исключительно широко развитые дайки среднего состава имеют северо-северо-западную ориентировку, как и золотоносные скарноиды, которые слагают ряд сближенных линзообразных тел общей мощностью до 70 м, протяженностью до 300 м.

В отличие от объекта Сухая Грива на проявлении развиты так называемые скарноиды. Они представляют собой тонкозернистые ороговикованные мергели с полосами, линзами и прожилками собственно скарнов, количество которых варьирует от первых процентов до 60%. Мергели сложены пелитоморфным карбонатом и эпидотом с редкой примесью граната и клинопироксена, скарны – преимущественно клинопироксеном и гранатом, которые формируют две ассоциации. Для ранней ассоциации характерно проявление тонкозернистых пойкилобластов клинопироксена в массе граната, для поздней – более крупнозернистые агрегаты скарновых минералов в виде мелких линз и прожилков в ранней. К постскарновым образованиям относится хлорит-актинолит-эпидот-карбонатный комплекс. Морфология, количественные соотношения, размеры агрегатов (скоплений) минералов комплек-

са, а также особенности их проявлений в телах гранат-клинопироксеновых скарноидов близки к охарактеризованному на проявлении Сухая Грива. Основное промышленное оруденение связано со скарноидами, хотя здесь известны и золотоносные жильно-прожилковые зоны в гранит-порфирах массива, окварцованные слабоороговикованные золотоносные алевролиты, сиениты, окварцованные и березитизированные риолит-дациты.

Рудные минералы в скарноидах присутствуют в незначительных количествах и обычно не превышают 5% при крайне неравномерном распределении. Наиболее ранним минералом является молибденит, образующий пластинчатые выделения. Характерно наличие сульфидов меди (халькопирит, борнит, халькозин, ковеллин, блеклые руды), приуроченных к трещинам и интерстициям зерен нерудных минералов. Борнит формируется после основной массы халькопирита, но содержит тонкие, в сотые доли миллиметра, решетчатые выделения халькопирита (структуры распада твердого раствора) и по периферии замещается халькозином. Вслед за халькозином формируется блеклая руда в виде обособлений неправильной формы. Минералы меди замещаются ковеллином, возможно, гипергенного происхождения, до образования пол-

ных псевдоморфоз. В скарноидах также зафиксированы пирротин, пирит, галенит, сфалерит, шелифит, в виде единичных мелких зерен встречаются теллуриды и селениды – тетрадимит, цумоит, гессит, алтаит, самородный висмут (В.Г.Ворошилов, Т.В.Тимкин, 2014 г.). Теллуриды и селениды, по аналогии с другими золото-скарновыми объектами [6], формируются на завершающем этапе, вероятно, после блеклой руды, галенит и сфалерит – предположительно после сульфидов меди. Все эти минералы связаны, вероятно, с возникновением хлорит-актинолит-эпидот-карбонатных парагенезисов.

В скарноидах и скарнированных алевролитах проявления Баяниха золото образует сростания с блеклой рудой, халькозином, борнитом, кварцем, актинолитом (см. рис. 2, б, в). Иногда металл цементирует гранат и халькозин, встречаются его мельчайшие,  $n \cdot 0,001$  мм, выделения по микротрещинам в тетраэдрите (см. рис. 2, г), по спайности в молибдените.

В основном золото весьма мелкое и лишь в редких случаях достигает 0,6 мм. Как и на проявлении Сухая Грива преобладают неправильные формы – трещинные и комковидные (см. рис. 3, б), несколько шире распространены кристаллы и их сростки и гемиморфные частицы. Для этого золота характерны пробность 887–898%, постоянные примеси Те (в среднем 0,05 мас. %) и Вi (0,1 мас. %), спорадические Си и Нг (см. рис. 4, б), а также монозернистое и зернистое внутреннее строение (см. рис. 5, г), что позволяет считать его сходным с золотом-I проявления Сухая Грива.

Предшествующими исследователями (В.Г.Ворошилов, Т.В.Тимкин, 2014 г.) на проявлении Баяниха отмечено золото пробностью 881% в сростании с тетраэдритом, которое, возможно, соответствует золоту-II, наблюдаемому на проявлении Сухая Грива.

Во вторичных ореолах золотоносные скарноиды проявления Баяниха близки к скарнам объекта Сухая Грива: для них характерны контрастные аномалии Au, Вi, Си, аномалии W и As частично располагаются над рудными телами. Золоторудные скарноиды выражены первичными ореолами Au, Вi, Си, Sn, иногда Zn и Sb. Содержания элементов в первичных ореолах низкие, обычно  $n \cdot 0,01$ – $n \cdot 0,001\%$ , что говорит о крайне низких содержаниях сульфидов.

Наиболее поздняя группа гидротермалитов представлена золотоносными серицит-(пирит)-

карбонат-кварцевыми образованиями в виде отдельных разобщенных участков и зон. Зоны березитизации и окварцевания наложены на риолит-дациты куюганского комплекса, сиениты и гранит-порфиры топольнинской ассоциации. Наиболее интенсивные и мощные березитоподобные изменения отмечены в кислых вулканах, слагающих зоны мощностью до 7–12 м, но содержания Au в них не превышают десятых грамм на 1 т. Самые мощные зоны окварцевания проявлены в гранит-порфирах массива, содержание Au в них достигает первых грамм на 1 т (до первых десятков грамм на 1 т по единичным пробам) (В.А.Рожченко, 2014 г.).

Известно, что для рудных полей с золото-скарновыми месторождениями характерно присутствие жил и жильно-прожилковых зон золото-сульфидно-кварцевого состава, часто сопровождаемых березитами [1, 8]. На Топольнинском рудном поле, помимо этого, развиты зоны серицит-(пирит)-карбонат-кварцевого, серицит-кварцевого составов на удалении от массивов гранитоидов. С зонами окварцевания и березитизации связано формирование золотоносных россыпей, где в состав тяжелой фракции шлихов входит не только мелкое слабоокатанное золото, но и самородки массой до 100 г (россыпь р. Карам в приустьевой части проявления Лог-26, [2]). Н.П.Бедарев и А.И.Гусев отмечают устойчивое присутствие «пылевидного» золота в протоочках из березитизированных пород проявлений Лог-26 и Баяниха. Кроме пирита, в тяжелой фракции из кварцевых жил и березитизированных пород с тонкими прожилками кварца фиксируются арсенипирит, молибденит, тетраэдрит, реже – халькопирит, галенит, сфалерит. Количество сульфидов в этих образованиях, как правило, не превышает 3%. Теллуриды, борнит и халькозин, характерные для ранней ассоциации, среди сульфидов здесь не наблюдаются.

В зонах окварцевания проявления Баяниха золото встречается в сростании с арсенипиритом, окисленными сульфидами и кварцем (см. рис. 1, г). Оно преимущественно весьма мелкое, редко достигает 1,3 мм, обычно неправильных цементационных и трещинных форм (см. рис. 3, в). Это золото-III заметно отличается от золота-I и золота-II из скарноидов высокой (935–945%) пробностью и распределением элементов-примесей. Так, помимо Те (0,02 мас. %) и Вi (0,07 мас. %) с частотой встречаемости соответственно 71 и 88%,

для него характерна примесь Cu (0,06 мас. %) в 100%, а Hg практически отсутствует (см. рис. 4, б).

Внутреннее строение реликтов остаточного золота сохраняет следы интенсивных эндогенных деформаций (см. рис. 5, д). По периферии выделений золота часто отмечается коррозионная оболочка пробностью 988–998‰.

В первичных ореолах кварцевые жилы и жильно-прожилковые зоны выражены ореолами W, As, редко Sb и Cu, но ореолы Bi, свойственные золотоносным скарноидам, не проявлены. Сходная картина наблюдается и во вторичных ореолах рассеяния: зоны окварцевания и березитизации сопровождаются ореолами Au, As, W, Mo, частично Cu.

**Проявление Лог-26** расположено в зоне тектонических деформаций северо-западной ориентировки к западу от Караминского массива. По особенностям геологического строения оно относится к той же группе объектов, что и проявление Баяниха. Тектоническая нарушенность геологических образований здесь выражена более интенсивно, что находит отражение в более широком развитии комплекса даек «пестрого» состава, большей протяженности даек и тел скарноидов. Как и на проявлении Баяниха, здесь развиты пропицитизированные золотоносные скарноиды и более поздние золото-сульфидно-кварцевые гидротермалиты. Вследствие интенсивных и длительных тектонических подвижек спектр пород, на которые были наложены поздние золотоносные образования, более обширный (роговики, диоритовые порфириды, андезиты, риолиты, а также скарноиды). В ряде случаев это приводит к возникновению раздувов рудных тел, которые сложены золотоносными скарноидами в сочетании с другими породами (золотоносными роговиками, риолитами, андезитами, диоритовыми порфиритами), что на проявлении Баяниха выражено менее отчетливо.

Рудная минерализация в скарнах и скарнированных известняках отличается от таковой в риолитах, андезитах и монцодиорит-порфиридах. Для первых характерны ранние пирит и арсенопирит, по которым развита сеть трещин, заполненных пирротинном и халькопиритом. Формирование сульфидов завершается образованием борнита, сфалерита, тетрадимита, алтаита и других теллуридов, а также селенидов. Все эти минералы сформированы, вероятно, при образовании эпидот-актинолит-хлорит-карбонатного

комплекса. Более поздняя ассоциация рудных минералов, связанная с березитизацией магматических пород, представлена молибденитом, пиритом, игольчатым арсенопиритом, халькопиритом, тетраэдритом-II (?), галенитом, пирротинном-II (?). Она проявлена менее интенсивно, чем ранняя. В ее составе отсутствуют теллуриды, борнит и халькозин.

Для скарноидов проявления Лог-26 характерны сростания золота с окисленными сульфидами и кварцем. По данным В.Г.Ворошилова и Т.В.Тимкина (2014 г.), встречались сростания золота с молибденитом, халькопиритом, самородным висмутом.

Золото весьма мелкое, редко более крупное до 1,0 мм, комковидно-ячеистое и трещинное при подчиненной роли смешанных и правильных форм (см. рис. 3, з), с вариациями пробности 798–976‰. Частота встречаемости Te (в среднем 0,04 мас. %) и Bi (0,1 мас. %) составляет 100 и 89%, в 33% отмечена примесь Cu (0,01 мас. %), в 44% – Hg (0,08 мас. %). Внутреннее строение золота монозернистое и зернистое (см. рис. 5, е, ж) со следами гипергенных преобразований в виде высокопробных коррозионных оболочек и редких межзерновых высокопробных прожилков.

На проявлении Лог-26 геохимическая картина менее отчетливая, чем на объектах Сухая Грива и Баяниха. Известные тела рудных скарноидов во вторичных геохимических полях в целом выражены слабоконтрастными ореолами золота и элементов-спутников Ag, As, Cu, Bi, Sb, Hg, Mo и W. На юго-восточном выклинивании рудных тел фиксируются ореолы элементов-спутников золота, отвечающие надрудному уровню эрозийного среза (Н.А.Юшко, 2014 г.). В первичных ореолах даже наиболее мощные рудные тела выражены неотчетливо. Как правило, они сопровождаются аномалиями Bi и As, иногда Cu, Sb, Zn. Вероятно, это обусловлено неравномерностью сульфидной вкрапленности. Таким образом, ореолы Cu и Bi, характерные для золотоносных скарнов и скарноидов, совмещаются с ореолами As, типичными для зон окварцевания.

Итак, можно сделать вывод, что золотое оруденение Топольнинского рудного поля сформировалось в два этапа. В первый этап в постскарновое время формировался эпидот-актинолит-хлорит-карбонатный комплекс. В этот период появляются самые ранние и редкие пирит и

арсенопирит, затем сульфиды меди (халькопирит, борнит, халькозин, блеклая руда) и теллуриды (висмутит, бисмутит, тетрадимит, алтаит и др.). Отложение золота происходило после кристаллизации теллуридов с образованием сростаний не только с висмутином и тетрадимитом, но и с более ранними борнитом, халькозином и блеклой рудой. Для золота типичны весьма мелкие и мелкие размеры, неправильные и смешанные формы выделений, значительные вариации пробности 604–898‰ с бимодальным ее распределением, примеси Вi и Те в золоте средней пробности и Вi, Те, Нg в относительно низкопробном. Монозернистое и двойниковое внутреннее строение характерно для относительно стабильных условий рудоотложения.

Во второй, более поздний, этап золотого оруденения формировались жилы и жильно-прожилковые зоны золото-сульфидно-кварцевого состава. Убогая (до 1–3%) сульфидная вкрапленность представлена идиоморфным пиритом и игольчатым арсенопиритом-II (?). Борнит, халькозин, теллуриды, характерные для более ранней ассоциации, отсутствуют. Березитоподобные серицит-(пирит)-карбонат-кварцевые и серицит-кварцевые изменения затрагивают породы различного состава: кислые вулканиты, гранитоиды массива, дайки «пестрого» состава, песчаники, а также скарны. Золото этой генерации образует сростания с арсенопиритом и кварцем. В рудах преобладает весьма мелкое и мелкое золото. В россыпях, приуроченных к полям распространения жильно-прожилковых зон, встречаются мелкие и средние самородки. Для золота характерны цементационные и трещинные формы, высокая пробность, примеси Вi, Те, Сu, признаки интенсивных эндогенных деформаций внутреннего строения.

Первичные и вторичные геохимические ореолы золото-скарновых и золото-сульфидно-кварцевых рудных тел также обладают рядом отличий. Во вторичных ореолах для золото-скарновых тел характерны аномалии Au, Вi, Сu, W, реже Zn, а для золото-сульфидно-кварцевых – Au, As, W. Фиксируются элементы латеральной зональности: с удалением от массива в рудных телах уменьшается количество вольфрама и молибдена при увеличении висмута, меди, мышьяка, сурьмы. В первичных ореолах, связанных с золотоносными скарнами, скарноидами и зонами окварцевания, различия аналогичные: первые

сопровождаются ореолами Au, Сu, Вi, Sn, Zn, W, редко As, вторые – W, As, Pb, редко Сu.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алабин Л.В., Калинин Ю.А.* Металлогения золота Кузнецкого Алатау // Тр. Сибирского отделения РАН. Новосибирск, 1999. Вып. 843. С. 72.
2. *Бедарев Н.П., Гусев А.И.* Геология и золотоносность Топольнинского рудного поля // Руды и металлы. 1998. № 2. С. 100–109.
3. *Гусев А.И.* Геология и золото-медно-скарновое оруденение Синюхинского рудного поля в Горном Алтае // Руды и металлы. 1998. № 2. С. 79–80.
4. *Гусев А.И.* Металлогения золота Горного Алтая и юга Горной Шории: Автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. – Томск, 2006.
5. *Гусев Н.И., Гусев А.И.* Золотогенерирующие рудно-магматические системы Горного Алтая // Руды и металлы. 1998. № 2. С. 67–78.
6. *Двуреченская С.С.* Новые данные о самородном золоте и составе рудных минералов Синюхинского золото-скарнового месторождения // Руды и металлы. 2010. № 5. С. 54–63.
7. *Коробейников А.Ф., Зотов И.А.* Закономерности формирования месторождений золото-скарновой формации. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.
8. *Петрология и рудоносность магмо-рудно-метасоматических систем Солонешенского рудного района Алтая / А.И.Гусев, Н.И.Гусев, Е.М.Табакаева и др.* – Бийск: АГАО им. В.М.Шукшина, 2013.
9. *Рослякова Н.В., Щербakov Ю.Г.* Состав самородного золота в скарнах Синюхинского рудного поля, Алтай // Геохимия. 1999. № 1. С. 25–33.
10. *Рузаев Р.В., Тимкин Т.В.* Геологическое строение Топольнинского рудного поля // Проблемы геологии и освоения недр: Тр. VII Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2003. С. 61–62.
11. *Савинова О.В.* Условия формирования и прогнозно-поисковые критерии золотого оруденения в Топольнинском рудном поле (Горный Алтай): Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – Томск, 2014.
12. *Самородное золото России. Атлас / Л.А.Николаева, А.М.Гаврилов, А.Н.Некрасова и др.* – М.: Акварель, 2015.
13. *Семенов Б.Г.* Стадийность золотооруденения Топольнинского рудного поля на севере Горного Алтая // Природные ресурсы Горного Алтая. 2004. № 1. С. 27–31.

14. *Скарновые* месторождения / Отв. ред. Д.С.Коржинский. – М.: Наука, 1985. / Л.А.Николаева, А.М.Гаврилов, А.Н.Некрасова и др. – М.: ЦНИГРИ, 2006.
15. *Тимкин Т.В., Логвиненко О.В.* Особенности геохимической зональности рудопоявления «Чертова Яма» Топольнинского золоторудного поля (Алтайский край) // Мат-лы конференции «Интерпретация и оценка разноранговых рудогенных геохимических аномалий в сложных ландшафтно-геологических условиях». М., 2013.
16. *Типоморфизм* самородного золота. Методические рекомендации для геологоразведочных работ
- Окулов Алексей Вячеславович,*  
аспирант ФГУП ЦНИГРИ  
okulovav@mail.ru
- Шатилова Людмила Викторовна,*  
научный сотрудник
- Рожченко Виталий Антонович,*  
ведущий геолог ОАО «ГАЭ»  
gapse@mail.biysk.ru

## MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF GOLD OBJECTS OF TOPOLINSKOE ORE FIELD

A.V.Okulov,  
L.V.Shatilova,  
V.A.Rozhchenko

*The mineralogical and geochemical characteristics of gold skarns, silicification and beresitization zones of the objects of Topolinskoe ore field are considered. Typomorphism of native gold was studied. The sequence of mineralization was defined.*

*Key words: auriferous skarns, zones of silicification, material composition, geochemical characteristics, gold typomorphism.*

Подписка в почтовых отделениях  
по каталогу «Газеты. Журналы» Агентства «Роспечать»  
(индекс 47 218)

Подписка на электронную версию журнала  
на сайте Научной Электронной Библиотеки elibrary.ru

Вышедшие номера журнала можно приобрести в редакции:  
Адрес: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1  
Контактный телефон: 8 (495) 315-06-29. Факс: 315-43-47  
E-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru

Периодичность – 4 номера в год. Цена подписки на год 800 рублей.

