

ISSN 0869-5997

И РУДЫ 
МЕТАЛЛЫ
ORES AND METALS

4/2023

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ 4/2023

Учредитель

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

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

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

Москва, ЦНИГРИ, 2023

Журнал издаётся при поддержке Международной ассоциации по генезису рудных месторождений



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Наумов Евгений Анатольевич

главный редактор
первый заместитель генерального директора ФГБУ «ЦНИГРИ»
кандидат геолого-минералогических наук

Иванов Анатолий Иннокентьевич

заместитель главного редактора
и. о. генерального директора ФГБУ «ЦНИГРИ»
доктор геолого-минералогических наук

Пираино Франко

заместитель главного редактора
по международным публикациям
профессор, Университет Западной Австралии,
г. Перт, Австралия

Жаркова Вера Сергеевна

заместитель главного редактора
по редакционно-издательской деятельности
заместитель начальника редакционно-оформительского
отдела ФГБУ «ЦНИГРИ»

Аракчеев Дмитрий Борисович

генеральный директор ФГБУ «Росгеолфонд»
кандидат технических наук

Волчков Алексей Гордеевич

заведующий научно-методическим
отделением МСБ ФГБУ «ЦНИГРИ»
кандидат геолого-минералогических наук

Вымазалова Анна

Чешская геологическая служба, г. Прага, Чешская Республика

Голубев Юрий Конкордьевич

начальник отдела алмазов ФГБУ «ЦНИГРИ»
кандидат геолого-минералогических наук

Горячев Николай Анатольевич

главный научный сотрудник СВКНИИ ДВО РАН
доктор геолого-минералогических наук, член-корр. РАН

Дементьев Владимир Евгеньевич

генеральный директор АО «Иргиредмет»
кандидат технических наук

Звездов Вадим Станиславович

начальник отдела
металлогении ФГБУ «ЦНИГРИ»
доктор геолого-минералогических наук

Калинин Юрий Александрович

главный научный сотрудник ИГМ СО РАН
доктор геолого-минералогических наук

Кременецкий Александр Александрович

советник генерального директора ФГБУ «ИМГРЭ»
доктор геолого-минералогических наук

Кряжев Сергей Гаврилович

начальник отдела минералогии,
изотопной геохимии месторождений
благородных и цветных металлов ФГБУ «ЦНИГРИ»
доктор геолого-минералогических наук

Кузнецов Владимир Вениаминович

начальник отдела цветных
металлов ФГБУ «ЦНИГРИ»
кандидат геолого-минералогических наук

Мишенин Сергей Григорьевич

начальник отдела геофизики ФГБУ «ЦНИГРИ»
кандидат геолого-минералогических наук

Похиленко Николай Петрович

научный руководитель ИГМ СО РАН
доктор геолого-минералогических наук,
академик РАН

Проскурнин Василий Фёдорович

заведующий отделом региональной геологии
и полезных ископаемых
Восточных районов России ФГБУ «ВСЕГЕИ»
доктор геолого-минералогических наук

Зельтманн Реймар

профессор, Музей естественной истории,
г. Лондон, Великобритания

Толстов Александр Васильевич

ведущий научный сотрудник ИГАБМ СО РАН
доктор геолого-минералогических наук,
действительный член АН РС(Я)

Фридовский Валерий Юрьевич

директор ИГАБМ СО РАН
доктор геолого-минералогических наук,
профессор

Черных Александр Иванович

советник управляющего директора ООО «УК Полюс»
кандидат геолого-минералогических наук

ORES AND METALS 4/2023

Founded by FSBI «Central research institute of geological prospecting for base and precious metals» (TsNIGRI)
Federal Agency for Subsoil Use

Mass media registration certificate No 01919 (21.12.1992).

Published since 1992

Moscow, TsNIGRI, 2023

The Journal is published with the support of the IAGOD
(International association on the genesis of ore deposits)



EDITORIAL BOARD

Evgeniy A. Naumov

Editor-in-chief
Deputy Director, FSBI TsNIGRI
PhD

Anatoly I. Ivanov

Deputy editor-in-chief
Acting General Director, FSBI TsNIGRI
PhD

Franco Pirajno

Deputy editor-in-chief for international publications
Dr., Adjunct Professor at Centre for Exploration Targeting,
University of Western Australia

Vera S. Zharkova

Deputy editor-in-chief for editorial and publishing activities
Deputy head of editorial and design department, FSBI TsNIGRI

Dmitry B. Arakcheev

General Director, FSBI Rosgeolfond
PhD

Alexey G. Volchkov

Head of mineral base scientific
and methodical division, FSBI TsNIGRI
PhD

Anna Vymazalova

Dr., Czech Geological Survey, Czech Republic

Yuri K. Golubev

Head of diamond department, FSBI TsNIGRI
PhD

Nikolay A. Goryachev

Chief researcher, NEISRI FEB RAS
Corr. Member of RAS

Vladimir E. Dementiev

General Director, JSC Irgiredmet
PhD

Vadim S. Zvezdov

Head of metallogeny department, FSBI TsNIGRI
PhD

Yuri A. Kalinin

Chief researcher, IGM SB RAS
PhD

Alexander A. Kremenetsky

Advisor to General Director, FSBI IMGRE
PhD

Sergey G. Kryazhev

Head of mineralogy and isotope geochemistry
department, FSBI TsNIGRI
PhD

Vladimir V. Kuznetsov

Head of base metals department, FSBI TsNIGRI
PhD

Sergey G. Mishenin

Head of geophysics department, FSBI TsNIGRI
PhD

Nikolay P. Pokhilenko

Scientific Director, IGM SB RAS
Academician of RAS

Vasily F. Proskurin

Head of the eastern Russia regional geology
and minerals department, FSBI VSEGEI
PhD

Reimar Seltmann

Dr., Professor, Head of CERCAMS
(Centre for Russian and Central EurAsian
Mineral Studies),
Natural History Museum, London

Alexander V. Tolstov

Leading researcher, IGABM SB RAS
PhD, Full member of SB RAS

Valery Yu. Fridovsky

Director, IGABM SB RAS
PhD, Professor

Alexander I. Chernykh

Advisor to Managing Director, Polyus PJSC
PhD



СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Сурин Т. Н.

Палеовулканизм, поисковые признаки и перспективы обнаружения нового промышленного медно-цинково-колчеданного оруденения в Верхнеуральском рудном районе (Южный Урал)

06

APPLIED METALLOGENY

Surin T. N.

Paleovolcanism and the prospecting indicators and outlooks for discovery of new economic-grade copper-zinc massive sulfide ore deposits in the Verkhneuralsk ore region, Southern Urals

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Викентьев И. В., Викентьева О. В.,
Блоков В. И., Выхристенко Р. И.,
Юшко Н. А., Криночкин Л. А.**

Новые данные по геологической структуре и зональности Воронцовского золоторудного поля на Северном Урале

23

GEOLOGY OF ORE DEPOSITS

**Vikentyev I. V., Vikentieva O. V.,
Blokov. V. I., Vykhristenko R. I.,
Yushko N. A., Krinochkin L. A.**

New data on the geological structure and zonality of the Vorontsovka gold field in the Northern Urals

**Кряжев С. Г., Двуреченская С. С.,
Окулов А. В., Федак С. И.**

Золото-мышьяково-сульфидное оруденение Каянчинской площади (Горный Алтай)

36

**Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S.,
Okulov A. V., Fedak S. I.**

Gold-arsenic sulfide mineralization of the Kayancha area, Gorny Altai

**Старостин И. А., Черных А. И.,
Гирфанов М. М.**

Палеогеотектоническая позиция Кызыкчадрского медно-порфирирового рудного поля (Республика Тыва)

52

**Starostin I. A., Chernykh A. I.,
Girfanov M. M.**

Paleogeotectonic position of the Kyzyk Chadr copper-porphyry ore field (Republic of Tyva)



СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

ДИСКУССИИ

Хертек Ч. М., Сазонов А. М.

Деформационные и метасоматические преобразования детритового золота при россыпеобразовании

74

DISCUSSIONS

Khertek Ch. M., Sazonov A. M.

Deformational and metasomatic transformations of detrital gold in the course of placer formation

НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ

Служение рудной геологии и Отечеству.
К 90-летию со дня рождения
А. И. Кривцова

92

NEWS, INFORMATION

Noble service for ore geology and our country. To the 90th anniversary of the birth of A. I. Krivtsov

I Международный геологический чемпионат «ГеоВызов»

94

I International Geological Championship “GeoChallenge”

Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 2023 г.

98

«Ores and metals» list of publications 2023





Палеовулканизм, поисковые признаки и перспективы обнаружения нового промышленного медно-цинково-колчеданного оруденения в Верхнеуральском рудном районе (Южный Урал)

Сурин Т. Н.

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ), г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Охарактеризованы основные закономерности размещения колчеданного оруденения в Верхнеуральском рудном районе (Южный Урал). Выделены металлогенические факторы первого рода (стратиграфический, магматический, литологический и тектонический) и второго рода (геотектонический и палеовулканический). Кратко описана комбинированная конвективно-постмагматическая модель формирования колчеданных руд, учитывающая генетическую связь колчеданного рудообразования с кислым магматизмом базальт-риолитовой (контрастной) формации, причём выделяются четыре вида такой связи: пространственная, временная, энергетическая и вещественная. Перечислены поисковые признаки колчеданного оруденения уральского типа (геологические, геохимические и геофизические), сформулированные отдельно для различных прогнозно-металлогенических категорий (рудные районы, рудные узлы, рудные поля и месторождения). В южной части рудного района выделен перспективный для выявления нового оруденения участок, для которого подсчитаны прогнозные ресурсы кат. P₂ и дана рекомендация для проведения поисковых работ.

Ключевые слова: Южный Урал, Верхнеуральский рудный район, колчеданное оруденение, уральский тип, металлогенические факторы, палеовулканизм, генетическая модель, поисковые признаки, прогнозные ресурсы.

Для цитирования: Сурин Т. Н. Палеовулканизм, поисковые признаки и перспективы обнаружения нового промышленного медно-цинково-колчеданного оруденения в Верхнеуральском рудном районе (Южный Урал). Руды и металлы. 2023. № 4. С. 6–22. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10016.

Paleovolcanism and the prospecting indicators and outlooks for discovery of new economic-grade copper-zinc massive sulfide ore deposits in the Verkhneursk ore region, Southern Urals

Surin T. N.

A. P. Karpinsky All-Russian Research Geological Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russia

Annotation. The principal regularities of distribution of the VMS type mineralization in the Verkhneursk ore region in the Southern Urals are characterized. Metallogenic factors of the first kind (stratigraphic, magmatic, lithological, and tectonic) and of the second kind (geotectonic and paleovolcanic) are shown. A combined convective-postmagmatic ore formation model for the VMS is briefly described, that takes into account a genetic relationship of the VMS ore formation to silicic magmatism of the basalt-rhyolite (“contrast”) volcanic formation, four types of such relationship being distinguished, the spatial, temporal, energetic, and compositional ones. The geological, geochemical, and geophysical prospecting indicators for the Ural type VMS mineralization are presented separately for various classes of forecasting metallogenic areas (ore regions, ore clusters, and ore fields and deposits). In the southern portion of the ore district, a site promising for revealing a new ore deposit has been identified, for which the category P₂ forecasted resources have been estimated and a recommendation has been given for the geological exploration.

Keywords: Southern Urals, Verkhneursk ore region, volcanogenic massive sulfide (VMS) mineralization, Ural type VMSD, metallogenic factors, paleovolcanism, genetic model of ore formation, prospecting guides, forecasted resources.

For citation: Surin T. N. Paleovolcanism and the prospecting indicators and outlooks for discovery of new economic-grade copper-zinc massive sulfide ore deposits in the Verkhneursk ore region, Southern Urals. Ores and metals, 2023, № 4, pp. 6–22. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10016.



Введение. Верхнеуральский рудный район справедливо считается одним из эталонов колчеданоносных рудных районов уральского типа [3, 4, 9, 12, 17]. Он расположен в центральной части Учалино-Александринской зоны [5] в северо-восточной части Магнитогорской мегазоны, крупнейшей колчеданоносной структуры Южного Урала (рис. 1). В пределах Верхнеуральского района известны восемь медно-цинково-колчеданных месторождений и около трёхсот рудопроявлений. По нашим сведениям, этот район не имеет себе равных на Урале по своей изученности комплексными, в том числе глубинными, методами. Имеются многочисленные исследования его геологического строения [1, 4, 5, 9, 10, 12, 15, 17, 20, 22]. Район наиболее благоприятен для выявления закономерностей локализации колчеданных месторождений, что обеспечивается не только весьма представительным фактическим материалом, но и хорошей сохранностью в его пределах палеовулканических структур и отсутствием значительных сдвиговых и складчатых деформаций.

Палеовулканизм. Палеовулканические структуры района изучались многими исследова-

вателями [3–5, 9, 10, 12, 15, 17, 20–22], в том числе и автором в процессе проведения детального объёмного картирования Орловской площади (см. рис. 1). Основные типы раннеживетского вулканизма – трещинный и центральный. После активного трещинного вулканизма возникали комбинированные вулканы сложного строения. Вначале это были щитовые постройки, которые в процессе эволюции осложнялись небольшими насыпными пирокластическими конусами, а также периферическими и вершинными кальдерами. В посткальдерные стадии эти базальтовые сооружения достраивались куполовидными вулканами и экструзивными куполами кислого состава. Вулканизм имел место в подводной среде и сопровождался активной фумарольной деятельностью. Щитовые вулканы проявляли деятельность, близкую к гавайской. Всего в Верхнеуральском районе известно пять крупных щитовых вулканов (рис. 2). Цепочки базальтовых вулканов образуют хорошо выраженные в палеорельефе разновозрастные гряды. На примере базальтовых гряд Учалинского и Верхнеуральского районов показано, что более поздняя Межозёрная гряда частично перекрывает

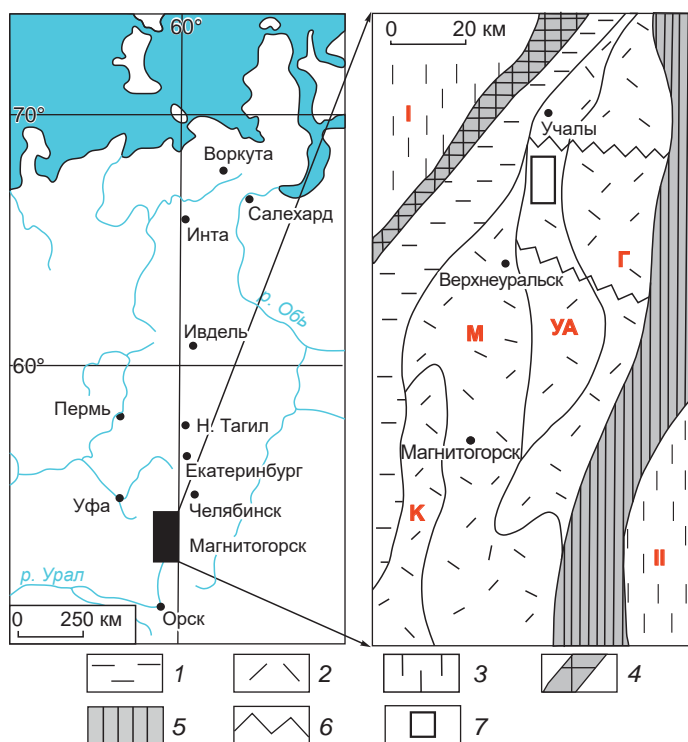


Рис. 1. Структурно-формационное районирование Восточно-Магнитогорской зоны Южного Урала:

Магнитогорская мегазона: 1 – Западно-Магнитогорская зона, 2 – Восточно-Магнитогорская зона (структурно-формационные подзоны: Г – Гумбейская, УА – Учалино-Александринская, М – Магнитогорская, К – Кизильская); 3 – сопредельные мегазоны: Центрально-Уральская (I) и Восточно-Уральская (II); крупнейшие сутурные зоны: 4 – Главная Уральская, 5 – Уйско-Кацбахская; 6 – зоны поперечных дислокаций; 7 – Орловская площадь

Fig. 1. Structural-formational regionalization of the East Magnitogorsk zone of the Southern Urals:

Magnitogorsk megazone: 1 – West Magnitogorsk zone, 2 – East Magnitogorsk zone (structural-formational subzones: Г – Gumbeisk, УА – Uchaly-Alexandrinsk, М – Magnitogorsk, К – Kizilsk); 3 – adjacent megazones: Central Ural (I) and East Ural (II); the largest suture zones: 4 – Main Ural, 5 – Uysk-Katsbakh; 6 – zones of transverse dislocations; 7 – Orlovsk area

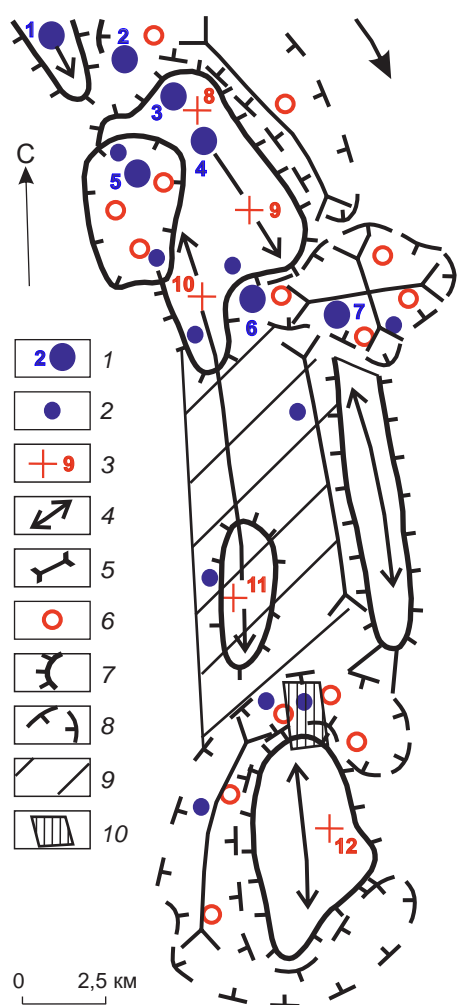


Рис. 2. Схема расположения раннеживетских палеовулканических структур в Верхнеуральском рудном районе (в пределах Орловской площади):

1 – колчеданные месторождения (1 – Западно-Озёрное, 2 – Новое, 3 – им. XIX партсъезда, 4 – Талганское, 5 – Узельгинское, 6 – Чебачье, 7 – Молодёжное); 2 – крупные рудопоявления; 3 – крупные базальтовые щитовые вулканы (8 – Межозёрный, 9 – Гунинский, 10 – Чебачий, 11 – Речной, 12 – Орловский); 4 – оси базальтовых гряд; 5 – оси межгрядовых и поперечных депрессий; 6 – центры кислото вулканизма (экструзивные купола и куполовидные вулканы); 7 – контуры крупных базальтовых поднятий; 8 – контуры кальдерных депрессий на склонах базальтовых поднятий; 9 – Южно-Чебачье базальтовое плато; 10 – контур Барсучьего прогнозного участка

Fig. 2. Schematic map showing distribution of the Early Givetian paleovolcanic structures in the Verkhneural'sk ore region (within the Orlovsk area of work):

1 – VMS type deposits (1 – Zapadno-Ozernoye, 2 – Novoye, 3 – named after the XIX Party Congress, 4 – Talgan, 5 – Uzelginsky, 6 – Chebachye, 7 – Molodezhnoye); 2 – large ore occurrences; 3 – large basalt shield volcanoes (8 – Mezhozerny, 9 – Guninsky, 10 – Chebachy, 11 – Rechnoy, 12 – Orlovsky); 4 – axes of basalt ridges; 5 – axes of inter-ridge and transverse depressions; 6 – centers of silicic volcanism (extrusive domes and dome-shaped volcanoes); 7 – outlines of large basalt uplifts; 8 – outlines of caldera depressions on slopes of the basalt uplifts; 9 – South-Chebachye basalt plateau; 10 – outlines of the Barsuchiy forecasted site

склон более ранней Учалинской, что говорит об ограниченности в пространстве так называемых уровней локализации колчеданных руд [15, 20, 21]. Практически без перерыва вулканизм продолжался в позднем живете, когда сформировалась непрерывная базальт-андезит-дацит-риолитовая (улутауская) формация. В это время ещё действовали остаточные очаги кислых магм контрастной формации, а также функционировали аппараты центрального типа, сформировавшие поля ареального вулканизма с небольшими экструзивными куполами и куполовидными вулканами.

Рудоносные вулканы. Формирование всех без исключения промышленных колчеданных месторождений Верхнеуральского района генетически связано с контрастным

вулканизмом, то есть с формированием базальт-риолитовой формации, образования которой объединены в карамалыташскую свиту, имеющую раннеживетский возраст, что обосновано многочисленными находками фауны, в том числе конодонтовой [1, 10].

Карамалыташская свита по особенностям строения и состава подразделяется на две подсвиты: нижнюю (D_2kr_1), сложенную преимущественно базальтами с не выдержанными по латерали прослоями кислых вулканитов, и верхнюю (D_2kr_2), представленную главным образом кислыми вулканитами с редкими маломощными прослоями базальтоидов. По результатам структурно-фациального районирования Верхнеуральского рудного района выделено несколько типов разрезов свиты [5].



Для нижней подсвиты отчётливо различаются три типа разрезов. Первый характерен для крупных базальтовых поднятий, для которых типично резкое преобладание лав базальтов при ограниченном распространении туфов и отсутствии вулканогенно-осадочных пород. Второй тип распространён в пределах лавовых плато, разделяющих крупные базальтовые поднятия, и представлен чередованием лав и туфов базальтов, вулканогенно-осадочные разновидности пород также практически отсутствуют. Третий тип разрезов отвечает депрессиям между разновозрастными грядами базальтов и установлен в Ялшанской депрессии в северо-восточной части Верхнеуральского района. Он представлен чередованием туфов базальтов с туфогенно-осадочными породами, прослоями лав и туфов кислого состава, туфами смешанного и туфогенно-осадочными породами кислого составов. Вскрытая скважинами мощность отложений нижней подсвиты колеблется в пределах 1200–1500 м.

Для верхней подсвиты выделяются три основных типа разрезов. Первый тип установлен в депрессионных структурах на периферии крупных базальтовых поднятий. Его характерная черта – чётко выраженная ритмичность. Каждый ритм включает в себя лавовые и экструзивно-субвулканические фации кислых вулканитов и заканчивается вулканогенно-осадочными породами или игнимбритовидными туфами кислого состава. Выявляется до трёх ритмов кислого вулканизма, например, как в разрезе Узельгинской депрессии на западном склоне Межозёрного базальтового поднятия.

Второй тип разрезов выявлен на крупных базальтовых поднятиях (Межозёрное, Орловское). Этим разрезам свойственна сокращённая мощность (вплоть до полного выклинивания пород) и отсутствие крупных экструзивно-субвулканических тел. Состав и фациальные особенности вулканитов сопоставимы с таковыми для верхних частей разрезов в депрессиях, то есть поднятия перекрываются вулканитами кислого состава после заполнения ими депрессий.

Третий тип разрезов верхней подсвиты установлен между крупными базальтовыми поднятиями. Отложения верхней подсвиты пе-

рекрывают Южно-Чебачье лавовое плато, сложенное базальтоидами нижней подсвиты. Для этого типа характерно многократное чередование лав кислого и основного составов с подчинённым по объёму развитием туфов и вулканогенно-осадочных пород.

Мощность всей верхней подсвиты достигает 700 м. Наличие вулканогенно-осадочных пород с градационной слоистостью, находки радиолярий и ряд других фактов свидетельствуют о формировании описанных образований в подводных условиях. Значительное количество пирокластики в верхних частях разреза свиты говорит о формировании её на глубинах менее 1000 м.

Вулканиты карамалыташской свиты в пространстве ассоциируются с комагматическими и субвулканическими и экструзивными образованиями. Они представлены дайками диабазов, лакколитами, штоками и дайками андезитов, дацитов и риолитов, а также экструзивными и экструзивно-субвулканическими куполами андезитов, дацитов, риолитов и риодацитов. Крупные экструзивные купола кислого состава обычно приурочены к депрессионным структурам на периферии базальтовых поднятий.

Петролого-геохимические особенности колчеданоносных вулканитов, а также геодинамическая обстановка их формирования подробно рассмотрены нами ранее [18]. В результате их комплексного изучения установлено, что карамалыташская формация является полигенной. В ней выделяются две главные петрохимические серии: толеитовая островодужная и палингенная известково-щелочная. Предположительно выделяется третья, бонинитовая серия. Становление пород формации происходило в сложных геодинамических условиях при переходе от растяжения к сжатию. Именно такое своеобразное геодинамическое положение, а также формирование формации на «зрелом» симатическом фундаменте обусловили возникновение её петрофонда. Значительную роль в петрогенезисе играли нижние части гидратированной островодужной коры вблизи границы «кора – верхняя мантия». Генерация магм толеитовых островодужных базальтов в верхней части истощённой мантии

начала формировать формацию. Дальнейший их подъём к поверхности сопровождался явлениями кристаллизационной дифференциации и палингенеза в нижней части коры, то есть реализовывался механизм флюидного синтексиса [18]. Главный фактор эволюции расплавов – механизм кристаллизационной дифференциации при участии процессов контаминации, ассимиляции, гибридизма и флюидопереноса, которые, однако, играли незначительную роль в петрогенезисе.

Закономерности размещения колчеданных месторождений. Региональные закономерности для Южного Урала рассмотрены в работах целого ряда исследователей [3, 4, 7, 9–11, 15]. Ниже приводится характеристика основных закономерностей размещения колчеданного оруденения в пределах Верхнеуральского рудного района – наиболее изученного структурного элемента Учалино-Александринской зоны.

На основе анализа металлогенической информации нами выделены геологические объекты, определяющие размещение колчеданных месторождений и проявлений, т. е. металлогенические факторы, которые подразделяются на два рода [19].

К металлогеническим факторам первого рода отнесены реально существующие геологические объекты, влияющие на размещение и локализацию колчеданного оруденения. Они установлены непосредственными наблюдениями. К ним относятся стратиграфический, магматический, литологический и тектонический факторы.

Стратиграфический фактор играет важнейшую рудоконтролирующую роль. Все колчеданные месторождения локализованы среди пород карамалыташского вулканогенного комплекса. Максимум колчеданного оруденения приурочен к породам верхней подсвиты карамалыташской свиты и прямо связан с временным максимумом проявления кислого вулканизма в конце раннего живета. Отмечается хорошо выраженная зависимость состава колчеданных руд от положения их в стратиграфическом разрезе, заключающаяся в росте «полиметалличности» руд вверх по разрезу.

Магматический фактор тесно связан со стратиграфическим и обусловлен генетической связью колчеданного оруденения с кислыми магматическими породами. В Верхнеуральском рудном районе выявлены три стратиграфических уровня, на которых распространены колчеданоносные вулканиты кислого состава и комагматичные им субвулканические интрузии и экструзивные купола: в нижней подсвите карамалыташской свиты, в верхней подсвите этой же свиты и в перекрывающей её улутауской свите. Соответственно, в пределах Верхнеуральского района выделяются три региональных рудоконтролирующих уровня (снизу вверх): курпалинско-ялшанский, межозёрный и южно-чебачьий. В северной части Учалино-Александринской зоны в Учалинском рудном районе выделен ранее самый нижний, учалинский, рудоконтролирующий уровень. Вулканиты кислого состава, к которым приурочен курпалинско-ялшанский уровень, выявлены в северо-восточной части Верхнеуральского района. К межозёрному рудоконтролирующему уровню относятся все известные в районе медно-цинково-колчеданные месторождения и 90 % всех известных проявлений колчеданных руд. На южно-чебачьем рудоконтролирующем уровне расположены рудные тела проявлений: Южно-Чебачье, Каменная Гора, Ржавцы, отдельные рудные тела месторождения Западно-Озёрное и другие.

Литологический фактор определяет наличие рудоконтролирующих подуровней, на которых локализуются массивные руды. Такие подуровни приурочены обычно к горизонтам туфогенно-осадочных и вулканогенно-осадочных пород, фиксирующих перерывы между отдельными ритмами кислого вулканизма. Среди туфогенно-осадочных пород отмечают туфоконгломераты, туфогравелиты, туфопесчаники, иногда игнимбритовидные туфы с прослоями туфопесчаников, туфы кислого или смешанного состава, тефроиды. В непосредственной близости (200–500 м) от рудных тел литологический состав рудолокализирующих туфогенно-осадочных и вулканогенно-осадочных пород достаточно сложный. В них отмечают обломки околорудных метасоматитов, син-



рудных хлоритолитов, яшмовидных кремнистых, кварц-гематитовых и хлорит-гематитовых пород, обломки руд (рудокласты). Иногда количество рудокластов может быть значительным и достигать 50–70 % объёма пород, например, в рудных песчаниках месторождения Западно-Озёрное, которые более чем наполовину представлены сортированными и окатанными мелкими рудокластами, на Южно-Александровском проявлении и других. Часто около месторождений в составе туфоконгломератов отмечаются обломки плагиогранитов и трондьемитоподобных гранодиоритов.

Тектонический фактор определяет распространение проницаемых зон, в которых развиты окolorудные метасоматиты. Эти зоны наследуют долгоживущие глубинные разломы и являются «рудоподводящими» каналами, контролирующими размещение колчеданных месторождений и проявлений. Зоны окolorудных метасоматитов линейно вытянуты в субмеридиональном и северо-западном направлениях и являются центральными зонами региональной метасоматической зональности, описанной нами ранее [17]. Среди разрывных нарушений выделяются разломы, сопровождающиеся ореолами метасоматически изменённых пород и благоприятные для локализации прожилково-вкрапленного оруденения. Такие разломы нередко контролируют размещение цинково-колчеданных и колчеданно-полиметаллических проявлений.

К металлогеническим факторам второго рода отнесены факторы, установленные при анализе истории геологического развития региона и современной геологической обстановки в процессе палеотектонических и палеовулканических реконструкций. К ним относятся геотектонический и палеовулканический факторы.

Геотектонический фактор заключается в приуроченности временного максимума колчеданного оруденения (верхняя подсвита карамалыташской свиты) к переходной обстановке (смена растяжения на сжатие) на ранней стадии формирования островной дуги.

Палеовулканический фактор заключается в связи колчеданного оруденения с вулканическими постройками. Геологическая струк-

тура Верхнеуральского рудного района определяется грядами базальтовых вулканов, которые, в свою очередь, определяют основные направления магмо- и «рудоподводящих» каналов. В Верхнеуральском районе выделяются две гряды: Ялшанско-Курпалинская и более поздняя по времени формирования Верхнеуральская. Последняя состоит из двух разновозрастных ветвей: восточной Межозёрной и западной Орловско-Речной. Оси гряд фиксируют древние магмовыводящие разломы этапа растяжения. Простираение гряд северо-западное и субмеридиональное. На осях гряд располагаются центры базальтовых щитовых вулканов и шлаковых конусов, склоны и вершины которых благоприятны для развития продуктивных на колчеданное оруденение вулканических кислого состава.

В Верхнеуральском рудном районе известны три крупных базальтовых поднятия: Межозёрное, Речное и Орловское (см. рис. 2). Вулканические кислого состава, продуктивные на колчеданное оруденение, выполняют крупные межгрядовые и поперечные депрессии. На периферии Межозёрного базальтового поднятия выявлены депрессии кальдерного типа, внутри которых широко распространены туфогенно-осадочные породы, благоприятные для локализации колчеданного оруденения. Внутри таких депрессий расположены месторождения Новое, Узельгинское, Чебачье и Молодёжное, а также целый ряд проявлений.

Все месторождения и крупные проявления колчеданных руд в Верхнеуральском рудном районе обнаруживают пространственную связь с вулканическими постройками, сложными продуктивными на колчеданное оруденение вулканическими кислого состава, образующими купола, куполовидные вулканы, некки. Массивные руды обычно располагаются либо под экструзивными куполами, либо на их периферии (рис. 3), реже над ними. На Узельгинском месторождении известны два экструзивных купола, перекрывающих соответственно нижний и верхний рудоконтролирующие подуровни, причём верхний экструзивный купол (Александровский) прорывает нижний (Узельгинский). Необходимо отметить, что чаще всего куполовидные вулканы и экструзивные ку-

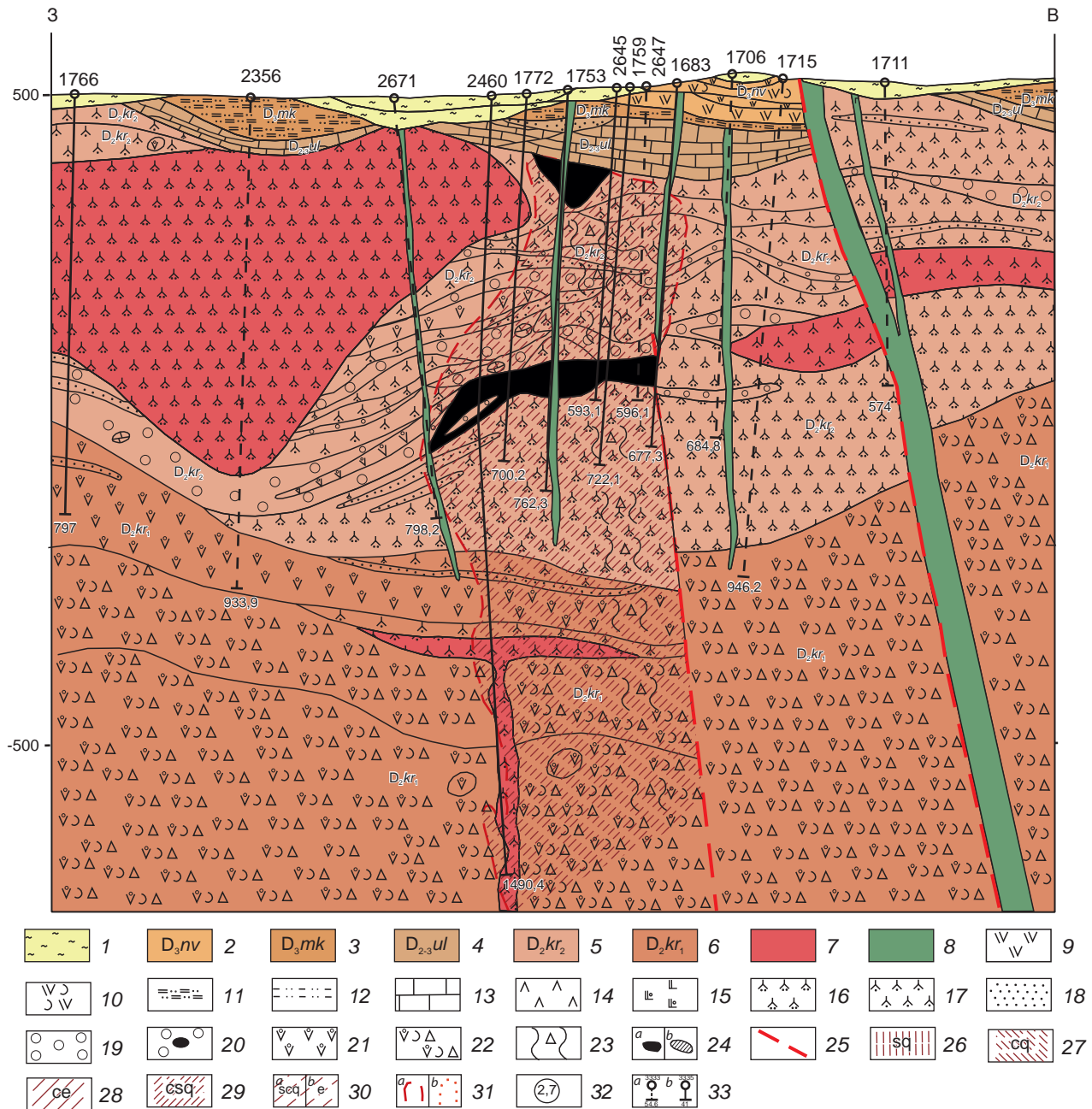


Рис. 3. Схематический широтный геологический разрез Узельгинского месторождения масштаба 1 : 10 000:

1 – рыхлые отложения; 2 – нововоронинская толща (D_3nv); 3 – мукасовская толща (D_3mk); 4 – улутауская свита (D_{2-3ul}); карамалыташская свита: 5 – верхняя подсвита (D_2kr_2), 6 – нижняя подсвита (D_2kr_1); 7 – кислые экструзивные купола и субвулканические интрузии; 8 – дайки и силлы раннекаменноугольных габбродиабазов и габбродиоритов; 9 – базальты порфиоровые; 10 – туфы порфиоровых базальтов; 11 – кремнистые сланцы; 12 – туфопесчаники; 13 – известняки; 14 – лавы андезибазальтов и андезитов; 15 – миндалекаменные мелкопорфиоровые пироксен-плагиоклазовые базальты; 16 – крупнокварцевые риолиты; 17 – лавы и туфы кварцевых дацитов, риодацитов и риолитов; 18 – туфопесчаники и туфоалевролиты; 19 – туфоконгломераты и туфогравелиты; 20 – туфоконгломераты с обломками руд (рудокластами); 21 – базальты миндалекаменные; 22 – туфы базальтов; 23 – зоны рассланцевания и дробления, «рудопроводящие» каналы; 24 – массивные колчеданные руды (a – разведанные и обрабатываемые, b – прогнозируемые); 25 – тектонические нарушения; 26 – зоны серицитизации и окварцевания; 27 – зоны хлоритизации и окварцевания; 28 – зоны хлоритизации и эпидотизации (пропилитизации); 29 – около-



рудные хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты; 30 – зоны частично-изменённых пород (*a* – хлоритизированных, серицитизированных и окварцованных, *b* – эпидотизированных); 31 – контуры «рудоподводящих» каналов (*a* – установленные, *b* – предполагаемые); 32 – значения измеренных плотностей пород, г/см³; 33 – номера и глубины буровых скважин (*a* – проекции на плоскость разреза при удалении более чем на 200 м, *b* – скважины в плоскости разреза)

Fig. 3. Schematic latitudinal geological section of the Uzelginskoye deposit. Scale 1: 10 000:

1 – loose sediments; 2 – Novovoronskaya sequence (D_3nv); 3 – Mukasovskaya sequence (D_3mk); 4 – Ulutau formation (D_{2-3ul}); Karamalytash formation: 5 – upper sub-formation (D_2kr_2), 6 – lower sub-formation (D_2kr_1); 7 – felsic extrusive domes and subvolcanic intrusions; 8 – dikes and sills of Early Carboniferous gabbrodiabases and gabbrodiorites; 9 – porphyritic basalts; 10 – tuffs of porphyritic basalts; 11 – cherty shales; 12 – tuffaceous sandstones; 13 – limestones; 14 – lavas of andesibasalts and andesites; 15 – amygdaloidal fine-porphyrific pyroxene-plagioclase basalts; 16 – coarse-quartz rhyolites; 17 – lavas and tuffs of quartz dacites, rhyodacites, and rhyolites; 18 – tuffaceous sandstones and siltstones; 19 – tuffaceous conglomerates and gravelstones; 20 – tuffaceous conglomerates with ore fragments (ore clasts); 21 – amygdaloidal basalts; 22 – basalt tuffs; 23 – zones of schistosity and crushing, “ore-feeder” channels; 24 – volcanogenic massive sulfide ores (*a* – explored and being extracted, *b* – forecasted); 25 – faults; 26 – zones of sericitization and silicification; 27 – zones of chloritization and silicification; 28 – zones of chloritization and epidotization (propylitization); 29 – near-ore chlorite-sericite-quartz metasomatites; 30 – zones of partially altered rocks (*a* – chloritized, sericitized, silicified, *b* – epidotized); 31 – contours of “ore-feeder” channels (*a* – established, *b* – assumed); 32 – measured rock density values, g/cm³; 33 – numbers and depths of boreholes (*a* – projections on the section planes at a distance of more than 200 m, *b* – boreholes within the section plane)

пола образованы крупнопорфировыми породами кислого состава, в связи с чем большое количество и крупный размер вкрапленников могут косвенно указывать на вероятную продуктивность вулканитов кислого состава. Колчеданные руды обычно ассоциируют с предельно кислыми по составу породами – риолитами и риодацитами, но иногда могут встречаться в связи с дацитами, андезидацитами и даже андезитами (например, рудные тела верхнего этажа Западно-Озёрного месторождения).

Выявленные структурные элементы Верхнеуральского рудного района в первом приближении соответствуют его металлогеническому районированию. Так, Межозёрное базальтовое поднятие вместе с находящимися на его периферии кальдерообразными депрессиями, включающими перечисленные выше месторождения, по своим границам практически совпадает с Межозёрным рудным узлом. Озёрное рудное поле объединяет одноимённую депрессию и южную часть Межозёрной базальтовой гряды. Молодёжная депрессия почти совпадает с Молодёжным рудным полем. Узельгинское рудное поле включает в себя Узельгинскую палеодепрессию и сводовую часть Межозёрного базальтового поднятия. Южно-Молодёжное рудное поле почти совпадает с центральной частью Чебачьей межгрядовой депрессии. Орловское поле совпадает

с Орловской депрессией на склоне Орловского базальтового поднятия, а Западно-Чебачье рудное поле находится на западном склоне Речного базальтового поднятия. Описанная зависимость, на наш взгляд, является наглядным подтверждением первостепенной значимости палеовулканических структур как рудокализирующего фактора [19].

Генетическая модель. Попытки создать универсальную генетическую модель колчеданного месторождения уральского типа неоднократно предпринимались уральскими геологами [2, 13, 14, 22]. На основании анализа главных факторов и параметров образования месторождений Верхнеуральского района и синтеза всех имеющихся данных мы сделали вывод о реализации комбинированной конвективно-постмагматической модели формирования колчеданных руд (рис. 4). Её суть в том, что в процессе рудообразования одновременно участвуют два сопряжённых механизма: конвективная приповерхностная ячейка рециркуляции морских вод и находящийся в центре её на небольшой глубине активно действующий и продуцирующий гидротермальные растворы периферический магматический очаг.

По нашему мнению, предлагаемая модель учитывает генетическую связь колчеданного рудообразования с кислым магматизмом базальт-риолитовой (контрастной) формации,

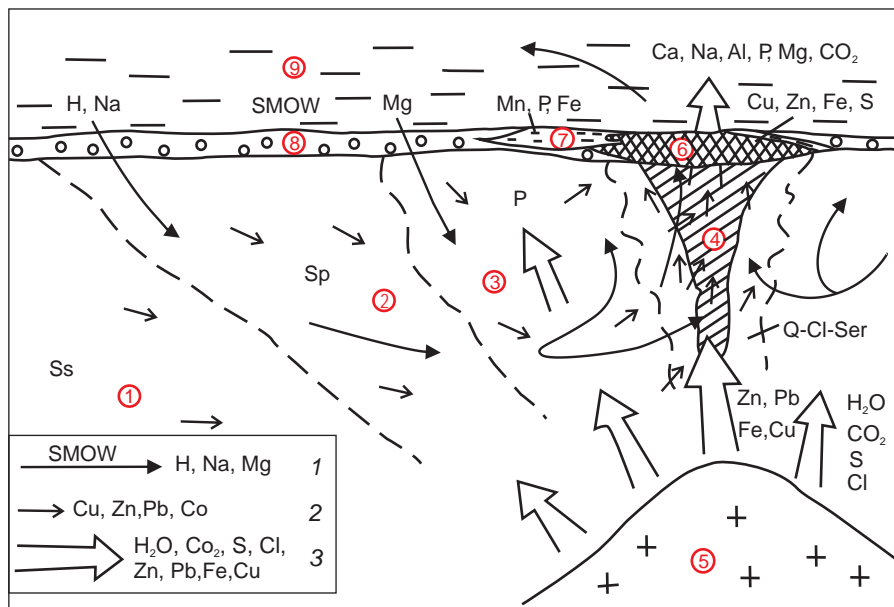


Рис. 4. Конвективно-постмагматическая модель колчеданного рудообразования (принципиальная схема):

1 – направления рециркуляции морской воды; 2 – направления миграции халькофильных элементов; 3 – направления движения постмагматических рудообразующих гидротермальных растворов, выделившихся при дегазации приповерхностного очага кислых магм. Цифрами в кружках обозначены: метасоматические зоны: 1 – слабоизменённых пород (сосюритовая, Ss), 2 – выноса кальция (спилитизации, Sp), 3 – пропилитов (P), 4 – околорудных кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов (Q-Cl-Ser); 5 – приповерхностный очаг кислых магм; 6 – массивные колчеданные руды; 7 – марганцево-железистые осадки; 8 – вулканогенно-осадочные и туфогенно-осадочные породы; 9 – морская вода (SMOW)

Fig. 4. Convective-postmagmatic model of the VMS ore formation (schematic diagram):

1 – directions of the seawater recirculation; 2 – directions of the chalcophile elements migration; 3 – directions of the movement of ore-forming postmagmatic hydrothermal solutions released during degassing of a near-surface silicic magmatic chamber. The numbers in the circles indicate: metasomatic zones: 1 – slightly altered rocks (saussurite, Ss), 2 – calcium removal (spilitization, Sp), 3 – propylites (P), 4 – near-ore quartz-chlorite-sericite metasomatites (Q-Cl-Ser); 5 – near-surface silicic magmatic chamber; 6 – massive sulfide ores; 7 – manganese-ferruginous sediments; 8 – volcanosedimentary and tuffaceous sedimentary rocks; 9 – seawater (SMOW)

причём выделяются четыре вида такой связи: пространственная, временная, энергетическая и вещественная [17]. Пространственная связь заключается в приуроченности колчеданных залежей к центрам кислого вулканизма. Временная связь выражается в локализации колчеданных руд в виде пластовых тел на определённых рудоконтролирующих подуровнях среди туфогенно-осадочных пород, фиксирующих перерывы между ритмами кислого вулканизма. Пульсационная активность очагов кислых магм определяет и строение «рудоподводящих» каналов, представленных кварц-серицитовыми метасоматитами. Энергетическая связь определяется наличием приповерх-

ностных очагов кислых магм как главного условия существования конвективной гидротермальной системы. Вещественная связь выражается в том, что приповерхностные очаги кислых магм являлись источниками рудообразующих растворов. Эти растворы содержали в большом количестве сероводород, галогены и углекислый газ, именно их проникновение в верхние горизонты коры стало тем стартовым механизмом, который обусловил возникновение и длительное функционирование гидротермальной системы, причём горячие постмагматические флюиды значительно усиливали конвекцию. Очевидно, очаги кислых магм являлись также источниками металлов – глав-



ным образом, цинка и свинца, а также, возможно, частично меди и железа, что подтверждается расчётами баланса вещества в конвективной палеосистеме Верхнеуральского района [17]. Данная модель позднее была существенно конкретизирована И. Б. Серавкиным в части морфогенеза самих рудных залежей [16].

Поисковые признаки. Ниже перечислены поисковые признаки колчеданного оруденения уральского типа, сформулированные на основании изучения закономерностей размещения колчеданных руд в Верхнеуральском рудном районе и логически вытекающие из генетической модели колчеданного рудообразования, кратко охарактеризованной выше. Поисковые признаки сформулированы отдельно для различных прогнозно-металлогенетических категорий, каковыми для колчеданоносных структурно-формационных зон являются рудные районы, рудные узлы, рудные поля и месторождения. Фактический материал позволяет разделить поисковые признаки на геологические, геохимические и геофизические. Автором учтены разработки и рекомендации Р. З. Абдулина, А. А. Архангельского, Э. Н. Баранова, Н. И. Кузнецовой, Л. И. Шох, А. Д. Штейнберга, в разные годы изучавших геофизические и геохимические поля в Верхнеуральском районе, а также специалистов ЦНИГРИ, создавших геолого-поисковые модели для колчеданных месторождений Урала [6–9].

Как известно, важнейшим признаком для выделения колчеданоносных структурно-формационных зон является наличие в них продуктивных на колчеданное оруденение контрастной базальт-риолитовой или непрерывной базальт-андезит-дацит-риолитовой вулканогенных формаций со специфическими петрологическими особенностями [4, 5, 15].

Для выделения внутри таких зон *рудных районов*, аналогичных Верхнеуральскому, поисковыми признаками являются:

А. Геологические:

- большой объём кислых разновидностей пород в составе продуктивных формаций;
- расчленённость палеорельефа продуктивных толщ: наличие базальтовых гряд и круп-

ных базальтовых поднятий, линейных межгрядовых и поперечных депрессий, выполненных вулканитами кислого состава, депрессий кальдерного типа и т. д.;

- наличие широких ореолов спилитизации, пропилитизации и зон околорудного метасоматоза;

- наличие проницаемых зон, фиксирующихся разрывными нарушениями и сопровождающихся дайковыми полями, ореолами метасоматически изменённых пород и прожилково-вкрапленным колчеданным оруденением;

- наличие месторождений, проявлений и многочисленных пунктов колчеданной минерализации;

Б. Геохимические:

- широкое «сквозное» распространение полиэлементных ореолов в разрезе рудовмещающих толщ;

- наличие ореолов выноса рудных элементов на удалённых фланговых и глубокозалегающих (подрудных) зонах;

В. Геофизические:

- наличие знакопеременного поля силы тяжести с локальными понижениями и повышениями;

- наличие широких отрицательных магнитных полей;

- наличие широких зон низких сопротивлений;

- наличие площадных аномалий вызванной поляризации.

При выделении крупных *рудных узлов*, аналогичных Межозёрному, поисковыми признаками являются:

А. Геологические:

- приуроченность к крупному неэродированному базальтовому поднятию;

- присутствие отчётливо выраженных депрессий кальдерного типа на склонах базальтового поднятия;

- наличие дуговых синвулканических разрывных нарушений, обрамляющих базальтовое поднятие и определяющих расположение депрессий;

- наличие хорошо выраженных центров базальтового и продуктивного кислого вулканизма;

- сложный фациальный состав рудоносных толщ: наличие жерловых, лавовых, пирокластических и других фаций, а также вулканогенно-осадочных и осадочных пород;

- протяжённые поля метасоматически изменённых пород, фиксирующих направления, совпадающие с простиранием базальтовых гряд;

- широкие поля гематитизации и пропилитизации на уровне современного эрозионного среза;

- насыщенность колчеданным оруденением: наличие одного или более месторождений, большое количество проявлений, в том числе массивных колчеданных руд и повсеместное распространение пунктов минерализации;

Б. Геохимические:

- сближенное расположение аномальных геохимических полей комплексного состава;

- зональное строение аномалий при «сквозном» распространении их в разрезе рудовещающих толщ;

В. Геофизические:

- понижение остаточного поля силы тяжести;

- наличие широких отрицательных магнитных полей интенсивностью от 200 до 500 нТл;

- наличие низкоомных зон, выделенных по данным скважинной геофизики;

- большое количество площадных и линейно вытянутых аномалий вызванной поляризации.

Для *рудных полей* выделяются следующие поисковые признаки:

А. Геологические:

- наличие крупной депрессии кальдерного типа, расположенной на склоне базальтового поднятия и заполненной продуктивными вулканитами кислого состава (андезитами, дацитами, риодацитами, риолитами); продукты кислого вулканизма могут также частично перекрывать сводовые части базальтовых поднятий;

- наличие одного хорошо выраженного или нескольких сближенных центров кислого вулканизма;

- неоднородность разреза кислых толщ с широким развитием пирокластических, околожерловых, жерловых и интрузивных фаций;

- ритмичное строение толщ кислых вулканидов;

- наличие в пределах площади литолого-стратиграфических уровней, контролирующих на смежных либо аналогичных площадях размещение колчеданной минерализации;

- присутствие туфогенно-осадочных и вулканогенно-осадочных пород в разрезе, фиксирующих перерывы между ритмами кислого вулканизма и контролирующих рудо локализирующие подуровни;

- присутствие синвулканических положительных (вулканогенные поднятия, купола, палеовулканы центрального типа) и отрицательных (локальные депрессии, кальдерные провалы) структур;

- наличие палеовулканических разломов, контролирующих размещение вулканических фаций;

- порфиоровые структуры вулканидов кислого состава;

- сложный литологический состав вулканогенно-осадочных и туфогенно-осадочных пород, в которых отмечаются в большом количестве ксенообломки пропилитов, метасоматитов, плагиогранитов и гранодиоритов, хлоритолитов, кварц-гематитовых пород, рудокластов;

- широкое развитие полей околорудных метасоматитов и пропилитов;

- интенсивная гематитизация пород, перекрывающих продуктивные вулканиды;

- наличие большого количества проявлений и пунктов минерализации, в том числе массивных колчеданных руд;

Б. Геохимические:

- сочетание ореолов проявлений и месторождений, образующих зональную (при наличии нескольких месторождений – многоцентровую) структуру аномального поля;

- сочетание в вертикальном разрезе комплексных аномалий зонального строения, согласных с залеганием рудоносных толщ, с секущими зонами тылового типа, фиксирующими «рудоподводящие» каналы;

В. Геофизические:

- локальное понижение общего поля силы тяжести на фоне общего повышения;



- отрицательное магнитное поле до -350 нТл;
- многочисленные аномалии вызванной поляризации;

- низкоомный геоэлектрический разрез;
- наличие аномалий электрокорреляции.

Для отдельных медно-цинково-колчеданных месторождений уральского типа рекомендуются следующие поисковые признаки:

А. Геологические:

- наличие достоверного рудоконтролирующего уровня на участке, иногда с несколькими подуровнями;

- наличие «рудоподводящего» канала, представленного линейно вытянутыми или пересекающимися зонами, «сквозного» по разрезу развития кварц-серицитовых метасоматитов;

- весьма сложный литологический состав рудоконтролирующих туфогенно-осадочных и вулканогенно-осадочных пород, присутствие в них плохо окатанных и угловатых обломков околорудных метасоматитов, гранитоидов, кварц-гематитовых пород, хлоритолитов и рудокластов различного состава;

- наличие близлежащего мощного центра кислого вулканизма (купол, куполовидный вулкан, вулкан центрального типа);

- интенсивная гематитизация пород, перекрывающих рудоносные толщи;

- проявления массивных колчеданных руд;

Б. Геохимические:

- приуроченность к центрам латеральной зональности геохимического аномального поля в пределах рудоконтролирующего уровня;

- наличие секущих аномалий тылового типа, фиксирующих «рудоподводящие» каналы;

- наличие геохимических ореолов комплексного состава промежуточного или фронтального типа, в которых обычно локализуются рудные тела;

В. Геофизические:

- локальное повышение поля силы тяжести до $0,5$ мГал в области метасоматически изменённых пород, обуславливающих общее понижение поля силы тяжести;

- отрицательное магнитное поле (ниже фона на 200 – 300 нТл) в области «сквозных» проявлений гидротермальных процессов, связанных с выносом железа из пород;

- аномальные поля вызванной поляризации высокой интенсивности;

- аномалии метода переходных процессов, слабозатухающие на больших рамках;

- низкоомный геоэлектрический разрез по данным электроразведки и скважинной геофизики;

- аномальные отклонения поляризуемости, электрокорреляции и метода заряда по данным скважинной геофизики.

Локальный прогноз. Следует заметить, что степень опоскованности территории Верхнеуральского рудного района глубокими скважинами (1000 м и более) весьма неравномерна. Анализ показывает её резкое уменьшение в направлении с севера на юг по меньшей мере в 10 раз. Если на площади Межозёрного рудного узла (где сосредоточены все известные на сегодня медно-цинково-колчеданные месторождения) она составляет в среднем 20 таких скважин на 1 км² площади, то в районе Орловского базальтового поднятия – не более двух скважин на 1 км². Это объясняется прежде всего господствовавшей в течение многих лет стратегией поисковых работ в указанном районе, то есть стремлением прирастить запасы известных месторождений за счёт разбуривания флангов.

Территориальный анализ наличия перечисленных выше поисковых признаков колчеданного оруденения с учётом степени опоскованности территории Верхнеуральского рудного района позволил нам выделить в его южной части перспективный участок, названный Барсучьим (по названию одноимённого рудопоявления, известного в его пределах) (см. рис. 2). На участке прогнозируется тело массивных медно-цинково-колчеданных руд. Контур прогнозируемого рудного тела показан на широтном детальном геолого-геофизическом разрезе (рис. 5). Геологические предпосылки для прогнозирования рудного тела следующие:

- геологическое строение участков Барсучий и Узельгинского месторождения аналогично (см. рис. 3 и 5);

- участок расположен на северном склоне Орловского базальтового поднятия в пределах Орловской дуговой палеодепрессии;

- наличие достоверного рудоконтролирующего подуровня, представленного туфами кислого состава, туфопесчаниками, туфоалевролитами преимущественно кислого состава верхней подсвиты карамалыташской свиты;

- наличие крупного экстррузивного купола, перекрывающего предполагаемую рудную залежь и представленного порфиоровыми дацитами и риодацитами;

- наличие мощного ореола околорудных гидротермально-изменённых пород (серицитизированных, хлоритизированных и окварцованных);

- наличие в юго-западной части участка хорошо выраженного «рудоподводящего» канала;

- наличие в пределах участка перспективных проявлений массивных медно-колчеданных и медно-цинково-колчеданных (проявление Барсучье и др.) руд, а также вкрапленных серно-колчеданных и цинково-колчеданных руд, а также целого ряда пунктов минерализации.

Участок Барсучий находится в пределах крупного аномального геохимического поля на уровне верхней подсвиты карамалыташской свиты с разрозненным и сплошным распределением аномалий в разрезе с промежуточным типом зональности. На уровне улутауской свиты на участке хорошо проявлено двух-трёх-элементное аномальное поле фронтального (надрудного) типа. В восточной части участка скважина 3307 (см. рис. 5) на глубине 995 м вскрыла комплексную аномалию (Cu, Zn, Ba) с содержанием Zn > 1 %. В западной части участка скважина 3302 на глубине 775–825 м в серицитизированных и окварцованных туфах и туфоалевролитах на рудоконтролирующем подуровне вскрыла комплексный ореол (Cu 0,2 %, Zn 0,3 %, Pb 0,1 %). Он располагается в единой зональной геохимической колонке (от тыловых до фронтальных ореолов). Остальные скважины не добурены до рудоконтролирующего уровня и или не вскрывают кислые вулканы карамалыташской свиты, или вскрывают разрозненные ореолы фронтального типа (надрудные) в дацит-риодацитовом куполе.

Участок Барсучий располагается в области значительного понижения силы тяжести до -4,5 мГал в северной его части и до -2 мГал – в южной. Гравитационное поле осложнено несколькими положительными локальными аномалиями с относительной интенсивностью 0,5 мГал. Над предполагаемым рудным телом выявлена остаточная аномалия силы тяжести интенсивностью 0,25 мГал (см. рис. 5). Магнитное поле в пределах участка спокойное, отрицательное, ниже фона на 100–150 нТл, что в целом характерно для гидротермально-изменённых пород. Поле вызванной поляризации слабоаномальное, с отдельными локальными повышениями до 2–2,5 %. Участок приурочен к широкой зоне низкоомных пород северо-восточного простиранья. В ряде скважин, пробуренных за пределами характеризуемого участка, выявлены направленные в его сторону аномалии методом заряженного тела.

Для прямого подсчёта прогнозных ресурсов меди и цинка методом аналогии нами приняты следующие параметры:

- площадь прогнозируемого рудного тела 587,5 тыс. м²;

- средняя мощность 30 м (см. рис. 5);

- за возможный аналог принято Узельгинское месторождение со средними содержаниями в массивных рудах (в целом по месторождению) Cu – 1,38 %, Zn – 2,59 %;

- принятый коэффициент надёжности равен 0,5 и учитывает благоприятную геологическую обстановку и наличие поисковых признаков.

Вычисленные прогнозные ресурсы кат. P₂ составляют 480 тыс. т Cu и 910 тыс. т Zn. На участке Барсучий рекомендуется провести поисковые работы масштаба 1 : 10 000 в интервалах глубин 600–1100 м.

Заключение. Таким образом, перспективы обнаружения нового промышленного оруженения в Верхнеуральском рудном районе в настоящее время далеко не исчерпаны. Для обоснованного прогноза по всей территории района требуется постановка специальных тематических работ. По нашему мнению, в пре-

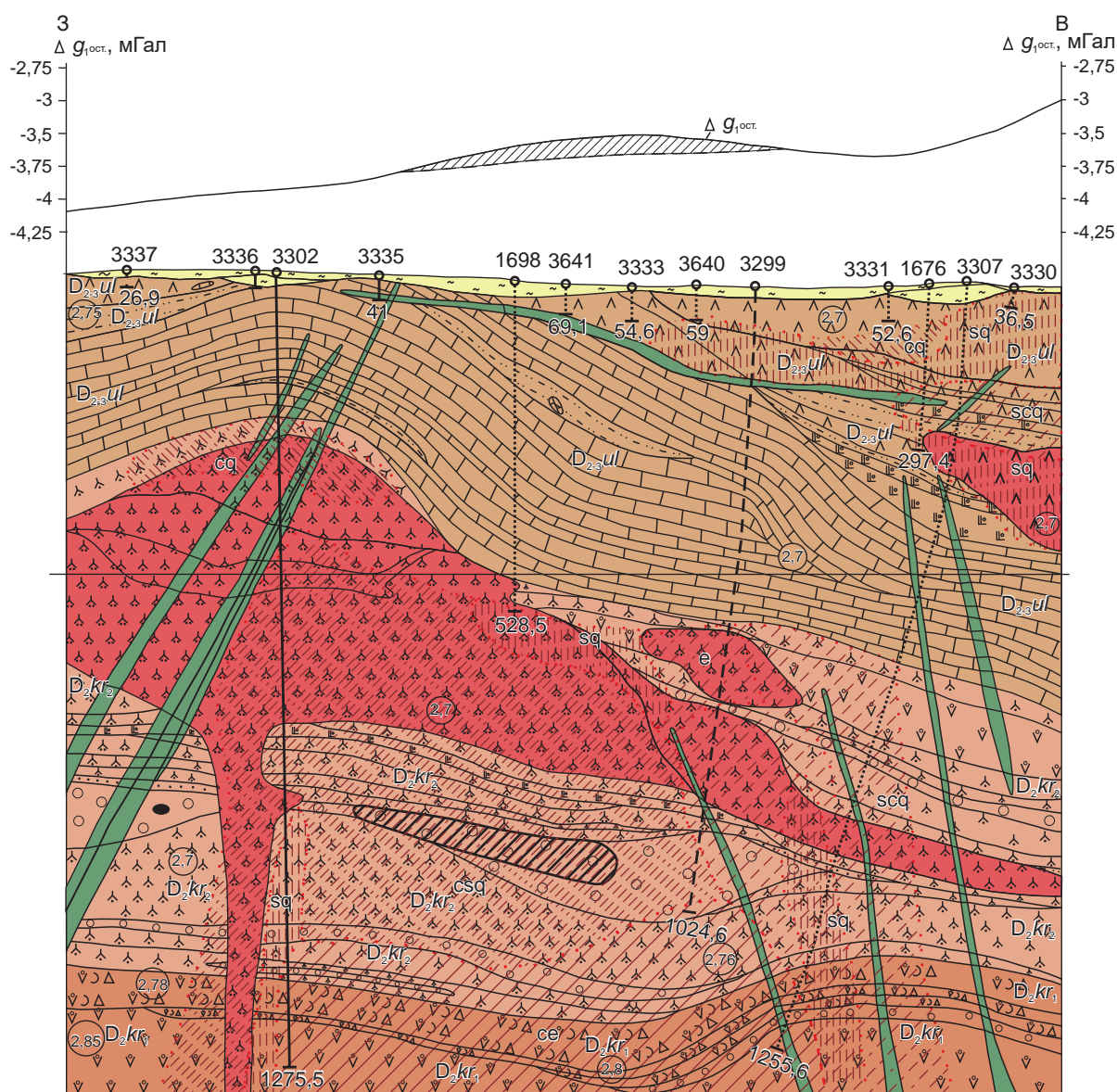


Рис. 5. Широтный геологический разрез через центральную часть прогнозного участка Барсучий:

Показана остаточная кривая поля силы тяжести ($\Delta g_{\text{ост.}}$), рассчитанная с учётом измеренных плотностей горных пород. Условные обозначения см. рис. 3

Fig. 5. Latitudinal geological section across the central portion of the Barsuchiy forecast site:

The residual curve of the gravity field (Δg_{res}), calculated taking into account the measured rock densities, is shown. For the remaining symbols, see Fig. 3

делах участка Барсучий вполне возможно обнаружить хотя бы одно среднее по масштабам месторождение. В заключение укажем, что рядом авторитетных специалистов по колче-

данным месторождениям Урала недавно высказано мнение о перспективности этой территории Южного Урала «на обнаружение месторождения, возможно, крупных размеров» [11].

Список литературы

1. *Артюшкова О. В., Маслов В. А.* Палеонтологическое обоснование стратиграфического расчленения дофаменских вулканогенных комплексов Верхнеуральского и Магнитогорского районов. – Уфа : ИГ УНЦ РАН, 1998. – 156 с.
2. *Белгородский Е. А.* Ретроспективная модель рудно-магматической системы колчеданного месторождения // Геология и геофизика. – 1989. – № 9. – С. 87–93.
3. *Бородаевская М. Б., Горжевский Д. И., Кривцов А. И., Ручкин Г. В., Скрипченко Н. С., Твалчрелидзе Г. А., Яковлев Г. Ф.* Колчеданные месторождения мира. – М. : Недра, 1979. – 284 с.
4. *Бородаевская М. Б., Кривцов А. И., Ширай Е. П.* Основы структурно-формационного анализа колчеданосных провинций. – М. : Недра, 1977. – 152 с.
5. *Бочкарёв В. В., Сурин Т. Н.* Вулканогенные формации и геодинамическое развитие Учалино-Александринской и Режевской зон Урала. – Екатеринбург : Наука, 1993. – 80 с.
6. *Волчков А. Г.* Геолого-поисковые модели медноцинково-колчеданных месторождений Урала // Руды и металлы. – 2014. – № 1. – С. 49–58.
7. *Волчков А. Г., Кривцов А. И.* Медноколчеданные месторождения // Методика крупномасштабного и локального прогноза месторождений цветных, благородных металлов и алмазов. – М. : ЦНИГРИ, 1989. – С. 105–126.
8. *Кривцов А. И., Бородаевская М. Б., Волчков А. Г., Минина О. В., Требухин В. С., Ширай Е. П., Баранов Э. Н.* Прогнозно-поисковые комплексы. Выпуск 1. Комплексование работ по прогнозу и поискам скрытых медноколчеданных месторождений. Методические рекомендации. – М. : ЦНИГРИ, 1983. – 54 с.
9. *Кривцов А. И., Волчков А. Г., Володин Р. Н., Донец А. И., Курбанов Н. К., Лихачёв А. П., Мигачёв И. Ф., Филатов Е. И.* Методика прогноза и поисков месторождений цветных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 1987. – 260 с.
10. *Мосейчук В. М., Яркова А. В., Михайлов И. Г., Кашина Л. В., Сурин Т. Н., Плохих Н. А., Цин Д. Ф.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXIV. Объяснительная записка. Комплект карт. – М. : ВСЕГЕИ, МФ, 2017. – 127 с.
11. *Прокин В. А., Серавкин И. Б., Виноградов А. М.* Геологические условия размещения и перспективы выявления крупных медноколчеданных месторождений на Урале // Литосфера. – 2011. – № 6. – С. 123–133.
12. *Прокин В. А., Рудницкий В. Ф., Богомол А. А.* Верхнеуральский рудный район // Медноколчеданные месторождения Урала: Геологические условия размещения. – Свердловск [Екатеринбург] : УНЦ АН СССР, 1985. – С. 199–205.
13. *Прокин В. А., Ярош П. Я., Рудницкий В. Ф.* Модель формирования месторождений Уральского типа // Генетические модели эндогенных рудных формаций. – Новосибирск : Наука, 1983. – Т. 2. – С. 102–108.
14. *Рудницкий В. Ф.* Квазиэлизионная модель формирования колчеданных месторождений уральского типа // Известия УГГГА. Серия Геология и геофизика. – 1998. – Вып. 8. – С. 78–83.
15. *Серавкин И. Б.* Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. – М. : Наука, 1986. – 268 с.
16. *Серавкин И. Б.* Модель колчеданного месторождения Уральского типа // Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината. – Уфа : Башкирское книжное издательство, 1994. – С. 301–314.
17. *Сурин Т. Н.* Метасоматоз и колчеданное рудообразование. Верхнеуральский рудный район. – Екатеринбург : Наука, 1993. – 104 с.
18. *Сурин Т. Н.* Петрология и геохимия вулканитов раннеживетской базальт-риолитовой колчеданосной формации (Южный Урал). – Уфа : УфНЦ РАН, 1993. – 45 с.
19. *Сурин Т. Н.* Факторы локализации колчеданного оруденения уральского типа // Вулканогенно-осадочное рудообразование. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1992. – С. 56–58.
20. *Требухин В. С., Ширай Е. П.* Реконструкция палеовулканических структур Учалинского и Верхнеуральского рудных районов // Руды и металлы. – 1994. – № 3–5. – С. 81–89.
21. *Шарфман В. С.* Палеовулканические реконструкции. – М. : Недра, 1989. – 215 с.
22. *Baranov E. N., Shteinberg A. D., Karpukhina V. S.* A genetic model and exploration criteria for buried massive sulphide deposits of the Verkhneural'sky area, southern Urals, USSR // Proceedings of 7th IAGOD Symposium. – Stuttgart, 1988. – P. 449–460.



References

1. Artyushkova O. V., Maslov V. A. Paleontologicheskoe obosnovanie stratigraficheskogo raschleneniya dofamenskikh vulkanogennykh kompleksov Verkhneuralskogo i Magnitogorskogo raionov [Paleontological substantiation of stratigraphic dismemberment of the Dofamensk volcanogenic complexes of the Verkhneuralsk and Magnitogorsk districts], Ufa, IG UNTs RAN Publ., 1998, 156 p.
2. Belgorodskii E. A. Retrospektivnaya model' rudnomagmatischei sistemy kolchedannogo mestorozhdeniya [A retrospective model of the ore-magmatic system of the pyrite deposit], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 1989, No 9, pp. 87–93. (In Russ.).
3. Borodaevskaya M. B., Gorzhevskii D. I., Krivtsov A. I., Ruchkin G. V., Skripchenko N. S., Tvalchrelidze G. A., Yakovlev G. F. Kolchedannye mestorozhdeniya mira [Pyrite deposits of the world], Moscow, Nedra Publ., 1979, 284 p.
4. Borodaevskaya M. B., Krivtsov A. I., Shirai E. P. Osnovy strukturno-formatsionnogo analiza kolchedanonsnykh provintsi [Fundamentals of structural and formation analysis of pyrite-bearing provinces], Moscow, Nedra Publ., 1977, 152 p.
5. Bochkarev V. V., Surin T. N. Vulkanogennye formatsii i geodinamicheskoe razvitie Uchalino-Aleksandrinskoi i Rezhhevskoi zon Urala [Volcanogenic formations and geodynamic development of Uchalino-Alexandrinskaya and Rezhhevskaya zones of the Urals], Ekaterinburg, Nauka Publ., 1993, 80 p.
6. Volchkov A. G. Geologo-poiskovye modeli mednotsinkovo-kolchedannykh mestorozhdenii Urala [Geological exploration models of the Uralian Cu-Zn massive sulfides], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2014, No 1, pp. 49–58. (In Russ.).
7. Volchkov A. G., Krivtsov A. I. Mednokolchedannye mestorozhdeniya [Copper pyrites deposits], Metodika krupnomasshtabnogo i lokal'nogo prognoza mestorozhdenii tsvetnykh, blagorodnykh metallov i almazov [Methodology of large-scale and local forecasting of deposits of non-ferrous, precious metals and diamonds], Moscow, TsNIGRI Publ., 1989, pp. 105–126.
8. Krivtsov A. I., Borodaevskaya M. B., Volchkov A. G., Minina O. V., Trebukhin V. S., Shirai E. P., Baranov E. N. Prognozno-poiskovye komplekсы. Vypusk 1. Kompleksirovanie rabot po prognozu i poiskam skrytykh mednokolchedannykh mestorozhdenii. Metodicheskie rekomendatsii [Predictive search complexes. Issue 1. Integration of works on forecasting and searching for hidden copper-pyrite deposits. Methodological recommendations], Moscow, TsNIGRI Publ., 1983, 54 p.
9. Krivtsov A. I., Volchkov A. G., Volodin R. N., Donets A. I., Kurbanov N. K., Likhachev A. P., Migachev I. F., Filatov E. I. Metodika prognoza i poiskov mestorozhdenii tsvetnykh metallov [Methods of forecasting and prospecting for deposits of non-ferrous metals], Moscow, TsNIGRI Publ., 1987, 260 p.
10. Moseichuk V. M., Yarkova A. V., Mikhailov I. G., Kashina L. V., Surin T. N., Plokhikh N. A., Tsin D. F. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 200 000. Seriya Yuzhno-Ural'skaya. List N-40-XXIV. Ob'yasnitel'naya zapiska. Komplekt kart [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200,000. The South Ural series. Sheet N-40-XXIV. Explanatory note. Set of maps], Moscow, VSEGEI Moscow branch Publ., 2017, 127 p.
11. Prokin V. A., Seravkin I. B., Vinogradov A. M. Geologicheskie usloviya razmeshcheniya i perspektivy vyyavleniya krupnykh mednokolchedannykh mestorozhdenii na Urale [Geological conditions of placement and prospects of identification of large copper-pyrite deposits in the Urals], *Litosfera* [Lithosphere], 2011, No 6, pp. 123–133. (In Russ.).
12. Prokin V. A., Rudnitskii V. F., Bogomol A. A. Verkhneuralskii rudnyi raion [Verkhneuralsky ore district], Mednokolchedannye mestorozhdeniya Urala: Geologicheskie usloviya razmeshcheniya [Copper pyrites deposits of the Urals: Geological conditions of placement], Ekaterinburg, UNTs AN SSSR Publ., 1985, pp.
13. Prokin V. A., Yarosh P. Ya., Rudnitskii V. F. Model' formirovaniya mestorozhdenii Uralskogo tipa [Model of formation of deposits of the Ural type], Geneticheskie modeli endogennykh rudnykh formatsii [Genetic models of endogenous ore formations], Novosibirsk, Nauka Publ., 1983, V. 2, pp. 102–108.
14. Rudnitskii V. F. Kvazielizionnaya model' formirovaniya kolchedannykh mestorozhdenii uralskogo tipa [Quasi-elision model of formation of pyrite deposits of the Ural type], *Izvestiya UGGGA. Seriya Geologiya i geofizika* [News of the USMGA. Series Geology and Geophysics], 1998, V. 8, pp. 78–83.
15. Seravkin I. B. Vulkanizm i kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala [Volcanism and pyrite deposits of the Southern Urals], Moscow, Nauka Publ., 1986, 268 p.

16. Seravkin I. B. Model' kolchedannogo mestorozhdeniya Ural'skogo tipa [Model of the pyrite deposit of the Ural type], Mineral'nye resursy Uchalinskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata [Mineral resources of the Uchalinsky mining and processing plant], Ufa, Bashkir book publishing house Publ., 1994, pp. 301–314.
17. Surin T. N. Metasomatoz i kolchedannoe rudoobrazovanie. Verkhneural'skii rudnyi raion [Metasomatism and pyrite ore formation. Verkhneural'sky ore district], Ekaterinburg, Nauka Publ., 1993, 104 p.
18. Surin T. N. Petrologiya i geokhimiya vulkanitov rannehivetskoj bazal't-riolitovoi kolchedanonosnoj formatsii (Yuzhnyi Ural) [Petrology and geochemistry of volcanites of the Early Givetian basalt-rhyolite pyrite-bearing formation (Southern Urals)], Ufa, UfNTs RAN Publ., 1993, 45 p.
19. Surin T. N. Faktory lokalizatsii kolchedannogo orudneniya ural'skogo tipa [Factors of localization of pyrite mineralization of the Ural type], Vulkanogenno-osadochnoe rudoobrazovanie [Volcanogenic-sedimentary ore formation], St. Petersburg, VSEGEI Publ., 1992, pp. 56–58.
20. Trebukhin V. S., Shirai E. P. Rekonstruktsiya paleovulkanicheskikh struktur Uchalinskogo i Verkhneural'skogo rudnykh raionov [Reconstruction of paleovolcanic structures of the Uchalinsky and Verkhneural'sky massiv-sulfide-bearing regions], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 1994, No 3–5, pp. 81–89. (In Russ.).
21. Sharfman V. S. Paleovulkanicheskie rekonstruktsii [Paleovolcanic reconstructions], Moscow, Nedra Publ., 1989, 215 p.
22. Baranov E. N., Shteinberg A. D., Karpukhina V. S. A genetic model and exploration criteria for buried massive sulphide deposits of the Verkhneural'sky area, southern Urals, USSR, *Proceedings of 7th IAGOD Symposium*, Stuttgart, 1988, pp. 449–460.

Сурин Тимофей Николаевич (Timofey_Surin@vsegei.ru)

кандидат геол.-минерал. наук, заведующий отделом

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского» (ВСЕГЕИ), г. Санкт-Петербург, Россия

Новые данные по геологической структуре и зональности Воронцовского золоторудного поля на Северном Урале

Викентьев И. В.¹, Викентьева О. В.¹, Блоков В. И.^{1,2}, Выхристенко Р. И.¹,
Юшко Н. А.², Криночкин Л. А.²

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), г. Москва, Россия

² Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ), г. Москва, Россия

Аннотация. Размещение месторождений золота, меди и железа на Северном Урале, включающем крупнейший Турьинско-Ауэрбаховский рудный район, контролируется линейными зонами северо-западного простирания вероятной разломной природы. Установлено влияние региональных факторов (тектонический, магматический, геохимический), благоприятствующих образованию крупного Au-As-Sb-Hg-Tl Воронцовского месторождения, локализованного в вулканогенно-осадочном, существенно карбонатном разрезе. На месторождении выявлены сближенные пучки девонских дорудных и каменноугольных пострудных базитовых даек. Первичные поликомпонентные геохимические ореолы вместе с рудами образуют мощную рудно-ореольную зону, приуроченную к пологому тектоническому контакту песчано-алевролитовой и известняковой пачек. Основные ореолообразующие элементы в разрезе распределены зонально. В лежачем боку золоторудной залежи преобладают Zn, Cd, Cu, Pb, Ag, Bi, в осевой зоне – Sb, Hg, Tl, As, в висячем боку – As, Zn, Hg, Pb, Ag, (Cu). На востоке (ближе к Ауэрбаховскому массиву гранитоидов) накапливаются Ag, Zn, Pb, Mn, Y, Mo, W, на западе, наиболее удаленно от интрузива, – Sb, Ba, As, Hg, Co, Ni, Sn. ⁴⁰Ar/³⁹Ar возраст для гидрослюды золотомышьяковых руд ~ 391,1 млн лет отвечает периоду внедрения гранодиоритов завершающей фазы Ауэрбаховского массива. Сделан вывод об определяющем магматическом вкладе в образование руд.

Ключевые слова: Урал, золоторудное месторождение, первичные геохимические ореолы, тип Карлин, природа гидротермальных растворов, магматический флюид.

Для цитирования: Викентьев И. В., Викентьева О. В., Блоков В. И., Выхристенко Р. И., Юшко Н. А., Криночкин Л. А. Новые данные по геологической структуре и зональности Воронцовского золоторудного поля на Северном Урале. Руды и металлы. 2023. № 4. С. 23–35. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10017.

New data on the geological structure and zonality of the Vorontsovka gold field in the Northern Urals

Vikentyev I. V.¹, Vikentjeva O. V.¹, Blokov I. V.^{1,2}, Vykhristenko R. I.¹, Yushko N. A.², Krinochkin L. A.²

¹ Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Moscow, Russia

² Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements (IMGRE), Moscow, Russia

Annotation. Spatial distribution of gold, copper, and iron ore deposits in the Northern Urals with the largest Turya-Auerbakh ore region is controlled by north-west trending linear zones of a probably fault nature. The influence has been demonstrated of regional factors (including the tectonic, magmatic, and geochemical ones) favoring formation of the large Au-As-Sb-Hg-Tl Vorontsovka deposit located within a volcanogenic-sedimentary, substantially carbonate rock sequence. Closely spaced swarms of Devonian pre-ore and Carboniferous post-ore mafic dykes have been identified within the deposit. The primary geochemical halos of the Vorontsovka deposit have a multielement composition and, coupled with the ores, form a thick ore-halo zone confined to the gentle tectonic contact of sandstone-siltstone and limestone units. The main halo-forming elements are zonally distributed in the section. The footwall side of the gold deposit (rear zone) is dominated by Zn, Cd, Cu, Pb, Ag, and Bi; the axial zone, by Sb, Hg, Tl, and As; and the hanging side (frontal zone), by As, Zn, Hg, Pb, Ag, (Cu). In the east (closer to the Auerbakh granitoid massif), Ag, Zn, Pb, Mn, Y, Mo, and W relatively accumulate, while in the west (most remotely from the intrusive), Sb, Ba, As, Hg, Co, Ni, and Sn dominate. The ⁴⁰Ar/³⁹Ar age of ~391.1 million years, obtained for hydromica of the gold-arsenic ores, corresponds to the period of emplacement of granodiorite of the final Auerbakh massif intrusive phase. The conclusion is made on the crucial magmatic contribution to the formation of gold ores of the deposit.

Keywords: Urals, gold deposit, primary geochemical halos, Carlin type, nature of hydrothermal solutions, magmatic fluid.

For citation: Vikentyev I. V., Vikentjeva O. V., Blokov V. I., Vykhristenko R. I., Yushko N. A., Krinochkin L. A. New data on the geological structure and zonality of the Vorontsovka gold field in the Northern Urals. Ores and metals, 2023, № 4, pp. 23–35. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10017.



Введение. Воронцовское золоторудное месторождение, крупнейшее на Северном Урале, находится недалеко от южной окраины г. Красноуральска Свердловской области, в южной части Турьинско-Ауэрбаховского рудного района [2, 6]. В районе развиты разнообразные рудные месторождения [3, 11], пик добычи руды и металлов на которых прошёл [2]. Освоение района началось 265 лет назад с отработки Турьинских рудников – руды добывались всё это время непрерывно и почти полностью выработаны; последняя медная шахта была затоплена в 2015 г. Построенный здесь 20 лет назад крупный горно-металлургический комбинат «Золото Северного Урала», выпускавший в слитках до 5 т золота в год, ныне снижает мощности в связи с недозагрузкой сырьём. Серьёзного задела минерально-сырьевой базы по золоту в районе нет. Остаётся открытым вопрос о фак-

торах рудоконтроля, включая региональные, которые благоприятствовали образованию необычного для провинции компактного развития широкого спектра месторождений: медно- и железо-скарновых залежей, золотых россыпей, а также нетрадиционного для Урала золотого оруденения типа Карлин. Слабо освещены в литературе вопросы геохимической зональности. Материалы статьи отчасти ликвидируют эти пробелы.

Геологическая позиция рудных полей. Турьинско-Ауэрбаховский рудный район (в ранних работах называемый Турьинским) находится в приосевой части Тагильской мегазоны [3, 6]. К западу от неё, за Главным Уральским разломом, находится Центрально-Уральская мегазона, а к востоку, за Серовско-Маукской зоной тектонического меланжа – Восточно-Уральская, почти полностью перекрытая осадочным

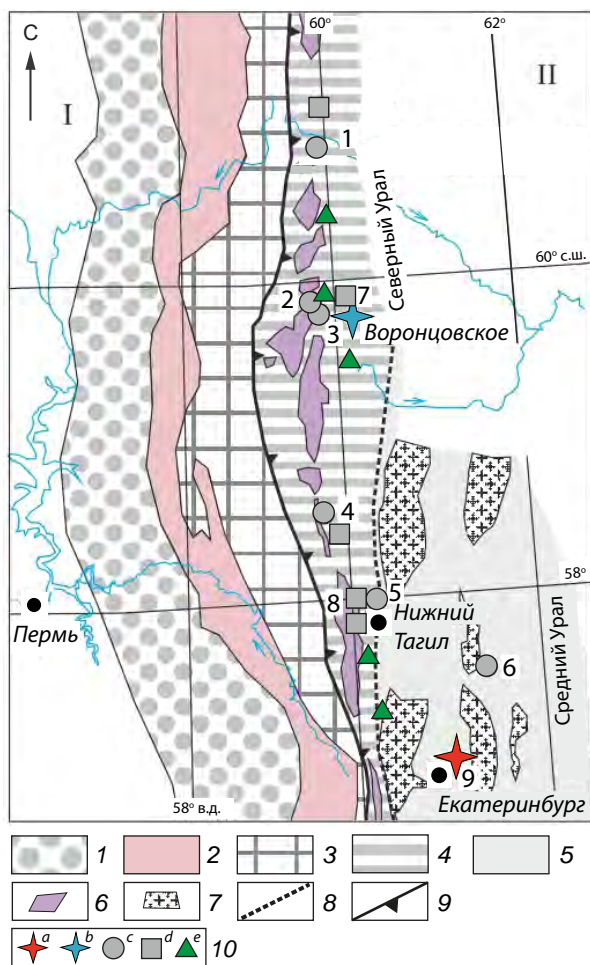


Рис. 1. Схема тектонического строения Среднего и Северного Урала (упрощено по [10]) и позиция основных типов эндогенного оруденения:

1 – Предуральский прогиб; 2 – Западно-Уральская зона; 3 – Центрально-Уральская зона; 4 – Тагильская зона; 5 – Восточно-Уральская зона; 6 – массивы Платиноносного пояса; 7 – массивы Главного Гранитного пояса; 8 – Серовско-Маукская зона меланжа; 9 – Главный Уральский разлом; 10 – типы месторождений: *a* – золоторудные, связанные с гранитами, *b* – золоторудные карлинского типа, *c* – колчеданные, *d* – Cu/Fe скарновые, *e* – медно-порфировые; месторождения: 1 – Ново-Шемурское, 2 – Валенторское, 3 – Галкинское, 4 – Кабанское, 5 – Сан-Дonato, 6 – Сафьяновское, 7 – Ауэрбахская группа (Cu, Fe), 8 – Естинихинское (Fe), 9 – Берёзовское (Au)

Fig. 1. Schematic tectonic map of the Middle and Northern Urals (simplified after [10]) and position of the main types of the endogenous mineralization:

1 – Ural Foredeep; 2 – Western Ural Zone; 3 – Central Ural Zone; 4 – Tagil Zone; 5 – Eastern Ural Zone; 6 – massifs of the Platinum Belt; 7 – massifs of the Main Granite Belt; 8 – Serov-Mauk Zone of melange; 9 – Main Ural Fault; 10 – types of ore deposits: *a* – granite-related gold, *b* – Carlin type gold, *c* – VMS, *d* – Cu-Fe skarn, *e* – porphyry copper; ore deposits: 1 – Novo-Shemurskoe, 2 – Valentorskoe, 3 – Galkinskoe, 4 – Kaban-skoe, 5 – San Donato, 6 – Safyanovskoe, 7 – Auerbach group (Cu, Fe), 8 – Estinikhinskoe (Fe), 9 – Berezovskoe (Au)



чехлом (рис. 1). Район охватывает восточную часть Тагильской мегазоны и принадлежит к крупному Турьинско-Ауэрбаховскому магматическому ареалу. Этот ареал проявлен в виде вулканических полей (O_3-D_2ef) и множества интрузивных и субвулканических тел (от S_2 до S_1); большинство их отвечает фемическим магматическим сериям островодужной природы [10]. В целом эволюция Тагильской островной дуги характеризовалась сменой известково-щелочных вулканитов (O_3-S_1), включая колчеданосные, субщелочными сериями (S_2-D_2). Вокруг его центра, занятого Ауэрбаховским габбро-диорит-гранодиоритовым плутоном, размещены многие рудные месторождения, все они золотосодержащие: скарново-магнетитовые (месторождения Ауэрбаховской группы) и медноскарновые (Фроловское, Вадимо-Александровское и другие Турьинской группы), золоторудные (с As, Sb, Hg и Tl – Воронцовское; мелкие месторождения – Пещерное, Горнячка). Также есть жильные золото-кварцевые и медно-порфиновые проявления, многочисленные россыпи золота и платины [3, 11].

Новые возможности, связанные с организацией Министерством природных ресурсов РФ открытого цифрового банка данных информации по рудной нагрузке территорий [4], позволили заново подойти к вопросу о поисках региональных металлогенических особенностей эндогенной рудной минерализации. Оказалось, что упомянутые рудные (Fe, Cu, Zn, Co, Ni, Au, Pt и др.) месторождения в регионе контролируются линейными зонами (трендами) северо-западного простирания (рис. 2), очевидно, разломной природы. В эти же зоны помимо эндогенных месторождений попадают и многочисленные россыпи золота и платины. Во второй половине XX века [9, 13], а также в отдельных недавних работах [1, 5, 12, 20] линейные тектонические зоны северо-западной ориентировки упоминались и изображались на различных мелкомасштабных геологических, геофизических и других картах и схемах Урала. Положение и ориентировка для них определены нечётко (чаще по геофизическим данным, реже по геоморфологическим), число

варьирует от работы к работе, а природа, вероятно, связана с глубинными разломами. Возраст таких «шовных зон» – допалеозойский, но они неоднократно (в кембрии, раннем силуре, среднем девоне) подновлялись [12].

Турьинско-Ауэрбаховскому рудному району отвечает одноимённая вулканотектоническая депрессия – грабен-синклиналь с пологим падением крыльев к центру структуры (рис. 3). Она выполнена вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными породами краснотурьинской свиты (мощность до 5 км), датированной ранним девонем. Образования данной свиты рудовмещающие для многочисленных скарновых (Cu, Fe, Cu + Fe) залежей, а также золоторудных месторождений, включая Воронцовское [2, 11].

Геологическое строение месторождения. Воронцовское золоторудное месторождение было открыто 38 лет назад поисковыми работами на рудное золото на Песчанско-Воронцовском кварцево-жильном рудном поле в 1985–1986 гг. [2]. В рудном поле наиболее продуктивной частью девонского разреза является нарушенная надвигом зона контакта ритмично-слоистой вулканогенно-осадочной толщи и подстилающих брекчиевидных известняков [3, 11, 22]. Здесь в метасоматически изменённых зонах дробления и смятия по упомянутым породам образовались основные золоторудные тела Воронцовского месторождения, имеющие сложную морфологию [3, 11, 14]. Они приурочены к внешней части железо-скарнового ореола, возникшего под влиянием Ауэрбаховского габбро-диорит-гранодиоритового массива [6, 8, 14], входящего в раннедевонскую вулканоплутоническую ассоциацию.