# БОРГУЛИКАНСКАЯ ЗОЛОТО-МЕДНАЯ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА В ПРИАМУРСКОЙ ЗОЛОТОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

А.Е.Пересторонин

ООО «Амурмедь»,  
г. Благовещенск

*Рассмотрена Боргуликанская золото-медно-порфировая рудно-магматическая система, ассоциируемая с Боргуликанским рудным полем, включающим золото-медно-порфировое месторождение Икан в Приамурской золотоносной провинции. Приведены данные о геологическом строении рудного поля, магматизме, гидротермально-метасоматических изменениях, минералогии и геохимии руд. Высказаны предположения о генезисе оруденения. Приведена модель Боргуликанской рудно-магматической системы.*

*Ключевые слова: рудно-магматическая система, порфировый интрузив, медь, золото, молибден, метасоматиты, геохимические ореолы.*

Рудное месторождение порфирового типа, вне зависимости от его масштаба, – часть сложной рудообразующей гидротермальной геологической системы, состоящей из ряда элементов, образованных различными процессами, которые в итоге приводили к концентрированию рудного вещества. Для золоторудных месторождений Приамурской провинции такими геологическими системами являются рудно-магматические системы (РМС) [1, 5, 7, 10, 12–14]. Для формирования месторождения в их пределах необходимо наличие взаимосвязанных в пространстве и времени главных факторов [1, 10, 13]: потенциального источника рудного вещества и его мобилизации (область генерации); последующей миграции рудного вещества (область транспорта); его концентрации (область рудоотложения). Не менее важна также сохранность оруденения от поздних эндогенных и экзогенных процессов. Соотношения и взаимосвязь указанных областей создают общую структуру рудообразующей системы, служащую, наряду с размерами, ее идентификационным признаком. Задача прогнозирования – установить наличие и масштабы распространения каждой из областей, в совокупности образу-

ющих продуктивную на золото РМС. При этом сложность заключается в том, что для наблюдений доступна лишь область рудоотложения (главный объект исследования РМС), а изучение прочих областей возможно только с помощью реконструкций и предположений.

Применительно к Приамурской провинции наиболее верно следующее определение: «рудно-магматическая система есть естественное сообщество магматических, метасоматических и рудных образований, а также геохимических полей разных уровней концентрирования элементов, обусловленное деятельностью генетически взаимосвязанных геологических процессов» [15]. Как конкретные геологические объекты РМС ограничены во времени и пространстве [4] и в современном состоянии выражаются признаками наличия каких-либо их составных частей. Главные из них – собственно рудные тела, зональные метасоматиты, аномальные геохимические и геофизические поля, рассеянная сульфидная минерализация во вмещающих породах, интрузии определенных магматических комплексов. Помимо этого, для образования и существования РМС необходимо наличие многих рудоконтролирую-

щих факторов, благодаря которым происходило отложение рудного вещества.

Металлогения Приамурской провинции имеет ярко выраженный «золотой» профиль. Золоторудные месторождения различного генезиса расположены во всех ее геотектонических структурах (рис. 1), преимущественный возраст их формирования – раннемеловой [11, 16]. В регионе

давно известны крупные и средние по масштабу месторождения золота, такие как Покровское, Токур, Бамское, Березитовое, Пионер, Маломыр, Кировское, Нони и др. Они хорошо изучены, часть вовлечена в отработку, некоторые отработаны. Золото-медное оруденение в Приамурье распространено не столь широко, как золоторудное, и характерно лишь для северной окраины Керуле-

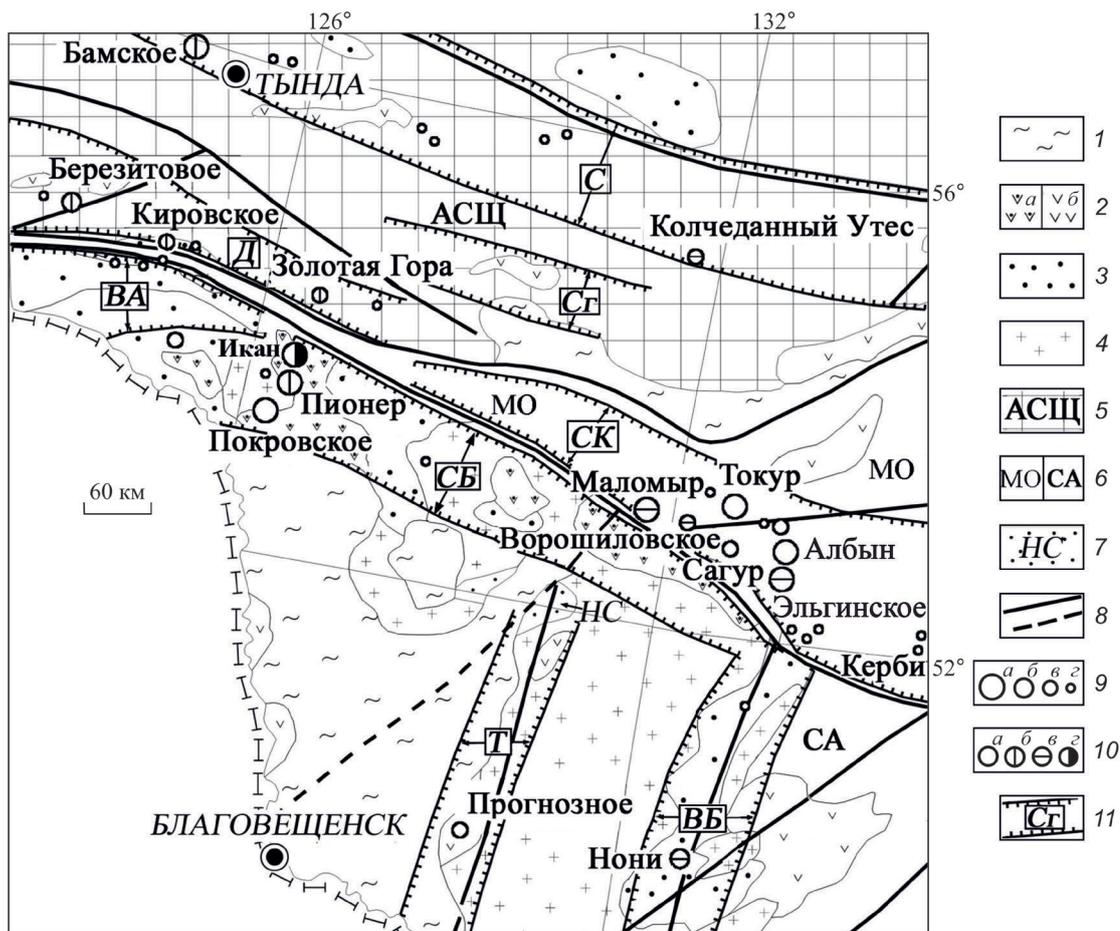


Рис. 1. Схема геолого-структурного районирования и золотоносности Приамурья (по [2, 11], с дополнениями автора):

1 – неотектонические рифтогенные впадины,  $K_2-KZ$ ; 2 – орогенно-активизационные комплексы и структуры,  $K_{1-2}$ , в том числе Умлекано-Огоджинский вулканоплутонический пояс (а), прочие (б); 3 – система периферических прогибов Алдано-Станового и Амурского геоблоков,  $PZ, T_3-K_1$ ; 4 – выступы фундамента Керулено-Аргуно-Мамынского композитного массива; 5 – Алдано-Становая щит; 6 – складчатые системы (МО – Монголо-Охотская,  $PZ, SA$  – Сихотэ-Алиньская,  $MZ$ ); 7 – Норско-Сухотинский внутрикратонный прогиб; 8 – региональные разрывные нарушения, в том числе скрытые под рыхлыми отложениями; 9 – месторождения золота (а – крупные, б – средние, в – мелкие, г – рудопроявления); 10 – типы месторождений (а – золото-кварцевые, б – золото-сульфидно-кварцевые, в – золото-сульфидные, г – золото-медно-порфиоровые); 11 – металлогенические зоны (С – Северо-Становая, Сг – Сугдзарская, Д – Джагдинская, ВА – Верхнеамурская, СК – Селемджино-Кербинская, СБ – Северо-Буреинская, Т – Туранская, ВБ – Восточно-Буреинская)

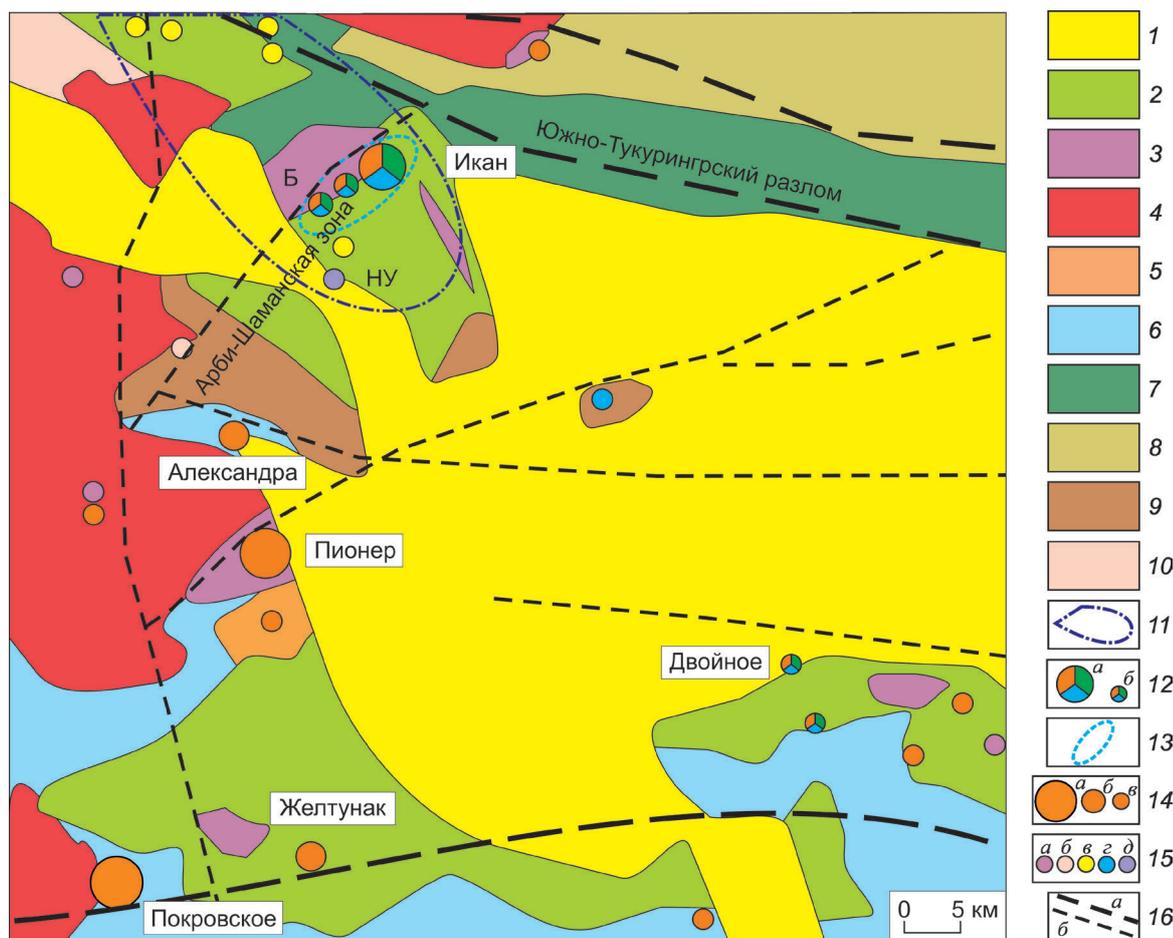


Рис. 2. Геологическая схема района Боргуликанского рудного поля, по Н.Н.Петрук, 2003 г., с изменениями автора:

1 – Пиканская впадина, N–Q; 2 – вулканогенные образования Умлекано-Огоджинского вулcano-плутонического пояса, К, НУ – Нижнеурканское вулканическое поле; плутоногенные образования Умлекано-Огоджинского вулcano-плутонического пояса: 3 – буриндинский комплекс монцодиорит-гранодиоритовый, К<sub>1</sub>, Б – Боргуликанский массив, 4 – верхнеамурский комплекс гранит-гранодиоритовый, К<sub>1</sub>, 5 – магдагачинский комплекс субщелочных гранитов и гранит-порфиоров, J<sub>3</sub>; 6 – Осежинский (Ушумунский) наложенный прогиб, J–K; Монголо-Охотская складчатая система: 7 – пиканский комплекс плагиогранит-габбровый, PZ<sub>3</sub>, 8 – Янкано-Джагдинская мегазона, PZ<sub>2–3</sub>; Керулено-Аргуно-Мамынский композитный массив: 9 – Гагско-Сагайский наложенный прогиб, PZ<sub>2–3</sub>, 10 – Гонжинский выступ фундамента, AR<sub>2</sub>–PR<sub>1</sub>; 11 – Арбинский рудный узел; 12 – золото-медно-порфировые молибденосодержащие рудные объекты (а – месторождения, б – рудопроявления); 13 – контур Боргуликанского рудного поля; 14 – золоторудные объекты (а – крупные, б – мелкие месторождения, в – проявления); 15 – проявления молибдена (а), вольфрама (б), ртути (в), свинца и цинка (г), железа (д); 16 – главные разломы (а – глубокого заложения, выраженные гравитационными ступенями, б – прочие, выраженные градиентами поля силы тяжести)

но-Аргуно-Мамынского композитного массива, где связано с магматическими образованиями Умлекано-Огоджинского вулcano-плутонического пояса. Наиболее яркий его представитель – золото-медно-порфировое месторождение Икан в составе Боргуликанского рудного поля (РП), ассоци-

ируемого с Боргуликанской золото-медной РМС. Кроме месторождения Икан, к РП относятся рудопроявления Боргуликан и Арби [3].

Впервые пробы с повышенными содержаниями Мо и аномальными Au и Cu были отобраны из делювиальных отложений левобережья



Рис. 3. Схематическая геологическая карта Боргуликанского рудного поля:

1 – аллювиальные отложения; 2 – дайки диорит-порфиритов амуро-станового комплекса малых интрузий пестрого состава,  $K_1$ ; буриндинский комплекс монцонит-гранодиоритовый,  $K_1$ ; 3 – вторая фаза (гранодиорит-порфиры), 4 – первая фаза (диорит-порфиры, кварцевые диорит-порфиры, монцодиорит-порфиры); 5 – талданская свита,  $K_1$  (андезиты, андезидациты, дациты, реже их туфы); 6 – разрывные нарушения установленные (а), выделенные по геофизическим данным (б); 7 – проекции рудных штоков на горизонтальную плоскость; 8 – генерализованные зоны метасоматитов

руч. Боргуликан при геологосъемочных работах м-ба 1:50 000 (И.П.Вольская и др., 1978 г.). Позднее изучали Боргуликанское РП В.И.Сухов, Н.Г.Коробушкин, Н.И.Бараков, А.Н.Гагаев, В.С.Дмитренко, В.К.Кузьменко, Н.В.Котов, А.И.Кривцов, М.М.Гирфанов, Ю.В.Кошков, А.Е.Пересторонин, С.В.Колотов, О.И.Олешкевич, С.В.Ворошин, Г.Артмонт, Т.В.Петрова и другие исследователи. В период 2007–2013 гг. на рудном поле проведены оценочные работы (ООО «Амурмедь»), в октябре 2015 г. запасы месторождения защищены в ГКЗ Роснедра.

Боргуликанское РП входит в состав Арбинского рудного узла, расположенного на северо-западе Северо-Буреинской металлогенической зоны Приамурской золотоносной провинции (см. рис. 1). Оно находится на севере Керулено-Аргунно-Мамынского композитного массива, на его границе с Монголо-Охотской складчатой системой. Оруденение приурочено к северо-западной части Нижнеурканского вулканического поля (рис. 2), сложенного вулканитами талданской свиты нижнего мела, в непосредственной близости от Боргуликанского монцодиорит-грано-

диоритового массива буриндинского интрузивного комплекса, дислоцированного несколько северо-западнее. Оба этих образования принадлежат к позднемезозойскому Умлекано-Огоджинскому вулcano-плутоническому поясу.

Расположенный на сочленении двух крупнейших геотектонических структур – Керулено-Аргунно-Мамынского композитного массива и Монголо-Охотской складчатой системы – район Боргуликанского РП характеризуется сложным геологическим строением. Его тектонический каркас создают многочисленные разломы северо-восточного, западо-северо-западного, в меньшей степени северо-западного и субширотного простирания. Наиболее значительное разрывное нарушение – Южно-Тукурингрский разлом западо-северо-западного простирания – региональный линеймент, который ограничивает мегаблоки с различной мощностью земной коры и является глубокопроникающим (рис. 3). Падение его предполагается в южном направлении. Рудоконтролирующая роль разлома проявлена на участках его сопряжения с поперечными дизъюнктивами северо-восточного простирания. Большое значе-

ние для контроля рудоносности имеют также скрытые субмеридиональные разломы.

Боргуликанское РП приурочено к зоне контакта Боргуликанского массива буриндинского комплекса и вулканитов талданской свиты. Здесь широко развиты рудоносные порфиновые интрузии этого же комплекса, находящиеся, в свою очередь, в области влияния Арби-Шаманской тектонической зоны северо-восточного простирания, отдельные структурные швы которой (Боргуликанский, Известково-Иканский и другие разломы) контролируют ряд рудопоявлений золота и меди (Шаман, Пещерное, Известковое и др.). Характерно, что интенсивность оруденения закономерно увеличивается по мере приближения Арби-Шаманской зоны к Южно-Тукурингскому разлому.

В гравитационном поле Боргуликанское РП относится к южной градиентной части крупного максимума, связанного с интрузией основного состава позднепалеозойского пиканского комплекса в составе Монголо-Охотской складчатой системы. Южнее месторождения Икан фиксируется локальный минимум гравитационного поля, обусловленный, по-видимому, наличием скрытой гранитоидной интрузии. Упомянутая Арби-Шаманская зона отчетливо выражена градиентом поля силы тяжести северо-восточного простирания. В региональном магнитном поле Боргуликанское РП соответствует аномалии интенсивностью 200–600 нТл и более, природа которой связана с вулканитами талданской свиты и интрузиями буриндинского комплекса, насыщенными магнитными минералами.

Стратифицированные образования Боргуликанского РП представлены вулканическими породами талданской свиты нижнего мела (см. рис. 3). Среди вулканитов отмечаются следующие различия: биотит-роговообманковые дациты, биотит-роговообманково-клинопироксеновые трахиандезиты, роговообманковые дацит-порфиры, биотит-роговообманковые андезит- и дациандезит-порфиры. Вулканические породы залегают субгоризонтально, иногда находятся в провесах кровли интрузивных образований буриндинского комплекса или во внутренних частях интрузий в качестве ксенолитов.

Интрузивные породы Боргуликанского РП принадлежат к рудоносному буриндинскому монцодиорит-гранодиоритовому интрузивному комплексу раннего мела, прорывающему вулка-

ниты талданской свиты (см. рис. 3). В составе интрузивных образований: гранодиорит-порфиры второй фазы комплекса, а также диориты, кварцевые диорит-порфиры, монцодиорит-порфиры первой фазы. Северо-западнее РП обнажается Боргуликанский интрузивный массив, также отнесенный к буриндинскому комплексу (см. рис. 2). Кровля массива, на которой залегают вулканогенные образования талданской свиты, полого погружается в юго-восточном направлении (установлено геофизическими работами). Поверхность кровли крайне неоднородна, с многочисленными выступами, апофизами, инъекциями в вулканиты талданской свиты. Подобные выступы, представленные рудоносными интрузивными фазами, по-видимому, обнажаются и на Боргуликанском РП, где магматические образования буриндинского комплекса образуют линейную цепочку вытянутых в северо-восточном до широтного направлении тел различной конфигурации (от субизометричных до линейных) размерами от 100x200 до (300–700)x4000 м (см. рис. 3). Среди этих тел наиболее интересна лакколитообразная в разрезе Иканская интрузия размером (300–700)x4000 м, к которой приурочен рудный штокверк месторождения Икан. Интрузия вместе с вмещающими вулканитами образует своеобразную линейную интрузивно-купольную структуру (Иканскую). Ее центральная часть сложена хорошо раскристаллизованными порфировыми породами второй фазы буриндинского комплекса, а краевые части – менее раскристаллизованными «силлоподобными» ответвлениями этой же фазы, отделенными друг от друга вулканитами талданской свиты. Непосредственно в интрузии отмечаются ксенолиты вулканитов.

Среди магматических пород часто встречаются крутопадающие дайки диоритовых порфиритов, кварцевых диоритовых порфиритов, андезитов раннемелового амуро-станового комплекса гипабиссальных малых интрузий пестрого состава. Дайки прорывают все более ранние разновидности пород (см. рис. 3), их отличительный признак – слабая подверженность гидротермально-метасоматическим изменениям или полное отсутствие последних.

Боргуликанское РП вытянуто в северо-восточном направлении на 12 км при ширине 2–3 км. Оно связано с серией субпараллельных разрывных нарушений северо-восточного простирания, вдоль которых размещается ряд малых порфи-

ровых интрузий – апофиз скрытой на глубине более крупной интрузии. К интрузиям приурочены три золото-меденосные (с молибденом) зоны метасоматитов – Иканская, Боргуликанская, Арбинская. Наиболее значительная, Иканская, расположена на северо-востоке РП, Боргуликанская и Арбинская находятся юго-западнее (см. рис. 3).

Месторождение Икан совпадает с Иканской рудной зоной (рис. 4; см. рис. 3). По бортовому содержанию эквивалента меди 0,2% (включает стоимость меди и золота) выделяется единое линейное рудное тело (рудный штокверк), выходящее на земную поверхность и вытянутое в широтном направлении. Усредненный его размер (150–600)х3200 м, характерны раздувы и пережимы. Рудный штокверк контролируется интрузией

гранодиорит-порфиров буриндинского комплекса и приурочен к обширному ореолу гидротермально-метасоматически измененных пород. При более «жестких» бортовых содержаниях эквивалента меди единое рудное тело разбивается на ряд менее значимых по размеру с более высокими средними содержаниями полезных компонентов. Наилучшие показатели экономической эффективности отработки Иканского месторождения получены при бортовом содержании эквивалента меди 0,25%. При этом среднее содержание Cu по месторождению 0,24%, Au 0,32 г/т, Mo 0,005%, Ag 1,11%.

В поперечном разрезе контур рудного штокверка плитовидный, на некоторых участках плитовидно-пластинообразный с общим слабым по-

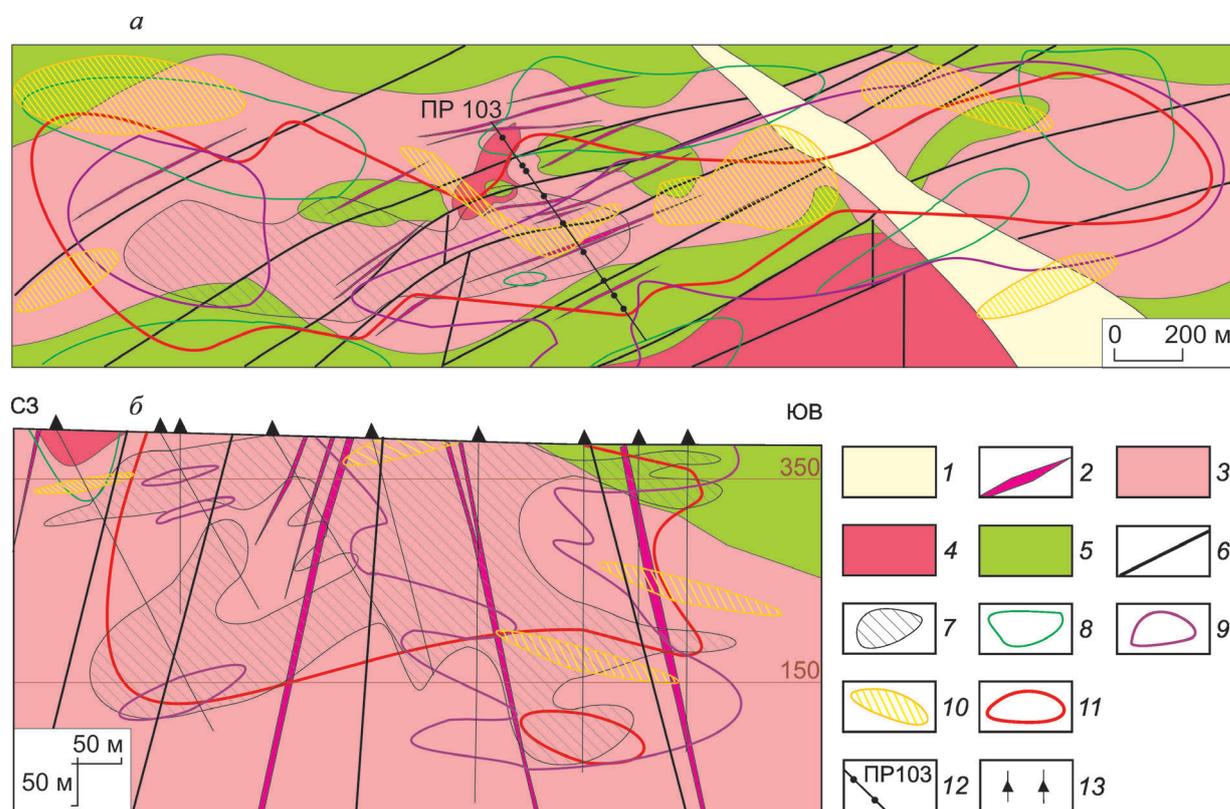


Рис. 4. Схематическая геологическая карта месторождения Икан (а), геологический разрез по профилю 103 (б):

1 – аллювиальные отложения; 2 – дайки диорит-порфиров амура-станового комплекса малых интрузий пестрого состава,  $K_1$ ; буриндинский комплекс монзонит-гранодиоритовый,  $K_1$ ; 3 – вторая фаза, 4 – первая фаза; 5 – талданская свита,  $K_1$  (дациты, андезидациты, андезиты); 6 – разрывные нарушения; гидротермально-метасоматические изменения: 7 – фельдшпатолитовые, 8 – пропилитовые, 9 – филлизитовые, 10 – аргиллизитовые; 11 – проекция рудного штокверка на горизонтальную (план) и вертикальную (разрез) плоскости; 12 – линия разреза; 13 – скважины на разрезе

гружением северной и южной краевых частей соответственно в северном и южном направлениях (см. рис. 4). В некоторых случаях наблюдается относительно крутое их погружение (до 30–40°). Оруденение локализуется преимущественно в гранодиорит-порфирах, реже в монцодиорит-порфиридах, иногда распространяясь в вулканиты. Возможно, имело место экранирование оруденения расположенными выше вулканическими породами, в настоящее время эродированными. В пределах Иканского штокверка отмечаются два участка увеличенной продуктивности оруденения – западный и восточный. Западный приурочен к фельдшпатолитовой метасоматической зоне (руды золото-медного или медно-золотого типа), восточный – к филлизитовой (молибден-золото-медные руды).

Поперечная рудная зональность Иканского штокверка проявлена в постепенной смене от контактов порфирического интрузива к его центру максимумов концентраций рудных компонентов в последовательности Mo – Cu-Mo-Au – Cu-Au. Внешние границы рудоносного штокверка характеризуются не несущим полезной минерализации пиритовым ореолом, контуры которого охватывают как тела порфирических интрузивов, так и вмещающие вулканические породы.

Важное значение для рудолокализации имеют субмеридиональные разломы. В узлах их пересечения с разломами основной системы находятся упомянутые участки увеличенной продуктивности. Геофизическими работами установлено, что меридиональные зоны разломов прилегают к северо-восточным с юга и севернее Иканской зоны не прослеживаются.

Основные элементы структуры Боргуликанского рудного поля и месторождения Икан:

- порфирические интрузивы, к которым приурочена золото-медная с молибденом минерализация;
- узлы сочленения зон разрывных нарушений северо-восточного и меридионального простираний, наиболее проницаемые для рудоносных гидротермальных растворов;
- зоны интенсивного катаклаза, трещиноватости пород как благоприятная среда для развития сульфидной и прожилковой минерализации.

Гидротермально-метасоматические изменения пород и оруденение месторождения Икан образуют серию последовательно наложенных

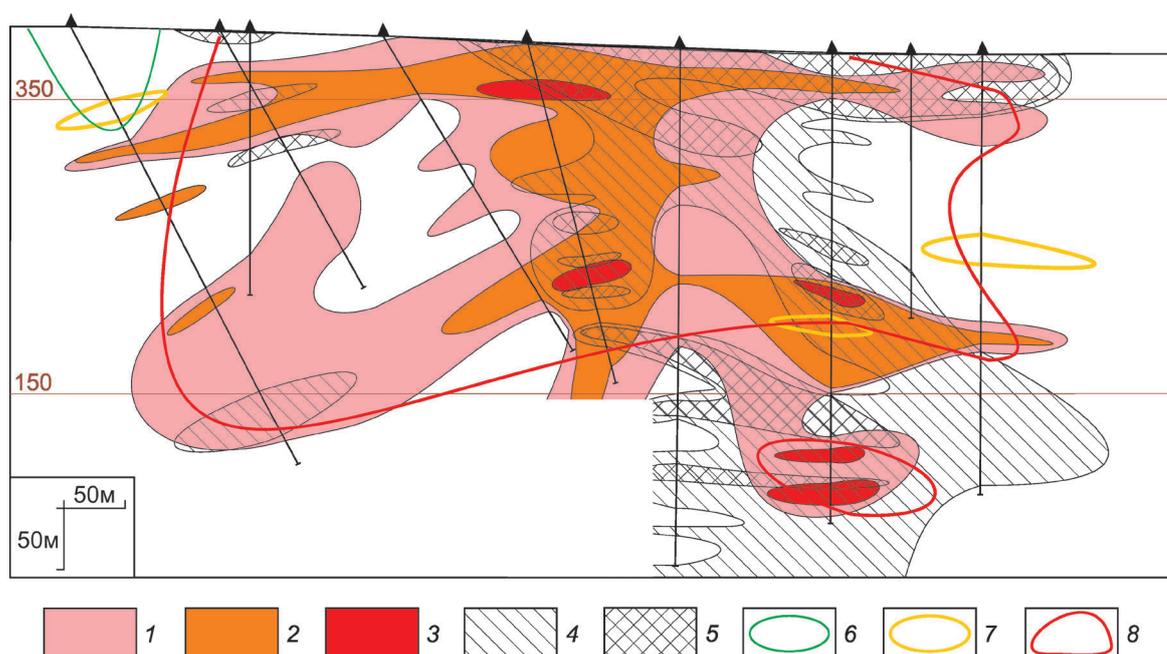
стадий гидротермального процесса, в совокупности создающих типичную картину минеральных парагенезисов, характерных для медно-порфирических месторождений. В той или иной степени изменениям подвержены все породы в пределах рудного штокверка (рис. 5; см. рис. 4). Метасоматоз происходил на фоне многочисленных тектонических подвижек, с которыми связаны приоткрывание трещин, брекчирование, катаклаз и дробление пород. Наиболее интенсивно и разнообразно породы переработаны в центральных частях штокверка. Зональность изменений проявляется в закономерной смене минеральных парагенезисов в пространстве. Околорудные изменения можно свести к следующим ведущим типам или обобщенным минеральным ассоциациям:

- фельдшпатолитовому с кварц-магнетит-биотит-калишпатовой ассоциацией;
- пропилитовому с кварц-(альбит)-карбонат-эпидот-(актинолит)-хлоритовой ассоциацией;
- филлизитовому с кварц-(хлорит)-(турмалин)-гидросерицит-серицитовой ассоциацией;
- аргиллизитовому с кварц-каолинит-(монтмориллонит)-гидрослюдистой ассоциацией.

Фельдшпатизация, или кварц-магнетит-биотит-калишпатовый метасоматоз, проявлена главным образом по породам порфирических интрузивов, захватывая иногда их ближний экзоконтакт. Фельдшпатолиты занимают центральные части метасоматических зон (см. рис. 4, 5). Данный тип изменений подразделяется на два подтипа:

- ранний – калишпатизация основной массы и порфирических вкрапленников, часто в ассоциации с кварцем;
- поздний – магнетит-биотитовые изменения, выражающиеся в появлении микрогнезд, просечек в матрице пород и порфирических вкрапленниках ассоциированных биотита и магнетита.

Степень проявления минералов фельдшпатолитовой ассоциации варьирует в пределах ореола изменений. Для центральных частей ореола характерно совместное развитие умеренных и более интенсивных калишпатизации и биотитизации. По направлению к контактам порфирических тел степень изменений постепенно уменьшается; начинает резко преобладать биотитизация при спорадическом развитии калишпатизации. Вкрапленность магнетита на уровне 1–5% свойственна всему фельдшпатолитовому ореолу. В



**Рис. 5. Схематический разрез гидротермально-метасоматических изменений на месторождении Икан по профилю 103:**

фельдшпатолитовые изменения: 1 – слабые (К 2,8–2,99%), 2 – средней интенсивности (К 3,0–3,49%), 3 – интенсивные (К 3,5–5,0%); кварц-серицитовые и кварц-серицит-гидрослюдистые изменения (филлизитовые): 4 – слабые (Na 1,49–1,0%), 5 – средней интенсивности до интенсивных (Na 0,99–0,1%); 6 – пропилитизация; 7 – аргиллизация; 8 – контур рудного штокверка

зонах фельдшпатизации золото-медное оруденение наиболее продуктивно, при этом содержания Мо обычно низкие ( $n \cdot 0,0001\%$ ). Для фельдшпатолитов характерен привнос К на уровне 2,8–5,0%.

Пропилитизация, или кварц-(альбит)-карбонат-эпидот-(актинолит)-хлоритовый метасоматоз, в большей мере проявляется на периферии основной зоны измененных пород, а также на глубоких горизонтах. Более всего она развита по вулканитам талданской свиты, хотя бывает и в интрузивных породах. Пропилиты, как правило, окаймляют рудоносные метасоматиты (см. рис. 4, 5), но могут содержать и весьма бедное оруденение. Характерно замещение вкрапленников биотита агрегатами эпидота, а вкрапленников амфибола и пироксена – актинолитом, эпидотом или цоизитом, а также хлоритом и в меньшей степени карбонатом. Отмечаются микрогнезда мозаичного кварца с эпидотом по основной массе. По плагиоклазу развивается альбит. На глубоких горизонтах встречаются обильные микро-

прожилки и гнезда амфибола актинолит-тремолитового ряда, сосуществующего с вторичными калишпатом и биотитом. Для пропилитов характерна вкрапленность пирита, иногда обильная (до 10%).