Известняки и туффиты эмса пересечены на Воронцовском месторождении роями мафитовых даек (рис. 4), по мнению В. Н. Сазонова [11], дорудными по отношению к золотомышьяковому оруденению. Дорудные дайки сильно изменены в рудной зоне [7]. Наряду с ними есть более молодые тела базитов (в основном лампрофиров), сложенные свежими малоизменёнными породами. По последним данным [21], сближенные пучки жильных тел представлены двумя комплексами, образующими серии

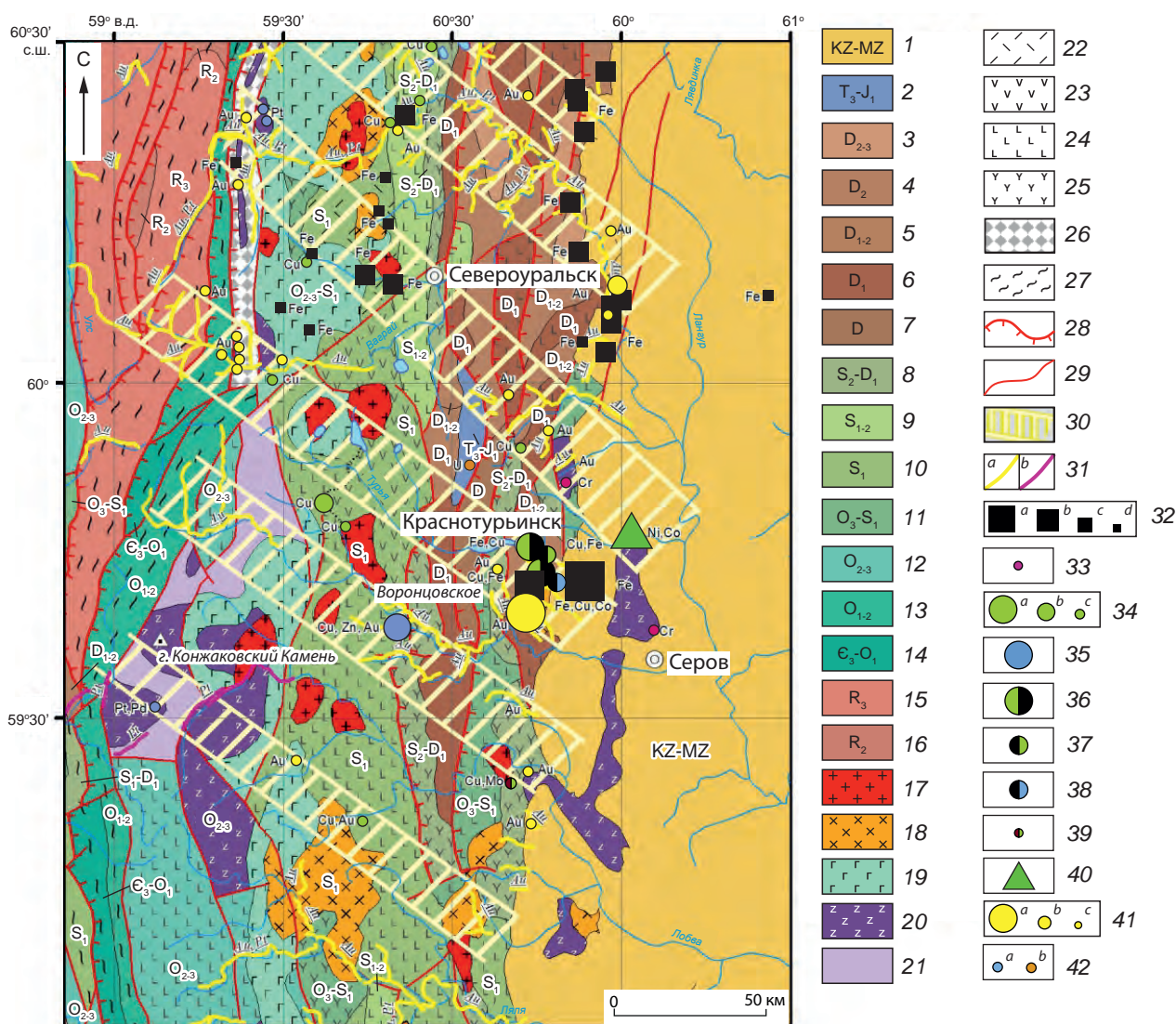


Рис. 2. Контроль размещения золотого и сопутствующего оруденения Северного Урала тектоническими зонами северо-западного простирания. Геологическая основа, позиция месторождений и проявлений по [4] с небольшими изменениями:

стратиграфические подразделения: 1 – мезозойско-кайнозойский чехол; 2 – триасово-юрские отложения T₃-J₁ (аргиллиты, алевролиты, песчаники); девонская система: 3 – средний-верхний отделы (известняки, алевролиты), 4 – средний отдел (известняки), 5 – нижний-средний отделы (известняки, сланцы глинистые), 6 – нижний отдел (базальты, трахибазальты, андезибазальты), 7 – нерасчленённые отложения (известняки, алевролиты, песчаники); 8 – силурийско-девонские отложения S₂-D₁ (туфопесчаники, туфо-алевролиты, туфоконгломераты); силурийская система: 9 – нижний-верхний отделы (базальты, андезибазальты, их туфы), 10 – нижний отдел (базальты, андезибазальты, их туфы); 11 – ордовикско-силурийские отложения O₃-S₁ (базальты, долериты, дациты, риолиты, туфы); ордовикская система: 12 – средний-верхний отделы (металавы и метатуфы базальтов, долеритов), 13 – нижний-средний отделы (сланцы, песчаники кварцитовидные, туфосланцы); 14 – кембрийско-ордовикские отложения C₃-O₁ (сланцы филлитовидные, кварцитопесчаники, кварциты); рифей: 15 – верхний (сланцы хлорит-серицит-кварцевые), 16 – средний (сланцы серицит-хлорит-кварцевые, мраморы); интрузии: 17 – кислые, 18 – средние, 19 – основные, 20 – ультраосновные; 21 – белогорский гнейсо-амфиболитовый метаморфический комплекс; вулканы, преимущественно лавы: 22 – кислого состава (риолиты, дациты, риодациты), 23 – среднего состава (андезиты, андезибазальты), 24 – основного состава (базальты), 25 – не расчленённые по составу;



26 – тектонический меланж; 27 – породы зеленосланцевой фации метаморфизма; 28 – надвиги; 29 – прочие разрывные нарушения; 30 – линейные рудоносные зоны (тренды); 31 – россыпи: *a* – Au (с Pt), *b* – Pt (с Au); 32 – месторождения Fe: *a* – крупные, *b* – средние, *c* – мелкие, *d* – проявления; 33 – проявления Cr; 34 – месторождения Cu: *a* – средние, *b* – мелкие, *c* – проявления; 35 – среднее месторождение Zn (Галкинское); 36 – средние месторождения Cu и Fe; 37 – мелкие месторождения Fe и Cu; 38 – мелкие месторождения Fe, Cu и Co; 39 – проявление Cu и Mo; 40 – крупные месторождения Ni и Co; 41 – месторождения Au: *a* – крупные, *b* – малые, *c* – проявления; 42 – проявления: *a* – Pt, *b* – U

Fig. 2. Control of distribution of the gold and associated mineralization in the Northern Urals by north-west trending tectonic zones. Geological basis and position of the ore deposits and occurrences correspond to [4] with minor changes:

stratigraphic units: 1 – Mesozoic–Cenozoic cover; 2 – Triassic–Jurassic (T_3 – J_1) (mudstones, siltstones, sandstones); Devonian: 3 – Middle–Upper Devonian (limestones, siltstones), 4 – Middle Devonian (limestones), 5 – Lower–Middle Devonian (limestones, shales), 6 – Lower Devonian (basalts, trachybasalts, basaltic andesites), 7 – undifferentiated sediments (limestones, siltstones, sandstones); 8 – Silurian–Devonian (S_2 – D_1) (tuffaceous sandstones, siltstones, and conglomerates); Silurian: 9 – Lower–Upper Silurian (basalts, basaltic andesites, their tuffs), 10 – Lower Silurian (basalts, basaltic andesites, their tuffs); 11 – Ordovician–Silurian (O_3 – S_1) (basalts, dolerites, dacites, rhyolites, tuffs); Ordovician: 12 – Middle–Upper Ordovician (metalavas and metatuffs of basalts, dolerites), 13 – Lower–Middle Ordovician (shales, quartzite-like sandstones, tuffaceous schists); 14 – Cambrian–Ordovician (C_3 – O_1) (phyllitic shales, quartzite sandstones, quartzites); Riphean: 15 – Upper Riphean (chlorite-sericite-quartz schists), 16 – Middle Riphean (sericite-chlorite-quartz schists, marbles); intrusions: 17 – silicic, 18 – intermediate, 19 – basic, 20 – ultrabasic; 21 – Belogorsk gneiss-amphibolite metamorphic complex; volcanics, mainly lavas: 22 – felsic (rhyolites, dacites, rhyodacites), 23 – intermediate (andesites, basaltic andesites), 24 – mafic (basalts), 25 – not classified by composition; 26 – tectonic melange; 27 – rocks of the greenschist metamorphic facies; 28 – thrusts; 29 – other faults; 30 – linear ore-bearing zones (trends); 31 – placers: *a* – Au (with Pt), *b* – Pt (with Au); 32 – Fe deposits: *a* – large, *b* – medium, *c* – small, *d* – occurrences; 33 – Cr occurrences; 34 – Cu deposits: *a* – medium, *b* – small, *c* – occurrences; 35 – medium Zn deposit (Galkinskoe); 36 – medium Cu and Fe deposits; 37 – small Fe and Cu deposits; 38 – small Fe, Cu, and Co deposits; 39 – Cu and Mo occurrence; 40 – large Ni and Co deposits; 41 – Au deposits: *a* – large, *b* – small, *c* – occurrences; 42 – other occurrences: *a* – Pt, *b* – U

даек: девонскую дорудную и каменноугольную пострудную. Состав последних характеризуется повышенной щёлочностью. Датирование $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом биотита из дайки послерудных лампрофиров (керсантита) показало их раннекаменноугольный возраст ~ 346 млн лет [21], что согласуется с новыми данными по довольно широкому развитию каменноугольного магматизма рифтогенной природы в пределах как Тагильской (Средний – Полярный Урал), так и Магнитогорской мегазон [10, 21].

Изотопные составы свинца руд и магматических пород образуют на Pb–Pb диаграммах единый тренд [7], что отражает отдалённую генетическую связь оруденения с глубинными магмами. Согласно геохимическим данным [7, 21], точки составов пород даек попадают в поля островодужных, рифтогенных или внутриплитных образований. Подобное смешанное сочетание геохимических характеристик могут иметь рифтогенные породы, образовавшиеся при плавлении деплетированных

в надсубдукционной обстановке ультрабазитов мантийного клина. Результаты измерений ориентировок и геохимические характеристики даек позволяют полагать, что они формировались в обстановке взаимодействия поднимающегося астеносферного вещества со структурно-вещественными комплексами активной континентальной окраины, инициировавшего рассеянный рифтинг и внутриплитный базитовый магматизм повышенной щёлочности. По аналогии со штатом Невада с его крупнейшими золоторудными и родственными Cu, Fe, Pb–Zn, Ba и некоторыми другими месторождениями [15–17], где размещение рудных полей в пределах известных трендов Карлин, Юрек, Гетчел и Джеррит Каньон контролируется упорядоченными рядами даек [19], мы ожидаем основные открытия месторождений золота и родственных ему типов оруденения в разломных зонах (трендах) северо-западной ориентировки.

Геохимические ореолы месторождения. Определение валовых содержаний химических

Рис. 3. Схематическая геологическая карта Турьинско-Ауэрбаховского рудного района. Исползованы фондовые материалы Н. С. Лисова (1978 г.) и В. Н. Боброва (1991 г.):

1 – базальты красноуральской свиты (O_3-S_1kr); 2 – вулканогенные образования трахибазальт-трахиандезитовой формации: *a* – лавы, *b* – туфопесчаники, туфоалевролиты (туринская свита S_2-D_1tr); краснотурьинская свита D_1kt ; 3 – порфириты базальтовые, их туфы, вулканомиктовые гравелиты, 4 – андезиты, их туфы, туфопесчаники, туфоалевролиты, 5 – известняки; субвулканические образования: 6 – диоритовые порфириты, 7 – андезибазальтовые и базальтовые порфириты; интрузивные образования: 8 – ультрамафиты серовского комплекса (O_2sr); интрузивные образования габбро-диорит-гранодиоритовой формации, ауэрбаховский комплекс (D_1a); 9 – граниты, аляскитовые граниты, 10 – гранодиориты, 11 – диориты, кварцевые диориты, 12 – габбро, габродиориты, 13 – внешасштабные дайки диоритов, лампрофиров и габбро; 14 – разломы, ограничивающие вулканотектоническую структуру; 15 – разрывные нарушения: *a* – достоверные, *b* – предполагаемые; 16 – участки скарнирования; 17 – конгур Воронцовского золоторудного месторождения; 18 – месторождения (*a*) и рудопроявления (*b*) золото-сульфидно-кварцевой формации; 19 – магнетит-скарновые месторождения (*a*), то же, с наложенной пирротиновой и пирит-халькопиритовой минерализацией (*b*); 20 – медно-скарновые месторождения с пирит-халькопиритовыми рудами (*a*), то же, с эпидозитами (*b*); цифры в кружках – рудоконтролирующие разломы района Воронцовского месторождения: 1 – Воронцовский, 2 – Южно-Воронцовский, 3 – Северо-Воронцовский; месторождения и проявления: 1 – Ауэрбаховская группа месторождений, 2 – Ново-Песчанское, 3 – Северо-Южно-Песчанское, 4 – Западно-Песчанское, 5 – Полуденское, 6 – Северо-Воронцовское и Воронцовское, 7 – Южно-Воронцовское, 8 – Гаревское, 9 – Владыкинское, 10 – Каквинское, 11 – 34-й Квартал, 12 – Троицко-Михайловское, 13 – Богословское и Башмаковское, 14 – Вадимо-Александровское, 15 – Никитинское, 16 – Успенское, 17 – Фроловское, 18 – Суворовское, 19 – Васильевское, 20 – Суходойское, 21 – Псарёвское, 22 – Пещерное, 23 – Горнячка

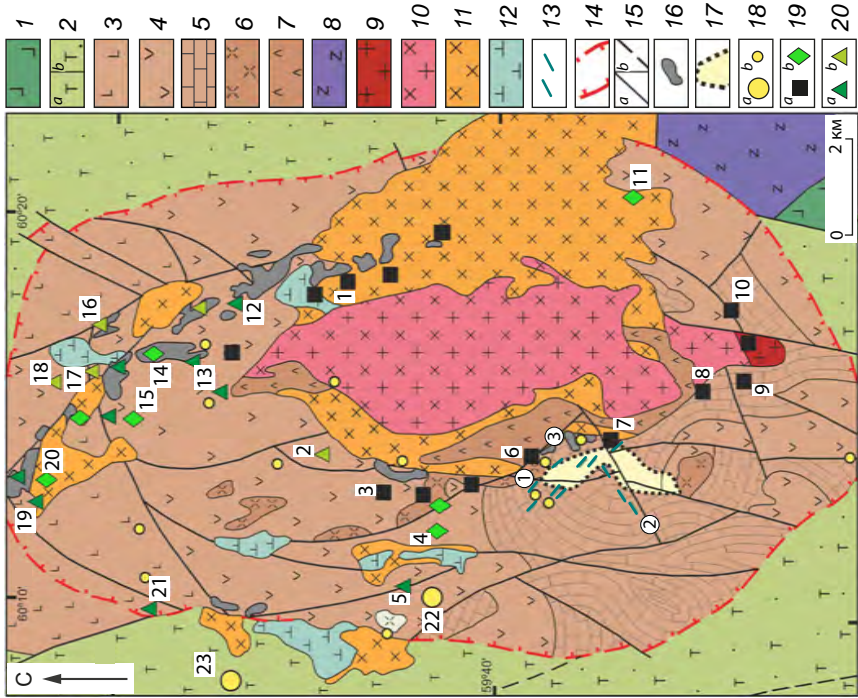


Fig. 3. Schematic geological map of the Turya-Auerbakh ore region. Compiled using unpublished reports by N. S. Lisov (1978) and V. N. Bobrov (1991):

1 – Krasnouralsk formation (O_3-S_1kr), basalts; 2 – Turya formation (S_2-D_1tr), trachybasalt-trachyandesite association: *a* – lavas, *b* – tuffaceous sandstones and siltstones; Krasnoturyinsk formation (D_1kt): 3 – porphyritic basalts and their tuffs, volcanomictic gravelstones, 4 – andesites and their tuffs, and tuffaceous sandstones and siltstones, 5 – limestones, 6 – diorite porphyrites, 7 – basaltic andesites and basalt porphyrites; intrusive formations: 8 – ultramafites of the Serov suite (O_2sr); intrusive formations of the Auerbakh suite of the gabbro-diorite-granodiorite association (D_1a): 9 – granites, alaskitic granite, 10 – granodiorite, 11 – diorite, quartz diorite, 12 – gabbro, gabbrodiorite, 13 – off-scale dykes of diorite, lamprophyre, and gabbro; 14 – faults framing the volcanotectonic feature; 15 – faults: *a* – reliable, *b* – assumed; 16 – skarnification sites; 17 – Vorontsovka gold deposit outlines; 18 – gold-sulfide-quartz type mineralization: *a* – ore deposits, *b* – ore occurrences; 19 – magnetite skarns: *a* – magnetite deposits, *b* – magnetite deposits with superimposed pyrrhotite and pyrite-chalcocopyrite mineralization; 20 – copper skarns: *a* – ore deposits with pyrite-chalcocopyrite ores, *b* – the same with epidotes; circled figures are for the ore-controlling faults of the Vorontsovka deposit area: 1 – Vorontsovka, 2 – South-Vorontsovka, 3 – North-Vorontsovka; deposits and occurrences: 1 – Auerbakh group of deposits, 2 – Novo-Peschansko, 3 – North and South Peschanka, 4 – West Peschanka, 5 – Poludenskoe, 6 – Vorontsovka Fe and North-Vorontsovka, 7 – South Vorontsovka, 8 – Garevskoe, 9 – Vladyskinoe, 10 – Kakva, 11 – 34th Quarter, 12 – Troitsk-Mikhaylovsk, 13 – Bogoslovsk and Bashmakovsk, 14 – Vadimo-Aleksandrovskoe, 15 – Nikitinskoe, 16 – Uspenskoe, 17 – Prolovskoe, 18 – Suvorovskoe, 19 – Vasilyevskoe, 20 – Sukhodoykoe, 21 – Psarevskoe, 22 – Peshchernoe, 23 – Gornjachka

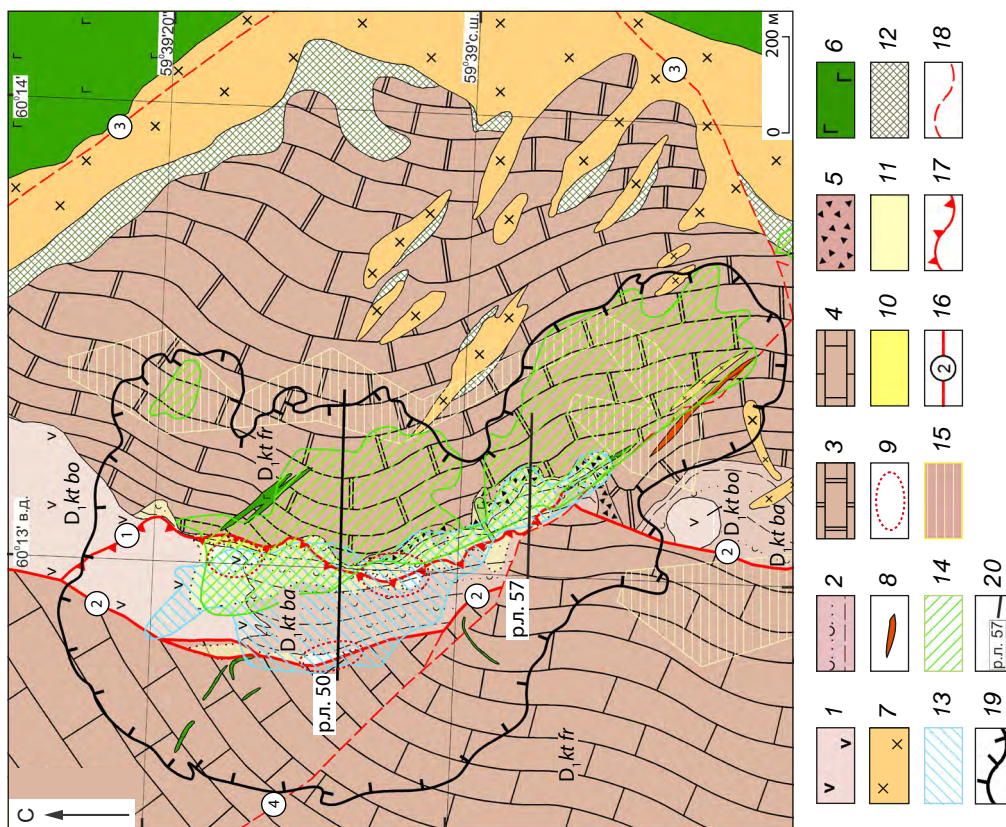


Рис. 4. Схематическая геологическая карта Воронцовского месторождения, по данным Воронцовской геологоразведочной партии, упрощено на основе [3]:

красногурьинская свита: 1 – богословская толща $D_1kt\ bo$ (степановский горизонт): андезиты, их туфы и лавобрекчий, экструзии андезитов, 2 – башмаковская толща $D_1kt\ ba$: вулканогенно-осадочные породы (туфоконгломераты, туфопесчаники, туфопесчаники с прослоями кремнистых пород и известняков); фроловско-васильевская толща $D_1kt\ fr$: 3 – мраморы, 4 – известняки, 5 – карбонатно-осадочная брекчия; 6 – субвулканические пироксен-плагиоклазовые порфиры основного состава; 7 – диориты; 8 – дайки лампрофиров (одиониты, керсантиты); 9 – аргиллизиты (кварц-серицит-монтмориллонит-каолинитовые метасоматиты); 10 – зоны аргиллизации с серицитом, монтмориллонитом, гидрослюдай, смектитом, гидрохлоритом; 11 – каолинит-кварц-серицитовые, кварц-серицитовые метасоматиты; 12 – скарны; 13 – проекции первичных руд на поверхность; 14 – проекции окисленных руд на поверхность; 15 – россыпи; 16 – разрывные нарушения; 17 – главные разломы (1 – Воронцовский рудоконтролирующий надвиг, 2 – Воронцовский взброс, 3 – Южно-Воронцовский, 4 – Южно-Песчанский); 17 – надвиг; 18 – второстепенные разломы; 19 – контур Северного карьера; 20 – разведочные линии

Fig. 4 Schematic geological map of the Vorontsovka deposit, based on data of the Vorontsovka exploration party (simplified after [3]):

Krasnoturyinsk formation: 1 – Bogoslovsk sequence, $D_1kt\ bo$ (Stepanovsk horizon): andesites, their tufts and lava breccias, andesite extrusions; 2 – Bashmakovsk sequence, $D_1kt\ ba$: volcanosedimentary rocks (tuffaceous conglomerates, sandstones, and siltstones) with interlayers of cherty rocks and limestones; Frolovsk-Vasilevsk sequence, $D_1kt\ fr$: 3 – marbles, 4 – limestones, and 5 – carbonate-sedimentary breccias; 6 – subvolcanic pyroxene-plagioclase porphyrites of basic composition; 7 – diorites; 8 – lamprophyre dykes (odinites, kersanitites); 9 – argillic rocks (quartz-sericite-montmorillonite-kaolinite metasomatites); 10 – zones of argillization with sericite, montmorillonite, hydromica, smectite, and hydrochlorite; 11 – kaolinite-quartz-sericite and quartz-sericite metasomatites; 12 – skarns; 13 – projections of the primary ores to the surface; 14 – projections of the oxidized ores to the surface; 15 – placers; 16 – major faults (1 – ore-controlling Vorontsovka thrust, 2 – Vorontsovka reverse fault, 3 – South-Vorontsovka, 4 – South-Peschanka); 17 – thrust; 18 – minor faults; 19 – Northern Open Pit outlines; 20 – exploration lines



элементов в коренных породах, включая минерализованные, опробованные в представительном профиле (сводный по буровым линиям 56б и 57) по керну скважин, проводилось методом полуколичественного спектрально-эмиссионного анализа (ПКСА) в лаборатории Бронницкой геолого-геохимической экспедиции ИМГРЭ. Получены валовые содержания 40 элементов: Li, Be, B, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Yb, Hf, Ta, W, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U.

Первичные геохимические ореолы месторождения поликомпонентного состава вместе с рудами образуют мощную рудно-ореольную зону, приуроченную к контакту вулканоген-

но-осадочной и карбонатной толщ (рис. 5, 6). Она прослеживается в субмеридиональном направлении на 2,7 км при ширине в плане до 600 м. Основные ореолообразующие элементы – Au, Ag, As, Hg, Sb, Pb, Zn, Cd, Cu, Ba, Mn, Tl. Анализ распределения элементов в рудно-ореольной зоне показал следующую вертикальную зональность геохимического поля: в лежащем боку золоторудной залежи (подрудная, тыловая зона) накапливаются Zn, Cd, Cu, Pb, Ag, Bi, в осевой зоне – Sb, Hg, Tl, As, в висячем боку (фронтальная зона) – As, Zn, Hg, Pb, Ag, (Cu).

Для нижних, подрудных частей этой зоны характерно развитие в известняках на контакте с дайками золотосодержащей полиметаллической ассоциации с низкими содержа-

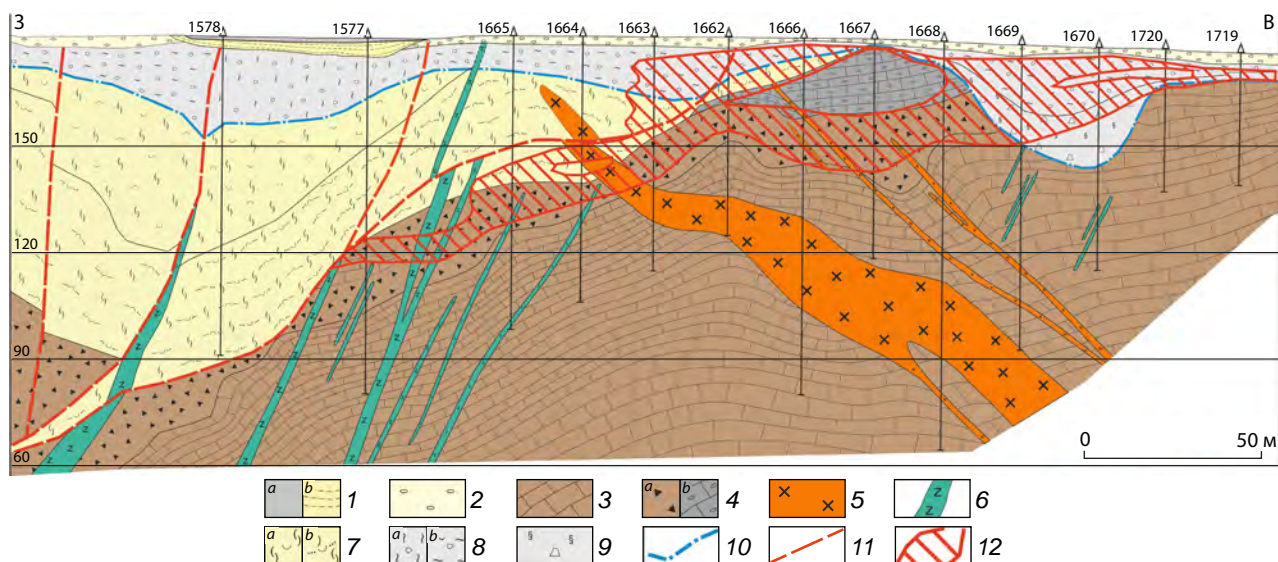


Рис. 5. Геологический разрез Воронцовского золоторудного месторождения (сводный по буровым линиям 56б и 57) по материалам Воронцовской геологоразведочной партии (Бобров В. Н. и др.):

четвертичные отложения: 1 – озёрные отложения: *a* – торф, *b* – глины; 2 – терригенные наносы; краснотурьинская свита: 3 – вулканогенно-осадочная толща (туфопесчаники, туфоалевролиты с прослоями кремнистых алевролитов и известняков); 4 – карбонатная толща: *a* – мраморы, *b* – известняковые брекчии; дайки: 5 – монцодиоритов, 6 – диабазовых порфиритов; 7 – аргиллизиты по туфам (*a*) и туфогенно-осадочным породам (*b*); 8 – кора выветривания: *a* – структурная, *b* – перемещённая; 9 – карст; 10 – граница развития коры выветривания; 11 – разломы (взбросы, надвиг); 12 – контуры золоторудных тел

Fig. 5. Geological section across the Vorontsovka gold deposit (combined of the borehole lines 56b and 57), based on materials of the Vorontsovka exploration party (V. N. Bobrov et al.):

Quaternary sediments: 1 – lacustrine deposits (*a* – peat, *b* – clay), 2 – terrigenous drift; Krasnoturyinsk formation: 3 – volcanosedimentary sequence: tuffaceous sandstones, tuffaceous siltstones with interlayers of cherty siltstones and limestones; 4 – carbonate sequence: *a* – marbles, *b* – limestone breccias; dykes of (5) monzodiorite, and (6) diabase porphyrite; 7 – argillic rocks: (*a*) after tuffs, and (*b*) after tuffaceous sedimentary rocks; 8 – weathering crust: *a* – structural, and *b* – displaced; 9 – karst; 10 – the weathering crust limit; 11 – faults (reverse fault, thrust); 12 – gold ore body boundaries

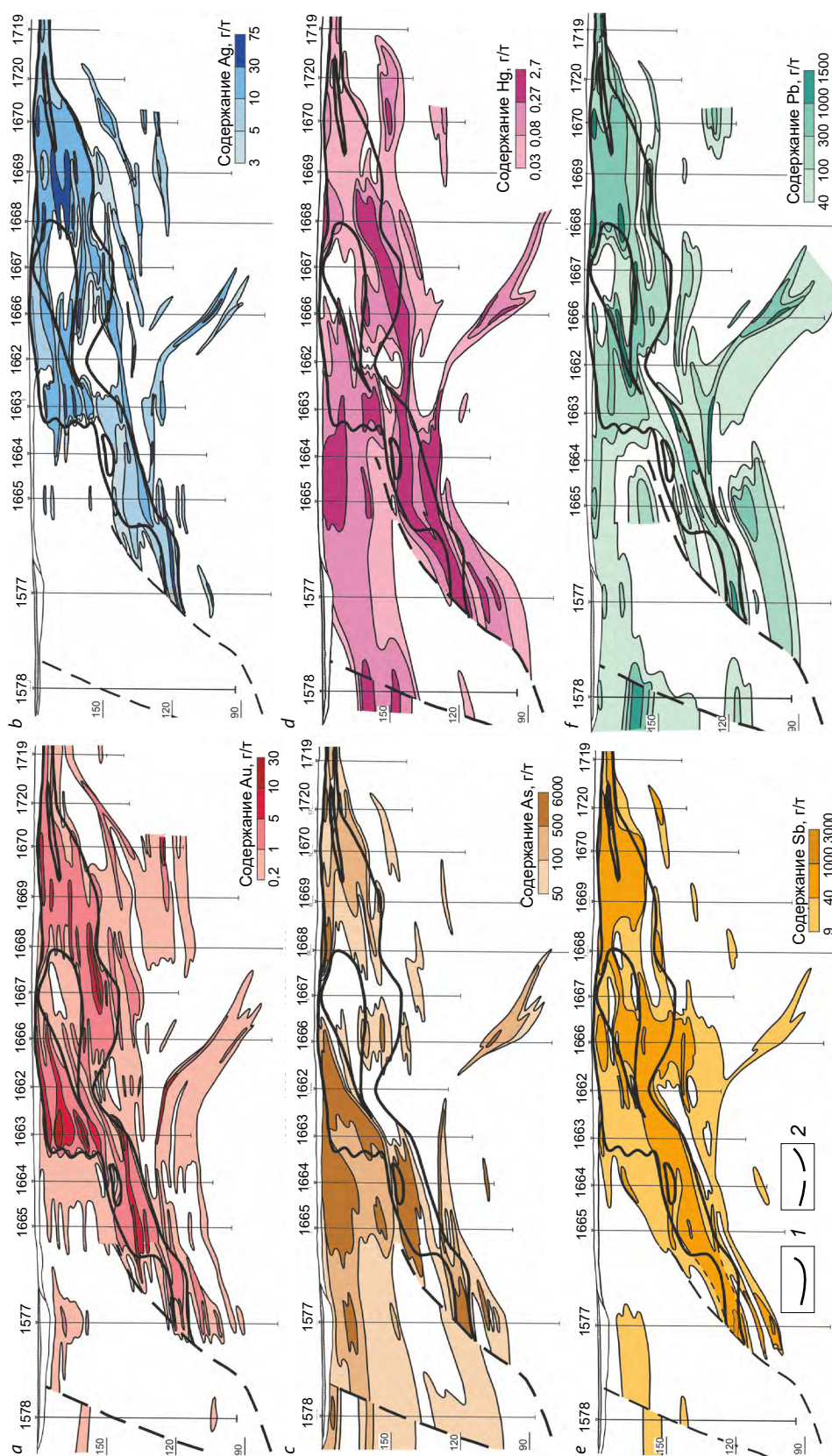


Рис. 6. Первичные ореолы Au (a), Ag (b), As (c), Hg (d), Sb (e), Pb (f) в сводном разрезе Воронцовского месторождения по буровым линиям 566 и 57:

1 – контур рудного тела; 2 – разрывные нарушения

Fig. 6. Primary halos of main elements: (a) Au, (b) Ag, (c) As, (d) Hg, (e) Sb, and (f) Pb in the combined cross section of the Vorontsovka deposit along the drilling lines 566 and 57:

1 – ore body outline; 2 – faults

ниями Sb, Hg и As. Сравнение разных частей рудно-ореольной зоны показывает, что в восточной области (ближе к Ауэрбаховскому массиву гранитоидов) наибольшее относительное накопление имеют Ag, Zn, Pb, Mn, Y, Mo, W, в центральной – Au, Cd, Bi, Tl, Cu, а в западной – Sb, Ba, As, Hg, Co, Ni, Sn. Накопление в ореолах восточной части зоны наряду с элементами верхнерудного уровня (Ag, Pb) элементов, характерных для нижних уровней сульфидного оруденения (Mo, W), позволяет заключить, что здесь эта зона сильно эродирована и на ранние, более высокотемпературные, ассоциации были наложены более поздние, низкотемпературные (с Ag, Pb).

Золоторудная минерализация и её происхождение. Для Воронцовского месторождения типичны тонкорассеянная золотосульфидная минерализация и микронный-субмикронный размер частиц самородного золота в As-пирите [3, 18, 23]. Мы предполагаем для умеренно-солёного (5–9,5 мас. % экв. NaCl), водно-углекислого Ca-, Na- и Mg-хлоридного рудоносного флюида, сформировавшего основную массу Au руд в карбонатных брекчиях [18, 22], магматогенную природу. Au-As-Sb-Hg-Tl оруденение во многом близко к эпитермальному (220–110 °C), глубина его формирования оценивается в 1,5–2 км [22].

Нами обоснован вывод об определяющем, вероятнее всего, преобладающем магматическом вкладе в образование золотоносных скарновых месторождений Турьинского рудного поля и Воронцовского золоторудного месторождения [3, 22]. Полученный для гидрослюд золотомышьяковых руд по $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст $391,1 \pm 4,9$ млн лет [3, 18] укладывается во временной диапазон становления магматических пород Ауэрбаховского массива и соответствует периоду внедрения гранодиоритов, завершающих интрузивный магматизм. Для Воронцовского месторождения предлагается трёхэтапная модель формирования руд. На первом этапе ($D_{1e_{1-2}}$) происходило вулканогенно-осадочное накопление сульфидов, Fe-оксидов и гидроксидов в виде рассеянной рудной минерализации в верхних частях вулканогенно-осадочных ритмов. На втором этапе (D_{1e_3})

внедрение плутонов и даек габбро-диорит-гранодиоритового комплекса вызывало скарнирование с образованием линз магнетитовых руд на контакте силикатных и карбонатных пород (при температуре, достигавшей 510 °C [18, 22]). Магматогенный флюид, обогащённый Fe, Zn, Pb, Au, Ag и S, перемещался далее к поверхности и попадал в зону пологого экранирующего контакта известняков с тонкослоистыми вулкано-терригенными породами, выполнявшего роль геохимического и петрофизического барьера, с отложением выше и, особенно, ниже него золотосульфидной и сульфосольно-полиметаллической ассоциации. На третьем этапе (D_{2ef_1}) произошёл дополнительный подток магматогенного флюида, обогащённого Hg, As и Sb. При разгрузке этого флюида, смешивавшегося с катагенными водами, были образованы золото-реальгар-антимонитовая минерализация карлинского типа в карбонатных породах и пирит-арсенопиритовая минерализация в вулканогенных флишоидах. В пострудный этап внедрились поздние, раннекаменноугольные дайки диабазов и лампрофиров.

Преобладающий в рудах Воронцовского месторождения субмикроскопический характер частиц самородного золота в As-пирите (наряду с развитием в нём изоморфного Au) сближает его с месторождениями типа Карлин [22, 23]. К другим признакам их сходства относятся: локализация в существенно карбонатном разрезе (с подчинённой долей кремнисто-терригенного и вулканогенного материала), нарушенном крутопадающими и пологими зонами разлома; аналогичные синрудные изменения: для известняков – окремнение (джаспероиды), а для терригенных пород – аргиллизация; широкое развитие сопровождающих и вмещающих рудные тела брекчий; наиболее характерные, помимо пирита, спутники самородного золота – реальгар и арсенопирит; золото-ртутно-таллиево-мышьяковый геохимический спектр руд; эпитермальность, малоглубинный характер минерализации; связь с внешними, удалёнными метасоматическими зонами скарново-порфировых рудно-магматических систем.



Заключение. Ранние рудные ассоциации Воронцовского золоторудного месторождения были сформированы при 510–240 °С (включая магнетитовые скарны и наложенную на них арсенопирит-сульфосольно-полиметаллическую ассоциацию), в отличие от поздней «карлинской» золото-(Fe, As, Hg)-сульфидно-кварцевой минерализации, которая была отложена при снижении температуры от ~ 350 до 100 °С [3, 18, 22]. Золотое оруденение во многом близко к эпitherмальному (220–110 °С) и формировалось на небольшой глубине. Магматогенные флюиды, несущие изотопы с глубинными метками, сформировали золотосодержащую сульфид-

ную минерализацию железо- и медноскарновых залежей района, а также, на периферии скарновых зон, при более низких температурах, – малосульфидную золоторудную минерализацию. По аналогии со штатом Невада мы ожидаем основные открытия золоторудных месторождений и родственных ему типов оруденения в линейных зонах (трендах) северо-западной ориентировки.

Мы благодарим руководство и геологическую службу предприятий уральского филиала НПО «Полиметалл» за содействие в проведении полевых работ. Работа выполнена в рамках государственного задания ИГЕМ РАН № 121041500220-0.

Список литературы

1. Баранников А. Г., Угрюмов А. Н. Проблемы эндогенного золотого рудогенеза мезозоя Урала // Литосфера. – 2003. – № 1. – С. 13–26.
2. Бобров В. Н. Воронцовский клад. Поиски и открытия. – Карпинск : Печатный дом «Перспектива», 2013. – 32 с.
3. Викентьев И. В., Тюкова Е. Э., Мурзин В. В., Викентьева О. В., Павлов Л. Г. Воронцовское золоторудное месторождение. Геология, формы золота, генезис. – Екатеринбург : Форт Диалог-Исеть, 2016. – 206 с.
4. ГИС-Атлас «Недра России». – URL: <https://vsegei.ru/ru/info/atlaspacket/> (дата обращения: 03.11.2023).
5. Иванов К. С., Пучков В. Н. Поперечная (субширотная) зональность Южного Урала: причины и время возникновения // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2022. – Т. 504. – № 2. – С. 134–139.
6. Минина О. В. Ауэрбаховская комплексная рудно-магматическая система на Среднем Урале // Отечественная геология. – 1994. – № 7. – С. 17–23.
7. Мурзин В. В., Викентьев И. В., Азовскова О. Б., Ровнушкин М. Ю., Стрелецкая М. В., Блоков В. И., Викентьева О. В. Изотопный состав свинца даек и руд Воронцовского золоторудного месторождения (Северный Урал) // Литосфера. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 386–396.
8. Мурзин В. В., Сазонов В. Н., Ронкин Ю. Л. Модель формирования Воронцовского золоторудного месторождения на Урале (карлинский тип): новые данные и проблемы // Литосфера. – 2010. – № 6. – С. 66–73.
9. Олли А. И. К вопросу о широтной тектонической поясности Урала // Советская геология. – 1966. – № 7. – С. 36–44.
10. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа : Дизайн-ПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
11. Сазонов В. Н., Мурзин В. В., Григорьев Н. А. Воронцовское золоторудное месторождение – пример минерализации карлинского типа на Урале // Геология рудных месторождений. – 1998. – Т. 40, № 2. – С. 157–170.
12. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Коротеев В. А., Поленов Ю. А. Проблема «молодого» эндогенного золота на Урале // Литосфера. – 2005. – № 1. – С. 128–134.
13. Червяковский Г. Ф., Таврин И. Ф., Ярош А. Я., Ананьева Е. М., Дорофеев Б. Ф., Радионов П. Ф. Широтные и субширотные структуры Урала // Советская геология. – 1966. – № 11. – С. 34–43.
14. Черемисин А. А., Злотник-Хоткевич А. Г. Воронцовское золоторудное месторождение // Руды и металлы. – 1997. – № 1. – С. 59–70.
15. Almeida C. M., Olivo G. R., Chouinard A., Weakly Ch., Poirier G. Mineral paragenesis, alteration, and geochemistry of the two types of gold ore and the host rocks from the Carlin-type deposits in the southern part of the Goldstrike Property, Northern Nevada: implications for sources of ore-forming elements,

- ore genesis, and mineral exploration // *Economic Geology*. – 2010. – V. 105, № 5. – P. 971–1004. – DOI: <https://doi.org/10.2113/econgeo.105.5.971>.
16. Cline J. S., Hofstra F. F., Muntean J. L., Tosdal R. M., Hickey K. A. Carlin-type gold deposits in Nevada: critical geologic characteristics and viable models // *Economic Geology*. – 2005. – 100th Anniversary Volume. – P. 451–484.
 17. Fleet M. E., Mumin A. H. Gold-bearing arsenian pyrite and marcasite and arsenopyrite from Carlin Trend gold deposits and laboratory synthesis // *American Mineralogist*. – 1997. – V. 82. – P. 182–193.
 18. Murzin V. V., Naumov E. A., Azovskova O. B., Varlamov D. A., Rovnushkin M. Yu., Pirajno F. The Vorontsovskoe Au-Hg-As ore deposit (Northern Urals, Russia): Geological setting, ore mineralogy, geochemistry, geochronology and genetic model // *Ore Geology Reviews*. – 2017. – V. 85. – P. 271–298.
 19. Ressel M. W., Henry C. D. Igneous geology of the Carlin Trend, Nevada: development of the eocene plutonic complex and significance for Carlin-type gold deposits // *Economic Geology*. – 2006. – V. 101, № 2. – P. 347–383.
 20. Sazonov V. N., Herk A. N., Boorder H. Spatial and temporal distribution of gold deposits in the Urals // *Economic Geology*. – 2001. – V. 96. – P. 685–703.
 21. Vikentyev I., Vikent'eva O., Blokov V., Azovskova O., Rovnushkin M., Murzin V. Mafic dykes of the Vorontsovka Carlin-style gold deposit and their role in ore control, Northern Urals, Russia // *Minerals*. – 2023 (in press).
 22. Vikentyev I. V., Tyukova E. E., Vikent'eva O. V., Chugaev A. V., Dubinina E. O., Prokofiev V. Yu., Murzin V. V. Vorontsovka Carlin-style gold deposit in the North Urals: mineralogy, fluid inclusion and isotope data for genetic model // *Chemical Geology*. – 2019. – V. 508. – P. 144–166.
 23. Vikentyev I., Vikent'eva O., Tyukova E., Nikolsky M., Ivanova J., Sidorova N., Tonkacheev D., Abramova V., Blokov V., Spirina A., Borisova D., Palyanova G. Noble metal speciations in hydrothermal sulphides // *Minerals*. – 2021. – V. 11, Paper 488. – P. 1–69.