Филлизитизация, или кварц-(хлорит)-(турмалин)-гидросерицит-серицитовый метасоматоз, – наиболее широко проявленный тип рудоносных изменений (см. рис. 4, 5), возможно совмещенный по времени с пропилитизацией, но несколько более поздний. Начальным стадиям (внешним зонам) филлизитов присуще замещение темноцветных минералов хлоритом с попутным выделением магнетита. Плагиоклаз замещается серицитом. По мере усиления филлизитизации (внутренние зоны) серицит замещает все более ранние минералы. Развивается окварцевание по массе и по микрозонам дробления. Иногда присутствует магнезиально-железистый карбонат, характерен турмалин, редок флюорит. В зонах филлизитизации проявлено преимущественно молибден-золото-медное оруденение, содержания Мо

обычно повышены относительно оруденения в фельдшпатолитах (до 0,02%), однако общая продуктивность оруденения в филлизитах ниже, чем в фельдшпатолитах. Процесс филлизитизации характеризуется выносом Na (до 1–n·0,01%) при достаточно стабильных содержаниях K (2,2–2,7%).

Аргиллизация может накладываться на все типы метасоматитов, но преимущественно на филлизиты (см. рис. 4, 5). Она приурочена в основном к зонам дробления, выражена в «глинизации» различной интенсивности с развитием гидрослюд, смешанослойных глинистых минералов, каолинита.

На месторождении Икан широко проявлена прожилковая минерализация. Фиксируются многочисленные зоны прожилкового, прожилково-сетчатого окварцевания, сопряженные с зонами фельдшпатолитов и филлизитов. Мощность разноориентированных кварцевых и сульфидно-кварцевых прожилков колеблется от нитевидных до 20–25 мм. Кварц в прожилках нескольких генераций с вкраплениями тонко- и мелкозернистого пирита, реже халькопирита и молибденита. Прямой зависимости прожилковой минерализации и продуктивности оруденения не отмечается, встречаются безрудные интервалы с прожилками. Кроме кварцевых имеются калишпат-кварцевые прожилки, где калишпат занимает призальбантовые части. Наблюдаются пострудные прожилки кальцита, гипса, ангидрита. Последние обычны для нижних горизонтов месторождения, иногда довольно обильны. Мощность их достигает 2–3 см.

В целом для месторождения Икан устанавливается следующая метасоматическая зональность от центральных зон к внешним: фельдшпатолитовая → филлизитовая → пропилитовая зоны. Аргиллизиты могут в той или иной мере проявляться во всех метасоматических зонах или развиваться вне связи с ними.

Слабо развитая зона окисления с лимонитовыми охрами распространяется до глубин от 4 до 30 м, в среднем 15 м. Основные минералы зоны окисления: лимонит, гидроксиды марганца, гематит, редко малахит, куприт, азурит, хризоколла, ковеллин, брошантит, англезит, бирюза, очень редко самородная медь. Золото иногда (редко) обогащено, хотя содержания его в зоне окисления и в гипогенных рудах сопоставимы. Медь в окисленных рудах имеет тенденцию к выщелачиванию. Молибден содержит-

ся примерно в тех же количествах, что и в гипогенных рудах.

По результатам минералогических и технологических исследований (ФГУП ЦНИГРИ, 2000–2001 гг.; ДВИМС, 2000–2004 гг.; ООО «Амурмедь», 2007–2014 гг.; ООО «Востокгеология», 2007–2008 гг.; ООО «Институт Гипроникель», 2008 г.; ООО НИИПИ «ТОМС», 2014 г.) основные породообразующие минералы в рудах месторождения Икан – кварц, калиевые полевые шпаты, плагиоклазы, комплекс глинисто-слюдястых минералов. Руды западной части месторождения отличаются от руд восточной большим количеством калиевого полевого шпата и меньшим – глинисто-слюдястых минералов.

Руды представлены фельдшпатизированными, филлизитизированными породами с разноориентированными кварцевыми прожилками с сульфидной и магнетитовой минерализацией, вкрапленной в основной массе породы или приуроченной к прожилкам кварца и микротрещинкам в ней. Руды малосульфидные (в среднем 1–3% сульфидов). Главные рудные минералы – пирит, магнетит, в меньшей степени халькопирит, еще в меньшей – молибденит. Прочие сульфиды встречаются в очень незначительных количествах. Вкрапленники сульфидов имеют размеры от  $n \cdot 0,001$ –1 мм, в среднем 10 мкм–0,3 мм, вкрапленники магнетита 0,07–1 мм. Наиболее крупные вкрапленники и прожилки характерны для пирита.

Выявлены такие первичные рудные минералы: пирит, халькопирит, молибденит, борнит, халькозин, ковеллин, блеклая руда, галенит, клаусталит (PbSe), сфалерит, марказит, пирротин, кубанит ( $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ ), айкинит ( $\text{PbCuBiS}_3$ ), эмплектит ( $\text{CuBiS}_2$ ), магнетит, гематит, самородные золото, серебро, медь.

Намечается следующая достаточно отчетливая гипогенная минералогическая зональность от центра рудного штокверка к его периферии:

- борнит-халькопирит-магнетит-пиритовая зона почти совпадает с фельдшпатолитовой метасоматической;
- халькопирит-молибденит-пиритовая, иногда с магнетитом, зона соответствует примерно филлизитовой, захватывает часть фельдшпатолитовой;
- молибденит-пиритовая зона фиксирует краевую часть рудного штокверка, охватывает часть филлизитовой и пропилитовой;

- пиритовая зона сопровождает пропиловую.

Рудный этап объединяет минеральные образования золото-медно-порфировой, молибден-порфировой, As-Sb-полиметаллической стадий и генетически связан со становлением гранодиорит-порфиров второй фазы буриндинского комплекса. Наиболее продуктивная стадия, во время которой происходило отложение основной массы золото-медного оруденения, – золото-медно-порфировая. Позднее формировалась молибденовая минерализация, затем – убогая мышьяковисто-сурьмяная и полиметаллическая (галенит, сфалерит). Основной минерал-носитель Cu – халькопирит, в меньшей степени борнит, блеклая руда. Минерал-носитель Mo – молибденит.

Золото в рудах присутствует в свободном виде, заключено в сульфидах, кварце, в сростках с рудными минералами, кварцем. Образует включения в пирите, халькопирите, молибдените, обособления в нерудных минералах, чаще на границах с сульфидами. Размер золотинок преимущественно 1–5 мкм. Содержание Au в мономинеральных фракциях сульфидов колеблется от 8 до 100 г/т (халькозин). Преобладающий размер редко встречающегося видимого золота в протолочках рудных проб <0,05–0,15 мм, чаще 0,05 мм. Его зерна уплощенной, уплощенно-удлиненной, лепешковидной, комковидной форм с неровной бугристой поверхностью и неровными краями.

### 1. Фазовый анализ золота в пробах руды месторождения Икан

Формы золота	Au, г/т (от–до)	Распределение Au, % (от–до)
Свободное с чистой поверхностью	0,02–0,16	9,9–30,4
Цианируемое (в сростках)	0,07–0,33	28,5–71,1
В пленках	Не обнаружено–0,13	2,5–23,3
<i>Всего цианируемое</i>	0,074–0,33	51,3–71,1
Тонковкрапленное в сульфидах	0,007–0,06	3,6–13,4
В нерастворимых в царской водке минералах и кварце	0,03–0,06	9,5–28,5
<i>Итого не извлекаемое</i>	0,047–0,1	15,1–33,2

Проба 700–850‰ (ДВИМС, ООО «Институт Гипроникель», ООО НИИПИ «ТОМС»).

Результаты фазового анализа золота в пробах руды месторождения Икан приведены в табл. 1 (ДВИМС, 2001 г.; ООО НИИПИ «ТОМС», 2014 г.). Руды характеризуются невысокой долей свободного золота 10–30%. При этом количество дисперсного золота, вкрапленного в сульфиды, также невелико (3,6–13,4%). Доля неизвлекаемого золота в кварце составляет 9,5–28,5%. Преимущественно оно образует сростки с минералами (28,5–71,1%), т.е. находится в извлекаемой форме, что подтверждают достаточно высокие показатели цианирования (51–71% извлечения золота в раствор).

Технологические свойства молибден-золото-медно-порфировых руд Боргуликанского рудного поля изучались НВЦ «Экстехмет», 1994–1995 гг. (г. Москва), ДВИМС, 1999–2001 гг. (г. Хабаровск), ООО «Институт Гипроникель», 2008 г. (г. Санкт-Петербург), ООО «НИИПИ «ТОМС», 2014 г. (г. Иркутск). В качестве наиболее оптимальной схемы обогащения была рекомендована флотация с последующей гидрометаллургической переработкой концентрата. В результате испытаний наиболее представительных лабораторных и укрупненно-лабораторных технологических проб получен сульфидный медно-молибденовый концентрат, содержащий 14,3–20,1% Cu, 12,5–23 г/т Au, 60,6–141 г/т Ag, 0,085–0,25% Mo. Извлечение металлов в медный концентрат составило, %: 83 Cu, 62 Au, 69 Ag, в молибденовый – Mo 63. Кроме того, молибденовый концентрат содержит Re 1,5–5,7 г/т при его извлечении 86%. Содержания As, Zn, Pb в концентратах низкие.

На месторождении Икан Cu, Au, Mo и Ag образуют наиболее интенсивные и контрастные первичные ореолы, прочие элементы (As, Sb, Pb, Zn, Bi и др.) – мелкие и неконтрастные или вообще их не образуют. На рис. 6 изображены первичные ореолы Au, Ag, Cu, Mo, As, Sb по одному из буровых профилей, расположенному в центральной части штоковерка. Для Au, Ag, Cu характерно увеличение содержаний в центральной части их общего ореола. Молибден тяготеет к обедненным Cu, Au и Ag его краевым частям. Наиболее высокие содержания Au (>0,5 г/т) в ореолах совпадают с зонами интенсивной фельдшпатолитизации, аналогично ведут себя Cu (>0,3%) и Ag (>1–2 г/т). В филлизитах ореолы Cu и Au менее интенсивны, тогда как содержания Mo повышены. Ореолы As и Sb имеют небольшие размеры и располагаются

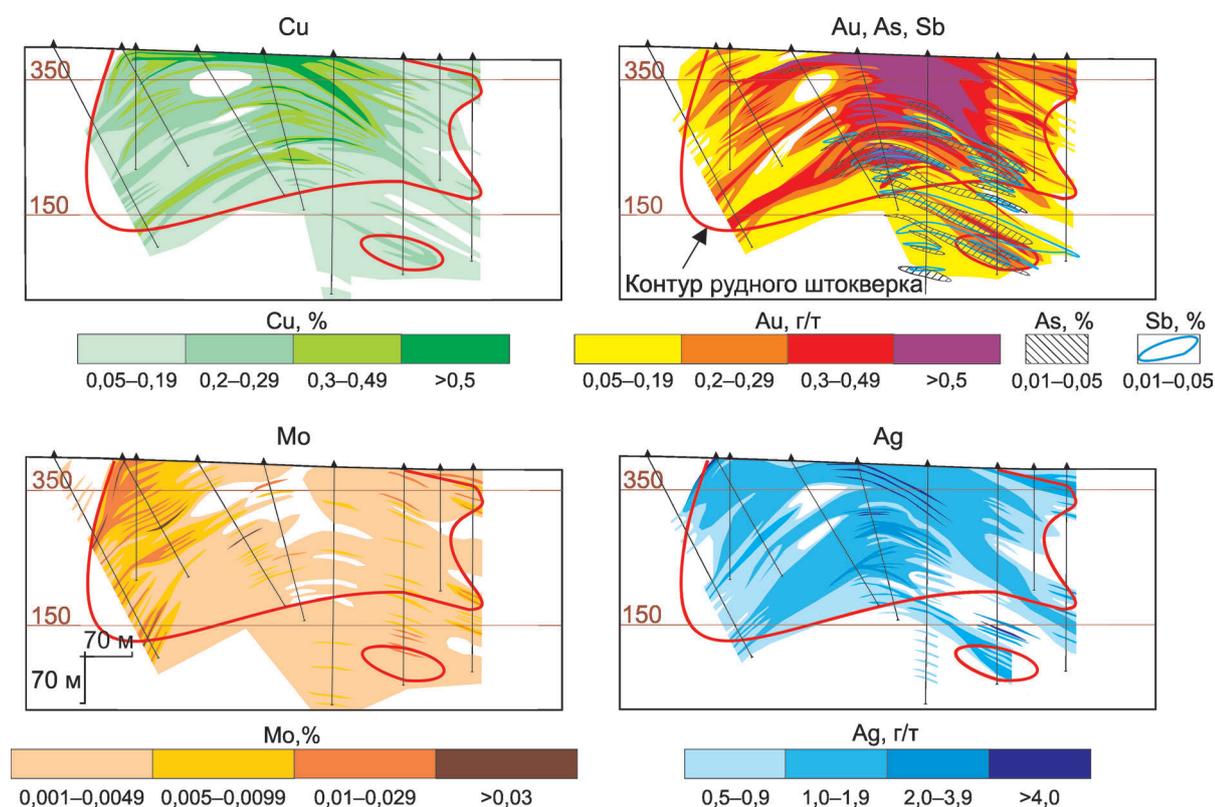


Рис. 6. Геохимические разрезы по профилю 103 месторождения Икан

в нижней части разреза (ниже зоны интенсивного привноса Au, Ag, Cu).

В табл. 2 приведены сводные данные корреляции элементов по двум выборкам керновых проб месторождения Икан (вовлечено 25 химических элементов). Используются выборки с содержаниями Au > 0,3 г/т (274 пробы) и Cu > 0,3% (255 проб). Уверенно выделяются следующие рудные геохимические ассоциации элементов с отчетливыми корреляционными связями внутри их: 1) Cu-Au-Ag – главная рудная; 2) Mo – второстепенная; 3) As-Sb-(Pb-Zn) – третьестепенная.

Молибден не входит в первую и третью ассоциации, что подтверждает его самостоятельное отложение с временным и некоторым пространственным разрывами от главной рудной ассоциации Cu-Au-Ag. Таким образом, выделенные рудные ассоциации согласуются с минеральным составом руд и полистадийным процессом рудообразования. As-Sb и Pb-Zn ассоциации характерны для более поздних стадий минерализации. Данные стадии (ассоциации) могут накладываться на золото-медное и молибденовое оруденение или быть пространственно разобщенными с ними.

Калий и натрий не имеют тесных связей с главными рудными ассоциациями. Это элементы вмещающих пород и метасоматических процессов, предшествующих оруденению и сопровождающих его.

По уровню накопления выделяются типоморфные элементы (табл. 3) с наиболее высокими концентрациями в рудах. Это Au, Cu, Ag. Обобщенный типоморфный (усредненный) ранжированный ряд элементов для месторождения Икан выглядит следующим образом: **Au-Cu-Sb-Ag-S-As-Mo-Bi**. При этом для разных проанализированных выборок он несколько отличается, поскольку выборки характеризуют разные типы оруденения, различающиеся по уровню накопления элементов.

По генезису месторождение Икан вулканогенно-плутоногенное, по возрасту раннемеловое, как и другие золоторудные месторождения Приамурской провинции [16]. Это типичное золото-медно-порфировое молибденосодержащее месторождение. Подобные объекты различного возраста формирования многочисленны: в Южной Америке – Эскондида, Марте, Каспиче, Ан-

## 2. Сводные данные корреляции элементов в керновых пробах месторождения Икан

Элементы	Корреляция по выборке с содержаниями Au $\geq 0,3$ г/т (274 пробы, $R_{5\%}=0,195$ )		Корреляция по выборке с содержаниями Cu $\geq 0,3\%$ (255 проб, $R_{5\%}=0,195$ )	
	интенсивная	средняя	интенсивная	средняя
Cu	Ag, Au		Au, Ag	
Au	Ag, Cu		Cu, Ag	
Mo				S
Ag	Cu, Au	Bi	Au, Cu, Bi	Cr, Fe, Mn
As	Sb		Sb	S
Pb	Zn	S		
Sb	As		As	
Zn	Pb			
Bi		Ag	Ag	Cr
Ca	S, Sr		S, Sr	
Fe	Mn	Ni, Co, P, V, Mg	Co	Mn, V, Ag, K, Ni
K	Na, Ti, Mg	Al	Na, Ti	V, Mg, Fe
Na	Ti, Al, Mg, V, P, Ni, K	Cr	Ti, K, Al, Ba, Ni	Mg, V, Mn, P
S	Ca	Pb	Ca	Sr, Mo, As

## 3. Ранжированные ряды элементов по выборкам керновых проб месторождения Икан

Выборки	Ранжированные ряды													
	Au	Cu	Sb	S	Ag	Mo	As	Bi	Mg	Ni	Pb	K	Zn	
Au $\geq 0,3$ г/т (274 пробы)	272	148	96	95	46	23	32	10	2,5	1,8	1,5	1,4	1,4	
Cu $\geq 0,3\%$ (255 проб)	299	175	147	115	58	46	23	16	2,3	2,3	1,9	1,7	1,5	
Mo $\geq 0,01\%$ (190 проб)	222	138	97	92	91	51	21	10	2,5	1,9	1,6	1,5	1,5	
Ag $\geq 2$ г/т (219 проб)	330	229	145	115	80	57	30	17	2,7	2,2	1,9	1,9	1,4	
K $\geq 3\%$ (278 проб)	225	117	45	42	31	18	9	8	2,8	2	1,6	1,4	1,3	
Na $< 1\%$ (265 проб)	429	158	137	111	109	45	29	12	3,2	2	1,7	1,7	1,5	

деколло; Северной Америке – Айленд Коппер, Пибл; Европе – Майданпек, Речк, Скориз; Азии – Оую Толгой, Грасберг, Добаошань, Алмалык, Кальмакыр; России – Ак-Суг, Песчанка, Михеевское, Томинское, Малмыж и др. Названные месторождения хорошо изучены и неоднократно описаны в зарубежной и российской литературе [6, 8–10, 14 и др.].

Большинством исследователей молибден-золото-медно-порфиновые РМС рассматрива-

ются как производные длительных эндогенно активных рудно-магматических мегасистем с многократным проявлением магматических и рудно-метасоматических процессов. Ранний период развития мегасистемы влиял на формирование последующего оруденения и был этапом предрудной подготовки, когда закладывался общий потенциал РМС. Рудная минерализация в той или иной степени проявляется на всех стадиях магматического процесса и достигает

максимума при развитии порфирового магматизма.

Геохимические аномалии Mo и Ag в рассматриваемом районе приурочены к гравитационным минимумам разной интенсивности, обусловленными раннемеловыми гранитоидами. Золото для Приамурья – «сквозной» элемент, возможно, при рудообразовании оно могло заимствоваться из различных источников.

Оруденение месторождения Икан – часть Боргуликанской золото-медной молибденсодержащей РМС, включающей все основные, характерные для подобных систем, признаки и элементы:

- наличие порфириновых интрузий гранитоидного состава, с которыми оруденение имеет неразрывную пространственно-временную и генетическую связь;
- прожилково-вкрапленный и штокверковый характер минерализации с устойчивым набором рудных минералов (пирит, халькопирит, молибденит, магнетит);
- первичные руды формировались в порфириновых интрузивах и их экзоконтактах, в ареалах интенсивной трещиноватости, образовавшейся при остывании интрузий, а также на некотором удалении от них; руды формировались на поздних этапах минералообразования в раздробленной основной массе, несущей отчетливые признаки гидротермальной переработки;
- геохимия руд и уровень содержаний основных полезных компонентов (Cu, Au, Mo, Ag) соответствуют подобным известным в мире «порфириновым» месторождениям;
- рудные тела сформировались в пределах ореолов гидротермально-метасоматических изменений с «типовой» зональностью, при которой происходит смена от центра (порфирирового интрузива) к периферии зон метасоматитов в последовательности: биотиткалишпатовая – филлизитовая – пропилитовая;
- наиболее продуктивное оруденение приурочено к фельдшпатолитовой зоне – руды золото-медного типа; в примыкающей к ней филлизитовой и краях пропилитовой зоны оруденение менее продуктивное – руды золото-молибден-медного типа;
- наличие поздних (пострудных) прожилков сульфатов (гипса и ангидрита).

Вместе с тем, имеется ряд особенностей, присущих только месторождению Икан:

- очень мелкая и тонкая вкрапленность главных рудных минералов (халькопирит, молибденит и др.), возможно связанная с небольшими глубинами формирования оруденения;
- временная и некоторая пространственная оторванность молибденового оруденения от золото-медного и отсутствие корреляционных связей между ними;
- руды характеризуются преимущественно бедными содержаниями Au, Cu, Mo.

Представляется, что в самых общих чертах динамику развития Боргуликанской РМС можно разделить на следующие главные этапы:

- формирование на подкоровых глубинах очагов базальтоидной магмы (достаточно длительный период (PR–PZ));
- развитие под воздействием поступающих расплавов и отделяющихся от них флюидов внутрикоровых магматических очагов с участием базальтоидного (обогащенного Cu, Au) и гранитоидного вещества, несущего Mo, Ag (PZ–MZ<sub>1</sub>);
- миграция зон активного магматизма на все более высокие уровни литосферы с возрастанием роли гранитоидной составляющей (MZ);
- конечный этап – формирование продуктивного «оруденения» порфирирового типа (K<sub>1</sub>).

На рис. 7 изображена модель Боргуликанской РМС, отражающая главные характеристики ее строения, геохимии руд и гидротермально-метасоматических изменений. Основные элементы модели:

- Боргуликанский интрузивный массив, поло-го погружающийся в юго-восточном направлении;
- малые рудоносные порфириновые интрузии диорит-монцодиорит-гранодиоритового состава, являющиеся поздними фазами Боргуликанского массива, внедрявшиеся в зоне Боргуликанского разлома северо-восточной ориентировки;
- домеловые (PZ) осадочные, вулканогенно-осадочные отложения, интрузивные образования основного состава;
- крутопадающие тектонические нарушения системы Боргуликанского разлома и обусловленные ими интенсивная трещиноватость и катаклиз массива пород, послужив-

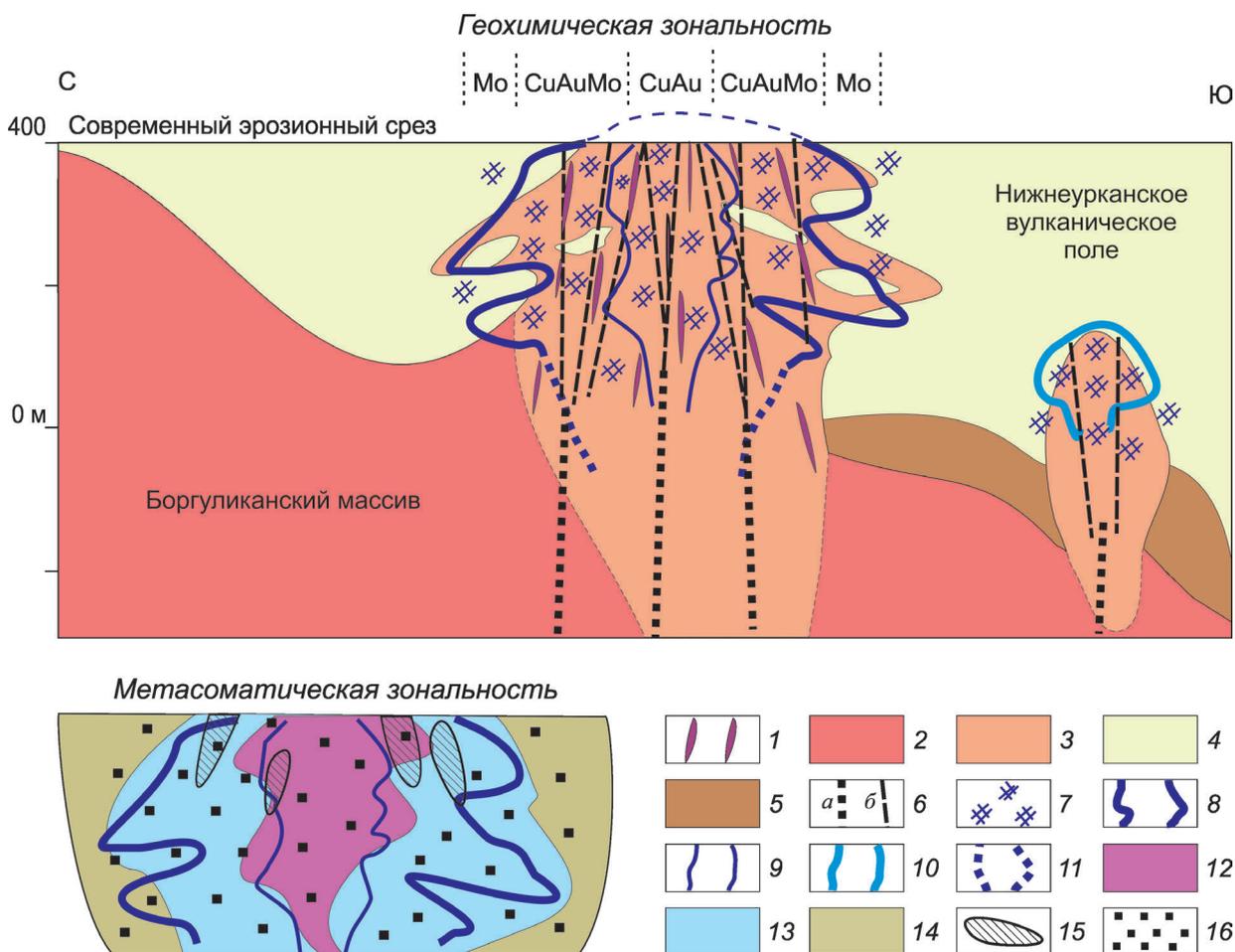


Рис. 7. Модель золото-меднопорфировой Боргуликанской РМС:

1 – пострудные дайки,  $K_1$ ; буриндинский интрузивный комплекс,  $K_1$ ; 2 – безрудные монцодиориты, гранодиориты порфировидные, 3 – рудоносные диорит-порфириты, монцодиорит-порфириты, гранодиорит-порфиры; 4 – талданская свита, дациты, андезидациты, андезиты, их туфы,  $K_1$ ; 5 – домеловые осадочные, вулканогенно-осадочные отложения, интрузивные образования основного состава; 6 – зоны разрывных нарушений в нижней части разреза (а), в верхней части разреза (б); 7 – интенсивное дробление, катаклиз пород до дезинтеграции; золото-меднопорфировое оруденение: 8 – границы рудного штокверка месторождения Икан, 9 – границы обогащенной части штокверка, 10 – непромышленные рудные штокверки, связанные с мелкими штоками рудоносных фаз буриндинского комплекса (рудоявления Боргуликан, Арби), 11 – предполагаемые границы штокверка на глубине; метасоматические зоны: 12 – фельдшпатолитизации, 13 – филлизитизации, 14 – пропилизитизации, 15 – аргиллизация; 16 – пиритовый ореол

шие благоприятной средой для рудоотложения;

- зональные гидротермально-метасоматические ореолы, в пределах которых происходило рудообразование;
- собственно молибден-золото-меднорудный штокверк с центральной наиболее обогащенной медью и золотом частью и обедненной ими краевой молибден-золото-медной.

Боргуликанскую рудно-магматическую систему можно отнести к типу мантийно-коровых рудообразующих систем длительного развития. Выявление аналогичных систем в Приамурье возможно на всем протяжении субширотно ориентированного Умлекано-Огоджинского пояса, расположенного вдоль северной границы Керулено-Аргуно-Мамынского композитного массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулин Ю.И. Систематизация оловоносных и золотоносных рудных систем для целей прогнозирования. – М.: Недра, 1991.
2. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий м-ба 1:2 500 000 / Под ред. Л.И.Красного, А.С.Вольского и др. – С.-Петербург-Благовещенск-Харбин: ВСЕГЕИ, Амурский КНР, Мин-во геологии и минер. ресурсов КНР, Упр. Геологии и полезн. ископ. пров. Хэйлунцзян, 1999.
3. Гирфанов М.М., Гагаев А.Н., Дмитренко В.С. Золото-молибден-медно-порфиновые проявления Боргуликанского рудного поля // Руды и металлы. 2001. № 5. С. 52–60.
4. Гоневчук В.Г. Оловоносные системы Дальнего Востока: магматизм и рудогенез. – Владивосток: Дальнаука, 2002.
5. Домарев В.В. Концепция об уровнях организации вещества и металлогения // Вестн. ИГУ. 1977. № 6. С. 7–28.
6. Дьяконов В.В. Медно-порфиновые месторождения – условия локализации и поиска. – М.: РУДН, 2010.
7. Иванкин П.Ф. О системном подходе в геологических исследованиях // Сов. геология. 1973. № 8. С. 3–13.
8. Кривцов А.И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфиновых месторождений. – М.: Недра, 1983.
9. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С. Медно-порфиновые месторождения мира. – М.: Недра, 1986.
10. Определяющие элементы генетической модели медно-молибден-порфировой системы / В.И.Сотников, А.П.Берзина, А.Л.Павлов и др. // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 3. С. 61–66.
11. Приамурская золоторудная провинция / В.А.Степанов, А.В.Мельников, А.С.Вах и др. – Благовещенск: АмГУ, НИГТЦ ДВО РАН, 2008.
12. Романовский Н.П. Проблемы выделения и изучения рудно-магматических систем // Магматогенные рудные системы. Владивосток, 1979. С. 11–21.
13. Сотников В.И. Основные тенденции развития теории рудообразования // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 12. С. 56–61.
14. Сотников В.И., Берзина А.П., Калинин А.С. Обобщенная генетическая модель рудно-магматических систем медно-молибденовых рудных узлов // Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск, 1988. С. 232–240.
15. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. – Новосибирск: Гео, 2006.
16. Степанов В.А. Этапы формирования и генезис золоторудных месторождений Приамурской провинции // Докл. АН. 2005. Т. 403. № 1. С. 83–87.

Пересторонин Андрей Евгеньевич,  
кандидат геолого-минералогических наук  
amur@amurcopper.ru

BORGULIKANSKAYA GOLD-COPPER ORE-MAGMATIC SYSTEM IN PRIAMURSKAYA GOLD PROVINCE

A.E.Perestoronin

*Borgulikanskaya gold-copper porphyritic ore-magmatic system, located in Amur gold province, is considered. The system is associated with Borgulikanskoe ore field, which includes Ikan gold-copper porphyritic deposit. Data on geological structure of the ore field, magmatism, hydrothermal-metasomatic alteration, ore mineralogy and geochemistry are described. Assumptions of the origin of the mineralization are considered. A model of Borgulikanskaya ore-magmatic system is proposed.*

*Keywords: ore-magmatic system, porphyritic intrusive, copper, gold, molybdenum, metasomatites, geochemical halos.*

## О ЕСТЕСТВЕННОЙ ФЛОТАЦИИ ГИДРОФОБНЫХ МИНЕРАЛОВ В ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ РУДООБРАЗОВАНИИ И ЕЕ СЛЕДСТВИЯХ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА)

Н.С.Остапенко

ФГБУН Институт геологии и природопользования  
Дальневосточного отделения РАН,  
г. Благовещенск

*Обосновывается участие в гидротермальном рудообразовании механизма естественной флотации гидрофобных минералов (самородное золото, некоторые сульфиды) в процессе формирования жильных тел с богатыми рудными столбами. Основные факторы процесса – гетерогенизация флюида при спадах давления с выделением газовых пузырьков; пересыщение флюидов ионами металлов и массовое зародышеобразование; образование и всплывание в жильных полостях ассоциатов «зародыш минерала – пузырек газа».*

*Ключевые слова: гидротермальный процесс, естественная флотация золота, рудные столбы.*

Под термином флотация (от франц. *flotter* – плавать) в технологиях обогащения руд понимается процесс разделения мелких твердых частиц минералов в воздушно-водной среде при обычных  $P$ – $T$  условиях, основанный на различии смачиваемости их поверхности [2]. Гидрофобизация поверхности минерала достигается посредством обработки его специально подобранными поверхностно-активными реагентами. Транспортировка гидрофобизированных частиц в водной среде флотомашин осуществляется пузырьками газовой фазы.

Явления флотации присущи и некоторым природным эндогенным и экзогенным процессам. Так, исследователи магматических процессов и систем к проявлениям флотации относят всплывание низкоплотных минералов (например, полевых шпатов), образующихся в процессе дифференциации и кристаллизации магматических расплавов [11], и металлоносных пузырьков флюидной фазы (диаметром 0,1–1,0 мм и более) в вязкой среде расплавов с накоплением их в верхних частях магматических камер в качестве ме-

таллоносных флюидов [2, 3]. Результат этого можно наблюдать в разрезах лавовых потоков базальтов – от их подошвы к кровле существенно растут количество и крупность сферических газовых включений. В работе [19] описано явление естественной пенной флотации частиц самородной серы выделяющимися из недр и воды пузырьками газов в продолжающемся биогенно-осадочном образовании ее залежей в водоемах на месторождении Шор-Су (Узбекистан).

При гидротермальном рудообразовании (температура флюида 450–100°C, давление 3000–100 бар и менее) обычно функционируют следующие механизмы отложения вещества: метасоматическое замещение химически неустойчивых минералов вмещающих пород новыми; отложение минералов из пересыщенных растворов в свободном пространстве трещин и полостей в породах; сокристаллизация и электрохимическое осаждение элементов на минералах.

В данной статье обосновывается и обсуждается весьма вероятное участие в процессах гидротермального рудообразования в жильных по-

лостях еще одного механизма – естественной флотации и локальной концентрации перемещенных пузырьками газов частиц некоторых рудных минералов, обладающих специфическим свойством – гидрофобностью поверхности. Теоретически, это возможно при одновременном возникновении в объеме флюида гидротермальных систем газовых пузырьков и зародышей таких минералов при его гетерогенизации.

Факторами вертикальной миграции и локального накопления возникающих нано- и микрочастиц минералов в гидротермальном процессе, как и в технологическом процессе флотации, являются степень их гидрофобности и достаточное количество газовых пузырьков, выполняющих роль «транспортных средств». Реальным участием этого механизма в формировании золоторудных месторождений вполне можно было бы объяснить свойственное самородному золоту крайне неравномерное распределение в жильных телах, появление богатых рудных столбов и самородков.