References

1. Barannikov A. G., Ugryumov A. N. Problemy endogenno zolotogo rudogeneza mezozoya Urala [Problems of endogenous gold oreforming of Urals mesozoic], *Litosfera [Lithosphere]*, 2003, No 1, pp. 13–26. (In Russ.).
2. Bobrov V. N. Vorontsovskii klad. Poiski i otkrytiya [Vorontsov treasure. Searches and discoveries], Karpinsk, Perspektiva Printing House Publ., 2013, 32 p.
3. Vikent'ev I. V., Tyukova E. E., Murzin V. V., Vikent'eva O. V., Pavlov L. G. Vorontsovskoe zolotorudnoe mestorozhdenie. Geologiya, formy zolota, genesis [Vorontsov gold deposit. Geology, forms of gold, genesis], Ekaterinburg, Fort Dialog-Iset' Publ., 2016, 206 p.
4. GIS-Atlas “Nedra Rossii” [GIS Atlas “Russian mineral resources”], available at: <https://vsegei.ru/ru/info/atlaspacket/> (Accessed: 03.11.2023).
5. Ivanov K. S., Puchkov V. N. Poperechnaya (subshirotnaya) zonal'nost' Yuzhnogo Urala: prichiny i vremya vozniknoveniya [Transverse (sublatitudinal) zonality of the Urals: causes and time of occurrence], *Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o Zemle [Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences]*, 2022, V. 504, No 2, pp. 134–139. (In Russ.).
6. Minina O. V. Auerbakhovskaya kompleksnaya rudno-magmaticheskaya sistema na Srednem Urale [Auerbakhovskaya complex ore-magmatic system in the Middle Urals], *Otechestvennaya geologiya [National Geology]*, 1994, No 7, pp. 17–23. (In Russ.).
7. Murzin V. V., Vikent'ev I. V., Azovskova O. B., Rovnushkin M. Yu., Streletskaya M. V., Blokov V. I., Vikent'eva O. V. Izotopnyi sostav svintsya daek i rud Vorontsovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Severnnyi Ural) [Isotopic composition of lead from dikes and ores of the Vorontsovskoe gold deposit (Northern Urals)], *Litosfera [Lithosphere]*, 2020, V. 20, No 3, pp. 386–396. (In Russ.).
8. Murzin V. V., Sazonov V. N., Ronkin Yu. L. Model' formirovaniya Vorontsovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya na Urale (karlinskii tip): novye dannye i problemy [A formation model of the Vorontsovskoe gold deposit in the Urals (Carline type): New data and problems], *Litosfera [Lithosphere]*, 2010, No 6, pp. 66–73. (In Russ.).
9. Olli A. I. K voprosu o shirotnoi tektonicheskoi poyasnosti Urala [On the problem of the latitudinal tectonic belt of the Urals], *Sovetskaya geologiya [Soviet geology]*, 1966, No 7, pp. 36–44. (In Russ.).
10. Puchkov V. N. Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and Cis-Urals (actual issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics



- and metallogeny)], Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 2010, 280 p.
11. Sazonov V. N., Murzin V. V., Grigor'ev N. A. Vorontsovskoe zolotorudnoe mestorozhdenie – primer mineralizatsii karlinskogo tipa na Urale [Vorontsov gold deposit – an example of mineralization of the Carlin type in the Urals], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 1998, V. 40, No 2, pp. 157–170. (In Russ.).
 12. Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A., Polenov Yu. A. Problema “molodogo” endogenogo zolota na Urale [To the problem of “young” hypogenic gold in the Urals], *Litosfera* [Lithosphere], 2005, No 1, pp. 128–134. (In Russ.).
 13. Chervyakovskii G. F., Tavrin I. F., Yarosh A. Ya., Anan'eva E. M., Dorofeev B. F., Radionov P. F. Shirotnye i subshirotnye struktury Urala [Latitudinal and sublatitudinal structures of the Urals], *Sovetskaya geologiya* [Soviet geology], 1966, No 11, pp. 34–43. (In Russ.).
 14. Cheremisin A. A., Zlotnik-Khotkevich A. G. Vorontsovskoe zolotorudnoe mestorozhdenie [Vorontsovskoye gold deposit], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 1997, No 1, pp. 59–70. (In Russ.).
 15. Almeida C. M., Olivo G. R., Chouinard A., Weakly Ch., Poirier G. Mineral paragenesis, alteration, and geochemistry of the two types of gold ore and the host rocks from the Carlin-type deposits in the southern part of the Goldstrike Property, Northern Nevada: implications for sources of ore-forming elements, ore genesis, and mineral exploration, *Economic Geology*, 2010, V. 105, No 5, pp. 971–1004, DOI: <https://doi.org/10.2113/econgeo.105.5.971>.
 16. Cline J. S., Hofstra F. F., Muntean J. L., Tosdal R. M., Hickey K. A. Carlin-type gold deposits in Nevada: critical geologic characteristics and viable models, *Economic Geology*, 2005, 100th Anniversary Volume, pp. 451–484.
 17. Fleet M. E., Mumin A. H. Gold-bearing arsenian pyrite and marcasite and arsenopyrite from Carlin Trend gold deposits and laboratory synthesis, *American Mineralogist*, 1997, V. 82, pp. 182–193.
 18. Murzin V. V., Naumov E. A., Azovskova O. B., Varlamov D. A., Rovnushkin M. Yu., Pirajno F. The Vorontsovskoe Au-Hg-As ore deposit (Northern Urals, Russia): Geological setting, ore mineralogy, geochemistry, geochronology and genetic model, *Ore Geology Reviews*, 2017, V. 85, pp. 271–298.
 19. Ressel M. W., Henry C. D. Igneous geology of the Carlin Trend, Nevada: development of the eocene plutonic complex and significance for Carlin-type gold deposits, *Economic Geology*, 2006, V. 101, No 2, pp. 347–383.
 20. Sazonov V. N., Herk A. N., Boorder H. Spatial and temporal distribution of gold deposits in the Urals, *Economic Geology*, 2001, V. 96, pp. 685–703.
 21. Vikentyev I., Vikent'eva O., Blokov V., Azovskova O., Rovnushkin M., Murzin V. Mafic dykes of the Vorontsovka Carlin-style gold deposit and their role in ore control, Northern Urals, Russia, *Minerals*, 2023 (in press).
 22. Vikentyev I. V., Tyukova E. E., Vikent'eva O. V., Chugaev A. V., Dubinina E. O., Prokofiev V. Yu., Murzin V. V. Vorontsovka Carlin-style gold deposit in the North Urals: mineralogy, fluid inclusion and isotope data for genetic model, *Chemical Geology*, 2019, V. 508, pp. 144–166.
 23. Vikentyev I., Vikent'eva O., Tyukova E., Nikolsky M., Ivanova J., Sidorova N., Tonkacheev D., Abramova V., Blokov V., Spirina A., Borisova D., Palyanova G. Noble metal speciations in hydrothermal sulphides, *Minerals*, 2021, V. 11, Paper 488, pp. 1–69.

Викентьев Илья Владимирович (vikentevilya@gmail.com)

доктор геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник¹

Викентьева Ольга Владимировна кандидат геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник¹

Блоков Вячеслав Игоревич младший научный сотрудник¹, зам. заведующего отделом²

Выхристенко Роман Иванович младший научный сотрудник¹

Юшко Надежда Александровна кандидат геол.-минерал. наук, заведующая отделом²

Криночкин Лев Алексеевич доктор геол.-минерал. наук, заведующий отделом²

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), г. Москва, Россия

² Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ), г. Москва, Россия



Золото-мышьяково-сульфидное оруденение Каянчинской площади (Горный Алтай)

Кряжев С. Г.¹, Двуреченская С. С.¹, Окулов А. В.¹, Федак С. И.²

¹ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ), г. Москва, Россия

² ОСП «ГАЭ» АО «Сибирское ПГО», с. Малоенисейское, Россия

Аннотация. На Горном Алтае впервые выявлено оруденение золото-мышьяково-сульфидного типа. Минерализованные зоны ассоциируют с дайками лампрофиров и контролируются крутопадающими нарушениями, пересекающими терригенно-карбонатно-вулканогенную толщу венд-кембрийского возраста. Рудные тела локализованы в горизонтах метавулканитов основного состава, заключённых между слоями известняков. Околорудные метасоматиты сложены парагенезисом альбита, магнезиосидерита и серицита. Золотоносность связана с тонкой вкрапленностью мышьяковистого пирита и арсенопирита. Золото в первичных и окисленных рудах субмикроскопическое и тонкодисперсное. Изотопный состав серы сульфидов ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}} = 0 \text{ ‰}$) указывает на связь оруденения с глубинным магматическим источником. В качестве аналога рассмотрено месторождение Кокпатас (Западный Узбекистан).

Ключевые слова: Горный Алтай, Каянча, золото, листвениты, арсенопирит.

Для цитирования: Кряжев С. Г., Двуреченская С. С., Окулов А. В., Федак С. И. Золото-мышьяково-сульфидное оруденение Каянчинской площади (Горный Алтай). Руды и металлы. 2023. № 4. С. 36–51. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10018.

Gold-arsenic sulfide mineralization of the Kayancha area, Gorny Altai

Kryazhev S. G.¹, Dvurechenskaya S. S.¹, Okulov A. V.¹, Fedak S. I.²

¹ Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals (TSNIGRI), Moscow, Russia

² OSP “GAE” JSC “Siberian PGO”, village of Maloeniseyskoye, Russia

Annotation. Gold-arsenic sulfide type mineralization has first been revealed for the Gorny Altai region. The mineralized zones associate with lamprophyre dikes and are controlled by steeply dipping faults transecting the Vendian-Cambrian terrigenous-carbonate-volcanogenic sequence. The ore bodies are localized in horizons of basic metavolcanic rocks, enclosed between limestone layers. The near-ore metasomatites are composed of the paragenesis of albite, magnesiociderite, and sericite. The gold content is related to fine dissemination of arsenic pyrite and arsenopyrite. Gold in the primary and oxidized ores is submicroscopic and finely dispersed. The sulfur isotopic composition of the sulfides ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}} = 0 \text{ ‰}$) indicates an association of the mineralization with a deep-seated magmatic source. The Kokpatas gold deposit in western Uzbekistan is considered as an analogue.

Keywords: Gorny Altai, Kayancha, gold, listvenite, arsenopyrite.

For citation: Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Okulov A. V., Fedak S. I. Gold-arsenic sulfide mineralization of the Kayancha area, Gorny Altai. Ores and metals, 2023, № 4, pp. 36–51. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10018.



Введение. Каянчинская площадь расположена на территории листа М-45-II, в географическом плане она находится на северном завершении структур Горного Алтая, в области их перехода к Предалтайской равнине. На объекте в период 2017–2019 гг. выполнялись поисковые работы на рудное золото. В тектоническом плане [6] Каянчинская площадь (рис. 1) приурочена к зоне сочленения двух структурно-формационных зон – Каимско-Аламбайской (западная часть) и Бийско-Катунской (восточная часть). В пределах площади и её обрамления данным структурам соответствуют Каимский аллохтон и Катунский блок одноимённого Катунского параавтохтона. Граница блоков проходит по зоне крупного Каянчинского надвига (В. А. Кривчиков и др., 2001 г.). Блоки различаются по геологическому строению, возрасту и составу интрузивных пород, а также по металлогении.

Катунский блок сложен породами эсконгинской и манжерокской свит раннего кембрия и усть-семинской свиты среднего кембрия. Отложения эсконгинской свиты в пределах площади представлены известняками, доломитами, сланцами с прослоями базальтов, алевролитов и песчаников, в разрезе манжерокской свиты преобладают базальты; усть-семинская свита состоит из базальтов, трахибазальтов, туфов и туффитов, лавобрекчий, реже – из алевролитов и прослоев известняков. Контакты свит тектонические. Интрузивные породы – габбро, диориты, кварцевые диориты и гранодиориты – относятся к различным фазам усть-беловского габбро-диорит-гранодиоритового комплекса позднего девона. Эти породы слагают малые интрузии и дайки, а также Рыбалкинский полифазный интрузивный массив. В пределах Катунского блока проявлено оруденение золото-сульфидно-кварцевого типа (участки Айский и Сухой Лог) в виде разобщённых маломощных зон прожилково-вкрапленной минерализации (кварц, пирит, пирротин) с мелким самородным золотом. Зоны сопровождаются комплексными аномалиями Au, As, Bi, Te, Cu, Zn, Pb и Sb.

Каимский блок сформирован отложениями каимской и каянчинской свит венда–ран-

него кембрия. Отложения каянчинской свиты представлены вулканитами основного состава, известняками, доломитами с редкими прослоями углеродистых сланцев. В составе отложений каимской свиты преобладают сланцы при подчинённой роли базальтов и известняков, отмечаются отдельные маломощные прослои и линзы силицитов. Площадь блока осложнена серией параллельных веерообразных надвиговых зон, которые сопровождаются милонитизацией и катаклазом. Вдоль надвиговых зон проявлены тела габбро, габбро-диоритов, апогипербазитовых серпентинитов, пироксенитов и амфиболитов мафит-ультрамафитового (офиолитового) комплекса венда–раннего кембрия. Они образуют линзовидные и линейно вытянутые тела различной протяжённости (до 3 км) и видимой мощности (до 1 км). Отложения каимской свиты прорваны крупным массивом щелочных лейкогранитов третьей фазы айского сиенит-граносиенит-гранитного комплекса раннего триаса (Айский массив в северной части площади). В южной части отложения каянчинской свиты прорваны небольшим телом щелочных гранитов того же комплекса, фиксируются дайковые тела субщелочных гранит-порфиоров, монцогаббро, лампрофиоров. Вдоль контактов гранитоидов и карбонатных пород проявлены тела скарнов. На площади Каимского блока выявлено оруденение золото-мышьяково-сульфидного типа (участок Верхнекаянчинский). Это мощные зоны сульфидной вкрапленности с содержаниями Au 1–10 г/т, которые сопровождаются первичными и вторичными аномалиями Au, As, Sb. Подобное оруденение на территории Алтая установлено впервые, с ним связываются основные перспективы дальнейших поисковых работ. В статье приведены первые результаты выполненных авторами комплексных минералого-геохимических исследований золотоносных образований Верхнекаянчинского участка.

Образцы для исследований были отображены авторами в процессе документации керн скважин 55–57, вскрывших первичные руды и околорудные метасоматиты (рис. 2). Керн опробовали методом пунктирной борозды. Окис-

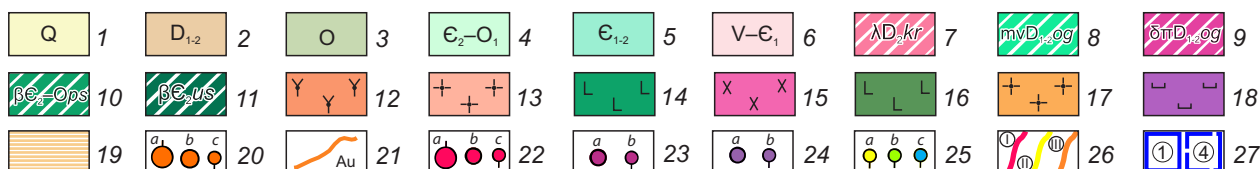
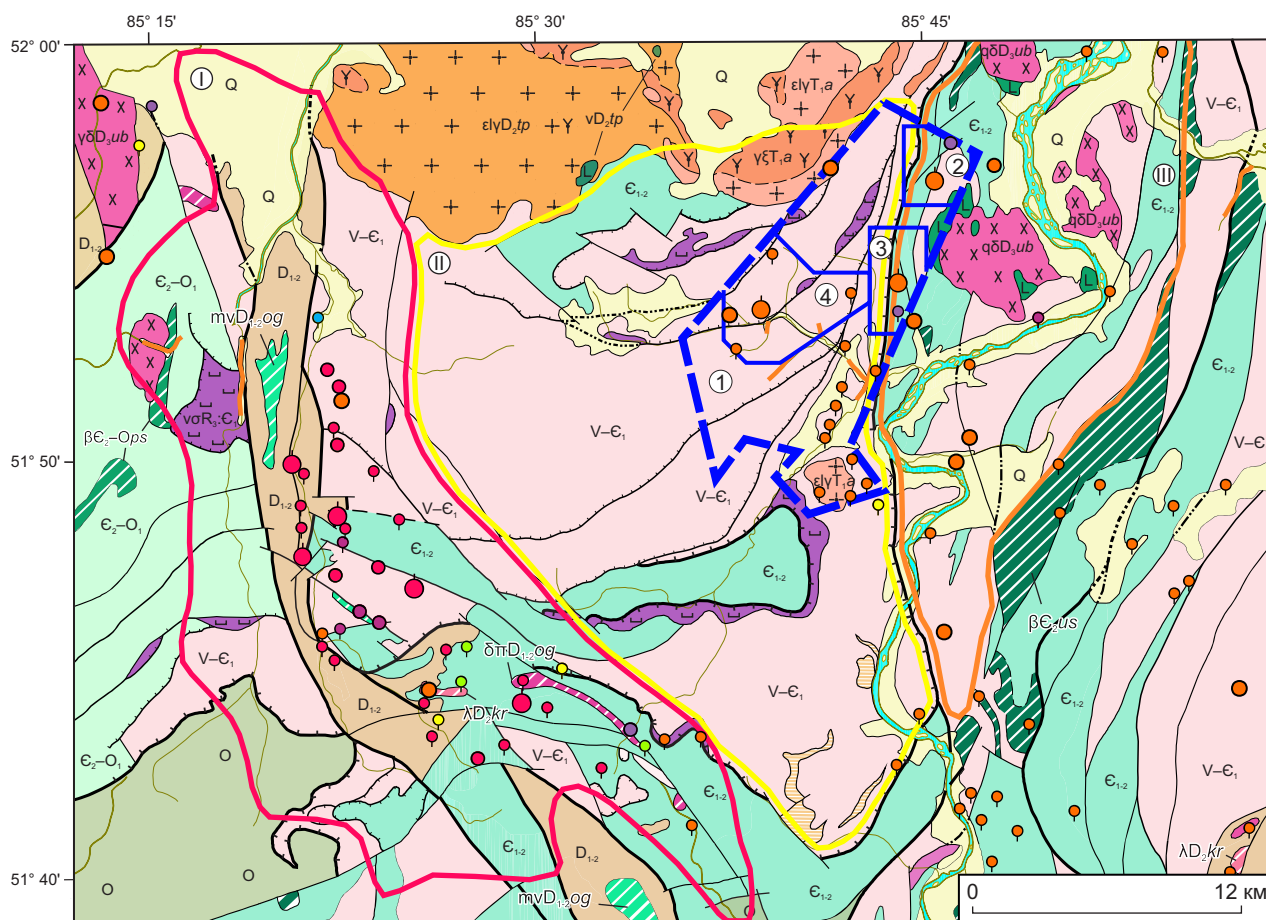


Рис. 1. Схематическая геологическая карта прогнозируемого Каянчинского золоторудного узла и его обрамления, по материалам (В. А. Кривчиков и др., 2001 г.) с уточнениями и изменениями авторов. Металлогеническое районирование дано в авторском варианте, с использованием данных [6]:

отложения: 1 – четвертичные нерасчленённые; 2 – ранне-среднедевонские (пестроцветные песчаники, алевролиты, известняки, базальты, андезиты, редко дациты, туфы, тефроиды, туффиты); 3 – ранне-позднеордовикские (пестроцветные и табачно-зелёные песчаники, алевролиты, известняки, мергели, гравелиты, конгломераты); 4 – средний кембрий–ранний ордовик (пестроцветные песчаники, алевролиты, филлиты, туффиты); 5 – ранне-среднекембрийские (тёмно-серые, табачно-зелёные алевролиты, песчаники, известняки, афировые и пироксен-порфировые базальты, трахибазальты и их туфы, лавобрекчии, силицилиты, тефроиды, туффиты); 6 – венд–ранний кембрий (известняки, доломиты, силицилиты, филлиты, сланцы, алевролиты и метаалевролиты, туффиты, песчаники, скуднопорфировые базальты, долериты); 7 – средний девон, куратинский комплекс, штоки, линейные тела риолитов (ΛD₂kr); ранний–средний девон, онгудайский комплекс, жерловые образования: 8 – микрогаббро (mvD₁₋₂og), 9 – диорит-порфириды (δπD₁₋₂og); 10 – средний кембрий–ранний ордовик, песчанский комплекс, силлы долеритов (βЄ₂-Ops); 11 – средний кембрий, усть-семиинский комплекс, штоки базальтов, долеритов (βЄ₂us); ранний триас, айский комплекс: 12 – вторая фаза, граносиениты (γξT₁a), 13 – третья фаза, субщелочные лейкограниты биотитовые и двуслюдяные, аляскиты (ελγT₁a); поздний девон, усть-беловский комплекс: 14 –



первая фаза, габбро (vD_3ub), 15 – вторая фаза, гранодиориты амфибол-биотитовые, кварцевые диориты ($\gamma\delta, q\delta D_3ub$); средний девон, топольнинская ассоциация: 16 – первая фаза, амфибол-пироксеновые диориты (vD_2tp), 17 – четвёртая фаза, субщелочные лейкограниты ($\epsilon\gamma D_2tp$); 18 – позднерипейско(?)–раннекембрийские офиолитовые образования ($\nu\sigma R_3: \mathbb{C}_1$), апоперидотиты, базальты, габбро, пироксениты; 19 – чаустинский высокобарический комплекс кристаллосланцев, гнейсов, амфиболитов ($ks, a(PR_2: PZ_3)\epsilon$); 20 – рудопоявления с апробированными ресурсами (a), рудопоявления (b), пункты минерализации золота (c); 21 – россыпи золота промышленные мелкие; 22 – мелкие месторождения (a), рудопоявления (b), пункты минерализации ртути (c); 23 – рудопоявления (a), пункты минерализации (b) урана; 24 – рудопоявления (a), пункты минерализации (b) железа; 25 – рудопоявления серебра (a), меди (b), мышьяка (c); 26 – металлогеническое районирование: сарасинская золото-ртутнорудная зона (I), Каянчинский прогнозируемый золоторудный узел (II), предлагаемый к выделению Айско-Катунский золоторудный узел (III); 27 – контуры поисковых площадей и участков детальных работ: Каянчинская площадь (1), участки Айский (2), Сухой Лог (3), Верхнекаянчинский (4)

Fig. 1. Schematic geological map of the Kayancha forecasted gold ore cluster and its adjacent territories. Modified after Krivchikov et al., 2001. Metallogenic zoning presented in the author's version, using data from [6]:

Stratified deposits: 1 – Quaternary, undivided; 2 – Early–Middle Devonian (varicolored sandstones, siltstones, limestones, basalts, andesites, rarely dacites, tuffs, tephroids, tuffites); 3 – Early–Late Ordovician (varicolored and tobacco-green sandstones, siltstones, limestones, marls, gravelstones, conglomerates); 4 – Middle Cambrian–Early Ordovician (varicolored sandstones, siltstones, phyllites, tuffites); 5 – Early–Middle Cambrian (dark gray, tobacco-green siltstones, sandstones, limestones, aphyric and pyroxene-porphiry basalts, trachybasalts and their tuffs, lava breccias, silicilites, tephroids, tuffites); 6 – Vendian–Early Cambrian (limestones, dolomites, silicilites, phyllites, shales, siltstones and metasiltstones, tuffites, sandstones, rarely-porphiry basalts, dolerites); subvolcanic and extrusive formations: 7 – Middle Devonian, Kurata complex: rhyolite stocks and linear bodies (λD_2kr); Early–Middle Devonian, Ongudai complex, volcanic vent formations: 8 – microgabbro ($mvD_{1-2}og$), 9 – diorite-porphyrates ($\delta\pi D_{1-2}og$); 10 – Middle Cambrian–Early Ordovician; Peschanka complex: dolerite sills ($\beta\mathbb{C}_2-ops$); 11 – Middle Cambrian, Ust-Seminsky complex: stocks of basalts, dolerites ($\beta\mathbb{C}_2us$); plutonic associations: Early Triassic, Ai complex: 12 – second phase, granosyenites ($\gamma\zeta T_1a$), 13 – third phase, biotite and two-mica subalkaline leucogranites, alaskites ($\epsilon\gamma\Gamma_1a$); Late Devonian, Ust-Belovsky complex: 14 – first phase, gabbro (vD_3ub), 15 – second phase, amphibole-biotite granodiorites, quartz diorites ($\gamma\delta, q\delta D_3ub$); Middle Devonian, Topolninsky association: 16 – first phase, amphibole-pyroxene diorites (vD_2tp), 17 – fourth phase, subalkaline leucogranites ($\epsilon\gamma D_2tp$); 18 – Late Riphean(?) – Early Cambrian ophiolitic association ($\nu\sigma R_3: \mathbb{C}_1$): apoperidotites, basalts, gabbro, pyroxenites; 19 – Chaustinsky high-pressure complex of crystalline schists, gneisses, amphibolites ($ks, a(PR_2: PZ_3)\epsilon$); 20 – gold ore mineralization: (a) prospects with attested forecasted resources, (b) other ore occurrences, (c) mineralization points; 21 – small economic-grade gold placers; 22 – mercury mineralization: (a) small ore deposits, (b) ore occurrences, (c) mineralization points; 23 – uranium mineralization: (a) ore occurrences, (b) mineralization points; 24 – iron ore mineralization: (a) ore occurrences, (b) mineralization points; 25 – other metals ore occurrences: (a) silver, (b) copper, (c) arsenic; 26 – metallogenic regionalization: (I) Sarasinsky gold-mercury ore zone, (II) Kayancha forecasted gold ore cluster, (III) Ai-Katun gold ore cluster proposed for allocation; 27 – outlines of prospecting areas and detailed work areas: (1) Kayancha area, (2) Ai site, (3) Sukhoi Log site, and (4) Verkhnekayanchinsky site

ленные руды изучены с поверхности по полотно канавы № 247, навески для минералогических и химических анализов массой 1 кг были отквартованы из хвостов рядового опробования.

Исследования включали изучение прозрачных шлифов и аншлифов, минералогический рентгенофазовый анализ тяжёлой и лёгкой фракций протолок. Составы минералов уточнены в ЦНИГРИ при помощи сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA, оснащённого двумя энергодисперсионными спек-

трометрами (EDSEDAX Element 30), выполненными на основе полупроводникового кремний-дрейфового детектора (SDD). Нижний предел обнаружения для большинства химических элементов составлял 0,1 мас. %.

Количественные химические анализы пород, метасоматитов и руд выполнены в аккредитованной лаборатории ООО «Стюарт Геокемикл энд Эссей». Содержания основных элементов определены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS) после разложения в царской водке, содер-

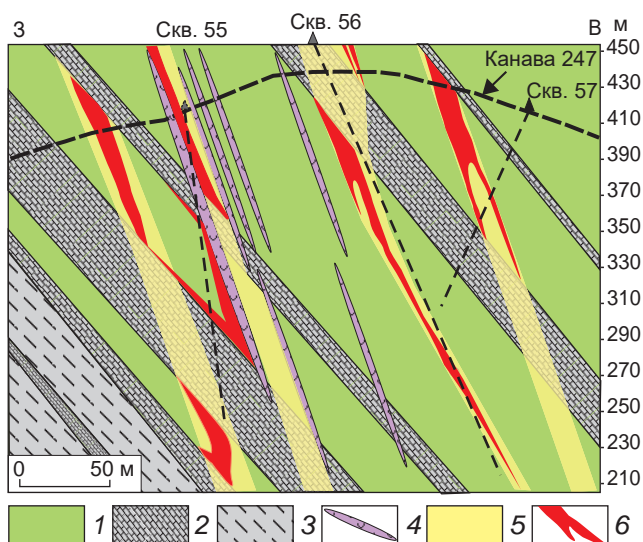


Рис. 2. Схематический разрез центральной части Верхнекаянчинского участка:

1 – метавулканииты основного состава; 2 – известняки; 3 – углеродисто-сланцевые сланцы; 4 – дайки диоритов, габбродиоритов, лампрофиров; 5 – рудоконтролирующие тектонические зоны; 6 – золотосульфидная минерализация

Fig. 2. Schematic section across the central portion of the Verkhnekayanchinsky site:

1 – basic metavolcanites; 2 – limestones; 3 – carbonaceous-micaceous shales; 4 – diorite, gabbrodiorite, and lamprophyre dikes; 5 – ore-controlling tectonic zones; 6 – gold-sulfide mineralization

жания золота уточнены пробирным анализом навески 50 г с последующим определением Au методом атомно-эмиссионной спектрометрии.

Изотопный состав сульфидной серы определен в ЦНИГРИ с точностью $\pm 0,2$ ‰ по стандартной методике [5]. В качестве эталона использовали лабораторный стандартный образец «Пирит Гайского месторождения» с $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}} = +0,7$ ‰.

Результаты исследований. Первичные руды и метасоматиты Верхнекаянчинского участка представлены изменёнными и минерализованными вулканитами основного состава (табл. 1, рис. 3).

Исходные рудовмещающие породы в результате прерудного метаморфизма превращены в альбит-стильпномелан-биотит-хлоритовые сланцы с вкрапленностью сфена и иль-

менита. Согласно со сланцеватостью развиваются маломощные кальцитовые прожилки и редкая линзовидно-вкрапленная пирротин-пиритовая минерализация. Судя по минеральному и химическому составу сланцев, протолитом служили субщелочные высокотитанистые базальтоиды.

Околорудные метасоматиты весьма выдержанного и своеобразного состава. Они сложены тонкозернистым агрегатом альбита и магнезиального сидерита с примесью тонкочешуйчатой калиевой слюды. Метасоматический кварц отсутствует. Зоны развития метасоматитов отчётливо выделяются благодаря характерному осветлению вулканитов, обусловленному замещением тёмноцветных железистых минералов карбонатами. В осевых частях метасоматических зон развиты кварц-альбит-анкеритовые и альбит-анкеритовые прожилки и интенсивная вкрапленная сульфидная минерализация (рис. 4).

Под микроскопом метасоматиты представляют собой тонкозернистый агрегат карбонат-альбитового состава с рассеянными тонкими чешуйками серицита и криптозернистыми полосовидными агрегатами рутила. Структура пород аллотриоморфнозернистая, текстура массивная, полосчатая, в осевых зонах с сульфидной минерализацией – плейчатая, катаклазированная и брекчиевидная. Состав метасоматитов в осевых зонах, %: альбит 40–60, сидерит 20–30, серицит 10–20, рутил 1–2, сульфиды 3–5 (до 10), кварц (в прожилках) 1–2.

По данным рентгеноспектрального микроанализа, сидерит, слагающий основную массу метасоматита, – магнезиальная разновидность с эмпирической формулой $\text{Fe}_{0,85}\text{Mg}_{0,15}[\text{CO}_3]$. В прожилках находится карбонат – анкерит с эмпирической формулой $\text{Ca}(\text{Fe}_{0,55}\text{Mg}_{0,45})[\text{CO}_3]$.

Рассматриваемые породы можно определить как листвениты – продукты низкотемпературных изменений пород основного состава под действием углекислотных флюидов. Примечательно, что по содержанию железа руды и метасоматиты не отличаются от вмещающих вулканитов, т. е. в процессе метасоматизма изменяются только минеральные формы этого элемента. Сравнение составов исход-



Табл. 1. Вещественный состав первичных руд и метасоматитов

Table 1. Composition of the primary ores and metasomatites

№ пробы	c56/ВМ*	c56/197,5	c56/207,4	c56/207,6	c55/13,4	c55/66	c57/54,2	c57/70,5
Аu, г/т (пробирный)	0,002	0,29	0,4	1,14	0,25	0,55	0,21	< 0,1
<i>Минералы</i>	<i>Содержание, %</i>							
Кварц	-	-	1	2	Следы	-	-	-
Альбит	40	45	60	55	40	60	28	50
Серицит	-	10	13	10	30	15	15	21
Анкерит	-	25	3	7	-	-	18	7
Сидерит	-	10	16	16	26	18	3	18
Кальцит	5	3	-	-	-	-	27	-
Апатит	1	2	1	2	-	-	-	-
Рутил, сфен	4	3	2	2	1	1	1	1
Хлорит	25	-	-	-	-	-	-	-
Бiotит, стильпномелан	25	-	-	-	-	-	-	-
Пирит	-	1,5	3,5	5	2,5	5,5	5,5	2,5
Арсенопирит	-	0,5	0,5	1	0,5	0,5	2,5	0,5
Халькопирит	-	-	-	Следы	Следы	-	-	-
Тетраэдрит	-	-	-	Следы	-	-	-	-
Золото	-	-	-	Ед. знаки	-	-	-	-
<i>Элементы</i>	<i>Содержание, г/т (ICP MS)</i>							
Ag	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0	0,1	0,1
As	5,8	1958,7	2731,6	6941,5	1344,1	3337,6	> 10 000	1682,4
Zn	113	116	113	98	94	76	95	109
Bi	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0
Sb	0,3	9,8	23,3	106,8	60,5	19,7	31,2	9,3
Cu	55,2	87,3	84,1	221	136,4	26,4	36,1	44,4
Pb	0,9	1,7	2,3	3,3	4,2	1,4	4,6	1,6
Mo	1,4	1,4	1	1,1	1,2	1,4	1,7	1,4
Te	< 0,01	0	0,1	0,1	0,1	0	0	0
Co	44,3	45,7	42,2	33,1	47,7	38,8	28,5	11,2
Cr	113	6	5	7	17	12	9	3
Hg	< 0,01	0	0	0	0	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ni	104,1	63,1	74,1	72,7	117,6	75,7	50,7	5,2
W	0,2	0,7	0,4	0,5	1,5	0,7	0,5	0,3
Fe (%)	8,1	8,9	8,4	9	8,4	7,2	6,2	6,3

Примечание. В пробу c56/ВМ* объединены вмещающие метавулканисты, отобранные из керна скважины № 56 в интервалах 140–170 и 240–260 м.

ных пород и метасоматитов показывает, что в рудах вместе с золотом накапливаются только As и Sb, в небольшой степени – Ag и Cu. Отношение Au/Ag около 3.

Сульфиды в метасоматитах представлены преимущественно кубическими кристаллами

мышьяковистого пирита (As в среднем около 0,5 мас. %), мелкими ромбическими и игольчатыми кристаллами арсенопирита. Размеры отдельных кристаллов сульфидов от десятых до сотых долей миллиметра. На участках с наиболее интенсивной минерализацией сульфидов

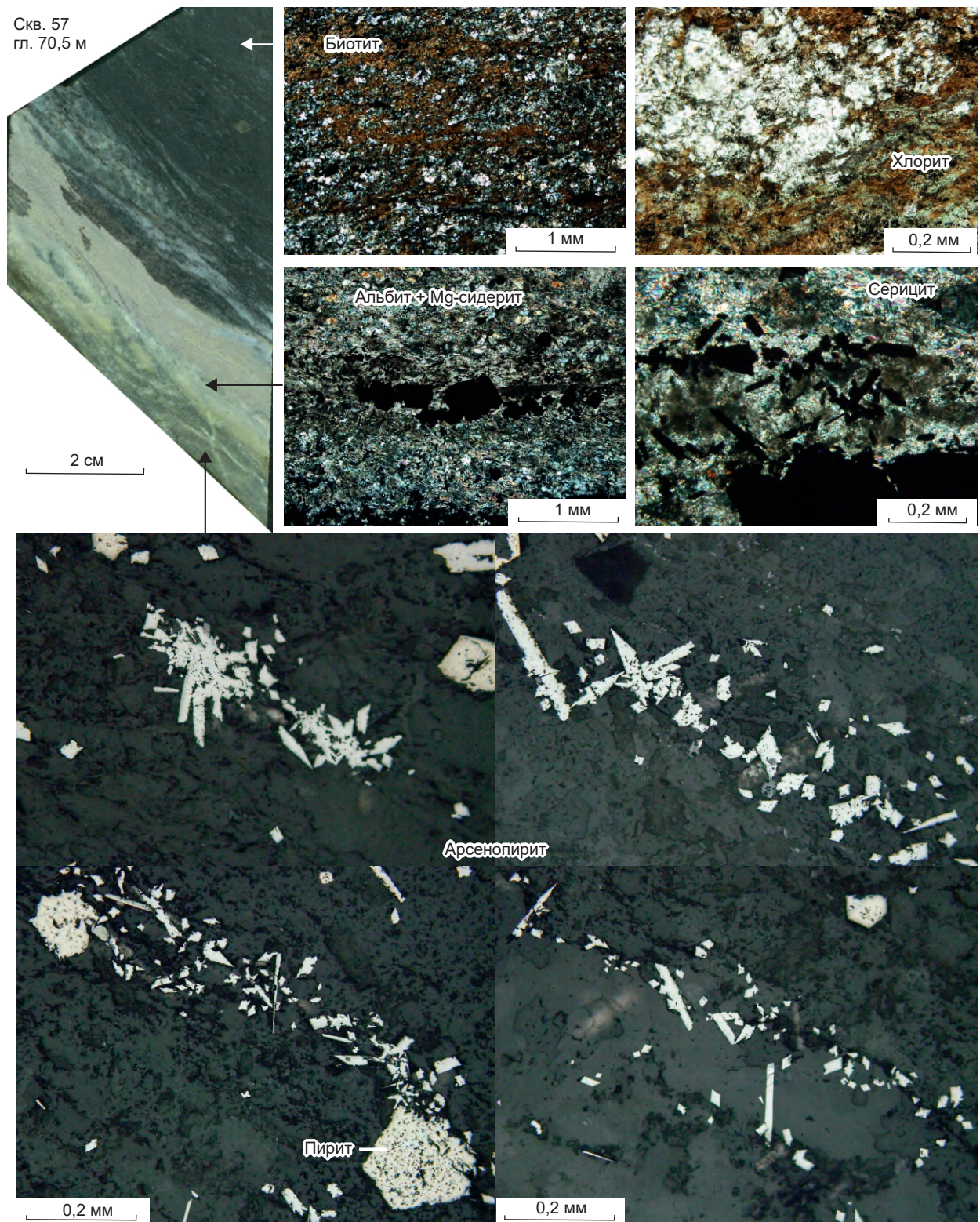


Рис. 3. Серцит-альбит-сидеритовые метасоматиты с сульфидной минерализацией

Fig. 3. Sericite-albite-siderite metasomatites with sulfide mineralization

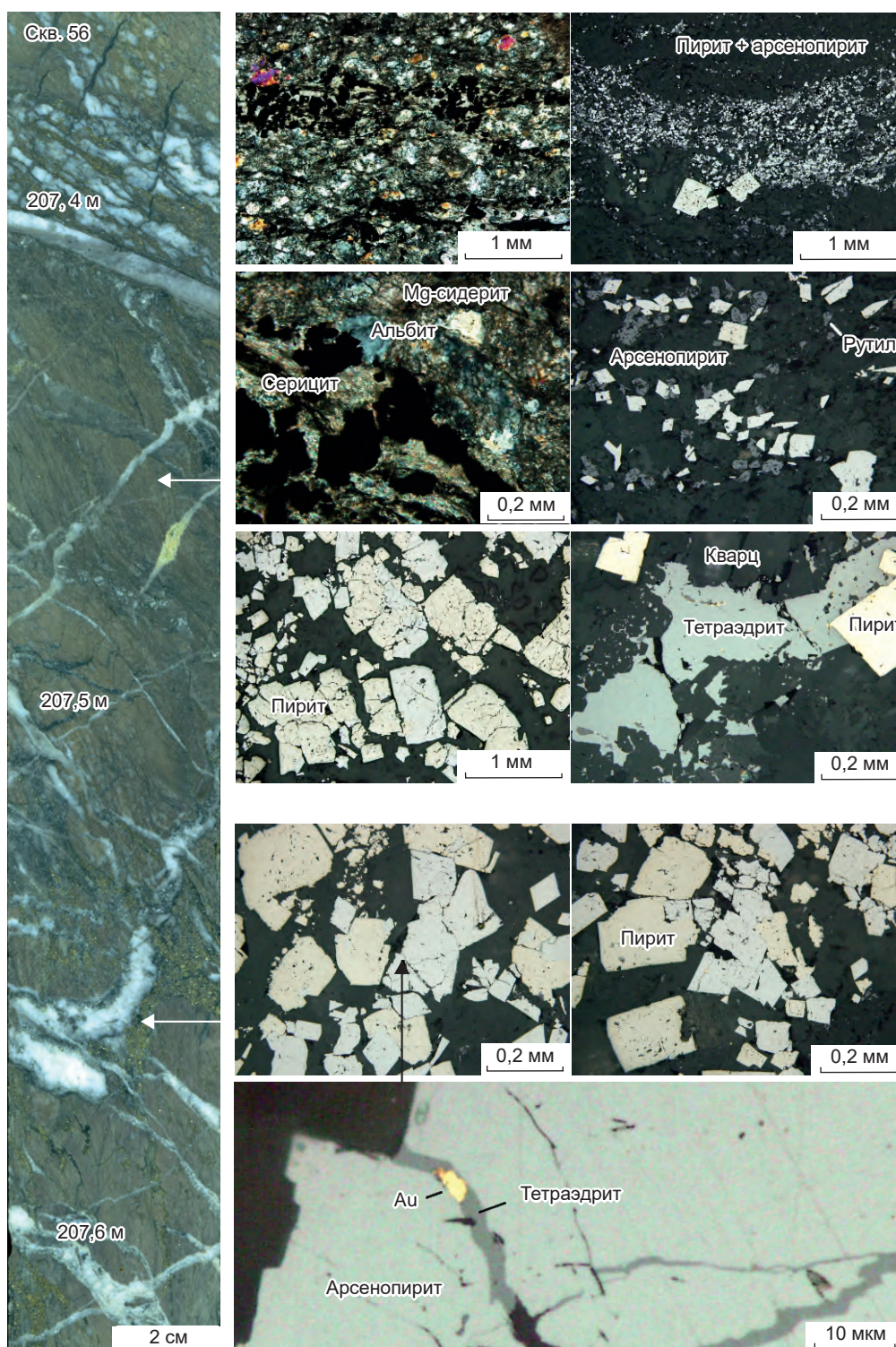


Рис. 4. Золотосульфидная минерализация в серицит-альбит-сидеритовых метасоматитах с кварц-альбитовыми прожилками

Fig.4. Gold-sulfide mineralization in sericite-albite-siderite metasomatites with quartz-albite veinlets

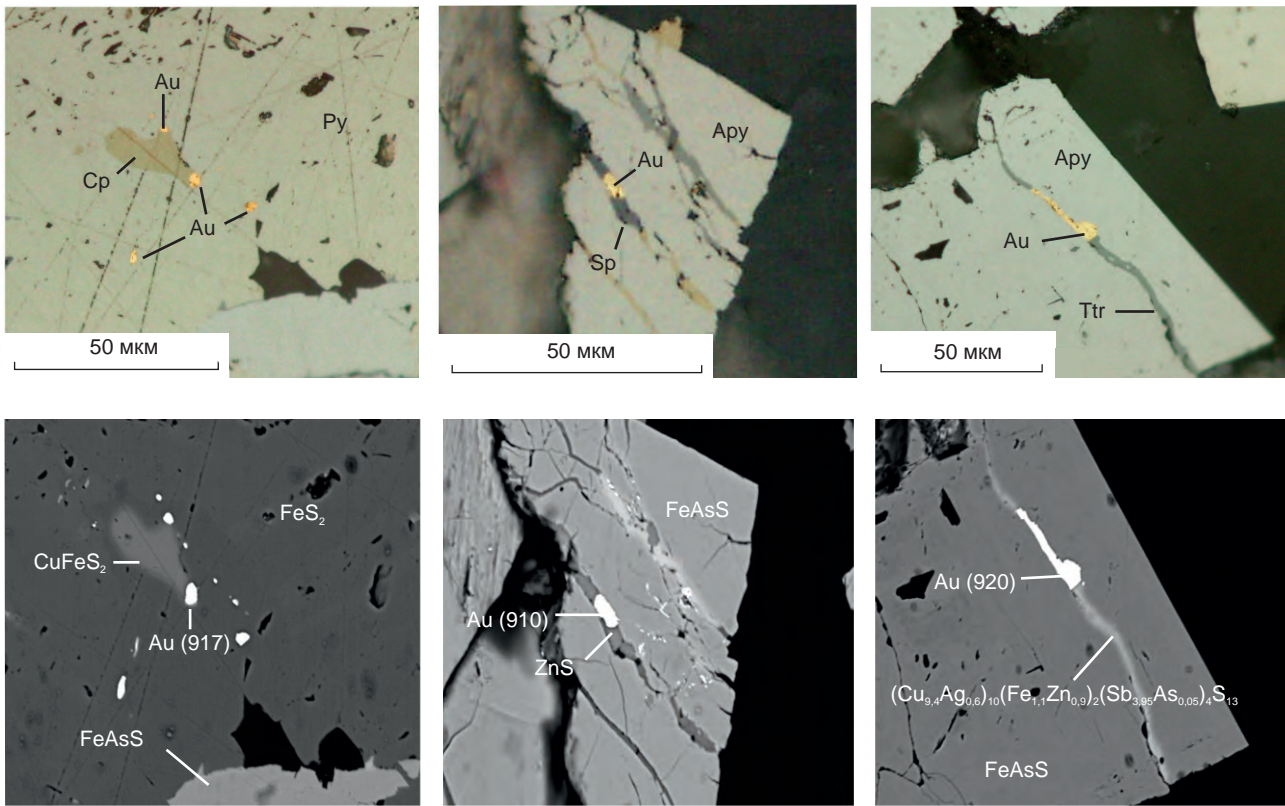


Рис. 5. Микропарагенезисы самородного золота с сульфидами (скв. 56/207,6 м). Сверху фото в отражённом свете, снизу BSE-изображение с данными рентгеноспектрального микроанализа:
минералы: Ару – арсенопирит, Ру – пирит, Sp – сфалерит, Ср – халькопирит, Ttr – тетраэдрит, Au – самородное золото (в скобках указана пробыность, ‰)

Fig. 5. Microparageneses of native gold with sulfides (Borehole No. 56/207.6 m). On the left is a photo in reflected light, on the right is a BSE image with X-ray spectral microanalysis data:
minerals: Apy – arsenopyrite, Py – pyrite, Sp – sphalerite, Cp – chalcopyrite, Ttr – tetrahedrite, Au – native gold (finenesses is indicated in parentheses, ‰)

фиды образуют более крупные выделения, полиминеральные сростки, слагающие панидиоморфнозернистые агрегаты. Соотношение пирит – арсенопирит в среднем равно 5.