Впервые предположение о существовании такого явления при гидротермальном рудообразовании было высказано автором в 1989 г. [12]. Затем проводилось целенаправленное исследование особенностей распределения золота в жильных телах по их мощности и в объеме на ряде золоторудных месторождений Дальнего Востока (Токур, Харга, Иннокентьевское, Кировское и др.) визуально по распилам штуфов, микроскопическими, электронно-микроскопическими и аналитическими методами, сравнительное изучение состава флюидных включений в минералах – самородном золоте, сопутствующих сульфидах, жильном кварце. Кроме этого, проанализированы опубликованные фактические материалы по детально изученным разноглубинным золоторудным месторождениям других регионов (Советское, Нежданнинское, Бaleyское, Бериккуль, Бестюбе и др.). Это, а также результаты выполненного нами экспериментального моделирования естественной флотации самородного золота в водной среде (материалы еще не опубликованы) позволили автору утвердиться в реальности участия данного механизма в образовании высоких концентраций золота в трещинных полостях месторождений, формирующихся в экранированных гидротермальных системах [13].

Признаки вероятного участия механизма естественной флотации в гидротермальном рудо-

образовании наиболее заметны на жильных месторождениях золота как наиболее гидрофобного минерала. В этой связи заслуживают внимания и обсуждения следующие факты и наблюдения автора и других исследователей:

- золотом обычно более богаты первичные руды средних и верхних уровней жильных тел месторождений различных глубин формирования и формационных типов [6–8, 12, 14];
- в жильных телах выделения золота наиболее часто приурочены к зальбандам или призальбандовым зонам [14, 18] и располагаются они чаще всего в интерстициях агрегатов кварца. Наивысшие его концентрации создаются в виссячих боках жил [6], а в объеме жил вблизи и над раздувами их мощности [14]. Золото на верхних горизонтах месторождений обычно крупнее, чем на более глубоких;
- самородки золота чаще всего встречаются на верхних уровнях жил [15, 17];
- составы флюидных включений в самородном золоте и кристаллизующемся совместно с ним кварце существенно различаются [8, 9, 12];
- практически на всех гидротермальных месторождениях золота и других металлов исследователи отмечают признаки гетерогенизации флюида с отделением газовой фазы и вскипания флюида [7, 12, 14, 15];
- характеризуются наиболее низкими кларками в породах земной коры ( $1-5 \cdot 10^{-7}\%$ ) и невысокими содержаниями во флюидах, золото в рудах имеет наивысший коэффициент концентрации относительного кларка (до 10 000–30 000 и более) по сравнению с другими (Pb, Zn, Cu, W, As, Sb) сопутствующими элементами (<10–1000).

В проблеме естественной флотации минералов фундаментальное значение имеет степень смачивания их поверхности. Смачиваемость поверхности минеральных индивидов в водной среде различна [2, 3]. Она зависит от величины свободной энергии поверхности минералов, которая, в свою очередь, зависит от их кристаллической структуры и количества некомпенсированных эффективных зарядов на их поверхности. В работе [3] смачиваемость сульфидов из разных месторождений в водных растворах оценена по способности их поверхности окисляться или сорбировать кислород. Эти показатели для сопутствующих золоту сульфидов широко варьируют

Средний состав флюидных включений в минералах месторождения Токур, мг/кг минерала

Минералы	Число анализов	Соли	Газовая фаза	Вода	Общее количество флюида	Газы вода
Кварц	9	$\frac{49,7-131,6}{80,7}$ (11,2)	$\frac{19,3-91,8}{43,8}$ (6,1)	$\frac{62,6-1336,3}{594,0}$ (82,7)	$\frac{215,4-1488,0}{718,5}$ (100)	0,073
Сульфиды (пирит и арсенопирит)	4	$\frac{20,3-47,5}{32,3}$ (18,6)	$\frac{27,5-48,9}{35,9}$ (20,7)	$\frac{53,5-138,7}{105,2}$ (60,7)	$\frac{128,7-213,7}{173,4}$ (100)	0,341
Самородное золото	7	$\frac{37,3-310,9}{109,9}$ (75,1)	$\frac{11,4-25,3}{17,0}$ (11,7)	$\frac{7,9-32,1}{18,4}$ (12,7)	$\frac{74,6-336,7}{145,3}$ (100)	0,924
Коэффициент обогащения включений в золоте относительно кварца						13,2

Примечание. В числителе – пределы вариаций, знаменателе – среднее, скобках – процентная доля компонентов. Анализы водных вытяжек и газовая хроматография минералов выполнены И.Д.Зайкиным, С.А.Шахраем по стандартным методикам в АмуркНИИ ДВО РАН.

(средние величины, мл/г-час): пирротин гексагональный (2,59) – пирротин моноклинный (1,0) – пирит (0,56) – арсенопирит (0,42) – халькозин (0,32) – халькопирит (0,25) – сфалерит (0,12) – галенит (0,09). Приведенный ряд снижения окисляемости совпадает с рядом повышения прочности химических связей «металл – сера» в кристаллических решетках минералов и соответствует увеличению гидрофобности их поверхности [3]. Таким образом, минералам правой части ряда свойственна значительная природная гидрофобность и в благоприятных условиях (появление полостей, а в них одновременное зарождение

минералов и пузырьков газа во флюиде при его гетерогенизации) они могут образовывать минерально-газовые ассоциаты, способные к всплыванию в водной среде.

Самородное золото обладает наиболее низким сродством к кислороду, что определяет низкую смачиваемость водой поверхности его индивидов. Естественная гидрофобность золота отмечена в работах [12, 14, 15]. Благодаря этому свойству флюидные включения в природном самородном золоте всегда богаты газовой фазой [8–10, 15]. В таблице приведен состав флюидных включений в различных минералах из руд месторождения Токур. Их компонентный состав качественно сходен, но количественные различия значительны. В среднем 13-кратную обогащенность газами включений в самородном золоте относительно включений в кварце можно удовлетворительно объяснить его высокой естественной гидрофобностью [15].

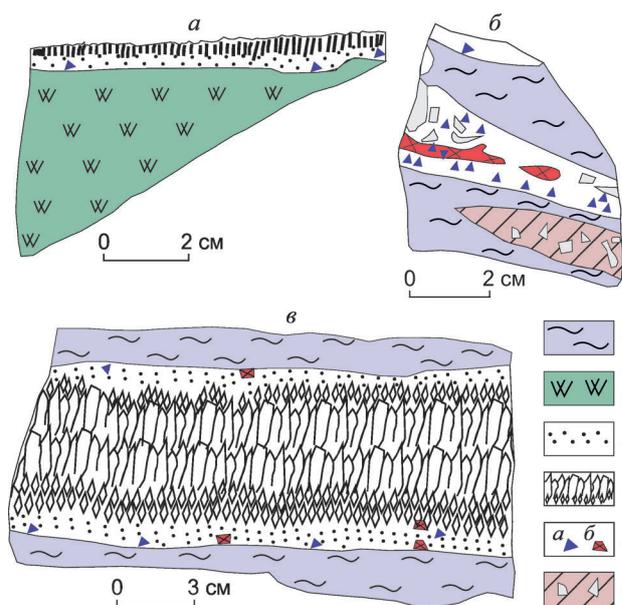


Рис. 1. Размещение выделений самородного золота в жильном кварце месторождения Токур (зарисовки штуфов):

*a* – штуф Т-12 из отвала штольни 39; *б* – штуф Т-28 из жилы 376<sup>бис</sup>, гор. 860 с выделениями золота и гнездами пирита в кварце (белое поле); *в* – штуф Т-1 из жилы Первая, гор. 730 м с выделениями золота и галенита; 1 – алевро-аргиллиты; 2 – кварцит; 3 – мелкозернистый кварц; 4 – шестовато-ребенчатый кварц; 5 – рудные минералы в кварцевых жилах и прожилках (*a* – золото, *б* – сульфиды); 6 – послерудный анкерит с обломками породы (брекчия)

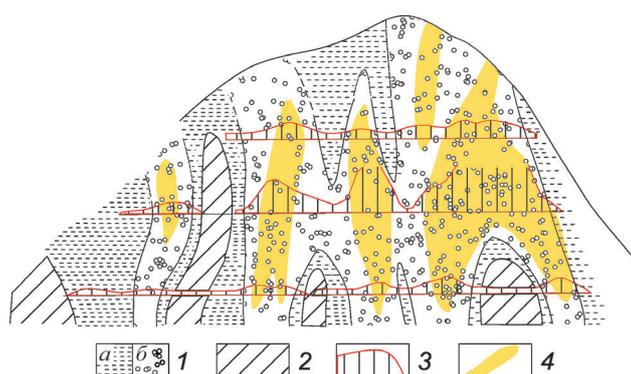


Рис. 2. Рудные столбы в плоскости жилы Юрасовская месторождения Ирокинда в проекции на вертикальную плоскость, по [7] с дополнениями автора:

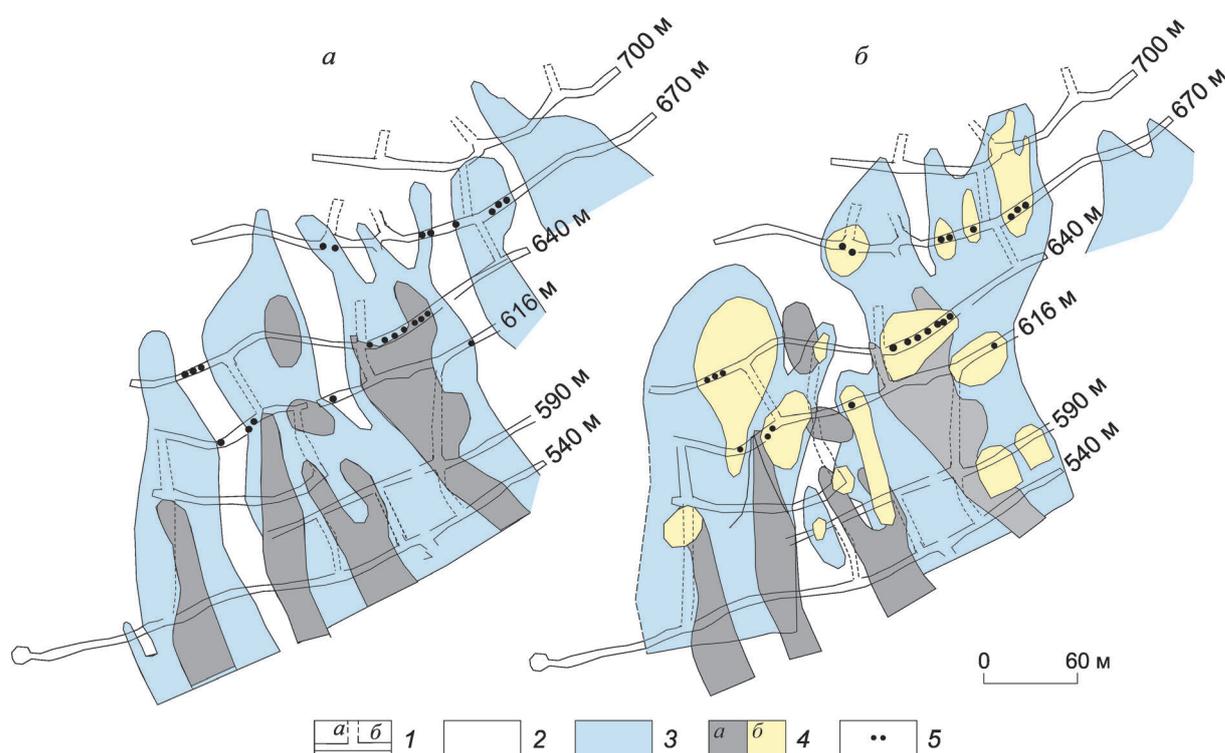
1 – предполагаемые области циркуляции углекислотных растворов (а – гомогенных, б – гетерогенных); 2 – участки, на которых минералообразующая деятельность растворов продуктивной стадии не проявлена; 3 – кривые регрессии сглаженных содержаний Au (усл. ед.); 4 – золоторудные столбы

Помимо обогащения флюидных включений в золоте газовыми и солевыми компонентами, для жил Токурского месторождения необходимо также отметить промежуточную по величине между золотом и кварцем относительную обогащенность указанными компонентами включений в пиритах и арсенопиритах (см. таблицу). В соответствии с вышеизложенным появление в жилах галенита и наблюдаемые в некоторых случаях локальные гнездовые скопления (до 1–2%) пирита (рис. 1, б, в) на горизонтах, обогащенных золотом, можно также связать, в какой-то мере, с флотационным перемещением зародышей этих минералов с более низких уровней жильных полостей на средние и верхние. Но чаще на этом и других месторождениях наблюдается обогащение кварцевого агрегата продуктивной стадии только золотом (см. рис. 1, а) или интерстициальными его сростаниями с галенитом.

В отложении рудных минералов большинство исследователей отдадут приоритет снижению температуры флюида, так как это приводит к уменьшению растворимости комплексных соединений металлов, в которых они переносятся гидротермальными растворами. Однако роль давления флюида в отложении золота также существенна [7] и на определенных этапах формирования месторождений является доминирующей [13]. Именно снижение давления в гидротермальной системе, обусловленное раскрытием трещин или приращением объема полостей, приводит к быстрому адиабатическому снижению температуры, пересыщению флюида комплексами металлов и минералоотложению. В обобщенной авторской модели рудообразования [13] показано, что на втором (регрессивном) этапе саморазвития экранированных гидротермальных систем в концентрированном отложении метал-

лов (минералов) ведущая роль принадлежит резкому снижению флюидного давления. Именно такое многократное снижение давления флюида при раскрытиях (дораскрытиях) полостей вызвало его гетерогенизацию, вскипание и газоотделение, сопровождаемое ощелачиванием жидкой фазы и одновременным ее пересыщением компонентами газов, солей и кремнекислотой, и инициировало отложение минералов. Неустойчивые в таких условиях хлоридные, сульфидные и иные комплексы металлов, в том числе золота, распались, способствуя массовому зарождению минералов. Следовательно, при гетерогенизации и вскипании флюида возникали идеальные условия для флотации зародышей гидрофобных минералов. В работе [7] на примере сульфидно-кварцевых жил месторождения Ирокинда (Забайкалье) показано пространственное совмещение полей высоких концентраций золота с зонами вскипания флюида (рис. 2). При этом максимумы накопления золота смещены к верхним уровням таких зон. Отмеченное взаимосвязанное расположение полей с относительным смещением концентраций можно объяснить только процессом флотации золота.

Распределение золота по мощности жил всегда неравномерное. По результатам секционного опробования зальбандовые зоны жил богаче золотом и сульфидами, чем внутренние, которые часто бывают вообще пустыми [6], если не содержат обломки золотоносного кварца парагенезисов продуктивной стадии. В случаях присутствия макроскопически видимого золота (см. рис. 1) его выделения обнаруживаются преимущественно у зальбандов жил и прожилков [14] и по границам последовательно формировавшихся минеральных ассоциаций или ритмов. Так, в сложно построенных полосчатых и ритмично зо-



**Рис. 3. Распределение мощностей (а) и содержаний золота относительно раздувов мощности (б) в плоскости «слепой» жилы 495 месторождения Токур (проекция на горизонтальную плоскость):**

1 – выработки восстающие (а) и штреки (б) на горизонтах разведки; мощности жил, см: 2 – <10, 3 – 11–30, 4а – 31–50 и более; содержания Au, г/т: 2 – <5, 3 – 6–20, 4б – 21–50 и более, 5 – 100–500

нальных жилах Бaleyского [17, рис. 26, 27] и других малоглубинных месторождений основное количество золота отлагалось в основаниях лишь первых двух-трех минеральных ритмов в ассоциации с тонкозернистым кварцем. Нами на Токурском и ряде других месторождений наблюдались выделения золота в обеих отмеченных позициях [14]. В наклонно залегающих жилах месторождения Советское золото чаще отлагалось в их висячих боках [6]. Такое распределение, вероятнее всего, было следствием всплывания, закрепления и накопления ассоциатов «золото – пузырек газа» преимущественно на выположенных и вогнутых участках висячих стенок полостей, особенно в их неровностях и в нишах-ловушках. Ассоциаты проникают и в трещины, опирающиеся эти полости.

Распределение самородного золота в плоскости жильных тел обычно крайне неравномерное. На фоне слабо золотоносных и пустых участков жил фиксируются богатые рудные

столбы или их серии, как показано на рис. 2 для месторождения Ирокинда. Чаще золотом обогащены средние и верхние горизонты жил и месторождений [6–8, 12, 14]. Проведенное сопоставление размещения полей различных содержаний золота со структурами мощностей многих десятков изученных нами продуктивных жильных тел Токурского месторождения и др. показало двойственность в соотношениях этих параметров. Во-первых, наблюдается тяготеение проб с повышенными содержаниями золота к градиентным зонам мощности жил (рис. 3, 4); во-вторых, в более детальном плане на таких участках отчетливо прослеживается обратная корреляция между мощностью и содержанием золота (рис. 5). Пробы с повышенными содержаниями золота обычно приурочены к боковой и, особенно, верхней периферии максимумов мощностей в жильных телах (см. рис. 3, 4) с наибольшим их удалением от раздувов жил вверх. Если раздув мощности считать участком макси-

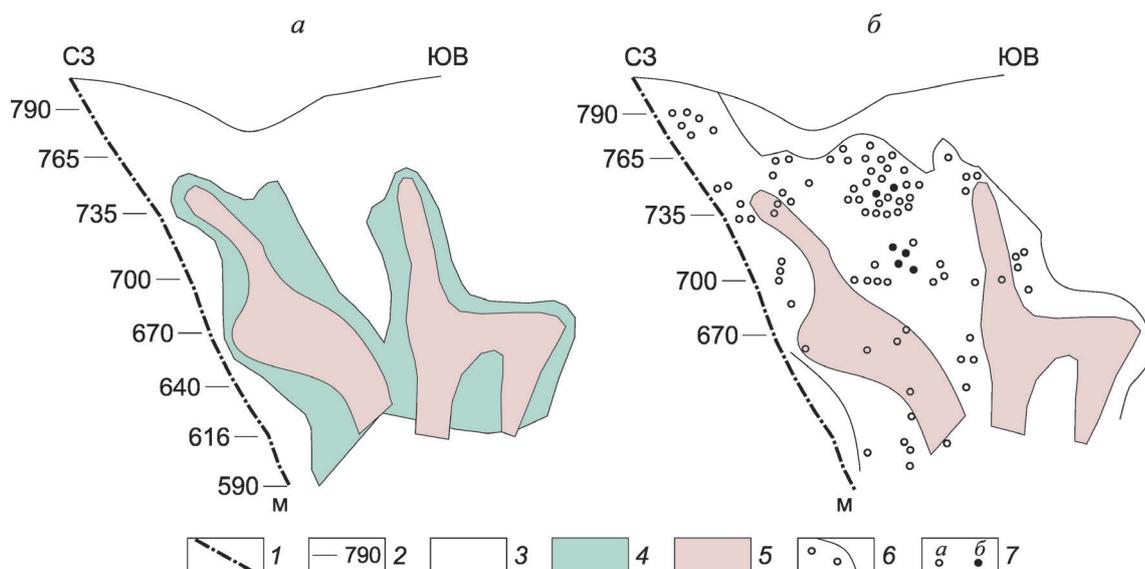


Рис. 4. Структура мощности (а) и распределение золота относительно участков максимальной мощности (б) западного фланга жилы Первая (месторождение Токур, вертикальная проекция):

1 – Северо-Западный сброс; 2 – разведочные горизонты; мощности жилы, см: 3 – 5–29, 4 – 30–59, 5 – 60–80; б – контур участка жилы с содержанием Au >10 г/т; 7 – пробы с содержанием Au: а – 50–100, б – 101–300 г/т и более

мального раскрытия полости и, следовательно, местом максимального падения давления в объеме жильного тела и активной гетерогенизации флюида, то отмеченное распределение золота во всех жилах можно объяснить лишь флотацией образующихся его частиц одновременно возникающими газовыми пузырьками на более высокие уровни полостей с по-

следующей агрегацией. Отмеченное распределение золота относительно раздувов мощности характерно для жил всех изученных нами месторождений Верхнеселемджинского рудного района и жильных тел Многовершинного месторождения в Нижнем Приамурье. Оно свойственно жилам месторождения Бестюбе в Казахстане (рис. 6), а также жилам Старо-Бери-

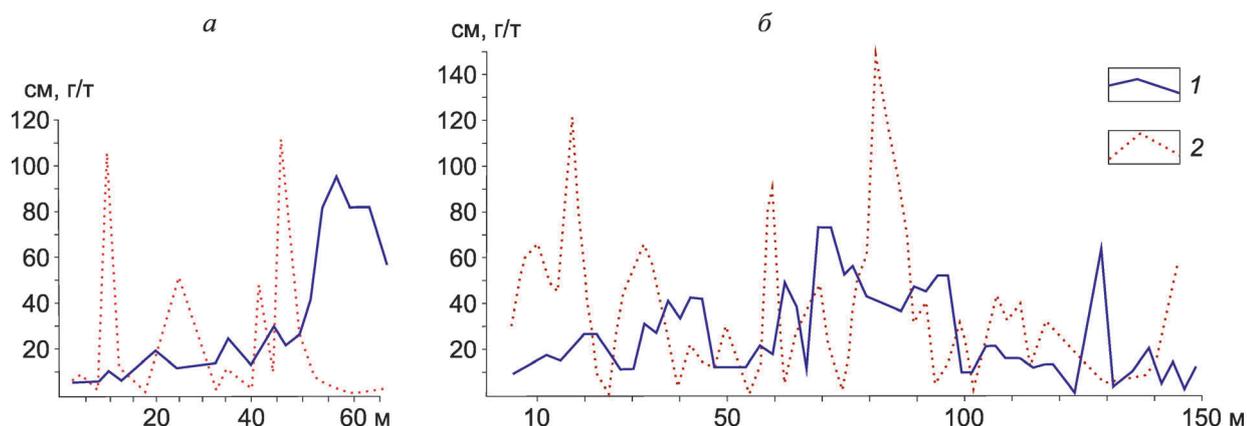
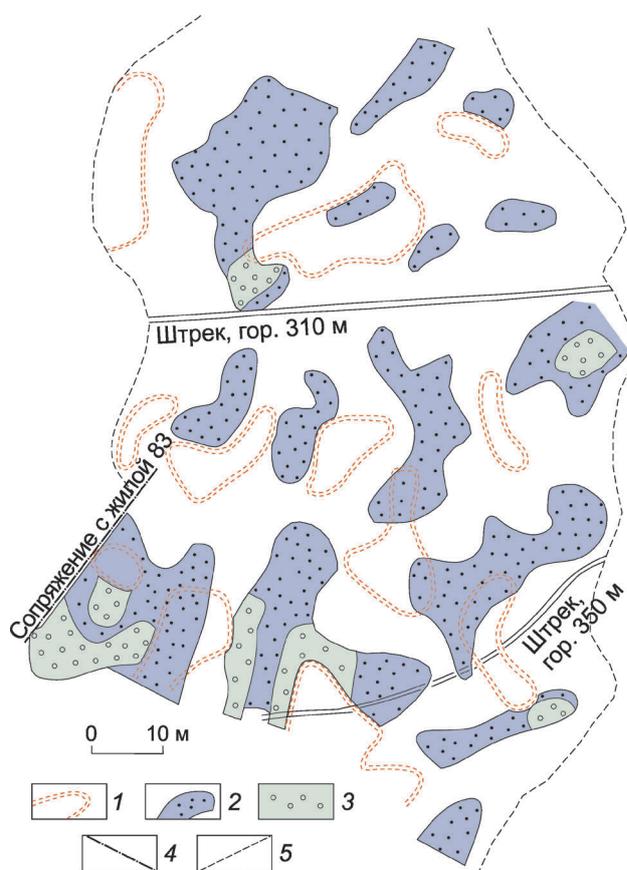


Рис. 5. Графики изменения мощностей и содержаний золота по простиранию жил месторождения Иннокентьевское (Верхнее Приамурье):

а – жила 31<sup>а</sup> (штрек 9, горизонт 750 м); б – жила 46 (траншея 5); 1 – мощность, см; 2 – содержания Au, г/т



**Рис. 6. Смещение максимумов содержаний золота относительно участков максимальных мощностей в жиле 86 месторождения Бестюбе, Казахстан (горизонтальная проекция, по автору):**

1 – максимумы мощности (1,0–2,0 м) на фоне рядовых; максимумы содержаний Au на фоне рядовых, г/т: 2 – 30–100, 3 – 101–200; 4 – разлом; 5 – контуры рудного тела

кульского месторождения в Сибири (рис. 7) и, по-видимому, многих других.

Таким образом, крайне неравномерное распределение самородного золота в объеме тел жильных месторождений с преимущественной концентрацией на средних и верхних уровнях в очевидной связи с раздувами мощности, а также аномальная обогащенность флюидных включений в самородном золоте компонентами газов являются, на наш взгляд, следствиями флотационного механизма образования его концентраций в гидротермальном процессе. При низком кларке в породах-источниках золота в гидротермальном процессе его концентрации в отдель-

ных участках кварцевых жил достигают многих сотен грамм на 1 т и даже первых килограмм на 1 т. Причина столь высоких значений (10 000–20 000 и более) коэффициентов накопления золота в рудах относительно кларка состоит не только в высокой растворимости его комплексов, но еще в большей мере в отмеченном феноменальном свойстве – гидрофобности поверхности его кристаллических выделений.

Изложенное целесообразно дополнить сведениями о частом присутствии в рудообразующих флюидах битумоидов, которые подобно аполярным реагентам-собираателям, используемым в технологиях флотационного обогащения руд, могли способствовать дополнительной гидрофобизации поверхности некоторых минералов и усилению их флотационных свойств. Их наличие микроскопически зафиксировано во включениях в кварце золоторудного месторождения Токур [5].

Аналоговой моделью естественной флотации гидрофобных минералов при формировании золоторудных месторождений жильного типа можно считать технологический процесс газовой флотации минералов С.В.Поттера – Г.П.Дельпрата (США, патенты №№ 776145, 735071, 1902 г.). Он успешно применялся для извлечения в концентрат сульфидов полиметаллов из отходов обогатительной фабрики рудника Броккен-Хилл (Австралия) пузырьками  $\text{CO}_2$ , образующимися при воздействии на измельченную карбонатсодержащую руду в пульпе горячей серной кислотой [2]. Этот технологический процесс, дополненный предложенным в 1904 г. Ф.Е.Эльмором (Англия, патент № 17816) вакуум-процессом получения пузырьков газа из растворенного в пульпе воздуха за счет уменьшения внешнего давления, адекватно имитирует описанное выше явление в гидротермальном процессе (массовое образование и всплывание ассоциатов «золото – пузырьки газов»), происходящее после «сброса» флюидного давления в рудоформирующей гидротермальной системе при раскрытиях (дораскрытиях) полостей.

Приведенные материалы свидетельствуют о высокой вероятности участия в формировании гидротермальных месторождений механизма естественной флотации ряда минералов, поверхность которых обладает гидрофобными свойствами. В первую очередь, это относится к само-

родному золоту и формированию его богатых концентраций в рудных телах.

Выводы:

1. Гидрофобность поверхности минерала, изменчивость давления и вскипание флюида в гидротермальном процессе являлись определяющими факторами образования наблюдаемых в жильных телах месторождений высоких концентраций золота по механизму естественной флотации. Снижение давления флюида в экранированной гидротермальной системе на участках тектонических и гидравлических раскрытий (дораскрытий) полостей приводило к последовательной цепи явлений: его дегазации и вскипанию – адиабатическому понижению температуры – снижению кислотности – пересыщению многими компонентами и минералообразованию с перемещением пузырьками газовой фазы возникающих частиц гидрофобных минералов на вышележащие уровни полостей и жильных тел.

2. В экранированных гидротермальных системах на фоне многократных флуктуаций давления и температуры в процессе самоорганизующегося их развития [13] описанная цепь взаимобусловленных событий могла происходить неоднократно. Это могло приводить к образованию на средних и особенно верхних уровнях жил и месторождений наиболее богатых гипогенных золоторудных столбов. В исключительно благоприятных условиях (а именно на участках крупных скоплений таких ассоциатов с нано- и микрочастицами золота, способствующих их агрегации по кватаронному механизму [1]), это могло приводить к образованию в жильных телах его локальных богатых накоплений, в том числе и к образованию гипогенных самородков золота, что нередко наблюдается в природе [15, 17].

3. Характерные для месторождений крайне неравномерное распределение золота в жильных телах, обычно более крупные размеры его индивидов в первичных рудах на верхних горизонтах, высокоаномальное обогащение флюидных включений в самородном золоте газовыми компонентами по сравнению с флюидными включениями в жильном кварце и обычно тесная корреляция в рудах содержания золота, свинца и цинка [4] являются, на наш взгляд, одновременно свидетельствами и следствиями проявления механизма гидротермальной флотации и избирательной локальной концентрации самородного золота и сопутствующих ги-

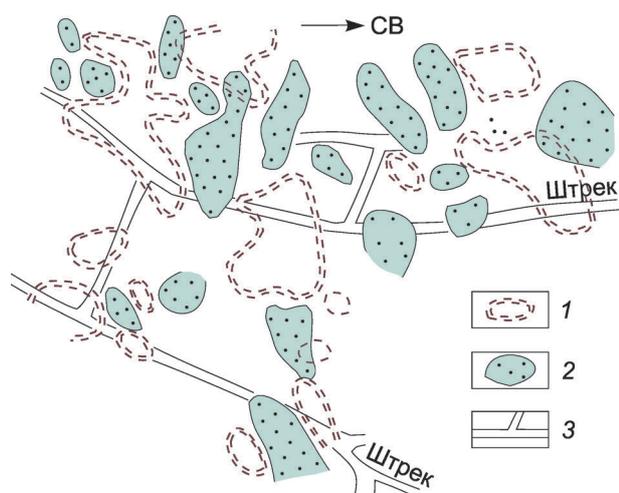


Рис. 7. Смещение максимумов содержаний золота относительно участков максимальных мощностей в жиле З1 Старо-Берикульского месторождения (горизонтальная проекция, упрощенная автором схема В.И.Маслова из работы [16]):

1 – максимумы мощности; 2 – максимумы содержаний; 3 – штреки и восстающие выработки

дрофобных минералов при формировании золотоносных жил и штокверков. Особенно показательны в этом отношении часто встречающиеся на месторождениях Токур и др. тесные сростания самородного золота с галенитом и их размещение в интерстициях агрегатов продуктивного кварца. Отмеченная выше близость энергетических свойств поверхностей индивидов самородного золота и галенита лежит в основе их совместного накопления в рудах многочисленных разноглубинных гидротермальных золоторудных месторождений и выделения на многих месторождениях продуктивной золотополиметаллической стадии рудоформирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асхабов А.М., Галиулин Р.В. Кватаронный механизм образования и роста кристаллов // ДАН. 1998. Т. 363. № 4. С. 513–514.
2. Глембоцкая Т.В. Возникновение и развитие флотации. – М.: Наука, 1984.
3. Зуев В.В. Конституция и свойства минералов (Остовно-электронный подход к исследованию некоторых основных проблем конституции минералов). – Л.: Наука, Ленингр. отд., 1990.

4. *Корреляция золота с рудными элементами Токурского рудного поля / В.Д.Мельников, Н.И.Божков, Э.Б.Кулешова и др. // Вопросы золотоносности Дальнего Востока. Благовещенск, 1972. С. 74–76.*
5. *Котов Н.В., Власов Н.Г., Порицкая Л.Г., Гембицкий В.В. Геологическая позиция и условия образования золоторудных месторождений Верхне-Селемджинского района // Геология рудных месторождений. 1992. № 5. С. 106–111.*
6. *Лазько Е.М. Рудничная геология. – М.-Л.: Госгеол-издат, 1946. С. 148–159.*
7. *Ляхов Ю.В. Палеотемпературная зональность рудных полей // Термобарогеохимия и рудогенез. Владивосток, 1980. С. 20–30.*
8. *Моисеенко В.Г. Геохимия и минералогия золота рудных районов Дальнего Востока. – М.: Наука, 1977.*
9. *Моисеенко В.Г., Миронюк А.Ф., Зайкин И.Д. Некоторые особенности флюидов эндогенных месторождений // Термобарогеохимия эндогенных процессов. Владивосток, 1986. С. 3–10.*
10. *Неронский Г.И. Типоморфизм золота месторождений Приамурья. – Благовещенск: АмурНЦ ДВО РАН, 1998.*
11. *Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений. – М.: Недра, 1988.*
12. *Остапенко Н.С. К обоснованию гидротермально-флотационной модели формирования золоторудных столбов в жилах выполнения // История исследования золотоносности Приамурья. Благовещенск, 1989. С. 62–64.*
13. *Остапенко Н.С. Саморазвитие экранированных гидротермальных систем и гидроразрывов в структуро- и рудообразовании (Общая модель формирования гидротермальных месторождений) // ДАН. 2005. Т. 400. № 6. С. 789–792.*
14. *Остапенко Н.С., Нерода О.Н. Флюидное давление и гидроразрыв пород при гидротермальном рудообразовании (на примере золоторудных месторождений) // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 3. С. 89–105.*
15. *Петровская Н.В., Элинсон М.М., Николаева Л.А. Состав и условия образования газовых включений в самородном золоте // Докл. I Международного геохимического конгресса «Гидротермальные процессы». М., 1973. Т. II. С. 441–451.*
16. *Рослякова Н.В. Зависимость концентрации золота в рудных столбах Старо-Берикульского месторождения от условий их образования // Проблемы образования рудных столбов. Новосибирск, 1972. С. 146–153.*
17. *Смолин А.П. Самородки золота Урала. – М.: Недра, 1970.*
18. *Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудоносность жильного кварца. – М.: Недра, 1984.*
19. *Юшкин Н.П. О роли флотации в минералообразующих процессах // Зап. ВМО, вторая серия. Ч. 89. Вып. 6. 1960. С. 682–690.*

*Остапенко Николай Степанович,  
доктор геолого-минералогических наук  
ostapenko\_ns@mail.ru*

## NATURAL FLOTATION OF HYDROPHOBIC MINERALS IN HYDROTHERMAL ORE FORMATION AND ITS CONSEQUENCES (EXAMPLIFIED BY GOLD DEPOSITS)

N.S.Ostapenko

*The article presents evidence that hydrothermal ore formation in the process of vein bodies formation with gold bonanzas involves the flotation mechanism of hydrophobic surface minerals (native gold, some sulfides). The main factors of the process are heterogenization (boiling up) of fluid with a sharp decline in pressure accompanied with bubbles of gas phase; the oversaturation of solutions with metal ions and mass nucleation; formation and heaving of associations «mineral germ – gas bubble» in vein cavities.*

*Key words: hydrothermal process, natural flotation of gold, bonanzas.*

2 января 2016 г. исполнилось 70 лет **Галине Васильевне Седелъниковой**, заместителю директора ФГУП ЦНИГРИ по научной работе, доктору технических наук, заслуженному геологу Российской Федерации, лауреату премии Правительства РФ в области науки и техники, академику Академии горных наук, член-корреспонденту МАМР, члену бюро Совета РАН по проблемам обогащения полезных ископаемых, одному из лидеров в области исследования минерального сырья и разработки технологии переработки руд благородных и цветных металлов.