Изотопный состав серы арсенопирита и пирита (три определения) в пределах погрешности измерения соответствует «метеоритному» стандарту $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}} = +0 \pm 0,2 \text{ ‰}$, что свидетельствует о глубинном источнике рудообразующих флюидов [2].

К распространённым примесям в рудах относятся халькопирит и блёклая руда, которые образуют в пирите и арсенопирите мелкие ксеноморфные включения либо нарастают на грани этих минералов и образуют в них мик-

ропрожилки (рис. 5). В единичных случаях в ассоциации с халькопиритом и блёклой рудой отмечен сфалерит. Блёклая руда – низкосеребристая сурьмяная разновидность (тетраэдрит) с эмпирической формулой $(\text{Cu}_{9,4}\text{Ag}_{0,6})_{10}(\text{Fe}_{1,1}\text{Zn}_{0,9})_2(\text{Sb}_{3,95}\text{As}_{0,05})_4\text{S}_{13}$.

Микроскопически видимое (более 1 мкм) самородное золото в ассоциации с пиритом и арсенопиритом не обнаружено. В парагенезисе с тетраэдритом, халькопиритом и сфалеритом отмечены тонкодисперсные (5–10 мкм) выделения высокопробного самородного золота (пробыность 910–920 ‰, единственной установленной примесью служит серебро). Более подробно типоморфные характеристики



самородного золота были рассмотрены в работе [5].

В распределении золотоносных метасоматитов следует отметить следующие закономерности. Во-первых, участки их развития приурочены к зонам контакта трещиноватых известняков и рассланцованных вулканогенных пород. Эти зоны имеют субширотное простирание и крутое (около 60°) падение на юго-восток, что фиксируется по пересечениям маркирующих горизонтов известняков скважинами. Помимо структурного фактора (повышенной проницаемости таких зон) важную роль в локализации оруденения могло играть и наличие в сланцах значительного ресурса закисного железа, необходимого для осаждения сульфидов из растворов. Во-вторых, развитие метасоматитов и сульфидной минерализации в каждом пересечении контролируется системой трещин, перпендикулярных сланцеватости. Наиболее вероятно, что эти трещины являются опережающими по отношению к главным рудоподводящим структурам, секущим слоистость. Наличие таких структур фиксируется ещё и мелкими складками, осложняющими моноклинальное залегание толщи в рудных зонах.

В центральной части участка прослеживается свита даек диоритов, габбродиоритов, лампрофиров. Простирание даек субмеридиональное с крутым (около 80°) падением на восток. Контакты некоторых даек лиственитизированы и золотоносны. Можно предполагать, что между дайками и оруденением существует парагенетическая связь.

Таким образом, в качестве главного рудоконтролирующего фактора, определяющего размещение рудных тел, можно выделить литолого-структурный. Золото-мышьяково-сульфидная минерализация формируется на участках пересечения крутопадающих рудоподводящих разрывов с благоприятными по химическим свойствам горизонтами вулканитов основного состава. Слои известняков при этом выступают в качестве структурных экранов.

Схема последовательности рудообразования составлена по результатам изучения керна, а также петрографических и минераграфиче-

ских исследований (рис. 6, 7). В составе руд выделены две последовательно сформированные продуктивные минеральные ассоциации: пирит-арсенопиритовая с преимущественно невидимым (субмикроскопическим) золотом, несущая основную массу металла, и проявленная локально золото-халькопирит-тетраэдритовая с тонкодисперсным самородным золотом. Ранняя ассоциация была сформирована синхронно с метасоматитами. Поздняя ассоциация проявлена в осевых частях минерализованных зон, для которых характерно брекчирование метасоматитов и развитие кварц-альбит-анкеритовых прожилков.

Окисленные руды. До глубин порядка 100 м руды в разной степени окислены – от слабого замещения на глубине до полного окисления на поверхности. По содержанию железа полностью окисленные руды не отличаются от первичных (табл. 2). Магнезиально-железистые карбонаты и сульфиды в них замещены гётитом и его гидратированными разновидностями. Концентрации As и Sb при окислении руд также фактически не изменились, однако минеральные гипергенные формы этих элементов нами не обнаружены. Вероятно, мышьяк и сурьма рассеяны в массе гётита.

Данные, представленные в табл. 2, однозначно свидетельствуют о приуроченности наиболее богатых руд к метасоматически изменённым вулканитам основного состава с содержанием альбита около 70 % и небольшой долей прожилкового кварца. По указанным признакам золото-мышьяково-сульфидные руды могут быть уверенно идентифицированы в зоне гипергенеза. Значительные (до 5–10 г/т) содержания золота в них сопровождаются только аномалиями мышьяка, концентрации серебра при этом не повышаются. Не отмечается и увеличение количества микроскопически видимого самородного золота в рудах. В протоловках обнаружены только единичные пылевидные (< 50 мкм) золотины пробностью 880–910 ‰ [5]. Очевидно, что основной вклад в золотоносность окисленных руд вносит остаточное субмикроскопическое золото, высвободившееся из арсенопирита и мышьяковистого пирита при их окислении и равномерно рас-

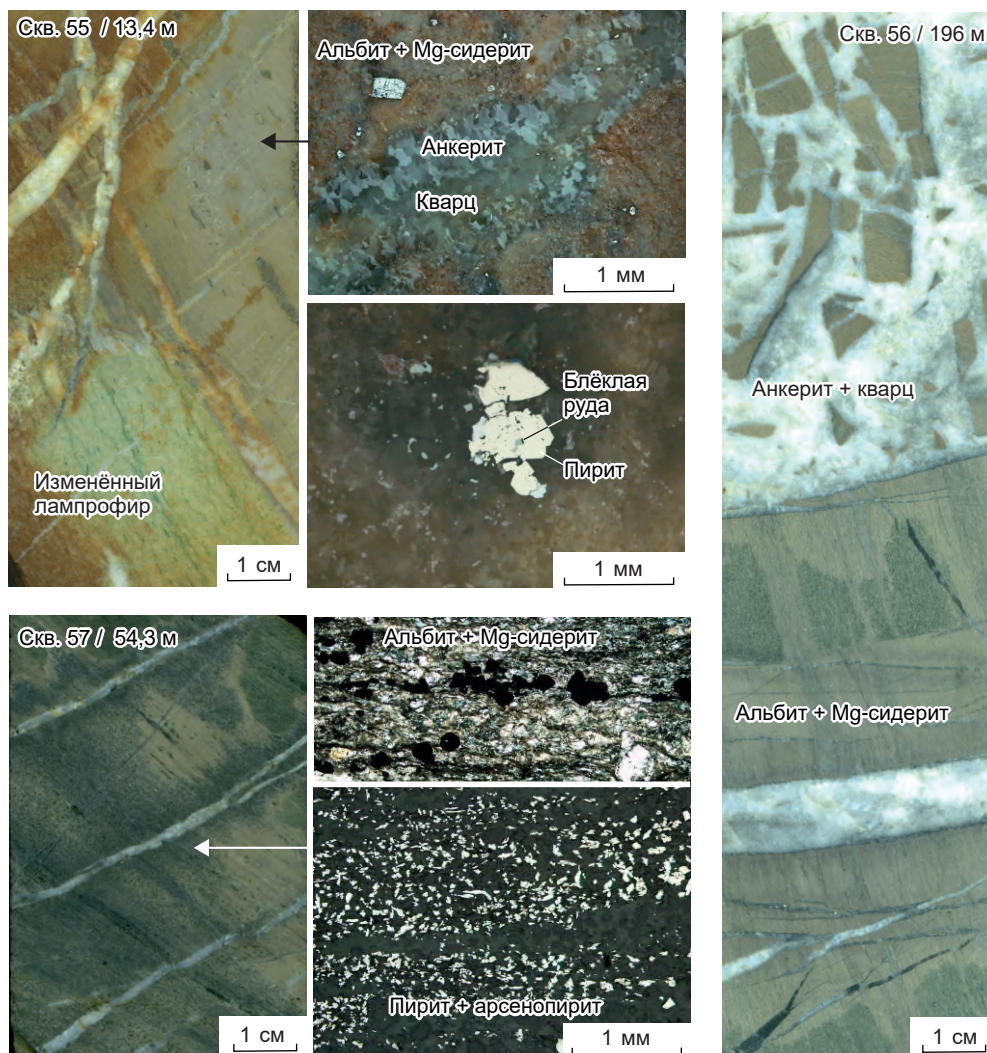


Рис. 6. Взаимоотношения серицит-альбит-сидеритовых метасоматитов, сульфидной минерализации и кварц-анкеритовых прожилков

Fig. 6. Relationships between sericite-albite-siderite metasomatites, sulfide mineralization, and quartz-ankerite veinlets

сеянное в массе гипергенных оксидов железа. Об этом также свидетельствует практическое совпадение результатов анализа Au, выполненного пробирным методом из навески 50 г и методом ICP MS из навески 0,1 г (см. табл. 2). Выходы окисленных руд, таким образом, не сопровождаются шлиховыми ореолами золота, что следует учитывать при поисковых работах.

Обсуждение результатов. Выявленная на участке продуктивная минерализация по всем признакам соответствует оруденению золото-мышьяково-сульфидной формации [1, 4]. Для

него характерны вкрапленные и вкраплено-прожилковые руды, слагающие «крупнообъемные» залежи, и преобладание связанного в мышьяковистом пирите и арсенопирите «невидимого» золота. Золоторудные объекты данного типа – средние, крупные и весьма крупные по масштабам. Предполагается их связь с глубинными (мантийными или мантийно-коровыми) рудогенерирующими очагами. Закономерная геохимическая специализация руд (аномальное накопление Au-As-Sb-S при низких содержаниях других рудогенных элемен-



Этап	Пропилитовый	Лиственит-золотосульфидный		
Стадия	Дорудная	Главная продуктивная	Продуктивная	Пострудная
Минеральные ассоциации	Биотит-хлоритовая	Серицит-альбит-сидеритовая	Кварц-альбит-анкеритовая	Кальцитовая
	Пирит-пирротиновая	Пирит-арсенопиритовая	Золото-блэкморудная	
Биотит	██████████			
Хлорит	██████████			
Стильпномелан	██████████			
Кварц	████	████	██████████	
Альбит	██████████	██████████	██████████	
Серицит		██████████		
Мг-сидерит		██████████		
Анкерит		████	██████████	
Кальцит	██████████			██████████
Ильменит	████			
Рутил		████		
Арсенопирит		██████████		
Пирит	████	██████████		
Пирротин	████			
Халькопирит			██████████	
Тетраэдрит			██████████	
Сфалерит			-----	
Золото		-----	██████████	

Минералы: ██████████ главные, █████ второстепенные, ----- редкие

Рис. 7. Схема последовательности формирования золото-мышьяково-сульфидного оруденения Каянчинской площади

Fig. 7. Schematic diagram showing the sequence of formation of gold-arsenic sulfide mineralization in the Kayancha area

тов, в том числе Ag, Pb, Zn) объясняется составом рудообразующих растворов и физико-химической обстановкой минералообразования [3]. Подобные месторождения формировались при участии газообразных существенно углекислотных флюидов, мигрирующих независимо от водно-солевых растворов и осуществлявших эффективный транспорт ограниченного числа элементов, в число которых входят As, Sb, S и Au.

Большинство золото-мышьяково-сульфидных месторождений локализовано в углеро-

дисто-терригенных и карбонатно-терригенных толщах (Олимпиадинское, Кючус, Нежданинское, Майское, Бакырчик и др.). Объекты в вулканогенных комплексах редки, но тем не менее они известны. Для проявлений Каянчинской площади наиболее близким объектом-аналогом служит месторождение Кокпатас (Западный Узбекистан). По геологическим условиям локализации и минералого-геохимическим характеристикам руд указанное месторождение и золоторудные проявления Верхнекаянчинского участка весьма близки.

Табл. 2. Вещественный состав окисленных руд и метасоматитов

Table 2. Composition of the oxidized ores and metasomatites

	Интервал, м (канавка 247)						
	137,5–139,7	139,7–141,9	141,9–145,2	145,2–148,5	148,5–151,3	359,5–360,6	363,9–372,7
Au г/т (пробирный)	0,4	8,9	5,5	0,2	0,4	3,9	1
Au (знаки/кг)	0	2	3	0	0	6	3
<i>Минералы</i>	<i>Содержание, %</i>						
Кварц	25	2	1	25	24	4	6
Альбит	30	70	69	13	28	70	69
Слюдисто-глинистые минералы	10	1	3	13	12	17	17
Хлорит	5	-	-	19	6	-	-
Кальцит	18	15	17	20	19	2	2
Оксиды Fe, As	10	10	9	9	9	5	5
Рутил	2	2	1	1	2	2	1
<i>Элементы</i>	<i>Содержание, г/т (ICP MS)</i>						
Au	0,7	9	5,4	0,3	0,5	4,5	1,1
Ag	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
As	2312,5	> 10 000	> 10 000	2220,6	3929,6	3193,7	2013,8
Zn	133	106	96	101,3	90	124	134,4
Bi	0	0	0	0	0	0,2	0,1
Sb	23,6	53,4	61,5	42,3	19,4	47,7	20,5
Cu	49	66,6	74,8	107,6	96	48,8	24,7
Pb	1,6	2,8	3	1,1	2,1	11,5	9,2
Mo	1,7	1	0,7	1,1	0,9	1,3	1,6
Te	0	0,1	0	0	0	0	0
Co	45,9	44,3	40,7	46,1	45	9,5	6,1
Cr	23,5	15,5	24,3	97	61,7	30	29,4
Hg	0	0	0	0	0	0	0
Ni	87,6	86,9	99,4	173	114,4	26,3	22,4
W	1	2,1	1,4	0,4	0,3	0,6	0,2
Fe (%)	8,6	9	6,8	7,7	7,2	4,2	4,2

Месторождение Кокпатас локализовано в толще вулканогенно-терригенных, эффузивных и кремнисто-карбонатных пород каменноугольного возраста [1, 4]. Положение рудного поля определяется его приуроченностью к узлу пересечения систем глубинных разломов, рудные тела пространственно тяготеют к разрывам с секущим положением по отношению к простирацию осадочно-вулканогенных толщ. При этом из более 100 выявленных рудоносных зон разного масштаба основная часть, в

том числе крупные рудные тела, локализуется в средней части разреза рудовмещающей толщи мощностью 300–400 м, сложенной преимущественно альбит-хлоритовыми сланцами. Вулканогенно-осадочная толща перекрыта кремнисто-доломитовыми отложениями, выступавшими как структурный экран при рудоотложении. Подстилающие углеродсодержащие сланцы затронуты оруденением весьма слабо.

Золотое оруденение тесно ассоциирует с комплексом даек пёстрого состава пермско-



триасового возраста. Наибольшим распространением пользуются дайки диоритов, диоритовых порфириров и лампрофиров, которые группируются в пучки, постоянно сопровождающие рудные зоны и рассматриваемые в качестве генетически самостоятельного позднеорогенного комплекса малых интрузий. Дайки образуют сложный по строению линейный каркас. Основная их часть при одинаковом с рудными зонами простирания имеет крутое встречное падение. Часть даек залегает согласно с рудными зонами. На участках пересечения рудных тел дайки обычно слабо минерализованы в краевых частях. В то же время часто отмечается повышение концентраций золота в экзоконтактах даек, а согласные с рудной зоной дайки подвержены интенсивным гидротермальным изменениям и слабой минерализации.

Первичные руды представлены гидротермально изменёнными вулканогенно-осадочными породами, пронизанными кварц-альбит-карбонатными прожилками и неравномерно минерализованными сульфидами. Наиболее минерализованные участки характеризуются повышенной сульфидизацией, максимальным развитием метасоматической карбонатной минерализации, а также наибольшей концентрацией кварц-альбит-карбонатных прожилков. Преобладают вкрапленные текстуры руд, среди которых различаются вкрапленные, прожилково-вкрапленные и полосчато-вкрапленные разновидности. В осевых, наиболее золотоносных, участках рудных тел отмечаются также брекчиевидная и, в меньшей мере, брекчиевая текстуры.

Золотоносная сульфидная минерализация приурочена к участкам гидротермальных изменений лиственит-березитового типа, которые выражены очень контрастно благодаря характерному осветлению тёмно-зелёных существенно хлоритовых пород. Метасоматиты сложены альбитом, Mg-Fe-карбонатами (преимущественно анкеритом) и неравномерно распределённым серицитом. Характерно обилие рутила.

Отчётливо выражена приуроченность повышенных содержаний золота к участкам ин-

тенсивной сульфидизации при максимальном развитии арсенопирита. Содержание пирита и арсенопирита в рудах составляет в среднем около 7–10 %, а их количественные соотношения меняются от 1 до 4. Остальные рудные минералы присутствуют в незначительных количествах. Самородное золото при микроскопическом изучении обнаруживается очень редко в виде тонкодисперсных (первые микроны) выделений. По данным фазового анализа, в составе ранней продуктивной ассоциации количество «упорного» субмикроскопического золота, связанного с пиритом и арсенопиритом, находится в пределах 53–82 %.

Арсенопирит – основной концентратор золота в рудах. В среднем его золотоносность более чем в пять раз выше, чем пирита. На наиболее сульфидизированных и золотоносных участках присутствует арсенопирит, преимущественно в виде тонкокристаллических выделений. В тонкоигольчатой разновидности среднее содержание золота составляет около 100 г/т, в более грубозернистой изометрической – около 30–40 г/т. В качестве характерной примеси в арсенопирите присутствует сурьма.

Устанавливается тесная геохимическая связь золота и мышьяка, наличие контрастных первичных ореолов Au, As, Sb, Hg и Ag.

Среди образований золоторудного этапа выделяются две продуктивные ассоциации: ранняя золото-пирит-арсенопиритовая, имеющая наибольшее распространение, и проявленная локально поздняя золото-кварц-карбонат-полисульфидная. Последняя представлена кварцевыми, кварц-альбит-карбонатными макро- и микропрожилками с неравномерно распределённой вкрапленностью пирита, тетраэдрита, халькопирита, сфалерита, бурнонита, пирротина, сульфоантимонитов свинца, самородного золота. Проявления данной ассоциации не образуют значительных скоплений, концентрируясь на наиболее минерализованных участках рудных тел вблизи тектонических швов и иногда в сильно изменённых дайках. С этой ассоциацией связано золото поздней генерации, встречающееся обычно в виде весьма тонких (чаще всего не крупнее 3 мкм, редко 10–20 мкм) включений и микро-

прожилков в пирите и арсенопирите, часто в сростании с поздними рудными минералами. Пробность самородного золота 817–885 ‰.

Средние содержания золота в рудных телах составляют 2,5–5 г/т при равномерном распределении металла; содержание в рудах ртути незначительное. Рудные тела, границы которых выявляются на основании опробования, имеют преимущественно сложную форму, обусловленную различными сочетаниями структурных и литологических факторов. Наиболее крупные тела, имеющие форму линзовидных залежей и согласное с рудовмещающей структурой кулисообразное расположение, прослеживаются по простиранию до 1 км и по падению на несколько сотен метров. Мощность их варьирует от нескольких метров до 100 м в раздувах. Рудные тела сложного внутреннего строения. Они расчленяются серией субпараллельных разрывов на отдельные линзовидные блоки с разной степенью деформированности вмещающих пород (рассланцевание, смятие, будинаж, дробление). Вблизи разрывов отмечается особенно интенсивная сульфидная минерализация, затухающая по направлению к слабее деформированным и гидротермально-изменённым породам краевых или внутренних частей рудных тел. Нередко интенсивно оруденелые породы перемежаются со слабоминерализованными или даже незатронутыми сульфидной минерализацией. Для выявления и оконтуривания рудных тел использовалась сеть поисковых скважин с шагом не более 50 м.

Месторождение Кокпатас с запасами свыше 300 т золота объединяет в себе целую группу месторождений и многочисленных рудопроявлений золото-мышьяково-сульфидного типа на площади более 70 км².

Выводы. В пределах Каянчинской площади впервые установлено нетрадиционное для Горного Алтая оруденение золото-мышьяково-сульфидного типа. Золотоносность связана с вкрапленностью мышьяковистого пирита и арсенопирита в метасоматически изменённых ме-

тавулканитах основного состава, залегающих между слоями известняков. Оруденение контролируется крутопадающими разрывными нарушениями и пространственно ассоциирует с дайками диоритов, габбродиоритов и лампрофиров.

Изотопный состав серы золотоносных сульфидов соответствует «метеоритному» ($\delta^{34}\text{S} = 0$ ‰), что свидетельствует о связи оруденения с глубинным магматическим источником.

Околорудные метасоматиты сформированы лиственитами и сложены тонкозернистым агрегатом альбита, магнезиосидерита и тонкочешуйчатой калиевой слюды. В осевых частях метасоматических зон развиты кварц-альбит-анкеритовые прожилки и наиболее интенсивная сульфидная минерализация.

В рудах выделены две последовательно сформированные продуктивные минеральные ассоциации: пирит-арсенопиритовая с субмикроскопическим золотом, несущая основную массу благородного металла, и проявленная локально золото-халькопирит-тетраэдритовая с тонкодисперсным и пылевидным (5–50 мкм) самородным золотом, пробность которого составляет 900 ± 20 ‰. При окислении сульфидов в зоне гипергенеза золото остаётся в рассеянном состоянии.

По геологическим условиям локализации и вещественному составу руд золото-мышьяково-сульфидное оруденение Каянчинской площади является аналогом крупного месторождения Кокпатас в Центральных Кызылкумах, что свидетельствует о перспективах Каянчинской площади на обнаружение здесь нетрадиционного для Горного Алтая крупнообъёмного прожилково-вкрапленного оруденения с промышленными параметрами. При этом, как и на месторождениях-аналогах, здесь следует ожидать весьма сложную морфологию рудных тел, требующую проектирования соответствующей поисковой сети. Таким образом, результаты выполненных исследований говорят о перспективности дальнейших поисковых работ.



Список литературы

1. Вихтер Б. Я. Золото-мышьяково-сульфидные месторождения терригенных комплексов складчато-орогенных областей. – М. : ЦНИГРИ, 2009. – 108 с.
2. Гриненко В. А., Гриненко Л. Н. Геохимия изотопов серы. – М. : Недра, 1974. – 272 с.
3. Кряжев С. Г. Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Кряжев Сергей Гаврилович. – М., 2017, 52 с.
4. Новожилов Ю. И., Гаврилов А. М. Золото-сульфидные месторождения в углеродисто-терригенных толщах. – М. : ЦНИГРИ, 1999. – 175 с.
5. Окулов А. В. Первые данные по типоморфизму самородного золота Каянчинской площади // Сборник тезисов докладов I молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче». – М. : ЦНИГРИ, 2020. – С. 154–157.
6. Устинов В. И., Гриненко В. А. Прецизионный масс-спектральный метод определения изотопного состава серы. – М. : Недра, 1965. – 96 с.
7. Федак С. И., Туркин Ю. А., Гусев А. И., Шокальский С. П. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-45 – Горно-Алтайск. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011.

References

1. Vikhter B. Ya. Zoloto-mysh'yakovo-sul'fidnye mestorozhdeniya terrigennykh kompleksov skladchato-orogennykh oblastei [Gold-arsenic-sulfide deposits of terrigenous complexes of folded-orogenic regions], Moscow, TsNIGRI Publ., 2009, 108 p.
2. Grinenko V. A., Grinenko L. N. Geokhimiya izotopov sery [Geochemistry of sulfur isotopes], Moscow, Nedra Publ., 1974, 272 p.
3. Kryazhev S. G. Geneticheskie modeli i kriterii prognoza zolotorudnykh mestorozhdenii v uglerodisto-terrigenykh kompleksakh [Genetic models and criteria for the prediction of gold deposits in carbon-terrigenous complexes. Extended abstract of Doctor's thesis], Moscow, 2017, 52 p.
4. Novozhilov Yu. I., Gavrilov A. M. Zoloto-sul'fidnye mestorozhdeniya v uglerodisto-terrigenykh tolshchakh [Gold-sulfide deposits in carbon-terrigenous strata], Moscow, TsNIGRI Publ., 1999, 175 p.
5. Okulov A. V. Pervye dannye po tipomorfizmu samorodnogo zolota Kajanchinskoj ploshhadi [The first data on the typomorphism of native gold of Kayanchinskaya square], *Sbornik tezisev dokladov I molodzhnoj nauchno-obrazovatel'noj konferencii TsNIGRI "Mineral'no-syr'evaja bazaalmazov, blagorodnyh i tsvetnyh metallov – ot prognoza k dobyche"* [Collection of abstracts of the I TsNIGRI Youth scientific and educational conference "Mineral resource base of diamonds, precious and non-ferrous metals – from forecast to production"], Moscow, TsNIGRI Publ., 2020, pp. 154–157.
6. Ustinov V. I., Grinenko V. A. Pretsizionnyi mass-spektral'nyi metod opredeleniya izotopnogo sostava sery [Precision mass-spectral method for determining the isotopic composition of sulfur], Moscow, Nedra Publ., 1965, 96 p.
7. Fedak S. I., Turkin Yu. A., Gusev A. I., Shokal'skii S. P. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List M-45 – Gorno-Altaysk. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet M-45 – Gorno-Altaysk. Explanatory note], St. Petersburg, VSEGEI Cartographic Factory Publ., 2011.

Кряжев Сергей Гаврилович (kryazhev@tsnigri.ru)

доктор геол.-минерал. наук, начальник отдела ¹

Двуреченская Светлана Степановна кандидат геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник ¹

Окулов Алексей Вячеславович кандидат геол.-минерал. наук, заместитель начальника отдела ¹

Федак Степан Иванович главный геолог ²

¹ ФГБУ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва, Россия

² ОСП «ГАЭ» АО «Сибирское ПГО», с. Малоенисейское, Россия



СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.43 : 551.248.1 (571.52)

Палеогеотектоническая позиция Кызыкчадрского медно-порфирового рудного поля (Республика Тыва)

Старостин И. А., Черных А. И., Гирфанов М. М.

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ), г. Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены условия локализации молибден-медно-порфирового оруденения Кызыкчадрского рудного поля в региональных структурах южного складчатого обрамления Сибирской платформы. Оруденение сформировано на салаирском (раннекаледонском) этапе развития Алтае-Саянского сегмента Центрально-Азиатского орогенного пояса (ЦАОП) в связи с малыми интрузиями кызыкчадрского габбро-диорит-гранодиорит-гранитового комплекса (\mathcal{E}_{2-3}). Становление рудоносного комплекса связывается с формированием аккреционно-коллизийного магматического пояса, заложеного на вулканогенно-осадочном островодужном субстрате ($V-\mathcal{E}_1$). Кызыкчадрский комплекс известен только в пределах Ожинского поднятия с одноимённым массивом таннуольского габбро-тоналит-плагиигранитового комплекса (\mathcal{E}_2). Предполагается, что аналогичные продуктивные на Mo-Cu порфировое оруденение кембрийские плутониты аккреционно-коллизийной стадии на ряде других площадей могли быть перекрыты вулканогенно-осадочными отложениями O-S и D_1 или прорваны интрузивными массивами собственно коллизийного вулканоплутонического пояса (ВПП) каледонского этапа и деформированы в ходе последующих геотектонических этапов. Позиция промышленных месторождений Mo-Cu порфирового рудно-формационного семейства в южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП характеризуется приуроченностью к участкам пространственного сопряжения ареалов распространения магматических образований трёх геотектонических этапов: 1) островодужных вулканических поясов ($V-\mathcal{E}_1$), 2) «батолитовых» интрузивов и малых интрузий магматического пояса аккреционно-коллизийной стадии (\mathcal{E}_{2-3}), 3) коллизийного ВПП (O- D_1).

Ключевые слова: Центрально-Азиатский орогенный пояс, Алтае-Саянская складчатая область, Ожинский рудный узел, медно-порфировое оруденение, Кызыкчадрское рудное поле, палеогеотектоническая позиция, островная дуга, вулканоплутонический пояс.

Для цитирования: Старостин И. А., Черных А. И., Гирфанов М. М. Палеогеотектоническая позиция Кызыкчадрского медно-порфирового рудного поля (Республика Тыва). Руды и металлы. 2023. № 4. С. 52–73. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10019.

Paleogeotectonic position of the Kyzyk Chadr porphyry copper ore field, Republic of Tyva

Starostin I. A., Chernykh A. I., Girfanov M. M.

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

Annotation. Regional-scale localization conditions of the Kyzyk-Chadr molybdenum-copper porphyry ore field in the southern folded frame of the Siberian Platform are considered. The porphyry mineralization of the field formed at the Salairian (Early Caledonian) phase of development of the Altai-Sayan segment of the Central Asian Orogenic Belt (CAOB), in connection with small intrusions of the gabbro-diorite-granodiorite-granite Kyzykchadr Complex (\mathcal{E}_{2-3}). The formation of the ore-bearing complex was associated with an accretional-collisional magmatic belt superimposed on a Vendian-Early Cambrian volcanic-sedimentary island-arc substrate. The complex is only known within the local Ozhu uplifted block with a “batholithic” massif of the gabbro-tonalite-plagiogranite Tannu-Ola Complex (\mathcal{E}_2), but it is suggested that there could exist some analogous accretional-collisional Cambrian intrusions productive for Mo-Cu porphyry mineralization in some other areas, that were later overlapped by Ordovician-Silurian and Early Devonian volcanosedimentary deposits or broken by intrusive massifs of the Caledonian collisional volcano-plutonic belt. The rocks of the Salairian and Caledonian magmatic belts were deformed during subsequent geotectonic stages, primarily the Late Paleozoic collision, and overlain by younger sedimentary deposits. The position of economic-grade Mo and Mo-Cu porphyry deposits in the southern Altai-Sayan segment of the CAOB is assumed to be confined to areas of spatial superposition (overlapping) of magmatic belts of the three geotectonic stages: 1) island-arc volcanic belts ($V-\mathcal{E}_1$), 2) “batholithic” intrusions and small intrusions of the magmatic belt of the accretional-collisional stage (\mathcal{E}_{2-3}), 3) the collisional volcano-plutonic belt (O- D_1).

Keywords: Central Asian orogenic belt, Altai-Sayan folded region, Ozhu ore cluster, porphyry copper mineralization, Kyzyk-Chadr ore field, paleogeotectonic position, island arc, volcanic-plutonic belt.

For citation: Starostin I. A., Chernykh A. I., Girfanov M. M. Paleogeotectonic position of the Kyzyk Chadr porphyry copper ore field, Republic of Tyva. Ores and metals, 2023, № 4, pp. 52–73. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10019.



Медь и молибден входят в число стратегических видов полезных ископаемых и являются одними из наиболее востребованных промышленных видов сырья. В последнее десятилетие наблюдается заметный рост цен на эти металлы, особенно на медь. Высокий спрос на медь и рост объёмов её использования для производства проводов, аккумуляторов, электроприборов и увеличение её значимости в мировом переходе на «зелёную энергетику» определяют необходимость наращивания минерально-сырьевой базы.

Основным источником меди и молибдена в мире на ближнюю и дальнюю перспективу являются месторождения медно-порфиrowого семейства. Геологоразведочные и научно-исследовательские работы на этот тип рудных месторождений в России за последние 20 лет позволили раскрыть рудный потенциал ряда известных объектов (Песчанка, Малмыжское, Ак-Суг) и способствовали ускорению промышленного освоения некоторых месторождений (Михеевское, Томинское). Весьма перспективный в отношении оруденения медно-порфиrowого типа регион – Республика Тыва, где известно крупное разведанное и подготовленное к эксплуатации месторождение Ак-Суг и ряд недоизученных рудопроявлений. Одним из таких перспективных объектов является молибден-медно-порфиrowое рудопоявление (потенциальное месторождение) Кызык-Чадр – пока наиболее крупный рудный объект Кызыкчадрского рудного поля в составе Ожинского рудного узла.

Месторождение Кызык-Чадр открыто в 1951 г. В разные годы изучалось Э. Л. Варандом (1955–1956), Р. Т. Уссаром (1976–1977), М. И. Семёновым (2009–2015) и другими геологами. В 2017–2019 гг. силами АО «Сибирское ПГО» (АО «Росгеология») при участии ФГБУ «ЦНИГРИ» [1] (рис. 1, 2) на объекте были проведены ревизионные поисковые и оценочные работы.

Оценённые по результатам выполненных работ прогнозные ресурсы (кат. P_1 и P_2) Кызык-Чадра отвечают среднему по масштабам комплексному золото-молибден-медно-порфиrowому месторождению: около 870 тыс. т Cu



Рис. 1. Схема расположения молибден-медно-порфиrowого потенциального месторождения Кызык-Чадр, медно-порфиrowого месторождения Ак-Суг и молибден-порфиrowого Сорского месторождения

Fig. 1. Schematic map showing location of the Kyzyk-Chadr molybdenum-copper, Ak-Sug copper, and Sorok molybdenum porphyry style ore deposits

при среднем содержании (C_{cp}) 0,34 %, 37 тыс. т Mo (0,015 %), 38 т Au (0,156 г/т) [1]. В настоящее время геологоразведочные работы в пределах Кызыкчадрского рудного поля продолжают компания АО «Росгеология». Выгодное географо-экономическое положение позволяет рассматривать объект как резервную базу проектируемого Аксугского ГОК. В рамках проекта освоения Аксугского месторождения планируется строительство автодороги длиной 320 км до горы Туран в 23 км западнее Кызык-Чадра.

Актуальной задачей является также прогноз и продолжение поисков оруденения медно-порфиrowого типа для дальнейшего укрепления минерально-сырьевой базы меди в пределах южной части Алтае-Саянского региона. Изучение золото-молибден-медно-порфиrowого потенциального месторождения Кызык-Чадр, входящего в состав одноимённого рудного поля, будет способствовать лучшему пониманию условий формирования оруденения и прогнозно-поисковых критериев локализации.

Потенциальное месторождение Кызык-Чадр располагается в наиболее интенсивно дислоцированной осевой части зоны регионального разлома, сопровождаемого серией

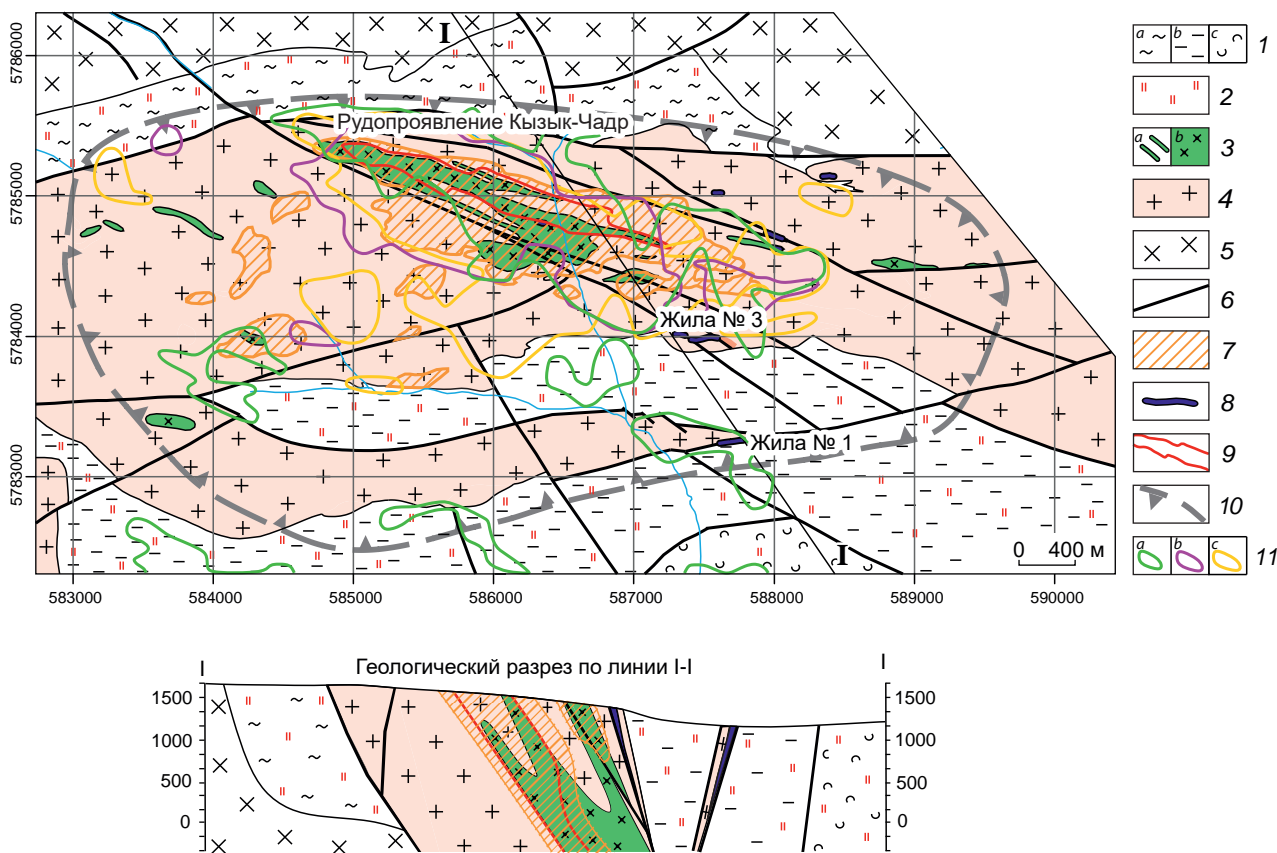


Рис. 2. Схема геологического строения Кызыкчадрского рудного поля (по Р. Т. Уссар, 1978 г., И. А. Бабкину и др., 2019, А. В. Андрееву и др., с изменениями и дополнениями):

I – туматтайгинская свита (\mathbb{C}_{1tt}): *a* – метаморфизованные вулканогенно-осадочные отложения, нерасчленённые, *b* – песчаники и алевролиты пестроцветные, *c* – туфы, туфобрекчии, туфоконгломераты с прослоями лав среднего состава, алевролитов, песчаников; 2 – мигматизированные породы и породы контактового метаморфизма; кызыкчадрский габбро-диорит-гранодиорит-гранитный комплекс (\mathbb{C}_{2-3kz}): 3 – кварцевые диорит-порфиры, гранодиорит-порфиры, кварцевые порфиры, нерасчленённые: *a* – отдельные дайки, *b* – «порфировый интрузив», образованный сближенными телами порфировых пород различного состава; 4 – граниты, гранодиориты, кварцевые монзониты, диориты и габбродиориты, нерасчленённые; 5 – таннуольский диорит-тоналит-плагиогранитовый комплекс (\mathbb{C}_{2-3t}); 6 – разломы; 7 – участки интенсивных метасоматических изменений и сульфидной минерализации; 8 – кварцевые жилы, в том числе золотоносные; 9 – контур меднорудного тела по бортовому содержанию 0,2 %; 10 – контур Кызыкчадрского рудного поля; 11 – вторичные ореолы рассеяния: *a* – меди, *b* – молибдена, *c* – золота

Fig. 2. Schematic geological map of the Kyzyk-Chadr ore field (compiled using data of R. T. Ussar, 1978, I. A. Babkin et al., 2019, A. V. Andreev et al., 2019):

I – Tumattaiga Formation (\mathbb{C}_{1tt}): *a* – metamorphosed volcanosedimentary deposits, undivided, *b* – sandstones and siltstones, varicolored, *c* – tuffs, tuffaceous breccias and conglomerates, with interlayers of lavas of intermediate composition, siltstones, and sandstones; 2 – migmatized rocks and hornfels; gabbro-diorite-granodiorite-granite Kyzykchadr Complex (\mathbb{C}_{2-3kz}) of the gabbro-diorite-granodiorite-granite association: 3 – quartz diorite porphyrites, granodiorite porphyries, and quartz porphyries, undivided: *a* – individual dikes, *b* – “porphyry intrusion” composed of contiguous bodies of various porphyry rocks; 4 – granites, granodiorites, quartz monzonites, diorites, and gabbrodiorites, undivided; 5 – Tannu-Ola Complex (\mathbb{C}_{2-3t}) of the diorite-tonalite-plagiogranite association; 6 – faults; 7 – zones of intense hydrothermal alterations and sulfide mineralization; 8 – quartz veins, including gold-bearing ones; 9 – copper ore body outlined by the cut-off grade Cu 0.2 %; 10 – Kyzyk-Chadr ore field outline; 11 – secondary dispersion halos: *a* – copper, *b* – molybdenum, *c* – gold



оперяющих тектонических нарушений различного порядка, выраженных зонами трещиноватости, катаклаза, милонитизации, рассланцевания, брекчирования. Месторождение сложено породами кызыкчадрского интрузивного комплекса, представленными преимущественно среднезернистыми гранитами, а также прорывающим их сложнопостроенным порфировым интрузивом, его апофизами и дайками. В краевой части порфирового интрузива присутствуют разрозненные тела приконтактных взрывчатых брекчий, что предполагает относительно малый эрозионный срез рудно-магматической системы объекта. В экзо-, эндоконтактах порфирового интрузива развит конформный ему рудоносный штокверк с прожилково-вкрапленной рудной минерализацией, сопровождающейся зонально построенным ореолом гидротермально-метасоматических изменений [1].

Основные элементы строения Кызыкчадрского рудного поля в целом отвечают типовой модели медно-порфировых месторождений. Однако отмечается ряд особенностей морфологии рудных тел и вещественного состава этого месторождения: лентовидная в плане и поперечном сечении форма минерализованной зоны, редуцированное распространение калиевой зоны с практически полным отсутствием реликтов вторичного биотита и резкое преобладание филлизитовых изменений. Эти особенности могут быть обусловлены формированием оруденения в долгоживущей разломной зоне, экранирующим эффектом вмещающей интрузив метаморфизованной толщи и преимущественно кислым составом вмещающих оруденение интрузивных пород (см. рис. 2).

Региональное геологическое строение.

Алтае-Саянская складчатая область (АССО), в пределах которой располагается потенциальное месторождение Кызык-Чадр и ряд других молибден-медно-порфировых и молибден-порфировых объектов (месторождения Ак-Суг, Сорское и др.), рассматривается в качестве Алтае-Саянского сегмента Центрально-Азиатского орогенного пояса (ЦАОП) – структуры планетарного масштаба, формирование которой продолжается уже более 700 млн лет [3, 13, 22,

26]. На сегодняшний день не существует единой точки зрения относительно истории формирования и развития этой территории.

Геологическое строение рассматриваемого региона изучено сравнительно хорошо. На значительной части территории АССО выполнена геологическая съёмка масштаба 1 : 200 000 второго поколения [11], на основе которой составлены Государственная геологическая карта масштаба 1 : 1 000 000 (3-е поколение) [5–10], геологическая карта масштаба 1 : 2 500 000 (ВСЕГЕИ) [12] и другие общедоступные специализированные картографические материалы. Геологическому строению территории посвящены многочисленные публикации [3, 4, 13, 14, 17, 19, 20, 23, 24, 26], дающие следующие общие представления о геологической позиции Кызыкчадрского рудного поля.

Кызыкчадрское рудное поле (в составе Ожинского рудного узла) расположено в пределах Восточно-Тувинской складчатой системы АССО, в строении которой выделяются три структурных этажа: салаирский, каледонский и герцинский [20].

Салаирский структурный этаж [20] сложен венд-кембрийскими образованиями, представленными интенсивно дислоцированными вулканогенными и терригенными отложениями [5–10], прорванными мелкими габброидными и гранитоидными интрузиями раннего кембрия (майнский комплекс) и крупными батолитоподобными интрузивами диорит-тоналит-плагиогранитовой формации среднего-позднего кембрия (таннуольский, ольховский, когтахский комплексы)¹. В центральной части рассматриваемого региона, в южном крыле субширотного Хемчикско-Азасского взброса,

¹ Возраст пород главной фазы внедрения таннуольского комплекса в настоящее время с учётом ранее выполненных абсолютных датировок U-Pb методом (SIMS SHRIMP), принимается как средне-поздне-кембрийский, с вариациями от (515 ± 4) – (499 ± 6) в районе месторождения Ак-Суг до $496,4 \pm 4$ (Ожинский выступ); однако, по данным Rb-Sr изохронного датирования таннуольских гранитоидов Ожинского массива, выполненного в рамках геологического доизучения площади ГДП-200 (М. И. Семёнов и др., 2017 г.), верхняя возрастная граница формирования таннуольского комплекса сдвинута на начало ордовика $(458,4 \pm 2,8)$ – $(478,5 \pm 2,9)$ млн лет [11].

к востоку от его сочленения с северо-восточным Куртушибинским надвигом они образуют Ожинский выступ (горст-антиклиналь), ограниченный оперяющими разломами субширотного, северо-восточного, северо-западного направлений и поперечный оси Систигхемского прогиба. Выступ сложен в основном гранитоидами таннуольского комплекса (Ожинский батолит), прорывающими терригенно-вулканогенные отложения туматтайгинской свиты нижнего кембрия [18, 20].

В южной части выступа ороговикованные породы туматтайгинской свиты в экзоконтакте (провесе кровли) батолита, а также, по-видимому, и в самом батолите прорваны небольшим по площади полифазным интрузивным массивом, отнесённым к кызыкчадрскому комплексу габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формации среднего–верхнего кембрия [14] (см. рис. 2). К Ожинскому выступу, большую часть которого слагают интрузивные образования таннуольского и кызыкчадрского комплексов, приурочен одноимённый рудный узел с Кызыкчадрским медно-порфировым рудным полем.

Каледонский структурный этаж [20] представлен ордовик-силурийскими вулканогенно-осадочными отложениями Систигхемского прогиба, смятыми в штамповые складки и прорванными совозрастными с ними лейкократовыми гранитоидами и монзонитоидами (тигертышский, беллыкский, кутурчинский, арголикский, столбовский, сибарский, юлинский, танзыбейский, огнитский комплексы) [5–10]. К этому структурному этажу относят также раннедевонские отложения трахиандезит-базальт-дацит-трахириолитовой формации Центрально-Тувинского прогиба, образующие крупные синклинальные структуры [20]. Складчатые образования каледонского этажа разбиты многочисленными разрывными структурами [5–10].

Герцинский структурный этаж [20] выполнен отложениями среднего девона мелководной терригенно-карбонатной ритмично-слоистой формации, слагающими фрагменты наложенной Уюкской впадины и других структур.

В дальнейшем мы сосредоточимся на обсуждении магматических формаций салаирского и каледонского структурных этажей, связанных с формированием молибден-медно-порфирового оруденения региона.

Известно, что для регионального прогнозирования представляет интерес геотектоническая позиция рудного объекта на время его формирования, во многом определяющая рудно-формационный тип и, соответственно, особенности прогнозно-поисковой модели оруденения. Установление палеогеотектонической позиции Кызыкчадрского рудного поля позволит определить его рудно-формационную принадлежность в ряду медно-порфирового рудно-формационного семейства [15, 17].

Следует отметить, что формирование оруденения Кызыкчадрского рудного поля традиционно рассматривалось в связи с вулканоплутоническим поясом (ВПП) девонского возраста [15, 16, 28] (табл. 1). Однако значительно более древние значения датировки (средний–поздний кембрий), полученные относительно недавно для пород кызыкчадрского рудоносного комплекса [14], требуют пересмотра представлений о геотектонической позиции его формирования.

Сложность решения этой задачи для анализируемого объекта определяется широким распространением перекрывающих стратифицированных и прорывающих интрузивных формаций, а также значительными пострудными деформациями включающего его блока земной коры [3, 13, 27]. При этом палеогеотектоническая позиция Кызыкчадрского рудного поля реконструируется только по фрагментарно сохранившимся блокам пород рудоносных и подстилающих формаций.

Для реконструкции исходной картины нами использованы сводные геодинамические модели, включающие изучаемый регион, разработанные рядом исследователей на основе геотектонической концепции тектоники плит [3, 13, 20, 25].

В соответствии с этими представлениями современный Алтае-Саянский сегмент ЦАОП трактуется как «Алтае-Саянский коллаж» позднепротерозойско-палеозойского возраста



Табл. 1. Хронология представлений о кызыкчадрском габбро-диорит-гранодиорит-гранитовом комплексе и связанном с ним одноимённом рудном поле

Table 1. History of ideas regarding the gabbro-diorite-granodiorite-granite Kyzykchadr Complex and the related ore field

Авторы	Год	Возраст	Обстановка формирования
А. И. Кривцов, С. Т. Агеева, И. Ф. Мигачёв [16]	1982	D ₁₋₂	Саяно-Тувинский ВПП
Н. И. Гусев, Е. И. Берзон, М. И. Семёнов [14]	2014	Є ₂₋₃	Аккреционно-коллизийная
И. Ф. Мигачёв, В. С. Звездов, О. В. Минина	2016	PZ	Саяно-Тувинский ВПП
А. С. Якубчук [27]*	2017	Є ₃	Аккреционно-коллизийная

Примечание: * Кызыкчадрский комплекс в работе не рассматривается, но данная территория относится к аккреционно-коллизийной обстановке.

[27]. Он включает разновозрастные и разнотипные блоки земной коры, смещённые в результате аккреционно-коллизийных событий:

- выступы докембрийских континентальных блоков;
- элементы океанических и островодужных систем рифей-вендского и раннекембрийского возраста (Хамсаринская палеостроводужная система): фрагменты островодужных вулканических гряд, аккреционного клина, задуговых прогибов, сложенных терригенно-карбонатными отложениями;
- средне-позднекембрийские «батолитовые» интрузивы и малые интрузии аккреционно-коллизийной стадии;
- разрозненные фрагменты раннепалеозойского (ордовик-раннедевонского) коллизийного ВПП (наземные вулканогенно-осадочные отложения многочисленных свит ордовика-силура) [5–10].

Чтобы конкретизировать палеотектонические условия формирования Кызык-Чадра на основе упомянутых выше общих геотектонических моделей, мы провели структурно-формационную интерпретацию материалов изданных геологических карт (масштабы 1 : 2 500 000–1 : 1 000 000 [5–10] и 1 : 200 000 [11]).

При этом выделялись стратиграфические и магматические комплексы, отвечающие основным геотектоническим структурам и их латеральным зонам, изучались их состав и взаимоотношения, определялся формационный тип и соответствующий палеогеотектонический режим.

При рассмотрении геотектонической позиции формирования Кызык-Чадра нами использованы современные возрастные оценки рудоносных интрузивных образований этого рудного поля, а также молибден-медно-порфирового Ак-Суг, молибден-порфирового Сорского месторождений, отвечающие среднему–позднему кембрию (табл. 2).

Геодинамическая интерпретация обстановки формирования оруденения Кызыкчадрского рудного поля. Последовательность смены геодинамических обстановок в процессе образования отложений салаирского венд-кембрийского структурного этажа изучаемой территории и механизм причленения к континенту островной дуги со становлением коллизийно-аккреционных структур обобщена на схеме (модели) геодинамического развития Хамсаринской островодужной системы, составленной нами на основе построений И. В. Гордиенко [13] (рис. 3). В венде–раннем кембрии в южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП в процессе механизма субдукции океанической коры происходило развитие островодужной системы с типовой латеральной зональностью (преддуговой бассейн – аккреционная призма – вулканическая дуга – задуговой бассейн), элементы которой реконструируются по характерному набору фактических данных о геологическом строении, возрасте, составе и взаимоотношениях пород, позволяющих выделять «диагностические» геологические формации (как это показано на представленной схеме). Аккреция островной дуги к Сибирскому кон-

Табл. 2. Результаты изотопного датирования медно-порфировых систем месторождений Сорское, Ак-Суг и Кызык-Чадр

Table 2. Results of isotope dating of porphyry copper systems of the Sora, Ak-Sug and Kyzyk-Chadr ore deposits

Месторождение	Геологические комплексы	Результаты изотопного датирования (млн лет)		
		Ar-Ar [26]	U-Pb SHRIMP, LA-ICP-MS	Re-Os [2]
Сорское	Монциты			(506 ± 2)–(502 ± 2)
	Лейкограниты			(470 ± 2)–(468 ± 2) по молибдениту
	Дайки габброидов и сиенитов			
	Гранит-порфиры	480–460		
	Молибденовые руды		440–420	
			405–402	
		389–388		
Ак-Суг	Кварцевые диориты		515 ± 4 [26]	(518 ± 2)–(511 ± 2) по молибдениту
	Гранодиорит-порфиры		499 ± 6 [26]	
	Плагииграниты и аплиты	497–462		
	Медно-сульфидные руды		404–401	
			336–324	
Кызык-Чадр [14]	Граниты		508 ± 7	
	Кварцевые порфиры		507 ± 2	
	Гранодиорит-порфиры		490 ± 4	

тиненту в среднем кембрии привела к интенсивным деформациям островодужных отложений и внедрению интрузивов аккреционно-коллизийной диорит-тоналит-плагиигранитовой формации (таннуольский, другие комплексы). В среднем–позднем кембрии внедрялись малые интрузии габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формации (кызыкчадрский комплекс), с которыми связывается возникновение молибден-медно-порфирового оруденения (Кызыкчадрское рудное поле).

По представлениям ряда исследователей АССО [3, 13, 14, 20, 25, 27], в *рифее–венде* функционировал спрединговый механизм расширения Палеоазиатского океана с заложением энсиматической островной дуги (Хамсаринской) с обширным задуговым бассейном (см. рис. 3). Океанические базальты этого возраста в виде тектонических линз присутствуют в составе аккреционной призм. В подчинённом количестве здесь отмечаются вулканы среднего и, значительно реже, кислого состава. На этой стадии отмечается внедрение островодужных

интрузий существенно габбрового состава (с небольшой долей гранитов), отнесённых к нижнеканскому, нижнедербинскому и другим магматическим комплексам [5–10].

Раннекембрийской стадии развития территории отвечает продолжение океанического спрединга и формирования островодужной системы. Стадия маркируется массовым появлением наряду с базальтами продуктов андезит-риолитового магматизма, представленных преимущественно туфами среднего и кислого состава [5–10]. В преддуговом бассейне фиксируется накопление флишевых, в задуговом – карбонатной и карбонатно-терригенных формаций. В сложенных преимущественно вулканами осевых частях островодужной системы в это время внедрялись малые интрузии габбро-плагиигранитной формации (майнский комплекс). Интрузивные образования майнского комплекса главным образом представлены плагиигранитами с порфировидной, реже гнейсовидной структурой. В подчинённом количестве в пределах комплекса отмечаются

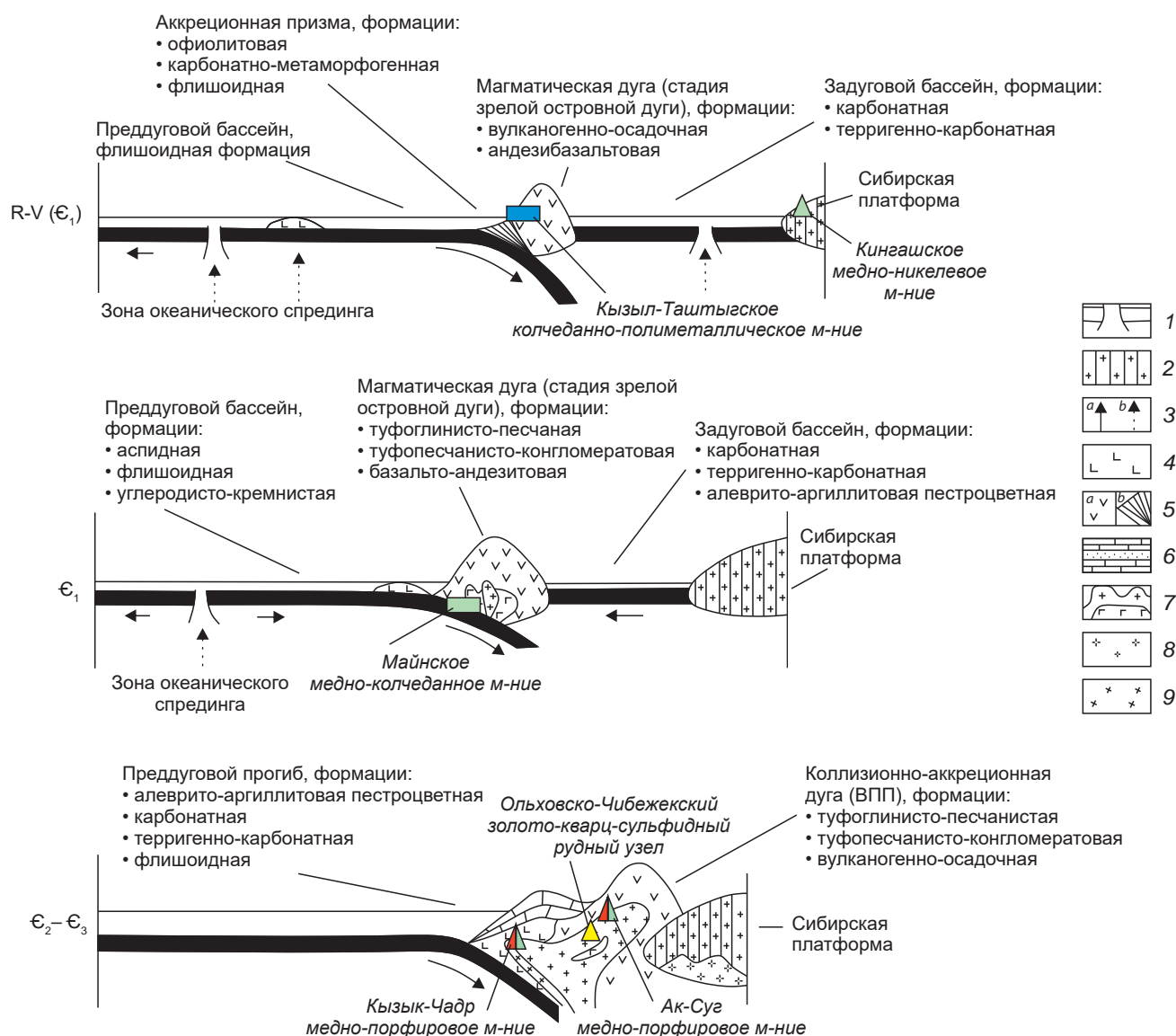


Рис. 3. Обобщённая модель геодинамического развития Хамсаринской островодужной системы в венде–раннем палеозое (по [13], с изменениями):

1 – океаническая кора (в том числе задугового бассейна) со спрединговыми зонами; 2 – континентальная кора (Сибирская платформа); 3 – потоки магм и флюидов в спрединговых зонах и «горячих точках» (a) и направления движения океанических и континентальных плит (b); 4 – симаунты; 5 – Хамсаринская островная дуга: a – вулканиты, b – аккреционная призма; 6 – осадочные карбонатно-терригенные отложения преддугового и задугового палеобассейнов; 7 – островодужные габброиды и гранитоиды (габбро-плагиогранитовая формация); аккреционно-коллизионные гранитоиды: 8 – диорит-тоналит-плагиогранитовая формация, 9 – габбро-диорит-гранодиорит-гранитная формация

Fig. 3. Generalized geodynamic model of the Khamsara island-arc system in the Vendian–Early Paleozoic (modified after [13]):

1 – oceanic crust (including the back-arc basin) with spreading zones; 2 – continental crust (Siberian platform); 3 – directions of: a – flows of magmas and fluids in the spreading zones and “hot spots”, and b – movements of the oceanic and continental plates; 4 – seamounts; 5 – Khamsara island arc: a – volcanics, b – accretionary prism; 6 – sedimentary carbonate-terrigenous deposits of the forearc and back-arc paleobasins; 7 – island-arc gabbroids and granitoids (gabbro-plagiogranite igneous association); accretionary-collisional granitoids: 8 – diorite-tonalite-plagiogranite igneous association, 9 – gabbro-diorite-granodiorite-granite igneous association

роговообманковые и кварцсодержащие габбро. На участках перехода от габброидов первой фазы к плагиогранитам второй часто встречаются диориты и кварцевые диориты. Они не образуют обособленных тел с фиксированными границами и, возможно, являются гибридными образованиями [20].

С основным и последовательно дифференцированным островодужным вулканизмом раннего кембрия связано формирование колчеданного оруденения (Майнское медно-колчеданное и Кызыл-Таштыгское колчеданно-полиметаллическое месторождения) [19].

Позднее, в *среднем–позднем кембрии*, что соответствует по времени салаирскому этапу складчатости, произошло приращение, или аккреция, островодужной системы к Сибирскому континенту и обрамляющим его структурам Восточного Саяна предшествующей консолидации. Процессы аккреционной коллизии, в том числе предполагаемое рядом исследователей заклинивание зоны субдукции, привели к скупиванию и утолщению земной коры и трансформации островодужной системы в аккреционный ороген [3, 13, 27]. Данная коллизионно-аккреционная стадия геотектонического развития территории сопровождалась активизацией интрузивного магматизма. Произошло становление крупных батолитоподобных плутонов, сложенных породами различного состава. Основной объём таких плутонов сложен продуктами «батолитовой» диорит-тоналит-плагиогранитовой формации, отнесёнными к средне-позднекембрийским таннуольскому, ольховскому и когтахскому интрузивным комплексам. Однако в их краевых частях известны малые интрузии различного состава – от существенно плагиогранит-порфировых, как на Ак-Суге (ранее выделялись в качестве самостоятельного аксугского интрузивного комплекса, в настоящее время отнесены к таннуольскому комплексу) до полифазных, относящихся к габбро-диорит-гранодиорит-гранитной формации. Последние присутствуют в Ожинском плутоне, локализованном в одноимённом выступе салаирского основания, где они выделены в самостоятельный кызыкчадрский интрузивный комплекс [11, 14].

На современном эрозионном срезе интрузивные тела кызыкчадрского комплекса проявлены в виде малых интрузий, сложенных породами нескольких фаз внедрения: среднезернистыми габбро, диоритами, биотитовыми двуполевошпатовыми гранитами, мелкозернистыми гранодиоритами и, наконец, кварцевыми диоритовыми порфиридами, с которыми непосредственно ассоциирует прожилково-вкрапленное медно-молибден-порфировое оруденение Кызыкчадрского рудного поля. Собственно интрузивные взаимоотношения между телами таннуольского и кызыкчадрского комплексов нами не наблюдались. Однако тела кызыкчадрского комплекса локализованы в ороговикованных осадочных и вулканогенно-осадочных породах туматгайгинской свиты раннего кембрия, предположительно в провесе кровли краевой части Ожинского плутона таннуольского комплекса (см. рис. 2), с внедрением и остыванием которого предположительно связано ороговикование.

Такие геологические и геохронологические соотношения изучаемых интрузивов и вмещающей толщи позволяют предположить, что малые интрузии кызыкчадрского комплекса, обособляющиеся в пределах Ожинского плутона, внедрились позднее крупных тел таннуольского комплекса на завершающем отрезке аккреционно-коллизионной стадии геотектонического развития Алтае-Саянского сегмента.

Следует отметить, что выделение кызыкчадрского комплекса в качестве индивидуального регионального подразделения (впервые выделен Н. С. Бухаровым с коллегами как девонский из состава кембрийского таннуольского комплекса при проведении ГС-50 в 1977 г., в 2017 г. Н. И. Гусевым с соавторами переведён из девона в кембрий [11]) остаётся дискуссионным.

Отвечающий по своим петрографическим и петрохимическим характеристикам габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой интрузивной формации кызыкчадрский комплекс отчётливо отличается от близкосоответствующих с ним таннуольского комплекса и его аналогов (ольховского и когтахского), сложенных плутонами «батолитовой» диорит-тоналит-плагиогранитовой формации. Петрохимические от-

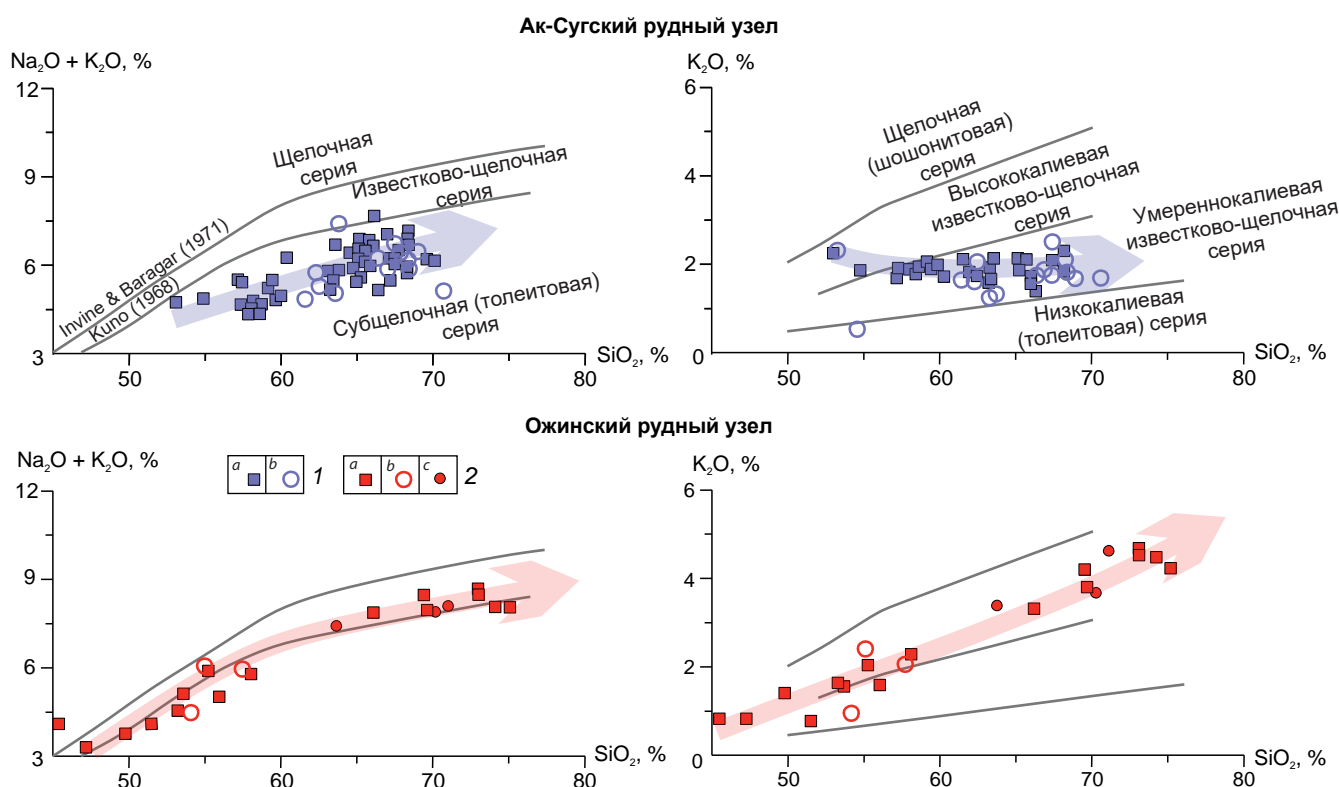


Рис. 4. Сравнительные диаграммы средних химических составов пород интрузивных комплексов, продуктивных на оруденение медно-порфирового типа в пределах Ак-Сугского [26] и Ожинского рудных узлов. Диаграмма для Ожинского узла с Кызык-Чадским рудным полем составлена по данным авторов (силикатный анализ 30 отобранных проб интрузивных пород Ожинского плутона, отнесённых к таннуольскому и кызыкчадрскому комплексам, проведён в лаборатории АО «Сибирское ПГО»):

1 – фигуративные точки пород (по [26]): а – плутонической серии, b – порфировой серии; 2 – фигуративные точки пород кызыкчадрского комплекса: а – главных фаз, b – порфировых фаз основного и среднего составов, с – порфировых фаз кислого состава

Fig. 4. Comparative diagrams of the average chemical compositions of rocks of intrusive complexes productive for porphyry copper type mineralization within the Ak-Sug [26] and Ozhu ore clusters. The diagram for the Ozhu ore cluster with the Kyzyk-Chadr ore field was compiled according to the authors' data (silicate analysis of 30 samples of intrusive rocks from the Ozhu pluton, assigned to the Tannu-Ola and Kyzykchadr complexes, was performed in the laboratory of "Sibirskoe PGO"):

1 – figurative points of rocks of the Tannu-Ola Complex (after [26]): a – plutonic series, b – porphyry series; 2 – figurative points of rocks of the Kyzykchadr Complex: a – main phases, b – porphyry phases of basic and intermediate compositions, c – porphyry phases of silicic composition

личия проявляются в соотношениях как основных породообразующих оксидов, в частности по общей и калиевой щёлочности (рис. 4), так и редкоземельных элементов [14, 24]. Значимые различия, как было отмечено выше, имеются и по абсолютным датировкам (см. табл. 2). Современные изотопные датировки

(U-Pb, SHRIMP-II) таннуольского комплекса в районе месторождения Ак-Суг показали раннекембрийский возраст на уровне 509–520 млн лет, а кызыкчадрского в районе рудопроявления Кызык-Чадр – более молодой, средне-позднекембрийский возраст 494–501 млн лет (см. табл. 2) [2, 14, 26].

Главное противоречие заключается в следующем. Крупные «батолитоподобные» плутоны таннуольского комплекса и его аналогов широко распространены в южной части Алтае-Саянского региона [5–10]. Кызыкчадрский же комплекс к настоящему времени выделен только в пределах Ожинского выступа [11, 14, 21], где он пространственно сопряжён с плутонитами таннуольского комплекса, предположительно прорывая последние, и нигде больше в Алтае-Саянском сегменте не известен. Такая «уникальность» интрузивных образований кызыкчадрского комплекса заставляет задуматься о его возможной прямой генетической связи с таннуольскими гранитоидами.

Вопрос о соотношении кызыкчадрского и таннуольского комплексов требует дальнейшего изучения и продолжения поисков аналогов кызыкчадрского комплекса в смежных районах.

Плутониты обоих комплексов в составе Ожинского плутона сформированы на островодужном субстрате, сложенном интенсивно дислоцированными и ороговикованными раннекембрийскими вулканогенно-осадочными и терригенными образованиями (туматтайгинская свита). Вулканиты среднего–позднего кембрия в исследуемом регионе развиты весьма ограниченно. Они представлены туфами и эффузивами различного, преимущественно среднего, реже кислого состава [5–10].

В региональном масштабе магматические образования данной стадии, включая таннуольский интрузивный комплекс и его аналоги, а также более поздние малые интрузии (кызыкчадрский, аксугский комплексы) и ограниченно проявленные вулканиты, могут рассматриваться в качестве салаирского аккреционно-коллизийного магматического пояса.

В металлогеническом отношении с образованиями изучаемого аккреционно-коллизийного магматического пояса связано оруденение различных типов.

В краевых контактовых зонах ряда интрузивов таннуольского комплекса располагаются месторождения и рудопроявления золота золото-сульфидно-кварцевого и золото-скар-

нового типов (Ольховско-Чибеежский, Мартайгинский, Восточно-Таннуольский и другие рудные районы).

Со становлением средне-позднекембрийского аккреционно-коллизийного магматического пояса в Алтае-Саянском регионе связано также формирование ряда средних и крупных порфировых месторождений – медно-порфирового Ак-Суг, где малые интрузивные тела относятся в настоящее время к поздним фазам таннуольского комплекса, молибден-порфирового Сорского, а также молибден-порфирового Сорского в связи с гранитными интрузивами когтахского комплекса [4, 24, 29].

Золотосодержащее молибден-медно-порфировое оруденение Кызыкчадрского рудного поля пространственно и, по-видимому, генетически связано с интрузивными телами кызыкчадрского комплекса габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формации. Штокверковая рудная минерализация приурочена к «порфировому интрузиву», сложенному поздней фазой внедрения кызыкчадрского комплекса, внедрившемуся в краевую часть Ожинского батолита на позднем отрезке аккреционно-коллизийной стадии развития (см. рис. 2).

Последующие магматические образования *ордовика–раннего девона* (булкинский, бичебалыкский, большепорожский, джойский, бреньский, черносопский комплексы) [5–10] формировались уже в условиях развития собственно коллизийного ВПП. Они несут преимущественно серию мелких проявлений с молибденовой и редкометалльной минерализацией.

В качестве дополнительного обоснования представленной выше схемы могут быть приведены некоторые характеристики состава интрузивных комплексов диорит-тоналит-плагиогранитовой и габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формаций Алтае-Саянского сегмента и связанного с ними оруденения.

В составе первой фазы среднекембрийского таннуольского комплекса преобладают диориты, в меньшей степени распространены роговообманковые габбро и кварцевые диориты. Породы второй фазы варьируют по составу от тоналитов до плагиогранитов [1, 4, 14].



По данным С. В. Руднева [20], в кембрийских диорит-тоналит-плагиогранитной и тоналит-плагиогранитной ассоциациях пород Хамсаринской палеоостровной дуги плагиограниты относятся к толеитовой и низкоглинозёмистой известково-щелочной сериям, характерным для островодужного магматизма. Предполагается, что исходным для этих расплавов является метабазитовый субдукционный источник [13, 27]. Среди ордовикских гранитоидов преобладают уже высокоглинозёмистые плагиограниты известково-щелочной серии. Магмогенерирующим источником для ордовикских гранитоидов служил метабазитовый субстрат с варьирующей добавкой древнего корового материала. Таким источником могла быть океаническая кора Палеоазиатского океана, включающая докембрийский Тувино-Монгольский и другие микроконтиненты [3, 11].

По соотношению основных полезных компонентов в рудах месторождение Кызык-Чадр ($Cu/Mo = 23$, $Cu/Au = 20\ 000$) ближе всего к месторождениям молибден-медно-порфиорового рудно-формационного типа медно-порфиорового семейства, сформированным в ВПП на вулканогенно-осадочном островодужном субстрате [18, 28].

Позиция Кызыкчадрского рудного поля и других медно-порфиоровых объектов в палеоструктурах южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП. На основе анализа данных о геологическом строении южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП, обобщённых предшествующими исследователями [3, 4, 11, 13, 14, 25] нами составлена металлогенограмма, отражающая последовательность формирования структурно-вещественных комплексов каледонского этапа развития данной территории. Реконструированы структурно-формационные ряды для основных стадий этого этапа (рис. 5).

На составленной металлогенограмме отражена приуроченность медно-порфиорового оруденения Кызыкчадрского рудного поля (а возможно, и других медно-порфиоровых объектов южной части Алтае-Саянского сегмента) к стадии аккреции Хамсаринской островодужной системы к Сибирскому континенту в

среднем–позднем кембрии, сопровождавшейся формированием аккреционно-коллизийного магматического пояса. В составе последнего распространены крупные плутоны «батолитовой» диорит-тоналит-плагиогранитовой формации (в том числе таннуольского комплекса). Такие плутоны в ряде случаев прорываются малыми интрузиями «пёстрого» состава, несущими медно-молибден-порфиоровое оруденение. В частности, медно-порфиоровое оруденение Кызыкчадрского рудного поля приурочено к телам кварцевых диоритовых порфиритов кызыкчадрского интрузивного комплекса среднего–позднего кембрия.

Как уже было отмечено, интрузивы, отвечающие по составу и времени образования магматитам кызыкчадрского комплекса, к настоящему времени обнаружены только в пределах Ожинского выступа. Не исключено, что за его пределами они оказались перекрытыми или прорванными более молодыми породами раннепалеозойского коллизийного ВПП. Последние представлены вулканическими и интрузивными образованиями ордовика–силура (гранит-лейкогранитового и риолитоидного составов) и раннего девона (монцититоидного и трахиандезитоидного составов), типичными для подобных обстановок [17, 26].

С учётом полученных соотношений нами составлена схематическая структурно-формационная карта южной части Алтае-Саянского сегмента масштаба 1 : 3 000 000 (рис. 6).

Отметим, что в качестве «каркаса» при составлении такой карты была принята концепция ороклинального изгибания каледонской «Тувино-Монгольской магматической дуги» М. Михаласки с соавторами [29] на стадии общей коллизии в позднем палеозое–мезозое. Рассматриваемая нами площадь – юг Алтае-Саянского сегмента ЦАОП – располагается в наиболее деформированной области северо-западного замыкания этой структуры на границе Сибирского кратона.

Структурно-формационная карта составлена на основе изданной ГГК 1 : 2 500 000 (ВСЕГЕИ) с использованием имеющегося комплекта ГГК 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. Выделенные на карте разновозрастные структурно-

Возраст	Геодинамические режимы (стадии геотектонического развития)	Интрузивные формации	Стратифицированные формации	Металлогенная грамма
D_2-Q	Горно-складчатое сооружение; пассивная окраина; рифтогенез; платформенные	Щелочные интрузивы позднего мезозоя (К); гранит-лейкогранитовые и трахидолеритовые комплексы позднего палеозоя (D)	Континентальные формации позднего палеозоя-мезозоя: карбонатные, терригенно-карбонатные, флишевые и вулканогенно-обломочные (преимущественно девонские) формации	
Перекрывающие и прорывающие формации (постраннедевонские)				
$O-D_1$	Коллизионный вулканоплутонический пояс	Гранит-лейкогранитовая (белыкский, кутурчинский, аргонский, огнитский, большепорожский и др. комплексы) Монцитовая, гранит-лейкогранитовая (тигертышский, танзыбейский комплексы) Сиенитовая (столбовский, сайбарский, черносопкинский, юлинский комплексы)	молассовая горно-складчатое сооружение базальтовая, туфопесчанисто-конгломератовая, андезитобазальтовая, трахириолитовая магматическая дуга коллизионного ВПП флишеидная терригенно-карбонатная континентальный склон и задуговой прогиб	
E_{2-3}	Аккреционно-коллизионный магматический пояс Аккреция островных дуг	Габбро-диорит-гранодиорит-гранитная (кызыкчадрский комплекс) Диорит-тоналит-плагиогранитная «батолитовая» (таннуольский, ольховский, когтахский комплексы)	туфоглинисто-песчаная туфопесчанисто-конгломератовая вулканогенно-осадочная алеврито-аргиллитовая пестроцветная, карбонатная, терригенно-карбонатная, флишеидная магматическая (вулканоплутоническая) дуга аккреционно-коллизионного пояса преддуговой и задуговой прогибы	
E_1	Зрелые островные дуги	Габбро-плагиогранитная (майский)	алеврито-аргиллитовая пестроцветная, карбонатная, терригенно-карбонатная туфоглинисто-песчаная, туфопесчанисто-конгломератовая, базальто-андезитовая задуговой бассейн вулканическая дуга	
$R-V (E_1)$		Габбро-гранитная (нижнеканский, нижнедербинский, лысанский, казырский, акшепский, изыхский и др. комплексы)	аспидная, флишеидная, углеродисто-кремнистая карбонатная терригенно-карбонатная преддуговой бассейн задуговой бассейн	

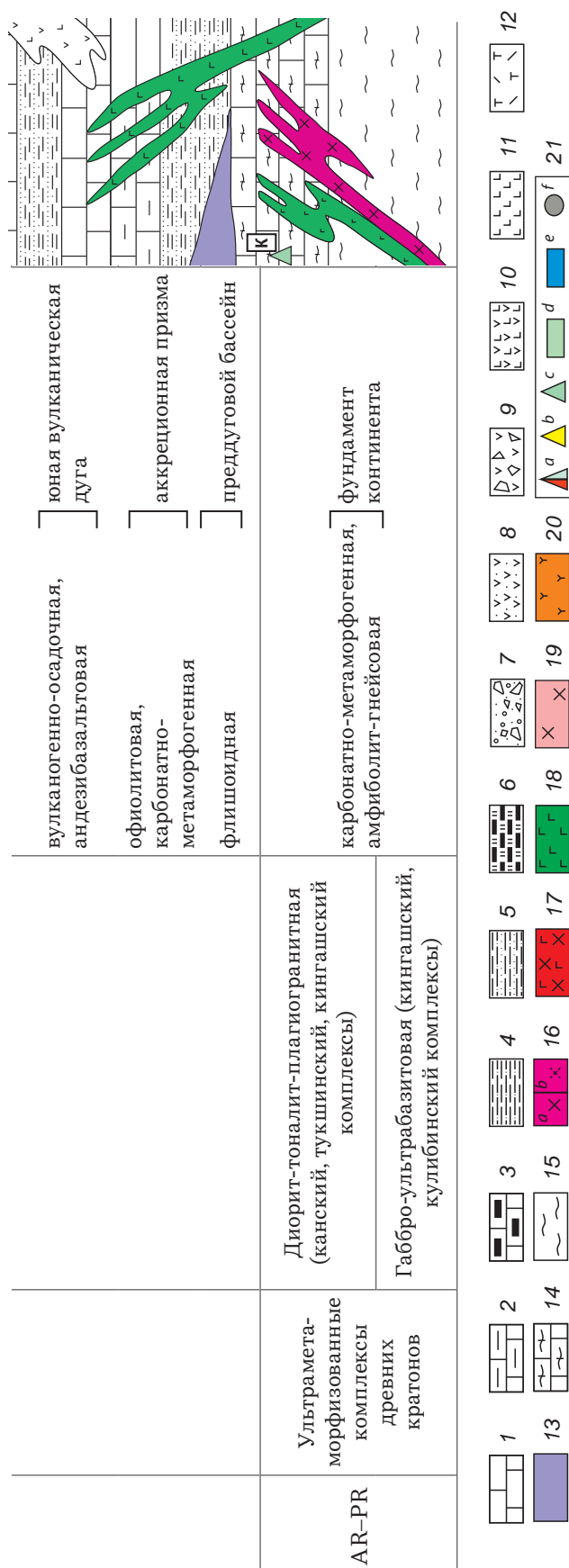


Рис. 5. Схема пространственно-временных соотношений геологических и рудных формаций (металлогенограмма) южной части Алтае-Саянского сегмента:

геологические формации: осадочные (1 – карбонатная, 2 – терригенно-карбонатная, 3 – аспидная, 4 – алевроит-аргиллитовая пестроцветная, 5 – флишевая, 6 – углеродисто-кремнистая, 7 – моласовая); вулканогенные (8 – туфоглинисто-песчаная, 9 – туфопесчано-конгломератовая/вулканогенно-обломочная, 10 – андезибазальтовая/базальт-андезитовая, 11 – базальтовая, 12 – трахириолитовая, 13 – офиолитовая); метаморфические (14 – карбонатно-гранулитовая, 15 – амфиболит-гнейсовая); интрузивные (16 – диорит-тоналит-плаггиогранитная; а – фанеритовые фазы, б – порфиоровые фазы; 17 – габбро-диорит-гранодиорит-гранитная; 18 – габбро-плаггиогранитная; 19 – монзонитовая; 20 – сиенитовая); 21 – рудные формации: а – молибден-медно-порфировая (КЧ – Кызык-Чадр, АС – Ак-Суг), б – золото-кварц-сульфидная (ОЧ – Ольховско-Чибезекский рудный узел), с – медно-никелевая с габброидами (К – Кингашское), д – медно-колчеданная (М – Майнское), е – колчеданно-полиметаллическая (КТ – Кызыл-Таштыгское), ф – тантал-ниобиевая, неясного рудно-формационного типа (Г – Гольцевское)

Fig. 5. Diagram (metallogenogram) showing spatial and temporal relationships between the geological formations and mineralization of various types of the southern Altai-Sayan segment:

geological formations: sedimentary (1 – carbonate, 2 – terrigenous-carbonate, 3 – slate, 4 – siltstone-mudstone, varicolored, 5 – flysch, 6 – carbonaceous cherty, and 7 – molasse); volcanogenic (8 – tuffaceous clayey-sandy, 9 – tuffaceous sandstone-conglomerate / volcanogenic clastic, 10 – andesibasaltic / basaltic-andesitic, 11 – basaltic, 12 – trachyrhyolitic, 13 – ophiolite); metamorphic (14 – carbonate-granulitic, 15 – amphibolite-gneissic); intrusive (16 – diorite-tonalite-plagiogranite: a – faneritic phases, b – porphyritic phases; 17 – gabbro-diorite-granodiorite-granite; 18 – gabbro-plagiogranite; 19 – monzonite; 20 – syenite); 21 – mineralization types (ore formations): a – molybdenum-copper porphyry (КЧ – Kyzzyk-Chadr, АС – Ak-Sug), b – gold-quartz-sulfide (ОЧ – Olkhovsko-Chibezhek ore cluster), c – copper-nickel with gabbroids (К – Kingash), d – copper VMS (М – Mainskoe), e – polymetallic VMS (КТ – Kyzyl-Tashtygskoye), f – tantalum-niobium of unclear ore formational type (Г – Goltsevskoe)

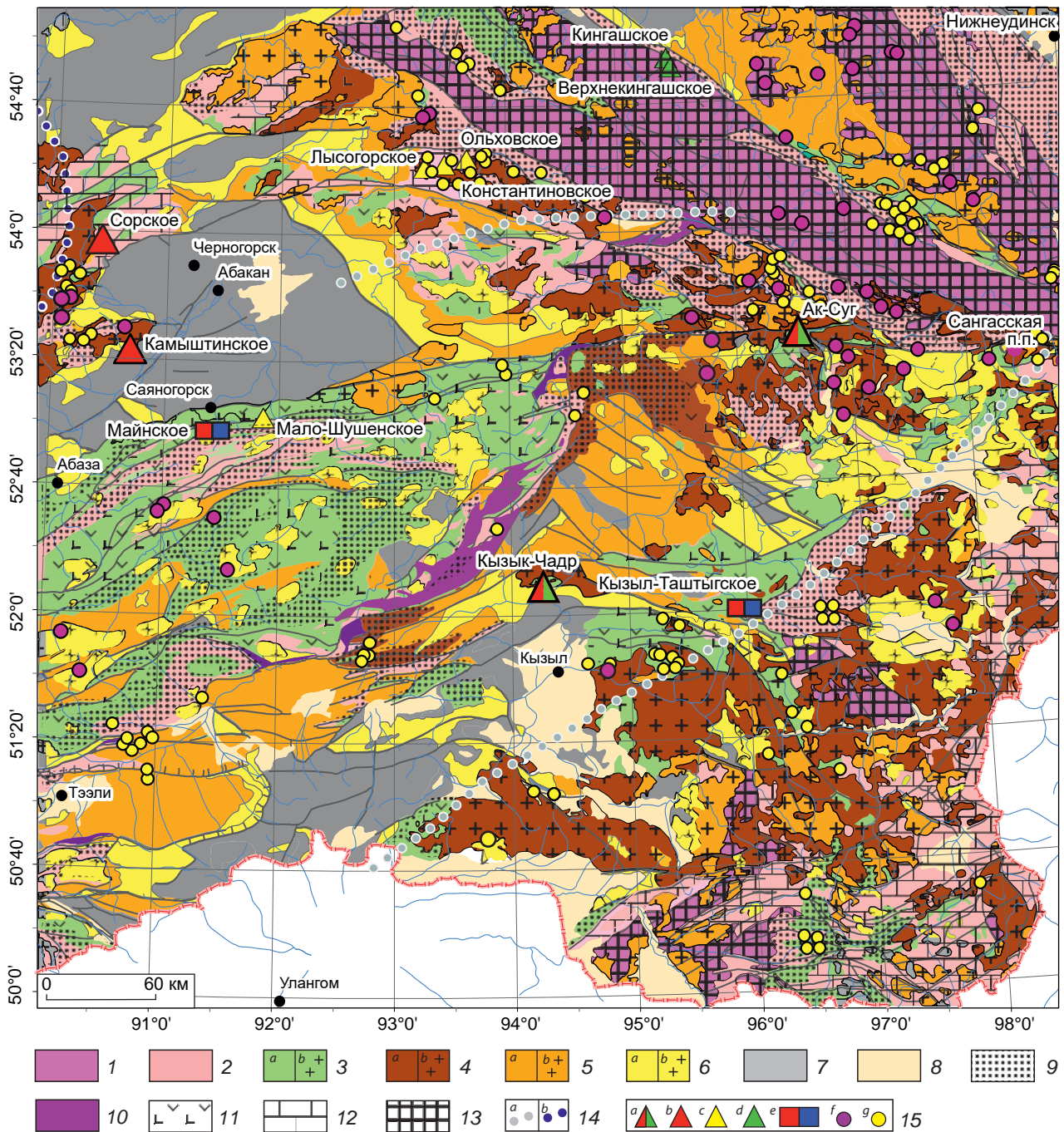


Рис. 6. Схематическая структурно-формационная карта южной части Алтае-Саянского сегмента (составлена с использованием [12]):

докембрийские образования: 1 – архей–протерозой; 2 – рифей–венд; 3 – раннекембрийские образования: *a* – стратифицированные толщи, *b* – габбро-плагиогранитные формации; 4 – средне-(позднекембрийские) образования: *a* – стратифицированные толщи, *b* – габбро-тоналит-плагиогранитная и габбро-диорит-гранодиорит-гранитная формации; 5 – ордовик-силурийские образования: *a* – стратифицированные толщи, *b* – габбро-монзонит-сиенитовая и гранит-лейкогранитная формации, нерасчленённые; 6 – раннедевонские образования: *a* – стратифицированные толщи, *b* – габбро-монзонит-сиенитовая и гранит-



лейкогранитовая формации, нерасчленённые; 7 – позднепалеозойские–раннемезозойские образования (D_2 –T); 8 – позднепалеозойские–кайнозойские образования (J–N); геотектонические обстановки осадконакопления: 9 – преддуговой прогиб, 10 – аккреционная призма, 11 – магматическая дуга, 12 – задуговой бассейн, 13 – континент; 14 – магматические дуги: *a* – «Тувино-Монгольская», *b* – Уймен-Лебедская; 15 – месторождения и точки минерализации: *a* – молибден-медно-порфировые, *b* – молибденовые, *c* – золоторудные, *d* – медно-никелевые, *e* – колчеданно-полиметаллические, *f* – рудопроявления молибдена, *g* – рудопроявления золота

Fig. 6. Schematic structural-formational map of the southern Altai-Sayan segment (compiled using [12]):

Precambrian formations: 1 – Archean–Proterozoic, 2 – Riphean–Vendian; 3 – Early Cambrian formations: *a* – stratified sequences, *b* – gabbro-plagiogranite associations; 4 – Middle (Late Cambrian) formations: *a* – stratified sequences, *b* – gabbro-tonalite-plagiogranite and gabbro-diorite-granodiorite-granite associations, undivided; 5 – Ordovician–Silurian formations: *a* – stratified strata, *b* – gabbro-monzonite-syenite and granite-leucogranite formations; 6 – Early Devonian formations: *a* – stratified sequences, *b* – gabbro-monzonite-syenite and granite-leucogranite formations, undivided; 7 – Late Paleozoic–Early Mesozoic formations (D_2 –T); 8 – Late Mesozoic–Cenozoic formations (J–N); geotectonic settings: 9 – forearc trough, 10 – accretionary prism, 11 – magmatic arc, 12 – back-arc basin, 13 – continent; 14 – magmatic arcs: *a* – Tuva-Mongolian, *b* – Uymen-Lebed; 15 – deposits and mineralization points: *a* – molybdenum-copper porphyry, *b* – molybdenum, *c* – lode gold, *d* – copper-nickel, *e* – polymetallic VMS, *f* – molybdenum ore occurrences, *g* – gold ore occurrences

формационные комплексы соответствуют геотектоническим режимам (стадиям геотектонического развития) на приведённой выше металлогенограмме (см. рис. 5).