Г.В.Седелъникова в 1970 г. окончила Московский институт стали и сплавов, со второго курса обучения занималась исследовательской работой на кафедре металлургии цветных металлов. По распределению работала младшим научным сотрудником в Гинцветмете. В 1972 г. поступила в очную аспирантуру МИСиС, после окончания которой с 1976 г. связала свою трудовую деятельность с ЦНИГРИ. В 1977 г. защитила кандидатскую диссертацию. В ЦНИГРИ работала в должностях младшего, старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией, с 1988 г. – заместитель директора по науке.

Г.В.Седелъникова является крупным специалистом и известным ученым в области обогащения минерального сырья благородных и цветных металлов. На основе изучения вещественного состава и обогатимости руд под ее руководством и непосредственном участии разработаны и проверены в полупромышленном масштабе эффективные технологические схемы извлечения благородных металлов из руд более 40 отечественных и зарубежных месторождений, в числе которых Майское, Воронцовское, Неждановское, Кючус, Олимпиадинское и др. (Россия), Кумтор, Талды-Булак (Киргизия), Бакырчик, Жанан (Казахстан), Биран, Даугызтау (Узбекистан), Асгат (Монголия), Пезинок (Словакия). Технологии переработки руд разведываемых месторождений использованы при расчете кондиций и подсчете запасов руд в ГКЗ, разработке технологических регламентов, проектировании и строительстве обогатительных фабрик.

Г.В.Седелъникова – организатор и научный руководитель приоритетных направлений исследований по переработке нетрадиционных типов минерального сырья. Со второй половины 80-х годов возглавляет комплекс НИОКР в области создания отечественной технологии кучного выщелачивания золота из руд и техногенного сырья в рамках программы Министерства геологии СССР, курирует работу ряда институтов и производственных организаций по этому направлению. В результате были разработаны научно-методические основы процесса кучного выщелачивания благородных и цветных металлов, создана научно-техническая база (лабораторные, укрупненные и полупромышленные установки) в отрасли для проведения исследований и распространения этой прогрессивной технологии в геологоразведочное производство и золотодобывающую промышленность. Разработаны технологические регламенты для проектирования предприятий кучного выщелачивания золота на Алдане, в Хабаровском крае, Амурской области, Казахстане. В 1993 г. впервые в России разработанная в ЦНИГРИ технология кучного выщелачивания золота из эфельных отвалов ПО «Южуралзолото» была внедрена в промышленное производство при активном участии Г.В.Седелъниковой на этапе освоения процесса круглогодичного выщелачивания золота в суровых климатических условиях России.

Работы Г.В.Седелъниковой в области теории и практики биотехнологии упорного минерального сырья признаны в нашей стране и за рубежом. Более 25 лет она возглавляет работы по созданию эффективных технологий переработки упорных руд и концентратов с применением микроорганизмов. Результаты теоретических исследований процессов бактериального окисления золотосодержащих сульфидов и гидрометаллургического извлечения благородных металлов легли в основу ее докторской диссертации (1999 г.), а также использованы при разработке технологических регламентов биогидрометаллургической технологии переработки упорных концентратов месторождений (Майское, Албазинское, Олимпиадинское, Попутнинское и др.). За цикл работ «Исследование, разработка и



внедрение биогидрометаллургической технологии переработки упорного золотосодержащего сырья» в 2004 г. ей присуждены премия им. И.Н.Плаксина и диплом Академии горных наук. В 2007 г. в составе авторского коллектива Г.В.Седельникова отмечена премией Правительства РФ в области науки и техники за «Создание в условиях Крайнего Севера высокотехнологичного производства по добыче и переработке золотосодержащих руд при промышленном освоении месторождения Олимпиадинское». По инициативе Галины Васильевны в ЦНИГРИ в последние годы разрабатываются комбинированные технологии на основе кучного и бактериального окисления и гидрометаллургического извлечения благородных и цветных металлов из комплексных упорных руд и техногенного сырья. Создана биогеотехнология переработки лежалых хвостов обогатительных фабрик и конверторных шлаков УГМК, а также золотосодержащих и полиметаллических руд разведываемых и эксплуатируемых месторождений.

С 2000 г. она координирует совместную работу ЦНИГРИ с рядом институтов РАН и других ведомств, развивает новое направление исследований в области обогащения минерального сырья с применением направленных энергетических воздействий (мощные электромагнитные импульсы, магнитно-импульсная и ультразвуковая обработка). Положительные результаты экспериментальных работ апробированы и подтверждены на ряде горно-обогатительных производств.

Под руководством и участии Г.В.Седельниковой осуществлен перевод аналитической службы ЦНИГРИ на качественно новый уровень – проведено техническое перевооружение аналитических лабораторий, разработаны и аттестованы более 10 современных методик анализа золота и платиновых металлов с использованием методов пробирного анализа и масс- и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и рентгенофлуоресценцией. В 1999 г. аттестован и аккредитован Аналитический Центр ЦНИГРИ в соответствии с требованиями международного стандарта. Аналитический Центр, курируемый Г.В.Седельниковой, успешно функционирует и выполняет большой объем анализов геологических, технологических и других проб на благородные, цветные металлы и иные компоненты.

Результаты научных исследований Г.В.Седельниковой изложены в более 200 научных работах, в том числе двух монографиях, двух справочниках, восьми патентах РФ на изобретения. Она постоянно выступает с докладами на международных научных конференциях и совещаниях в области обогащения минерального сырья, проходящих в России (Плаксинские чтения, Неделя Горняка, Конгресс обогатителей стран СНГ, Золото и технологии, Биотехнология, Недрa и др.) и зарубежных странах (Международный конгресс по обогащению полезных ископаемых (IMPC), Балканский конгресс по обогащению полезных ископаемых (BMPC), Международный симпозиум по биогидрометаллургии (IBS)), а также на региональных конференциях.

Г.В.Седельникова ведет большую научно-общественную работу. Под ее руководством подготовлены и защищены три кандидатские диссертации. Она – член бюро Совета РАН по проблемам обогащения полезных ископаемых, член программного комитета Московского международного конгресса «Биотехнология», председатель секции Биогеотехнология, заместитель председателя Ученого совета ЦНИГРИ, председатель секции по технологии и аналитике, член диссертационного совета при ИПКОН РАН, член редколлегии журнала «Руды и металлы», постоянный рецензент научных статей по обогащению и металлургии благородных металлов в журналах «Цветные металлы», «Горный журнал», «Руды и металлы» и Международного конгресса по обогащению.

Галина Васильевна пользуется глубоким уважением среди обогатителей страны и в коллективе института за высокий профессионализм, огромное трудолюбие, доброжелательность, отзывчивость к людям.

Поздравляем Галину Васильевну Седельникову с юбилеем, желаем крепкого здоровья, семейного благополучия, дальнейшей плодотворной научной деятельности.

*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*

13 марта 2016 г. исполнилось 80 лет **Беневольскому Борису Игоревичу**, доктору геолого-минералогических наук, действительному члену Академии горных наук и Международной академии информатизации.

После окончания в 1958 г. геологического факультета Московского государственного университета Б.И.Беневольский работал в Геологическом управлении «Севвостгеология» в Центрально-Колымском районе. От горного мастера круглогодичной партии вырос до главного инженера крупной экспедиции, ведущей разведку россыпных и поиски рудных месторождений золота.

При непосредственном участии Б.И.Беневольского разведаны крупные россыпи верховья р. Колыма (Валунный, Болотный и др.), проведена оценка ресурсного потенциала коренного и россыпного золота перспективной территории, укреплена сырьевая база золотодобывающих предприятий региона.

В 1972–1989 гг. работал в Министерстве геологии СССР главным специалистом по алмазам и благородным металлам. Внес огромный вклад в открытие и промышленную оценку коренных и россыпных месторождений золота (Олимпиадинское, Дукатское, Кубакинское, Покровское, Мужиеское, Большой Канимансур и др.), создание сырьевой базы золота в Камчатской области, Корякском автономном округе, Республике Коми и других регионах России. При его участии разработаны эффективные государственные программы геологоразведочных работ в перспективных районах. В результате создана одна из крупнейших в мире минерально-сырьевая база золото- и серебрдобывающей промышленности России и стран СНГ, обеспечивающая в начале XXI в. стабильную высокую добычу золота и серебра и перспективы ее увеличения. Активно участвовал в создании современных методических руководств по поискам, разведке и геолого-экономической оценке коренных и россыпных месторождений, что оказало влияние на развитие сырьевой базы и формирование отечественной школы геологоразведчиков.

Б.И.Беневольский трудится в ЦНИГРИ с 1989 г. Его научно-аналитические и прикладные разработки имеют большое научное и практическое значение для эффективного недропользования в новых условиях рыночной экономики. Наиболее важные из них, выполненные совместно с другими учеными ЦНИГРИ, – средне-долгосрочная до 2020 г. государственная программа развития минерально-сырьевой базы золотодобывающей промышленности, концепция национальной минерально-сырьевой безопасности в условиях динамично развивающихся процессов глобализации минерально-сырьевого комплекса, за которую вместе с другими авторами Борис Игоревич удостоен звания лауреата премии им. А.Н.Косыгина, монографии «Минерально-сырьевая база благородных и цветных металлов к 2025 году. Мир и Россия», «Золото России. Проблемы использования и воспроизводства МСБ», выдержавшая два издания, комплект карт золотоносности федеральных округов и субъектов Российской Федерации. В этих и других трудах обосновывается идеология государственной стратегии по развитию сырьевой базы золотодобычи, ее использованию и воспроизводству в новой системе недропользования и свободного рынка, приводятся практические рекомендации по выходу из кризисного состояния за счет ускоренного освоения коренных месторождений, стабилизации добычи золота, эффективного использования остаточного ресурсного потенциала действующих предприятий, в том числе на основе правовой базы соглашений о разделе продукции.

Следуя велению времени, ощущая необходимость модернизации, Борис Игоревич в начале 90-х годов совместно с другими учеными института занимался разработкой, обоснованием, а в дальнейшем и внедрением системы мониторинга использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых как управляющей и регулирующей основы развития отечественной сырьевой базы, созданием единой информационной системы «Минерально-сырьевые ресурсы



России». Также он является одним из авторов исследований по переоценке прогнозных ресурсов благородных и цветных металлов и подготовке соответствующих методических руководств.

В этот же период он много внимания уделяет проблеме создания правовой основы, адекватной экономическим реформам системы недропользования, участвует в составе экспертных групп Государственной Думы в разработке проектов законов о недрах, соглашении о разделе продукции, драгоценных металлах и драгоценных камнях и др., которые послужили основой правового поля для развития и использования сырьевой базы, привлечения отечественных и зарубежных инвесторов в освоение фонда недр. По результатам этих работ коллективом авторов подготовлены специализированные словари-справочники, дающие определения новой терминологии.

Под руководством и при участии Б.И.Беневольского проводятся геолого-экономическая оценка и разработка технико-экономических обоснований промышленного освоения в новых условиях недропользования месторождений цветных и благородных металлов (Озерновского, Каменского, Покровского, Павловского, Сейнавского узла, Федоровой тундры и др.)

Вместе с коллегами проведена актуализация классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых и стабильности геологоразведочных работ в части их адаптации к международному регламенту, принятому в основных сырьевых странах мира, актуализированы методические рекомендации по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, впервые в отечественной геологии разработана и успешно внедрена не знающая аналогов система кадастрового учета прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых.

Рекомендации, сформулированные в работах Б.И.Беневольского, реализованы в промышленном освоении ряда крупных коренных и россыпных месторождений благородных и цветных металлов, в привлечении внимания отечественных и зарубежных инвесторов к российским месторождениям, внесли весьма ощутимый вклад в удвоение добычи рудного золота, сдерживание темпов падения производства россыпного золота в стране.

В течение многих лет Б.И.Беневольский выполнял научно-организационную работу, будучи заместителем председателя секции Ученого совета ЦНИГРИ, председателем секции конъюнктуры минерального сырья Межведомственного экспертного научно-методического совета МПР России по геологии алмазов, благородных и цветных металлов, членом секции россыпей Межведомственного комитета по рудообразованию и металлогении РАН, главным научным экспертом МПР России по благородным металлам, экспертом ГКЗ, членом редколлегии научно-технического журнала «Руды и металлы», членом совета редакции журнала «Минеральные ресурсы России. Экономика и управление». Участвовал в работе 30–32-го международных геологических конгрессов, отечественных и международных симпозиумов и конференций по проблематике минерально-сырьевого обеспечения в условиях глобализации мировой экономики.

Б.И.Беневольский – автор 150 научных трудов, в том числе 10 монографий. Ему присуждены звания лауреата премии Правительства РФ в области науки и техники, «Заслуженный деятель науки РФ». Он награжден знаками «Почетный разведчик недр», «Отличник разведки недр», «300 лет геологической службы России», медалью «Горно-геологическая служба России».

Многолетняя и плодотворная деятельность Б.И.Беневольского, направленная на развитие и укрепление минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых, высоко оценена геологическим сообществом России. В 2015 г. решением правления Ассоциации Геологических Организаций он награжден нагрудным знаком «Звезда геолога» № 2.

Поздравляем Бориса Игоревича Беневольского с юбилеем, желаем доброго здоровья, счастья, дальнейших творческих успехов на благо отечественной геологии.

*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*

Научно-практическая конференция  
«НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, АЛМАЗОВ – СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ»  
19–20 апреля 2016 г., Москва, ФГУП ЦНИГРИ

В соответствии с приказом Федерального агентства по недропользованию от 16.12.2015 № 820 Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГУП ЦНИГРИ) проводит 19–20 апреля 2016 г. научно-практическую конференцию «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов – состояние и перспективы». Конференция проходит при поддержке Федерального агентства по недропользованию, Российской академии наук, Российского геологического общества.

Цель конференции – обеспечение реализации Государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» (подпрограмма I «Воспроизводство МСБ, геологическое изучение недр») и положений Стратегии развития геологической отрасли до 2030 года.

Тематика конференции:

- научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков и оценки месторождений;
- использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки;
- использование передового опыта проведения ГРП по воспроизводству минерально-сырьевой базы России;
- разработка и реализация инновационных технологий ГРП.

Место проведения: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1, ФГУП ЦНИГРИ.

Для участия в конференции приглашаются представители геологоразведочных, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов.

Планируются устные и стендовые доклады. Время устного сообщения до 20 минут. К услугам докладчиков предоставлены мультимедиа-проекторы для презентации докладов в формате PowerPoint. Стендовые доклады: размеры стенда – 90 см по горизонтали, до 240 см по вертикали.

Регистрация участников и прием тезисов производятся на сайте <http://www.tsnigri.ru> до 20 марта 2016 г. Регистрационные взносы не взимаются.

Требования к оформлению тезисов: текст с заголовком должен быть набран на одном листе формата А4 в редакторе Microsoft Word. Шрифт Times New Roman, 12 кегль, одинарный интервал. Поля со всех сторон 2 см.

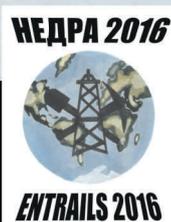
Тезисы, присланные в Оргкомитет не позднее 20 марта 2016 г., будут включены в Программу конференции. Сборник тезисов докладов выйдет в свет к началу конференции. Базовые доклады планируется опубликовать в журналах «Руды и металлы» и «Отечественная геология».

Программа конференции рассылается в электронном виде зарегистрированным участникам.

Контакты: [market@tsnigri.ru](mailto:market@tsnigri.ru), 8 (495) 315-43-47, 8 (495) 315-06-92

# 13-я международная выставка **НЕДРА - 2016** Изучение. Разведка. Добыча

29 - 31 марта 2016 г., г. Москва



При поддержке: Совета Федерации Российской Федерации, Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии, Торгово-промышленной палаты Российской Федерации.

Организаторами выставки являются: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральное агентство по недропользованию, ООО "Экспоброкер"

#### ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- Геологоразведка на суше и морском шельфе;
- Геофизика, сейсморазведка, интерпретация;
- Региональная геология, геомониторинг, геоинформатика, метрология;
- Технологии, оборудование и приборы для разведки полезных ископаемых;
- Машины и оборудование для горной промышленности, шахт, горнообогатительных комбинатов;
- Гидрогеология;
- Самоцветы и алмазы России;
- Охрана труда, промышленная безопасность, геоэкология.

**В рамках Деловой программы запланировано проведение научно-технических мероприятий по стратегии развития и использованию минерально-сырьевой базы России.**

#### Направления панельных дискуссий:

- *Устойчивое развитие отрасли и экономические риски геологоразведочных работ.*
  - *Восточная Сибирь и Дальний Восток – перспективы освоения.*
  - *Государственная поддержка инвестиций в геологоразведку.*
- *Освоение арктического шельфа и трудноизвлекаемых запасов в условиях санкций.*
  - *Глобальные тенденции международных инвестиций в геологоразведку.*

**В дни работы выставки будет проходить Фестиваль авторской геологической песни «Люди идут по свету»**

Контактная информация: Тел. + 7-926-580-71-82, +7-903-516-43-05  
E-mail: [info@nedraexpo.ru](mailto:info@nedraexpo.ru), [info@nedraexpo.ru](mailto:info@nedraexpo.ru)  
[www.nedraexpo.ru](http://www.nedraexpo.ru)