На основе генерализации выделенных на схематической структурно-формационной карте ареалов распространения различных геологических формаций составлена схема распределения кембрийских, ордовикско-силурийских и раннедевонских магматических образований в южной части Алтае-Саянского сегмента (рис. 7). Анализ этой схемы и размещения месторождений медно-порфирового типа показывает, что позиция промышленных месторождений медно-молибден-порфирового рудно-формационного семейства в южной части Алтае-Саянского сегмента Центрально-Азиатского орогенного пояса характеризуется приуроченностью к участкам пространственного совмещения (наложения) поясов распространения магматических образований трёх геотектонических этапов: островодужных вулканических поясов, «батолитовых» интрузивов аккреционно-коллизионных магматических поясов заключительной (аккреционной) стадии развития островных дуг и коллизионных вулкано-плутонических поясов.

Заключение.

1. Молибден-медно-порфировое оруденение Кызыкчадрского рудного поля сформировано

на раннекаледонском (салаирском) этапе развития Алтае-Саянского сегмента ЦАОП в связи со становлением малых интрузий кызыкчадрского габбро-диорит-гранодиорит-гранитового комплекса среднего–позднего кембрия, на стадии образования аккреционно-коллизионного магматического пояса, заложенного на вулканогенно-осадочном островодужном субстрате венд-раннекембрийского возраста.

2. Предполагаемые площади размещения продуктивных на молибден-медно-порфировое оруденение кембрийских плутонитов аккреционно-коллизионной стадии южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП на отдельных участках перекрываются ордовик-силурийскими и раннедевонскими вулканогенно-осадочными отложениями и прорываются интрузивными массивами собственно коллизионного ВПП каледонского геотектонического этапа.

3. Породы салаирского и каледонского магматических поясов были интенсивно деформированы в ходе последующих геотектонических этапов – в первую очередь в процессе позднепалеозойской коллизии, и перекрыты более молодыми осадочными отложениями.

4. По основным характеристикам состава продуктивного магматизма, руд и метасоматитов оруденение Кызыкчадрского рудного поля может быть отнесено к молибден-медно-

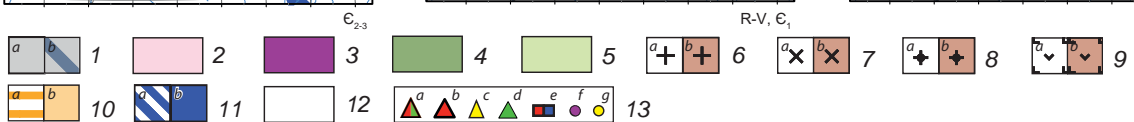
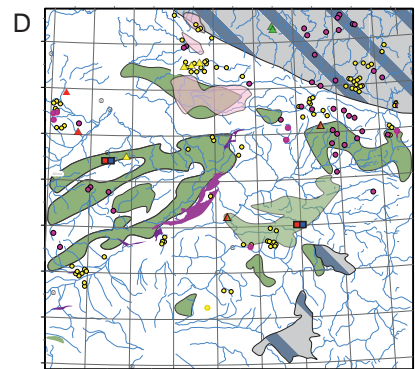
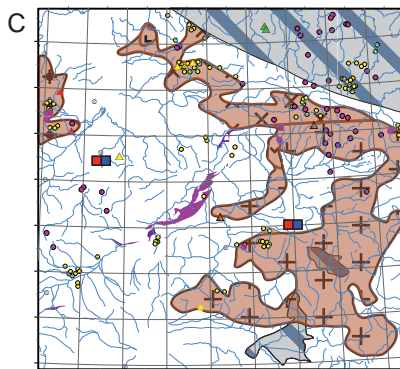
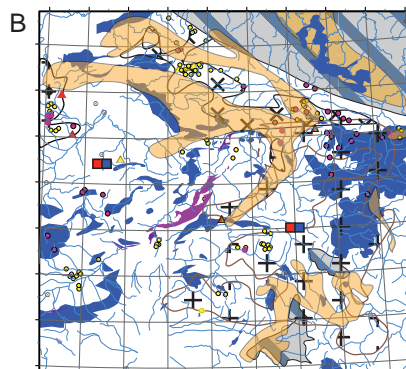
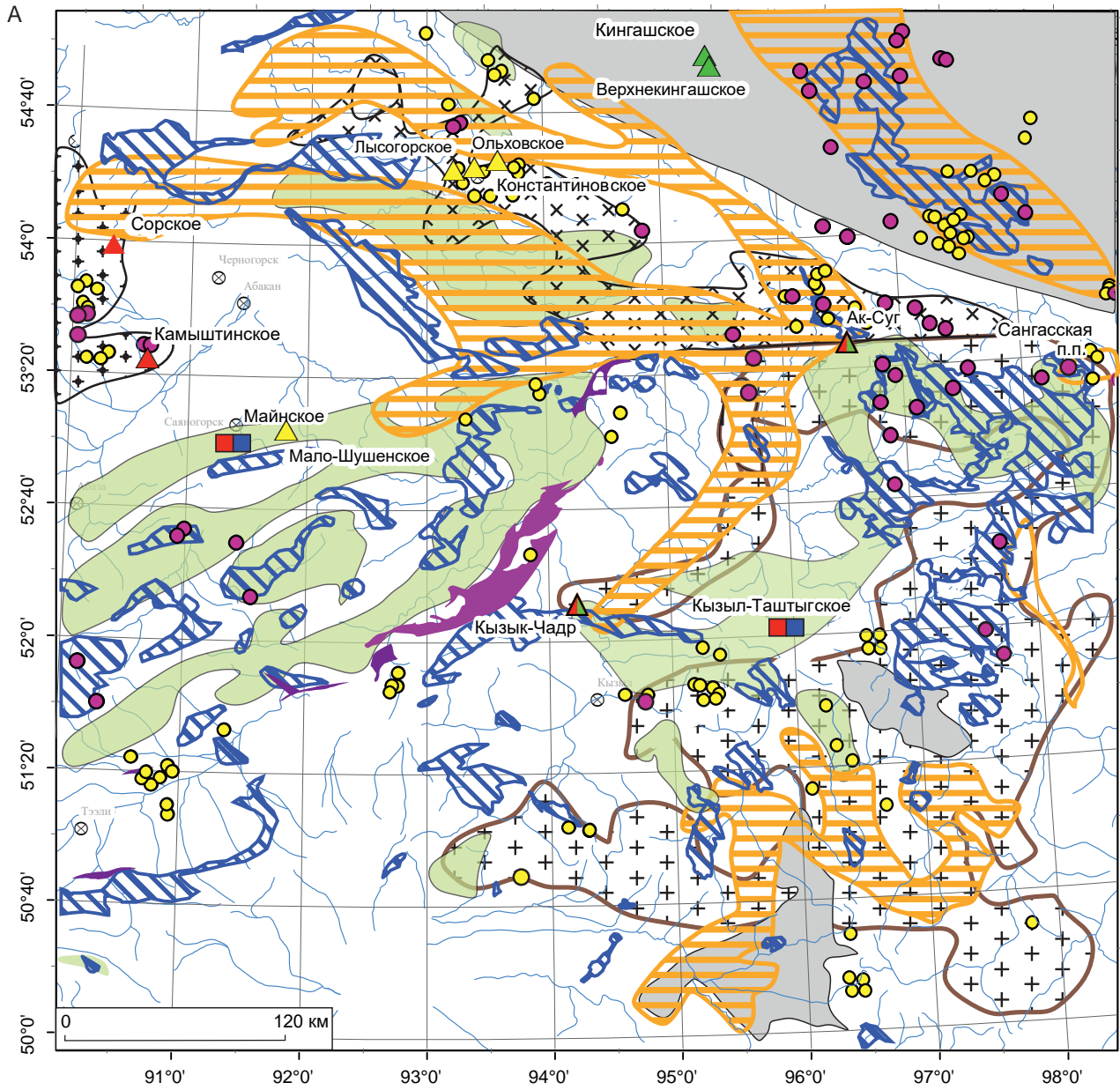




Рис. 7. Схема распространения кембрийских, ордовикско-силурийских и раннедевонских магматических образований в южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП: А – схематическая структурно-формационная карта; карты-врезки для этапов: В – ордовик-силур и ранний девон (окраинно-континентальный ВПП), С – средний-поздний кембрий (аккреционно-коллизийная «батолитовая» стадия), D – рифей-венд и ранний кембрий (островодужная обстановка):

структурно-формационные комплексы: 1 – докембрийских кратонных блоков (в том числе Сибирская платформа) (а – на схематической карте, b – на врезках); рифейско-раннекембрийских островных дуг: 2 – рифей-вендской зрелой островной дуги (только на врезке), 3 – вендский офиолитовый (аккреционной призмы), 4 – раннекембрийские зрелой островной дуги (только на врезке), 5 – рифей-вендские и раннекембрийские островодужные, нерасчленённые (только на карте); средне-позднекембрийских аккреционно-коллизийных обстановок: батолитовые плутоны (6 – таннуольского, 7 – ольховского, 8 – когтахского интрузивных комплексов: а – на карте, b – на врезке), 9 – вулканы (а – на карте, b – на врезке); ордовик-раннедевонских коллизийных обстановок: 10 – ордовик-силурийские образования гранит-лейкогранитового и габбро-монзонит-сиенитового состава коллизийного ВПП (а – на карте, b – на врезке), 11 – раннедевонские образования монзонитоидного и трахиандезитоидного составов коллизийного ВПП (а – на карте, b – на врезке); 12 – прочие; 13 – месторождения и рудопроявления полезных ископаемых: а – молибден-медно-порфировые, b – молибденовые, с – золоторудные, d – медно-никелевые, e – колчеданно-полиметаллические, f – рудопроявления молибдена, g – рудопроявления золота

Fig. 7. Schematic maps showing distribution of the Cambrian, Ordovician–Silurian, and Early Devonian igneous associations in the southern portion of the Altai-Sayan segment of the CAOB: A – schematic structural-formational map; inset maps for the stages: B – Ordovician–Silurian and Early Devonian (continental-marginal volcano-plutonic belt), C – Middle–Late Cambrian (accretionary-collisional “batholithic” phase), D – Riphean–Vendian and Early Cambrian (island-arc setting):

structural and formational complexes of the principal geotectonic phases: 1 – Precambrian cratonic blocks (including the Siberian Platform) (a – on the schematic map, b – on the insets); Riphean–Early Cambrian island arcs: 2 – Riphean–Vendian mature island arc (only on the inset), 3 – Vendian ophiolites (accretionary prism), 4 – Early Cambrian of the mature island arc (only on the inset), 5 – Riphean–Vendian and Early Cambrian island arcs, undivided (only on the map); Middle through Late Cambrian accretionary-collisional settings: batholith plutons (6 – Tannu-Ola, 7 – Olkhovka, 8 – Kogtakh intrusive complexes: a – on the map, b – on the inset), 9 – volcanics (a – on the map, b – on the inset); Ordovician–Early Devonian collisional settings: 10 – Ordovician–Silurian granite-leucogranite and gabbro-monzonite-syenite associations of the collisional volcano-plutonic belt (a – on the map, b – on the inset), 11 – Early Devonian monzonitoid and trachyandesitoid associations of the collisional volcano-plutonic belt (a – on the map, b – on the inset), 12 – others; 13 – ore deposits and occurrences: a – molybdenum-copper porphyry, b – molybdenum, c – lode gold, d – copper-nickel, e – polymetallic VMS, f – molybdenum occurrences, g – gold occurrences

порфировой формации (по А. И. Кривцову, 1981 г.).

5. Позиция промышленных месторождений медно-молибден-порфирового рудно-формационного семейства в южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП характеризуется приуроченностью к участкам пространствен-

ного совмещения (наложения) ареалов распространения магматических образований трёх геотектонических этапов: 1) островодужных вулканических поясов (V–E₁); 2) «батолитовых» интрузивов и малых интрузий магматического пояса аккреционно-коллизийной стадии (E₂₋₃); 3) коллизийного ВПП (O–D₁).

Список литературы

1. Андреев А. В., Гирфанов М. М., Старостин И. А., Авилова О. В., Кряжев С. Г., Юрмазов Д. Н., Бабкин И. А., Семёнов М. И. Геологическое строение, рудно-метасоматическая и минералого-геохимическая зональность золотосодержащего молибден-медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр, Республика Тыва // Руды и металлы. – 2021. – № 1. – С. 57–76.
2. Берзина А. Н., Берзина А. П., Гимон В. О. Су-Мо-порфировое месторождение Аксуг (Северо-Восточная Тува): хронология процессов магматизма и рудообразования (U-Pb, Re-Os изотопные данные), металлогенические следствия // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 9. – С. 1330–1349.
3. Буслов М. М., Джен Х., Травин А. В., Отгонбаатар Д., Куликова А. В., Чен Минг, Глори С.,

- Семаков Н. Н., Рубанова Е. С., Абилдаева М. А., Войтишек Е. Э., Трофимова Д. А.* Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. – 2013. – № 10. – С. 1600–1627.
4. *Ветров Е. В., Черных А. И., Бабин Г. А.* Раннепалеозойский гранитоидный магматизм восточно-таннуольского сектора тувинского магматического пояса: геодинамическая позиция, возраст и металлогения // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 5. – С. 641–665.
 5. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-45 (Горно-Алтайск). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2006.
 6. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-46 (Кызыл). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008.
 7. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-47 (Кунгур). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010.
 8. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45 (Новокузнецк). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2005.
 9. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-46 (Абакан). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008.
 10. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-47 (Нижеудинск). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011.
 11. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 200 000 (2-е издание). Серия Западно-Саянская. Лист N-46-XXXV (Уюк). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019.
 12. *Геологическая* карта Российской Федерации. М-б 1 : 2 500 000. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017.
 13. *Гордиенко И. В., Метёлкин Д. В.* Эволюция субдукционного магматизма на неопротерозойской и венд-раннепалеозойской активных окраинах Палеоазиатского океана // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 1. – С. 91–108.
 14. *Гусев Н. И., Берзон Е. И., Семёнов М. И.* Кызыкчадрское медно-порфировое месторождение (Тыва): геохимические особенности и возраст магматизма // Региональная геология и металлогения. – 2014. – № 59. – С. 70–79.
 15. *Звездов В. С., Мигачёв И. Ф., Гирфанов М. М., Заури Н. М.* Обстановки формирования медно-порфировых рудно-магматических систем // Геология рудных месторождений. – 1989. – № 4. – С. 23–37.
 16. *Кривцов А. И., Мигачёв И. Ф., Попов В. С.* Медно-порфировые месторождения мира. – М. : Недра, 1986. – 236 с.
 17. *Кривцов А. И., Гирфанов М. М., Шишаков В. Б., Дубова Т. А., Емельянов С. А.* Комплексные модели месторождений порфирового типа цветных и благородных металлов. Атлас. – М. : ЦНИГРИ, 1995.
 18. *Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачёв И. Ф., Минина О. В.* Медно-порфировые месторождения. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
 19. *Кузнецов В. В., Серавина Т. В., Кузнецова С. В., Елишина С. Л.* Условия локализации колчеданно-полиметаллического оруденения Улугуйской минерагенической зоны (Республика Тыва) // Отечественная геология. – 2020. – № 3. – С. 3–17.
 20. *Руднев С. Н., Гибшер А. С., Семёнова Д. В.* Вендский островодужный интрузивный магматизм Озёрной зоны западной Монголии // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62, № 6. – С. 765–781.
 21. *Семёнов М. И., Юркевич Л. Г.* Геология, геохимия и рудоносность Ожинского интрузивного плутона // Геологическое строение и полезные ископаемые Центральной Сибири : сборник статей. – Красноярск : Сибирское ПГО, 2019. – С. 110–119.
 22. *Сотников В. И.* Медно-молибден-порфировая рудная формация: природа, проблема объёма и границ // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 3. – С. 355–363.
 23. *Старостин И. А., Гирфанов М. М., Столяров И. О.* Палеотектоническая позиция Кызыкчадрского рудного поля (Республика Тыва) в региональных геотектонических структурах // IV Молодёжная научно-образовательная конференция «Рудная школа ЦНИГРИ 2023. Минерально-сырьевая



- база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче»: сборник тезисов докладов. – М.: ЦНИГРИ, 2023. – С. 166–167.
24. Черных А. И., Ветров Е. В. Геологическое строение и металлогения западной части Восточно-Таннуольского рудного района (Республика Тыва) – на основе новых геохимических и изотопно-геохронологических данных // Отечественная геология. – 2017. – № 2. – С. 4–21.
25. Черных А. И., Ширококов А. Ю., Арсентьева И. В. Металлогения золота Восточно-Таннуольского рудного района (Республика Тыва) // Руды и металлы. – 2021. – № 2. – С. 40–67.
26. Berzina A. N., Berzina A. P., Gimón V. O. Paleozoic-Mesozoic Porphyry Cu(Mo) and Mo(Cu) Deposits within the Southern Margin of the Siberian Craton: Geochemistry, Geochronology, and Petrogenesis (a Review) // Minerals. – 2016. – № 6 (6). – P. 1–25.
27. Yakubchuk A. Evolution of the Central Asian Orogenic Supercollage since Late Neoproterozoic revised again // Gondwana Research. – 2017. – № 47. – P. 372–398.
28. Migachev I. F. Complex ore nodes of marginal volcano-plutonic belts and their geological setting // Resource Geology Special Issue. – 1993. – № 15. – P. 199–209.
29. Mihalasky M. J., Ludington S., Hammarstrom J. M., Alexeiev D. V., Frost T. P., Light T. D., Robinson G. R. Jr., Briggs D. A., Wallis J. C., Miller R. J. Porphyry Copper Assessment of the Central Asian Orogenic Belt and eastern Tethysides – China, Mongolia, Russia, Pakistan, Kazakhstan, Tajikistan, and India // U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5090–X. – 2015. – 106 p. – DOI: <http://dx.doi.org/10.3133/sir20105090X>.

References

- Andreev A. V., Girfanov M. M., Starostin I. A., Avilova O. V., Kryazhev S. G., Yurmazov D. N., Babkin I. A., Semenov M. I. Geologicheskoe stroenie, rudno-metasomaticheskaya i mineralogo-geokhimi-cheskaya zonal'nost' zolotosoderzhashchego molibden-medno-porfirovogo mestorozhdeniya Kyz'yk-Chadr, Respublika Tyva [Geological structure, ore-metasomatic and mineralogical geochemical zoning of Au-Mo-Cu porphyry Kyz'yk-Chadr deposit, Tyva republic], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2021, No 1, pp. 57–76. (In Russ.).
- Berzina A. N., Berzina A. P., Gimón V. O. Cu-Mo-porfirovoe mestorozhdenie Aksug (Severo-Vostochnaya Tuva): khronologiya protsessov magmatizma i rudoobrazovaniya (U-Pb, Re-Os izotopnye dannye), metallogenicheskie sledstviya [The Aksug porphyry Cu-Mo deposit (Northeastern Tuva): chronology of magmatism and ore formation processes (U-Pb and Re-Os isotope data) and metallogenic implications], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2019, V. 60, No 9, pp. 1330–1349. (In Russ.).
- Buslov M. M., Dzhen Kh., Travín A. V., Otgonbatar D., Kulikova A. V., Chen Ming, Glori S., Semakov N. N., Rubanova E. S., Abildaeva M. A., Voitishchik E. E., Trofimova D. A. Tectonika i geodinamika Gornogo Altaya i sopredelnikh struktur [Tectonics and geodynamics of Gorny Altai and adjacent structures of the Altai-Sayan folded area], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2013, V. 54, No 10, pp. 1600–1627. (In Russ.).
- Vetrov E. V., Chernykh A. I., Babin G. A. Ran-nepaleozoiskii granitoidnyi magmatizm vostochno-tannuol'skogo sektora tuvinskogo magmaticheskogo poyasa: geodinamicheskaya pozitsiya, vozrast i metallogeniya [Early paleozoic granitoid magmatism in the eastern tannu-ola sector of the tuvinian magmatic belt: geodynamic setting, age, and metallogeny], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2019, V. 60, No 5, pp. 641–665. (In Russ.).
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List M-45 – (Gorno-Altaysk). Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet M-45 (Gorno-Altaysk). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2006.
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List M-46 (Kyzyl). Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet M-46 (Kyzyl). Explanatory note], St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2008.
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List M-47 (Kungurug). Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet M-47 (Kungurug)].

- rug). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2010.
8. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List N-45 (Novokuznetsk). Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet N-45 (Novokuznetsk). Explanatory note], St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2005.
 9. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List N-46 (Abakan). Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet N-46 (Abakan). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2008.
 10. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List N-47 (Nizhneudinsk). Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet N-47 (Nizhneudinsk). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2011.
 11. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 200 000 (2-e izdanie). Seriya Zapadno-Sayanskaya. List N-46-XXXV (Uyuk). Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200,000 (2nd edition). The Western Sayan series. Sheet N-46-XXXV (Uyuk). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2019.
 12. Geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Scale 1 : 2 500 000 [Geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 2,500,000], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2017.
 13. Gordienko I. V., Metelkin D. V. Evolyutsiya subduktionnogo magmatizma na neoproterozoiskoi i vendrannepaleozoiskoi aktivnykh okrainakh Paleoziat'skogo okeana [The evolution of the subduction zone magmatism on the Neoproterozoic and early Paleozoic active margins of the Paleasian ocean], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 2016, V. 57, No 1, pp. 91–108. (In Russ.).
 14. Gusev N. I., Berzon E. I., Semenov M. I. Kyz'ychadrskoe medno-porfirovoe mestorozhdenie (Tuva): geokhimicheskie osobennosti i vozrast magmatizma [Kyz'ychadr copper-porphyry deposit (Tuva): geochemical features and age of magmatism], *Regional'naya geologiya i metallogeniya [Regional Geology and Metallogeny]*, 2014, V. 59, pp. 70–79. (In Russ.).
 15. Zvezdov V. S., Migachev I. F., Girfanov M. M., Zairi N. M. Obstanovki formirovaniya medno-porfirovykh rudno-magmaticheskikh sistem [Conditions of formation of copper-porphyry ore-magmatic systems], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits]*, 1989, No 4, pp. 23–37. (In Russ.).
 16. Krivtsov A. I., Migachev I. F., Popov V. S. Medno-porfirovyye mestorozhdeniya mira [Copper-porphyry deposits of the world], Moscow, Nedra Publ., 1986, 236 p.
 17. Krivtsov A. I., Girfanov M. M., Shishakov V. B., Dubova T. A., Emel'yanov S. A. Kompleksnye modeli mestorozhdenii porfirovogo tipa tsvetnykh i blagorodnykh metallov. Atlas [Complex models of porphyry deposits of non-ferrous and precious metals. Atlas], Moscow, TsNIGRI Publ., 1995.
 18. Krivtsov A. I., Zvezdov V. S., Migachev I. F., Minina O. V. Medno-porfirovyye mestorozhdeniya [Porphyry copper deposits], Moscow, TsNIGRI Publ., 2001, 232 p.
 19. Kuznetsov V. V., Seravina T. V., Kuznetsova S. V., Elshina S. L. Usloviya lokalizatsii kolchedannopolimetallicheskogo orudneniya Ulugoiskoi mineragenicheskoi zony (Respublika Tyva) [Localization conditions of pyrite-polymetallic mineralization in the Ulugojskaja mineragenic zone (Republic of Tuva)], *Otechestvennaya geologiya [National Geology]*, 2020, No 3, pp. 3–17. (In Russ.).
 20. Rudnev S. N., Gibsher A. S., Semenova D. V. Vendskii ostrovoduzhnyi intruzivnyi magmatizm Ozernoi zony zapadnoi Mongolii [Vendian island-arc intrusive magmatism of the Lake zone of Western Mongolia (geological, geochronological, and petrochemical data)], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 2021, V. 62, No 6, pp. 765–781. (In Russ.).
 21. Semenov M. I., Yurkevich L. G. Geologiya, geokhimiya i rudonosnost' Ozhinskogo intruzivnogo plutona [Geology, geochemistry and ore content of the Ozhinsky intrusive pluto], *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Tsentral'noi Sibiri: sbornik statei [Geological structure and minerals of Central Siberia: collection of articles]*, Krasnoyarsk: Sibirskoe PGO Publ., 2019, pp. 110–119.
 22. Sotnikov V. I. Medno-molibden-porfirovaya rudnaya formatsiya: priroda, problema ob'ema i granits [Copper-molybdenum-porphyry ore formation: nature, the problem of volume and boundaries],



- Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2006, V. 47, No 3, pp. 355–363. (In Russ.).
23. Starostin I. A., Girfanov M. M., Stolyarov I. O. Paleotektonicheskaya pozitsiya Kyzychadrskego rudnogo polya (Respublika Tyva) v regional'nykh geotektonicheskikh strukturakh [Paleotectonic position of the Kyzychadr ore field (Republic of Tyva) in regional geotectonic structures], IV Molo-dezhnaya nauchno-obrazovatel'naya konferentsiya "Rudnaya shkola TsNIGRI 2023. Mineral'no-syr'evaya baza almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov – ot prognoza k dobyche": sbornik tezisov dokladov [IV Youth scientific and educational conference "Mining school TsNIGRI 2023. Mineral resource base of diamonds, precious and non-ferrous metals – from forecast to production": collection of abstracts], Moscow, TsNIGRI Publ., 2023, pp. 166–167.
24. Chernykh A. I., Vetrov E. V. Geologicheskoe stroenie i metallogeniya zapadnoi chasti Vostochno-Tannuol'skogo rudnogo raiona (Respublika Tyva) – na osnove novykh geokhimicheskikh i izotopno-geokhronologicheskikh dannyykh [Geological structure and metallogeny of East Tannuol ore district western part (Tyva Republic) – new geochemical and isotope-geochronological data], *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2017, No 2, pp. 4–21. (In Russ.).
25. Chernykh A. I., Shirobokov A. Yu., Arsent'eva I. V. Metallogeniya zolota Vostochno-Tannuol'skogo rudnogo raiona (Respublika Tyva) [Gold metallogeny of the East Tannu-Ola ore region, Tyva Republic], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2021, No 2, pp. 40–67. (In Russ.).
26. Berzina A. N., Berzina A. P., Gimon V. O. Paleozoic-Mesozoic Porphyry Cu(Mo) and Mo(Cu) Deposits within the Southern Margin of the Siberian Craton: Geochemistry, Geochronology, and Petrogenesis (a Review), *Minerals*, 2016, No 6 (6), pp. 1–25.
27. Yakubchuk A. Evolution of the Central Asian Orogenic Supercollage since Late Neoproterozoic revised again, *Gondwana Research*, 2017, No 47, pp. 372–398.
28. Migachev I. F. Complex ore nodes of marginal volcano-plutonic belts and their geological setting, *Resource Geology Special Issue*, 1993, No 15, pp. 199–209.
29. Mihalasky M. J., Ludington S., Hammarstrom J. M., Alexeiev D. V., Frost T. P., Light T. D., Robinson G. R. Jr., Briggs D. A., Wallis J. C., Miller R. J. Porphyry Copper Assessment of the Central Asian Orogenic Belt and eastern Tethysides – China, Mongolia, Russia, Pakistan, Kazakhstan, Tajikistan, and India, *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5090–X*, 2015, 106 p., DOI: <http://dx.doi.org/10.3133/sir20105090X>.

Старостин Иван Александрович (starostin@tsnigri.ru)

ведущий инженер

Черных Александр Иванович

кандидат геол.-минерал. наук, генеральный директор

Гирфанов Михаил Миргалимович

кандидат геол.-минерал. наук, начальник отдела международного сотрудничества

ФГБУ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва, Россия



Деформационные и метасоматические преобразования детритового золота при россыпеобразовании

Хертек Ч. М.¹, Сазонов А. М.²

¹ Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской Академии наук, г. Кызыл, Россия

² Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Аннотация. На севере Республики Тыва, в бассейне рек Амыл и Систиг-Хем известны наиболее богатые россыпи золота, периодически отрабатываемые с 1838 г. Наиболее распространено золото Ag-Au состава, в незначительных объёмах присутствуют медистая и ртутистая разновидности. Коренные проявления приурочены к кварцевым жилам и не имеют промышленного значения. Детритовому золоту в россыпных месторождениях района присущи типоморфные особенности золота россыпей – окатанность, неоднородность состава, наличие кайм-ободков и межзерновых прожилков высокопробного золота и структур деформации частиц. Нами рассмотрены механизмы преобразования детритового золота в россыпях района вследствие деформирующего взаимодействия переносимых частиц в седиментогенной среде на стадии мотогенеза, а также кристаллофизических эффектов на стадии сингенеза – раннего диагенеза при неоднородной метасоматической рекристаллизации эндогенного золота в условиях дифференциальной подвижности главных минералообразующих элементов золота – Au, Ag, Cu, Hg. В результате в частицах формируются полифазные по составу структуры – высокопробные ободки-каймы по периферии частиц, межзерновые прожилки золота высокой пробы, деформационные структуры и повышение пробыности в ядрах частиц.

Ключевые слова: золото, россыпь, высокопробные каймы, межзерновые прожилки, мотогенез, седиментогенез, сингенез, диагенез, гипергенный метасоматоз, кристаллофизические деформации.

Для цитирования: Хертек Ч. М., Сазонов А. М. Деформационные и метасоматические преобразования детритового золота при россыпеобразовании. Руды и металлы. 2023. № 4. С. 74–90. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10020.

Deformational and metasomatic transformations of detrital gold in the course of placer formation

Hertek Ch. M.¹, Sazonov A. M.²

¹ Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS, Kyzyl, Russia

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Annotation. The richest gold placers periodically mined since 1838 are known in the north of the Republic of Tyva, within the basin of the Amyl and Sistig-Khem rivers. Ag-Au gold is the most common, and cuprous and mercuric varieties are presented in small quantities. Lode gold occurrences are confined to quartz veins and have no economic value. Detrital gold in the placer deposits has the typical typomorphic features of placer gold: roundness, compositional heterogeneity, the presence of rims and intergranular veinlets of high-fineness gold, and particle deformation structures. We have considered the transformation mechanisms of detrital gold within the mentioned placers due to the deforming interaction of transported particles in the sedimentogenic environment at the stage of motogenesis, as well as crystallophysical effects at the stage of syngensis – early diagenesis during heterogeneous metasomatic recrystallization of endogenous gold under conditions of differential mobility of the main mineral-forming elements of gold, Au, Ag, Cu, and Hg. As a result, compositionally polyphase structures formed in the particle, they are high-fineness rims along the periphery of the particles, intergranular veins of high-fineness gold, deformation structures, and increased fineness in the particle kernels.

Keywords: gold, placer, high-fineness rims, intergranular veinlets, motogenesis, sedimentogenesis, syngensis, diagenesis, supergene metasomatism, crystallophysical deformations.

For citation: Hertek Ch. M., Sazonov A.M. Deformational and metasomatic transformations of detrital gold in the course of placer formation. Ores and metals. 2023. No. 4. pp. 74–90. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10020.



Введение. В статье рассмотрены текстурно-структурные и химические преобразования детритового золота в цепи условий выветривания, седиментогенеза и сингенеза – раннего диагенеза при формировании россыпей. Эндогенные руды начальной стадии образования россыпей в приповерхностной зоне подвергаются механическому разрушению и химическому выветриванию. Как правило, при геоморфологической перестройке рельефа рудного района (обычно неоднократной) частицы золота из кор выветривания переносятся ветром, текучими водами либо ледниками и попадают в разнообразные промежуточные коллекторы и, наконец, в современный аллювий [2, 16, 21]. Преобразования эндогенных руд заключаются в высвобождении частиц золота из эндогенных агрегатов ассоциирующих минералов, неоднородного материала кор выветривания, механических изменениях при активном перемещении частиц в водном или эоловом потоках, химическом воздействии агрессивных растворов, циркулирующих в областях седиментогенеза, и дискретном отложении в промежуточных коллекторах и аллювии.

Некоторые преобразования в частицах россыпного золота подобны наблюдаемым в минералах метаморфических и метасоматических пород процессам – катаклазу, пластическому течению, метасоматическому замещению, рекристаллизации, грануляции, дезинтеграции и растворению. В результате в детритовых частицах золота отражаются структурные и химические преобразования, приобретённые в корях выветривания и зоне седиментогенеза и отличающие их от эндогенных образований.

Объект исследования расположен на севере Республики Тыва, на границе с Красноярским краем (рис. 1). Золотоносные объекты бассейна р. Систиг-Хем находятся в Тыве, а р. Амыл – в Красноярском крае, традиционно они объединяются в Амыло-Систигхемский рудно-россыпной район. В золотоносных районах Тывы промышленная отработка в большей мере проводилась и проводится на россыпных месторождениях. Известные коренные объекты подвергались преимущественно опытной

эксплуатации и в незначительном объёме. В настоящее время эксплуатационные работы проводятся на скарновом золоторудном месторождении Тардан.

Золотоносность региона установлена в середине XIX столетия, в период становления золотодобычи в Сибири. Ведущее место в добыче золота принадлежало рудно-россыпным месторождениям Амыло-Систигхемского района. По сведениям С. Г. Прудникова [17], на долю Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района приходится 57 % добытого на территории республики золота. Россыпи бассейна верхнего течения р. Амыл (р. Амыл и её притоки – реки Кукшин, Кундусуг, Изинзюль, Акулька, Пряха, Берёзовая, Кална), расположенные на западном склоне Куртушибинского хребта, административно относятся к Красноярскому краю. Золотоносный район бассейна р. Систиг-Хем (россыпи рек Билелиг, Алгияк, Чёрная и коренное месторождение Октябрьское) на восточном склоне Куртушубинского хребта территориально расположены в Республике Тыва.

В геологическом отношении Амыло-Систигхемский рудно-россыпной район находится в пределах сочленения салаирид Восточного Саяна с каледонидами Западно-Саянского офиолитового пояса. Территория района сложена вулканогенно-осадочными толщами венда, нижнего кембрия, красноцветными песчаниками, алевролитами, аргиллитами, конгломератами ордовика, красноцветными терригенными отложениями силура, аллювиально-делювиальными четвертичными образованиями. Осадочно-вулканогенные толщи вмещают интрузивные тела гипербазитового, базитового и гранитоидного комплексов.

Основные источники россыпного золота района – золоторудные проявления, приуроченные к кварцевым жилам, золото-сульфидно-кварцевым залежам, телам листовит-березитовых метасоматитов и зонам окварцевания. Промежуточными коллекторами современных россыпей являются ледниковые отложения и россыпи неогенового возраста [17]. Золото современных долинных россыпей района про-

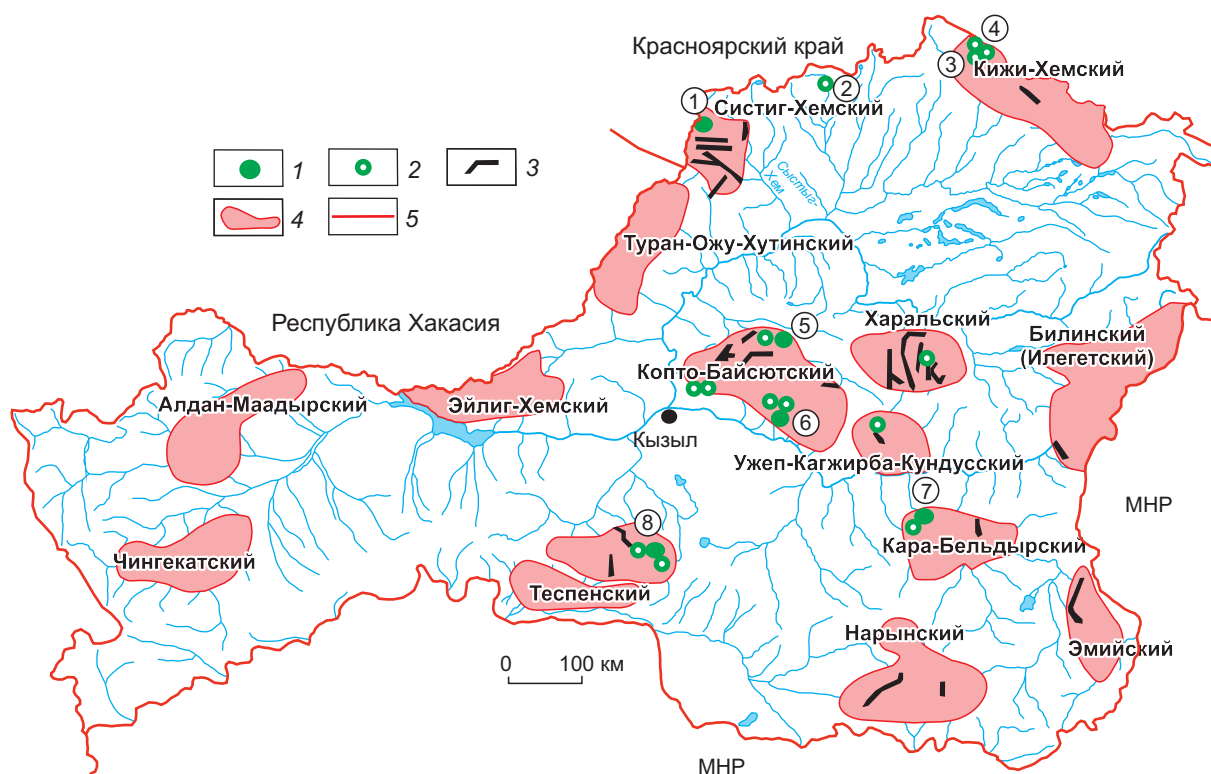


Рис. 1. Золотоносные районы Тывы:

1 – средние и мелкие месторождения; 2 – рудопоявления; 3 – золотоносные россыпи; 4 – золотоносные районы; 5 – граница Республики Тыва; месторождения и рудопоявления: 1 – Октябрьское, 2 – Кадыр-Ос, 3 – Верхнепихтовое, 4 – Пихтовое, 5 – Проездное, 6 – Тардан, 7 – Кара-Бельдыр, 8 – Уургайлыг

Fig. 1. Gold-bearing areas of Tyva:

1 – medium and small deposits; 2 – ore occurrences; 3 – gold placers; 4 – gold-bearing areas; 5 – border of the Republic of Tyva; 6 – gold ore deposit and occurrences: 1 – Oktyabrsky, 2 – Kadyr-Os, 3 – Verkhnepikhtovy, 4 – Pikhtovy, 5 – Proezdnoy, 6 – Tardan, 7 – Kara-Beldir, 8 – Urgailyg

шло четыре стадии: 1) коры химического выветривания; 2) долинные элювиальные россыпи древней, неогеновой гидросети; 3) аллювиально-пролювиальные молассы периода тектонической стабилизации; 4) аллювий разновозрастных террас. Изменение золота произошло последовательно в системе эндогенные руды – кора выветривания – промежуточный коллектор – современный аллювий.

Методы исследования. Частицы золота для изучения отобраны Ч. М. Хертек промывкой аллювия старательским лотком в точках наблюдения регулярной сети исследования россыпей района. Лабораторное изучение состава и внутренних структур частиц, предварительно закапсулированных в эпоксидные

шашки, выполнены на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega III SBH с интегрированной системой энергодисперсионного микроанализа Oxford X-Act в лаборатории R&D центра НорНикель ИГДГиГ СФУ (операторы Б. М. Лобастов и С. А. Сильянов). Фотографии частиц золота получены в режиме обратно-рассеянных электронов (BSE), значения яркости и контраста подбирались с условием наилучшей визуализации внутренних неоднородностей зёрен. Широкое использование электронной микроскопии в практике изучения строения и состава минералов, в том числе и россыпного золота, позволило уточнить особенности наблюдаемых структур и неоднородностей состава частиц, ранее характеризу-



Таблица. Пробы золота месторождений Амыло-Систигхемского района

Table. Gold fineness of deposits of the Amyl-Sistig-Khem region

№ п/п	Классы пробности	Названия классов по Н. В. Петровской	Коренные		Россыпные	
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
1	> 950	Исключительно высокопробное	0	0	107	33
2	949–900	Высокопробное	0	0	128	40
3	899–850	Средней пробы	47	33	52	16
4	849–800	Средней пробы	3	2	29	9
3 + 4	899–800	Средней пробы	50	35	81	25
5	799–750	Относительно низкопробное	3	2	6	2
6	749–700	Относительно низкопробное	4	3	0	0
5 + 6	799–700	Относительно низкопробное, в целом	7	5	6	2
7	699–600	Низкопробное	80	57	0	0
8	599–250	Электрум	4	3	0	0
Σ			141	100	322	100

Примечание. Коренное золото из кварцевых жил рудно-россыпного района месторождения Октябрьское и кварцевых свалов в долинах рек Билелиг и Чёрная; россыпное золото – рек Кундусуг, Изинзюль, Большой и Малый Алгияки, Большой и Малый Билелиги, Чёрная.

емых в классических трудах Н. В. Петровской [16], Н. А. Шило [21], М. И. Новгородовой [13], Л. А. Николаевой [12] и многих других геологов, использующих в своих исследованиях преимущественно оптическую микроскопию и структурное травление.

Результаты и обсуждение исследований.

Изучение частиц золота на электронном микроскопе позволило выявить и обсудить особенности строения и состава, отличающие его от коренного металла. Главные типоморфные особенности россыпного золота – наличие в нём последовательно нарастающих друг на друга каёмки по периферии частиц (высокопробные каймы замещения, примыкающие к ядру частиц → каймы и наросты нового (биогенного) золота → каймы техногенной амальгамы, развитые на частицах, в случае использования ртути при ранних отработках россыпи; межзерновые прожилки высокопробного золота в ядрах в случаях агрегатного строения детритовых частиц. Ядра частиц, представляющие собственно реликты эндогенного золота, первичной гранобластовой структуры или деформационной, образовавшейся при седиментогенезе и раннем диагенезе. Конкретные особенности строения и состава частиц золота рудно-россыпного района рассмотрены ниже.

Пробы коренного и россыпного золота. Исследования базируются на результатах 543 корректных анализов, в том числе из россыпей – 390, коренных руд – 153 (таблица). В таблице использованы анализы центральных участков зёрен, из расчётов исключены значения анализов золота высокопробных кайм и межзерновых прожилков.

Нами установлено резкое преобладание в кварцевых жилах Октябрьского месторождения и свалах кварца в долинах рек с россыпной золотоносностью золота средней (899–850 ‰) и низкой (699–600 ‰) проб, в то время как в россыпях преобладает (71 %) золото пробы 900 ‰ и выше. Примерно равно количество золота средней пробы (899–800 ‰) в россыпях (32 %) и кварцевых жилах (25,1 %) (см. таблицу; рис. 2).

Различие проб золота россыпей и коренных источников в регионах России отмечалось в классических работах по геологии россыпей [2, 13, 16, 21]. Это даёт геологам возможность предполагать невыявленные коренные источники россыпей в рудно-россыпных золотоносных районах. Сравнение типоморфных признаков коренного и россыпного золота Амыло-Систигхемского района иногда показывает их значительное различие [6, 17]. Это может

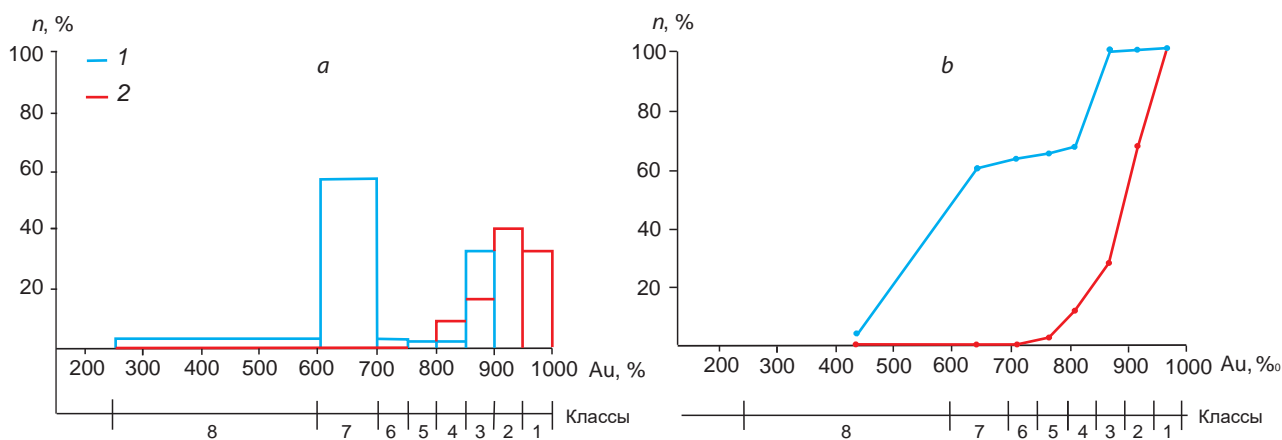


Рис. 2. Гистограмма (а) и кумулятивное распределение (б) проб частиц золота коренных (1) и россыпных (2) месторождений Амыло-Систигхемского района. Номера классов и статистические параметры соответствуют таблице

Fig. 2. Histogram (a) and cumulative distribution (b) of gold particle samples from primary and alluvial gold deposits of the Amyl-Sistig-Khem region. Class numbers and statistical parameters correspond to Table

служить основанием проектирования геологоразведочных работ невыявленных проявлений золота, что не всегда приводит к положительным результатам. Так, например, наличие интенсивно перекристаллизованного золота в россыпях по рекам Билелиг, Алгияк, Чёрной позволило Л. А. Николаевой и С. С. Кальниченко предположить, что их источник не связан с известными генетическими типами золоторудных проявлений в районе (ордовикские конгломераты и более древние россыпи). До сих пор не изучены участки метасоматически изменённых пород альпинотипных гипербазитов района, хотя повышенная кларковая золотоносность пород этих интрузий давно известна [1, 5, 8, 22]. О наличии рудопроявлений золота в гипербазитах свидетельствует присутствие в россыпях района, выявленного нами, медистого золота. В то же время И. Я. Некрасов [10], обобщив сведения по отличиям проб золота в россыпях и коренных источниках многих регионов, отмечает, что «выводы о возможности нахождения вблизи россыпей иных коренных, чем уже известные, ошибочны».

Экзогенная рекристаллизация, обогащение и увеличение однородности состава

ядер детритовых частиц золота. Преобразования золота исследованы В. Г. Моисеенко на примере метаморфизованных руд, подвергшихся воздействию высокотемпературных магматических масс, а также М. С. Сахаровой и В. Г. Моисеенко с помощью экспериментального моделирования при нагревании частиц в интервале 500–100 °С [12, 16]. При воздействии на золото более высоких температур частицы подвергаются дезинтеграции, а более низких – не меняются (видимых перемен в краткосрочном эксперименте не наблюдалось).

Нами отмечается преобладание в ядрах россыпных частиц золота более высокой пробы, чем в золоте коренных источников. Причём практически все исследователи россыпей золота считают, что ядра частиц являются реликтовым золотом коренных источников, но при этом в коренных рудах исследуемого района преобладает золото средней и низкой пробы (см. таблицу, рис. 1). Если для россыпного золота состава Au-Ag характерно увеличение пробы в сравнении с коренным, то для эндогенного золота следует отметить повышенную неоднородность частиц по сравнению с россыпным. Ядра частиц россыпного золота характеризуются более однородным составом

(86 % зёрен имеют разницу в концентрации Au < 2 % по площади зерна), чем гипогенные зёрна (68 % частиц с разбросом концентрации Au в соседних точках > 2 %). Причём разброс концентрации Au в 20 % отмечен в одной неокатанной частице россыпного золота, в остальных частицах с неоднородным составом он составляет 2–3 %, столько же – в неокатанных. Наибольшей степенью неоднородности состава характеризуются ядра частиц россыпного золота средней (800–899 ‰) пробы. Зафиксированная разница концентрации Au > 1,5 % в соседних участках частиц золота с пробностью более 900 ‰ отмечена в единичных случаях и является в большей мере случайностью, чем закономерностью. Рекристаллизация золота в ядрах россыпных частиц района отмечалась и характеризовалась ранее С. С. Кальниченко [6] и С. Г. Прудниковым [17]. Эти факты предполагают более глубокое перерождение золота в экзогенных условиях, чем это считалось раньше, т. е. золото в ядрах частиц россыпей, считавшееся реликтовым, гипогенным, в экзогенных условиях приобрело сотовую структуру, более однородный состав и более высокую пробу.

Межзерновые прожилки высокопробного золота помимо структурного признака россыпного золота подчёркивают гранобластовую структуру частиц благодаря развитию по границам зёрен (рис. 3).

Такие прожилки нами наблюдались в частицах золота из россыпей и золоте коренных выходов руд в сростании с гипергенными минералами (лимонитом, каолинитом и гидрослюдистыми глинистыми минералами), но больше они распространены в золотоносных пластах россыпей. Проба золота в них – 1000 ‰, но нередко снижается до интервала 970–998 ‰. В золоте прожилков не проявлена зернистость и деформации, в отличие от вмещающего их катаклазированного субстрата и механического двойникования «реликтового» золота. Эту же особенность внутреннего строения нитевидных прожилков А. А. Сапрыкин и С. В. Яблокова отмечали [19] в частицах золота древних россыпей Приамурья. Н. В. Петровская упоминала проявление тонких меж-

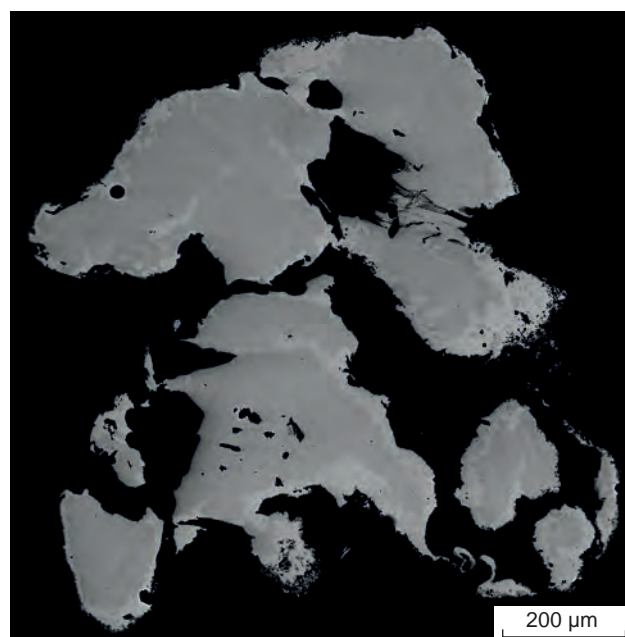


Рис. 3. Гранобластическая структура частицы золота с высокопробной каймой (1000 ‰) по периферии, т. н. 564-17, р. Малый Алгыяк:

светлое – высокопробная кайма и прожилки-выпоты по границам зёрен, серое – «реликтовое» золото

Fig. 3. Granoblastic structure of a gold particle with a high-finesness rim (1000 ‰) along the periphery. Photo, point 564-17, Malyi Algiyak river:

White: high-finesness rim and veinlets-effusions along the grain boundaries; gray: “relict” gold

зерновых прожилков в золоте зоны окисления, образование которых она связывала с рекристаллизацией и диффузионном выносом серебра. Л. А. Николаева свидетельствует, что образование прожилков и высокопробных кайм начинается в корах выветривания и продолжается в зонах окисления. Дж. Десборе высказал мнение [16], что образование прожилков связано с перемещением газов, высвободившихся из включений, и стимулируется окислительными процессами в гипергенных условиях. Но при этом отмечалось непонимание, какие же силы способствовали раскрытию межзерновых трещин.

По нашим наблюдениям и результатам исследований предшественников [12], образование прожилков связано с диффузионно-инfiltrационными межзерновыми явлениями

в детритовых частицах золота. Логическое предположение, вытекающее из описанных фактов, заключается в том, что «реликтовое» золото, в котором развиты недеформированные прожилки высокопробного золота, испытало пульсирующее изменение объёма зёрен с перестройкой кристаллической структуры, изменением состава, сопровождавшееся механическим двойникованием, катаклизмом и открыванием трещин по границам зёрен, заполнением их золотоносным флюидом и отложением золота прожилков.

Указанные факты наличия частиц с прожилковым золотом предполагают образование прожилков в связи с перекристаллизацией золота в ядрах частиц и изменением их состава.

Высокопробная кайма. Известно, что гипогенное золото на стадиях выветривания, седиментогенеза (переноса и отложения детритового материала) и формирования осадка золотоносного пласта подвергается преобразованию в виде появления в нём высокопробных кайм и плёнок, бугорчатых наростов с низким содержанием примесей или без них собственно экзогенного (нового, часто называемого биогенным) золота [4, 7, 12, 14–17, 19, 20].

Высокопробная кайма практически всегда отмечается в золоте россыпей района. Частицы характеризуются наличием сплошных и прерывистых кайм, занимающих первые проценты периметра и более. Эти каймы могут иметь плёночную толщину менее 2–3 мкм, достигают 20–30, редко – 200 мкм. Обычно первые фрагменты высокопробной каймы появляются на угловатых выступах частиц, которые были более доступны для контактового химического взаимодействия частиц с ранее существовавшей минеральной средой, а также для механического воздействия со стороны соседних зёрен переносимого кластогенного материала в среде седиментогенеза и полужидком осадке после отложения материала. Из всех изученных золотин кайма отсутствовала у 13 % (в неокатанных частицах золота Ag-Au состава и ртутистого золота). Это золото, вероятно, поступало в россыпи из близрасположенных выветривающихся коренных руд и находилось там короткое время. Около

55 % частиц не окатаны, но имеют высокопробные каймы, источниками которых, предположительно, были близлежащие коры выветривания, но частицы находились в сформировавшемся золотоносном пласте более длительное время, чем в первом случае. Наконец, 33 % частиц имеют кайму и окатаны. По нашему мнению, последняя группа частиц в рассматриваемом районе испытала несколько эпизодов переноса, отложения, механического, структурного и химического преобразования и поступала в современный аллювий из промежуточных коллекторов, в том числе из древних (неогеновых) россыпей.

Принадлежность к определённой стадии россыпеобразования (кора выветривания, мотогенез, отложение осадка, ранний диагенез), механизм образования высокопробных кайм – до сих пор дискуссионные вопросы геологии и генезиса россыпей. Впервые такие каймки ободки в россыпном золоте были отмечены Р. Макконелом в 1907 г. [16]. В литературе эти высокопробные каймы называют электрохимическими, коррозионными, предполагая таким образом механизм их образования. Отмечалось, что каймы имеют различную толщину, от десятых долей до нескольких десятков микрон. Л. А. Николаева [12] свидетельствует, что экзогенная кайма разрастается до полного уничтожения гипогенного золота.

Л. А. Николаева отмечает [6], что в россыпях р. Систиг-Хем высокопробная кайма проявлена в золоте пробы 850–880 ‰ в виде прерывистой или сплошной, но небольшой мощности. Причём толщина каймы больше, если частица золота в плёнке гидроксидов железа. Исследовательница заметила, что толщина каймы и другие признаки изменения золота увеличиваются вниз по протяжению речных долин. Д. Керр с соавторами [27], изучавшие деформационные структуры аллювиального золота юга Новой Зеландии, свидетельствуют, что образование перекристаллизованного ободка происходит на месте залегания россыпи. В то же время З. С. Никифорова с соавторами [11] пишут, что высокопробная кайма по краям частиц образуется в коре выветривания, а в гидродинамической среде россыпи хими-

ческий состав золота и внутренняя структура частиц практически не меняются.

Частицы золота из коры выветривания Олимпиадинского месторождения [26] представлены реликтовыми частицами эндогенного золота с остросереберными формами и пористой поверхностью выщелачивания, а также многочисленными микронными шаровидными, иногда огранёнными, новообразованиями. Несмотря на целенаправленные поиски, мы не обнаружили частиц золота из коры выветривания Олимпиадинского месторождения, похожих на золото россыпей с каёмками высокопробного золота.

Следует отметить, что высокопробные каймы отсутствуют у частиц золота из эндогенных руд. Встречающиеся каёмки у собственно эндогенных частиц, как правило, более низкопробные, чем внутренние части. Одноактное отложение золота из гидротермальных растворов осуществляется обычно на фоне падающих температур, и для более низкотемпературных образований характерны более низкие пробы. Встречающиеся менее контрастные высокопробные каймы (обычно значительно ниже 1000 ‰) у частиц в гипогенных рудах свидетельствуют о завершении роста частиц эндогенного золота при температурах более высоких, чем необходимо для кристаллизации внутренних частей. Образование высокопробных кайм у золота россыпей зависит в большей мере от физико-химического состава среды, в которой образуется кайма, нежели от температуры процесса [12, 16].

По мнению Н. В. Петровской [15, 16], А. А. Сапрыкина, С. В. Яблоковой [19], Л. А. Николаевой [12], образованию высокопробных кайм способствовали физико-химические явления в приповерхностной области частиц, проявленные вследствие механогенеза, затронувшего частицы золота. Процесс образования каёмок длительный; как указывается в публикациях, чем толще кайма, тем дольше находилась частица в россыпи.

При описании частиц золота с высокопробной каймой чистого золота многие исследователи [16] отмечают, что граница каёмчатого золота с внутренней частью золотин резкая,

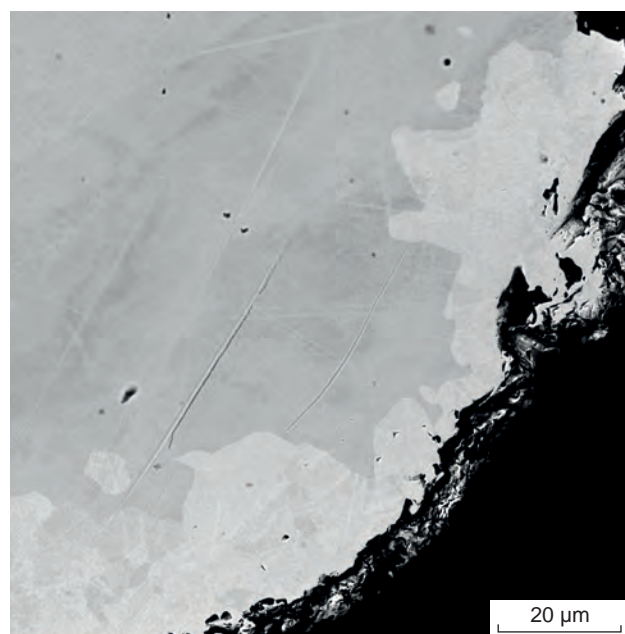


Рис. 4. Частица Ag-Au состава, т. н. 557-10, р. Большой Алгияк:

светлое – высокопробная кайма (990 ‰) полигонально-зернистого, гранобластового строения по периферии частицы, размеры зёрен в агрегате каймы 2–3 мкм; серое – реликтовое золото ядра частицы, проба 919–920 ‰, размер зёрен в агрегате ядра 25–35 мкм

Fig. 4. Gold particle of Ag-Au composition. Photo, point 557-10, Bolshoi Algiyak river:

White: high-finesness rim (990 ‰) with the polygonal-granular, granoblastic structure along the periphery of a particle; the grain sizes in the rim aggregate are 2–3 microns; gray: relict gold of the particle kernel, fineness 919–920 ‰; the grain size in the kernel aggregate is 25–35 microns

коррозионная, и золото каймы как бы вгрызается в ядро золотины; более осторожные исследователи говорят о фестончатой границе с округлёнными и зубчатыми выступами.

В наблюдаемых нами случаях внутренняя граница высокопробных каёмок всегда ломаная и прямолинейно-ступенчатая, отражающая микрозернистую структуру каймы (рис. 4).

Размеры зёрен в кайме и ядре частиц различны. Строение каёмок у частиц золота Ag-Au состава и ртутистого, с содержанием Hg менее 5 %, плотное и микрогранобластовое (размер зёрен от 2–5 до 10 мкм), в отличие от ядра частиц, где проявлены «реликтовые» гра-

нобластовые (с размером зёрен в десятки и первые сотни мкм) и деформационные структуры (обычно милонитовые, реже бетонные и катакластические). Таким образом, образование высокопробной каймы и гранобластовая грануляция ободковой зоны зерна осуществляются одновременно и являются следствием единого метасоматического процесса. Причём именовать кайму коррозионной, видимо, некорректно (?), так как мы имеем дело не с разрушением металла в ободке, а с его перекристаллизацией и очищением.

Высокопробная кайма у ртутистого золота образуется путём грануляции краевой зоны частицы Hg-Ag-Au состава и диффузионно-инфильтрационного замещения её Au и выносом Ag и Hg из этой области. Во внешней части каймы золото имеет пробу 1000 ‰, а в пограничной части каймы с ядром замещение зёрен Hg-Ag-Au состава золотом осуществляется по границам зёрен с сохранением во внутренних частях реликтового состава и формированием петельчатой структуры (рис. 5).

Строение кайм у частиц ртутистого золота с содержанием Hg 5,4 % и более (в нашем случае до 9,21 %) пористое (горчичное золото). Причём морфология большей части пор червеобразная (1 × 15 мкм), меньше развиты изометрические (от 1 × 1 до 5 × 5 мкм) и прямолинейно щелевидные ((1–2) × (20–30) мкм) (рис. 6).

Пористые каймы частиц золота Hg-Ag-Au состава обычно занимают около половины объёма частиц, в ядрах которых сохраняются амёбовидные участки реликтового ртутистого золота. В этом случае мы видим коррозию – разрушение целостности металла. В ядерных (реликтовых) участках первичного золота не наблюдались деформационные структуры. Преобразование первичного ртутистого золота моделируется в следующей последовательности: грануляция, распад твёрдого раствора первичного золота → индивидуализация червеобразных выделений серебряной амальгамы в матрице золота высокой пробы, не содержащей Hg, и с низким содержанием Ag (1–3 %) → физико-химическое выщелачивание фазы серебряной амальгамы с образованием на их месте

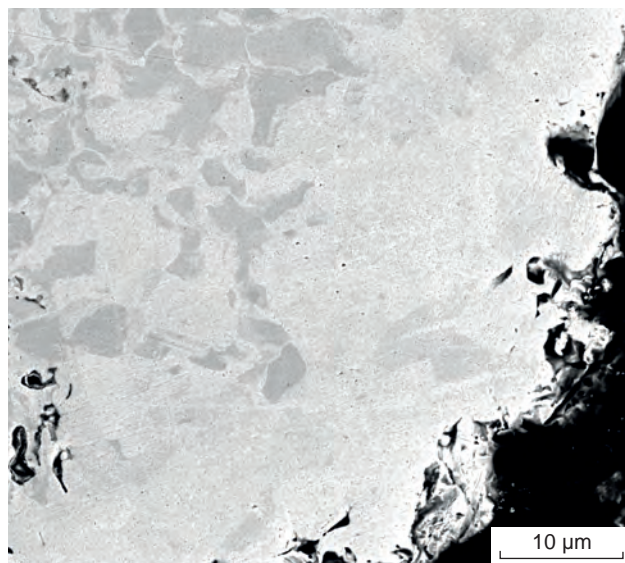


Рис. 5. Строение высокопробной каймы ртутистого золота, т. н. 563, р. Малый Алгыяк:

внешняя область каймы плотная, однородная гранобластовая (1000 ‰), область границы каймы с ядром частицы имеет петельчатое строение высокопробной каймы; белое – чистое золото по границам гранобластического агрегата, серые области зёрен – реликтовое золото Hg-Ag-Au состава

Fig. 5. The structure of a high-grade rim composed of mercury gold. Photo, point 563, Malyi Algiyak river:

The outer portion of the rim is dense, homogeneous granoblastic (1000 ‰); the border portion between the rim and the particle kernel has a reticulate structure of the high-finesness rim; white is pure gold along the borders of the granoblastic aggregate; gray areas of the grains are relic gold of Hg-Ag-Au composition

пор → отложение вокруг пор тончайших каёмок (менее 1 мкм) химически чистого золота.

У медистого золота плотная высокопробная кайма (5–200 мкм), в ней отмечаются пятна участков с группами щелевидных пор, наследующих форму пластинок собственно медистого золота ((1–2) × (10–40) мкм) (рис. 7).

Каймы медистого золота частично щелевидно-пористые, наследующие пластинчатую структуру распада твёрдого раствора. Матрица частиц замещена крупнозернистым агрегатом золота с пробой 1000 ‰, а пластинки Cu-Au состава выщелочены.

Таким образом, по нашим наблюдениям, в ободке по периферии частиц золота осу-

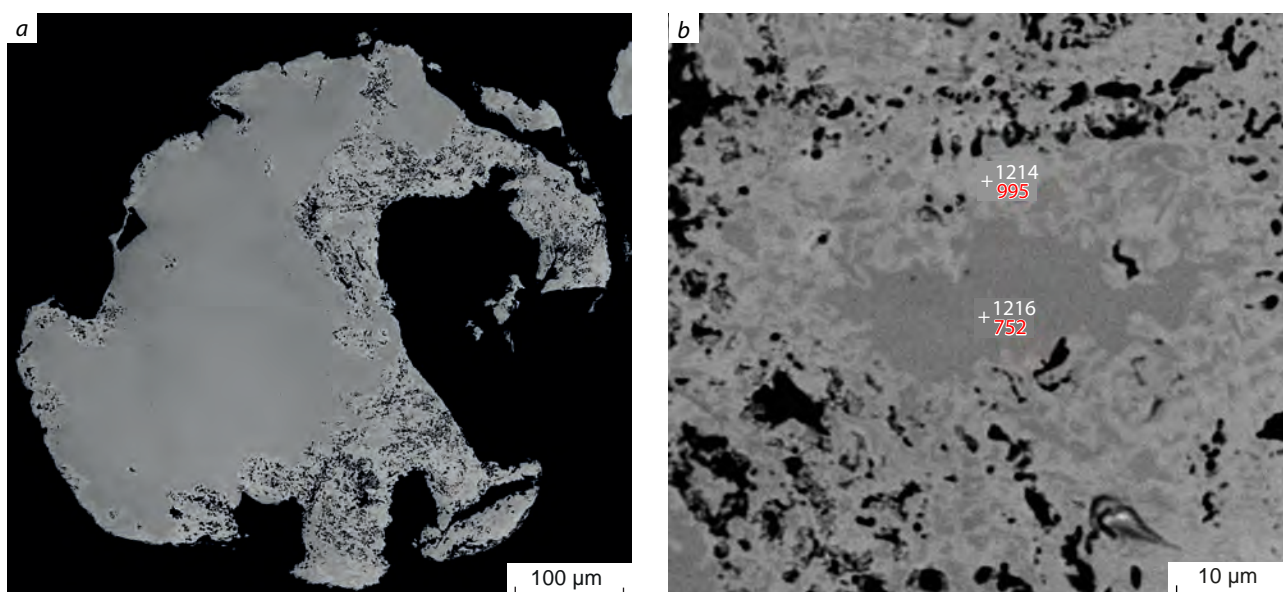


Рис. 6. Пористая (мирмекитового вида) высокопробная кайма ртутистого золота, р. Малый Алгыяк, т. н. 566-21: *a* – общий вид частицы, *b* – увеличенный фрагмент каймы; чёрное – поры червеобразной морфологии, заполненные смесью каолинита, гидроксидов железа и глинистых гидрослюдистых минералов; серый и светло-серый цвета золота отражают разную пробность; цифры красного цвета – проба в ‰

Fig. 6. Porous (myrmekite-like) high-fineness rim of mercury gold. Photo, point 566-21, Malyi Algiyak river:

a – General view of the particle, *b* – enlarged fragment of the rim; black: pores of vermicular morphology, filled with a mixture of kaolinite, iron hydroxides, and clayey hydromica minerals; gray and light gray colors of the gold reflect different fineness values; red numbers indicate fineness in ‰

ществляется микрозернистый гранобластез и практически одновременный с ним диффузионный метасоматоз (твёрдофазное замещение золотосеребряных частиц чистым золотом и выносом серебра из области каймы). Причём грануляция является кристаллобластовой и не связана с деформационными преобразованиями поверхностной зоны частиц. Следует отметить, что внутренняя граница кайм у частиц золота (даже у эллипсоидных и сферических) субпараллельна внешнему контуру частиц, что указывает на её образование или завершение образования после окатывания.

Образование и строение высокопробных кайм у медистого и ртутистого золота имеют свои особенности. В отличие от З. С. Никифоровой с соавторами, считающих, что высокопробная кайма образуется в корках выветривания (т. е. на самой ранней стадии осадочного процесса), мы предполагаем её образование на стадии сингенеза – раннего диагенеза полу-

жидкого осадка формирующегося золотоносного пласта после переноса и отложения осадочного материала.

Деформационные структуры. Во время пребывания частиц золота в экзогенных условиях, особенно в подвижной среде рек, седиментогенная среда естественным образом оказывает на них динамическое воздействие и приводит к образованию остаточных хрупких и пластических преобразований (рис. 8).

Золото – ковкий минерал, и в дополнение к внешнему истиранию при переносе подвергается внутренней вязкой деформации и уплотнению. Наиболее отчётливо наблюдаются изгибы частиц, их завальцевание, окатывание, следы царапания и клепания. Менее доступны наблюдению дислокационные преобразования внутри частиц. Для их непосредственного изучения используются микрохимическое структурное травление, оптическая и электронная микроскопия.

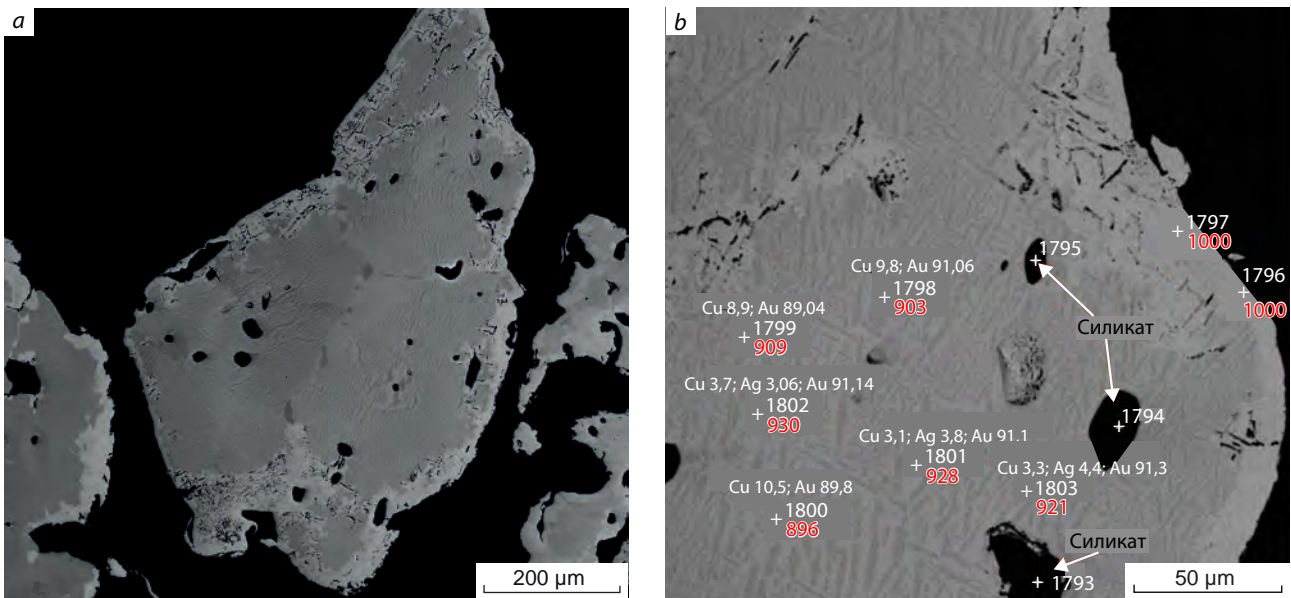


Рис. 7. Медистое золото, т. н. 634-1, р. Кундусуг:

a – общий вид частицы; *b* – увеличенный фрагмент частицы; светлая кайма – высокопробное золото; чёрное – щелевидные поры в высокопробной кайме; пластинчатая неоднородность ядра частицы – структура распада твёрдого раствора; белые крестики – точки анализа; красные цифры – проба в ‰; надписи белого цвета – содержание минералообразующих элементов в ‰

Fig. 7. Copper gold. Photo, point 634-1, Kundusug river:

a – General view of the particle; *b* – enlarged fragment of the particle. Gold areas with different composition are distinguished by color: the light rim is high-fineness gold; black are slit-shaped pores in the high-fineness rim; the lamellar heterogeneity of the particle kernel is a structure of solid solution decomposition. White crosses are analysis points; red numbers indicate fineness in ‰; white inscriptions indicate content of the mineral-forming elements in ‰



Рис. 8. Дугообразно изогнутая пластинка золота, т. н. 415, р. Изинзюль:

ядерная область частицы деформационной структуры, подчёркнутой сочетанием неравномернозернистой, оскольчатой морфологией фаз разной интенсивности серого и светло-серого цветов; по краям частицы и вокруг пустот – светлая кайма высокопробного золота; граница между центральной частью и высокопробной каймой частицы – зубчато-полигональная изменчивой толщины, судя по отсутствию деформационных механогенных изменений в кайме, она образовалась позже дугообразного изгибания частицы

Fig. 8. Arcuate gold lamella. Photo, point 415, Izinzyul river:

The kernel portion of the particle has a deformational structure emphasized by unevenly granular, chipping morphology of the phases with different intensities of gray and light gray colors. There are light rims of high-fineness gold along the edges of the particles and around the voids. The border between the central part and the high-fineness rim of the particle has polygonal indented shape and variable thickness. Judging by the absence of mechanogenic deformational changes in the rim, the latter formed later than the arcuate bending of the particle

В монозёрнах и гранобластических агрегатах золота района в разной степени распространены микросдвиги, механические двойники (рис. 9), структуры распада твёрдых растворов и, наконец, катакластическая грануляция с образованием катакластической, бетонной и милонитовой микроструктур, подобных наблюдаемым в продуктах дислокационного метаморфизма силикатных пород [3, 18, 25].

Катакластическая структура характеризует дробление и грануляцию по границам первичных зёрен с образованием тонко- и неравномернозернистого агрегата зёрен оскольчатой морфологии (см. рис. 8). Бетонная структура является частным случаем катакластической. Ей присуще разрастание тонкозернистого агрегата от границ зёрен и наличие реликтов крупных минеральных зёрен, погружённых в тонкозернистый агрегат. Милонитовое строение – тонкозернистая грануляция с проявлением механического перемещения оскольчатогранулированного материала по субпараллельным, часто *S*-образным поверхностям (рис. 10).

В противоположность мнению о формировании деформационных структур в динамометаморфических породах путём дробления-истирания минерального вещества, некоторые исследователи объясняют их образование результатом пластического течения и оскольчатой грануляции в твёрдом состоянии, наблюдаемых в металлах при их обработке давлением. Л. А. Николаева отмечает в ядрах частиц золота района перекристаллизацию, а не деформационные структуры, причём она связывает её с динамическими воздействиями обломочного материала на частицы металла при транспортировке. Д. Керр с соавторами [23, 27] привели описания эффектных милонитовых структур в золоте аллювиальных россыпей южной части Новой Зеландии, которые были наложены деформацией переноса обломочных частиц золота. Авторы этого исследования отмечают, что вязкие структуры деформации в золоте напоминают результаты холодной прокатки при обработке гранецентрированных кубических металлов, таких как золото. Вязкие структуры деформации в металлах образуются посредством механизмов скольжения, но ме-



Рис. 9. Двойниковое строение частицы, т. н. 1001-13, р. Малый Алгияк:

серое – тонкие двойниковые пластинки

Fig. 9. Twin structure of a gold particle. Photo, point 1001-13, Malyi Algiyak river:

Gray: thin twin gold lamellae

ханизмы внутренней деформации в природном золоте изучены слабо. Подобные деформации обнаружены нами в частицах золота рассматриваемых россыпей гранулометрической фракции < 0,15 мм. В этом случае изменениям подвержены ядро и высокопробный ободок. Деформированные фрагменты ободка и ядра частиц преобразованы в брекчию.

Деформационные структуры немеханогенной природы в частицах золота фракции > 0,25 мм Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района проявлены в тех частицах, в которых развиты ненарушенные высокопробные ободковые каймы. На наш взгляд, эти особенности строения частиц (наличие высокопробной каймы и деформационные структуры в ядре) генетически взаимосвязаны. Об-



Рис. 10. Частица с высокопробной каймой по периферии (белое), т. н. 1351-3, р. Чёрная:

белое – высокопробная кайма по периферии; внутренняя часть зерна неоднородного, деформационного строения, выражающегося в сочетании серого и светло-серого цветов фазовых фрагментов оскольчатой морфологии; по диагонали частицы S-образная зонка милонитизации ленточно-катакластического строения; проба золота в кайме – 1000 ‰, ядерной части – 924 ‰ (на более тёмных участках) и 929 ‰ (на более светлых)

Fig. 10. A gold particle with a high-fineness rim along the periphery. Photo, point 1351-3, Chernaya river:

White: the high-fineness rim on the particle periphery; the inner portion of the grain has a heterogeneous, deformational structure expressed in a combination of gray and light gray colors of the phase fragments of chipped morphology; there is an S-shaped mylonitization zone of a ribbon-cataclastic structure diagonally across the particle. Gold fineness in the rim is 1000 ‰; that in the kernel portion is 924 ‰ in the darker areas and 929 ‰ in the lighter areas

разование высокопробной каймы и увеличение пробности в ядре создаёт в частице разнонаправленное кристаллизационное давление со стороны каймы и ядра, так как объём кристаллической структуры в ободковой кайме чистого золота и в золоте ядра с примесью Ag, Cu и других элементов различен (рис. 11).

Возможно, перемешивание и соударение частиц в движущемся водном потоке стимулировали формирование в частицах областей

кристаллизационного напряжения, способствующих впоследствии возникновению деформационных структур. В связи с этим представляет интерес работа А. М. Кузьмина [9], в которой он объясняет образование волнистого погасания и закрытых криптотрещин в фенокристаллах кварца риолитов при последовательном изменении объёма кристаллической решётки и возрастании внутреннего кристаллического давления в минерале фазовым переходом кристобалит → тридимит → кварц при остывании лавы и образовании риолита. Обычно волнистое погасание кварца связывают с остаточными механогенными явлениями. Подобные кристаллофизические изменения в золоте при экзогенном изменении его состава, по нашему мнению, способствует образованию межзерновых прожилков и деформационных структур.

Закключение.

1. Золото россыпей и коренных источников Амыло-Систигхемского района Республики Тыва существенно текстурно-структурно и химически отличается. Частицы золота изменялись в ходе своеобразных деформационно-метасоматических процессов в системе коренные руды → коры выветривания → транспортировка материала → отложение, сингенез → ранний диагенез в промежуточных коллекторах и современном аллювии.

2. Гипергенный метасоматоз в золотоносном осадке россыпи золота привёл к неоднородному гранобластезу по размеру зёрен в ядрах и периферии частиц с образованием ободков-кайм. Диффузионный метасоматоз в ядерных участках детритового золота и инфльтрационный – в ободковых с дифференциальной подвижностью главных компонентов системы (Au – инертное; Ag, Cu, Hg – подвижные) привёл к рекристаллизации и образованию более высокопробной Au-Ag фазы в ядрах частиц (при частичном выносе подвижных компонентов) и практически чистой золотой фазы в ободках с формированием тонкогранобластовых высокопробных кайм.

3. Неоднородные по составу кристаллизующиеся фазы золота в ободках и ядрах, характеризующиеся различными объёмами кристаллической ячейки, создали в ядрах ча-

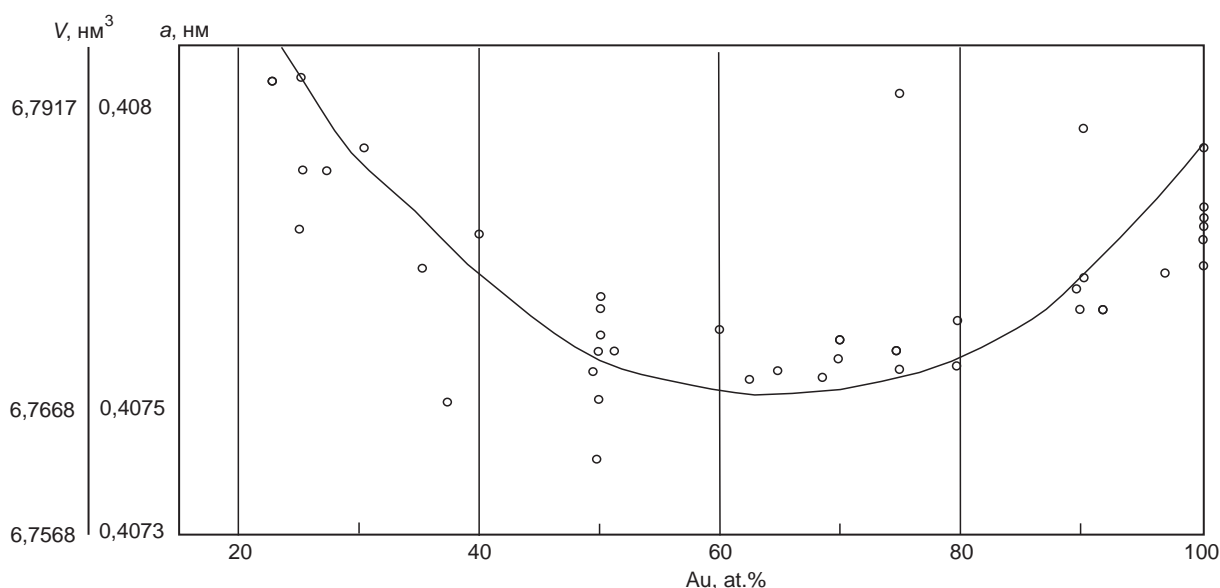


Рис. 11. Кристаллические параметры самородного золота в зависимости от концентрации примеси Ag, по [24]: V – объём кристаллической решетки; a – размер ребра элементарной ячейки

Fig. 11. Crystallographic parameters of native gold depending on the Ag impurity concentration, after H. Okamoto and T. B. Massalski (1983):

V – the crystal lattice volume, a – the unit cell dimension

стиц кристаллофизическое напряжение и, как следствие, в этих ядрах проявились катаклаз и милонитизация.

4. Межзерновые инфильтрационные прожилки образовались в результате раскрытия граничных контактов зёрен при проявлении градиента кристаллофизического давления в зернистых агрегатах ядерных участков и ободках при локальном метасоматозе в частицах золота.

5. Охарактеризованные механизмы изменения состава и строения частиц россыпного

золота на примере Амыло–Систигхемского рудно-россыпного района Республики Тыва, вероятно, имеют универсальный характер при формировании россыпей.

Авторы признательны коллегам-геологам: С. Г. Прудникову за помощь в формировании представлений о геологии района и создании коллекции частиц золота; С. А. Сильянову, Б. М. Лобастову и Н. В. Нелюбину за помощь в изготовлении препаратов и исследовании состава и строения частиц самородного золота на электронном микроскопе.

Список литературы

1. Аношин Г. Н. Золото в магматических горных породах (по данным нейтронно-активационного анализа). – Новосибирск : Наука, СО РАН, 1977. – 208 с.
2. Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей. – М. : АН СССР, 1956. – 505 с.
3. Вильямс Х., Тернер Ф. Дж., Гилберт Ч. М. Петрография в 2 т. – М. : Мир, 1986. – Т. 2. – 320 с.
4. Глушкова Е. Г., Никифорова З. С. Различие типоморфных признаков россыпного золота юго-востока Сибирской платформы в зависимости от продолжительности его пребывания в экзогенных условиях // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований : материалы Всероссийской

- конференции, посвящённой 100-летию Н. В. Петровской (1910–1991). – М. : ИГЕМ РАН, 2010. – Т. I. – С. 141–143.
5. Ильенко С. С. Генетические связи оруденения с интрузиями // Геология золоторудных месторождений Сибири. – Новосибирск : Наука, СО РАН, 1970. – С. 3–30.
 6. Кальниченко С. С. Эндогенное золотое оруденение и россыпеобразующие рудные формации Восточной Тувы : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук. – М., 1972. – 23 с.
 7. Колпаков В. В., Нестеренко Г. В., Жмодик С. М., Осинцев С. Р. Новое золото в аллювиальных россыпях // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований : материалы Всероссийской конференции, посвящённой 100-летию Н. В. Петровской (1910–1991). – М. : ИГЕМ РАН, 2010. – Т. I. – С. 261–263.
 8. Коробейников А. Ф. Условия концентрации золота в палеозойских орогенах. – Новосибирск : ИГиГ СО АН СССР, 1987. – 176 с.
 9. Кузьмин А. М. Природа волнистого погасания кварца // Новые данные по геологии и географии Кузбасса и Алтая : материалы научно-технической конференции. – Новокузнецк, 1969. – С. 192–195.
 10. Некрасов И. Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. – М. : Наука, 1991. – 312 с.
 11. Никифорова З. С., Калинин Ю. А., Макаров В. А. Эволюция самородного золота в экзогенных условиях // Геология и геофизика. – 2020. – Т. 61, № 11. – С. 1514–1534.
 12. Николаева Л. А. О чём рассказывают золотинки. – М. : Недра, 1990. – 111 с.
 13. Новгородова М. И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. – М. : Наука, 1983. – 287 с.
 14. Петровская Н. В. Морфология и структура «нового» золота // Доклады Академии наук СССР. – 1941. – Т. 32, № 6. – С. 424–426.
 15. Петровская Н. В. О продуктивных минеральных ассоциациях в золоторудных месторождениях // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1955. – Ч. 84, вып. 3. – С. 290–307.
 16. Петровская Н. В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). – Новосибирск : Наука, СО РАН, 1973. – 347 с.
 17. Прудников С. Г. Закономерности размещения россыпей золота в морфоструктурах Тувы и Западного Саяна : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Прудников Сергей Григорьевич. – Новосибирск, 2003. – 181 с.
 18. Родыгин А. И. Динамометаморфические породы: справочное пособие. – Томск : Изд-во Томского университета, 2001. – 355 с.
 19. Сапрыкин А. А., Яблокова С. В. Особенности внутренней структуры золота из древних россыпей Приамурья // Вопросы геологии месторождений золота : материалы II Конференции по изучению месторождений золота Сибири. – Томск : Изд-во Томского университета, 1970. – С. 390–397.
 20. Соломенцева Л. А., Литвиненко И. С. Генетические типы самородного золота в россыпях Мякит-Хурчанского узла (северо-восток России) // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований : материалы Всероссийской конференции, посвящённой 100-летию Н. В. Петровской (1910–1991). – М. : ИГЕМ РАН, 2010. – Т. II. – С. 218–220.
 21. Шило Н. А. Основы учения о россыпях. – М. : Наука, 1981. – 384 с.
 22. Щербаков Ю. Г. Геохимия золоторудных месторождений в Кузнецком Алатау и Горном Алтае. – Новосибирск : Наука, СО РАН, 1974. – 274 с.
 23. Kerr G., Falconer D., Reith F., Craw D. Transport-related mylonitic ductile deformation and shape change of alluvial gold, southern New Zealand // Sedimentary Geology. – 2017. – № 361. – P. 52–63.
 24. Okamoto H., Massalski T. B. The Ag-Au (Silver-Gold) System // Bulletin of Alloy Phase Diagrams. – 1983. – V. 4, № 1. – P. 30–38.
 25. Philpotts A. R., Ague J. J. Principles of igneous and metamorphic petrology. – Second Edition. – New York. Cambridge university press. – 2009. – 685 p.
 26. Silyanov S. A., Sazonov A. M., Zvyagina Y. A., Savichev A. A., Lobastov B. M. Gold in the Oxidized Ores of the Olympiada Deposit (Eastern Siberia, Russia) // Minerals. – 2021. – № 11 (2). – DOI: <https://doi.org/10.3390/min11020190>.
 27. Stewart J., Kerr G., Prior D., Halfpenny A., Pearce M., Hough R., Craw D. Low temperature recrystallisation of alluvial gold in paleoplacer deposits // Ore Geology Reviews. – 2017. – № 88. – P. 43–56.



References

- Anoshin G. N. Zoloto v magmaticeskikh gornyh porodah (po dannym nejtronno-aktivacionnogo analiza) [Gold in igneous rocks (according to neutron activation analysis)], Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, 208 p.
- Bilibin Ju. A. Osnovy geologii rossypej [Fundamentals of placer geology], Moscow, AN USSR Publ., 1956, 505 p.
- Vil'jams H., Ternер F. Dzh., Gilbert Ch. M. Petrography in 2 vol., Moscow, Mir Publ., 1986, V. 2, 320 p.
- Glushkova E. G., Nikiforova Z. S. Razlichie tipomorfnyh priznakov rossypnogo zolota jugo-vostoka Sibirskoj platformy v zavisimosti ot prodolzhitel'nosti ego prebyvaniya v jekzogennyh uslovijah [The difference in typomorphic features of placer gold of the south-east of the Siberian platform depending on the duration of its stay in exogenous conditions], *Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nyh asociacij, uslovija obrazovanija mestorozhdenij, zadachi prikladnyh issledovanij: materialy Vserossijskoj konferencii, posvyaschjionnoj 100-letiju N. V. Petrovskoj (1910–1991)* [Native gold: typomorphism of mineral associations, conditions of deposit formation, tasks of applied research: materials of the All-Russian conference dedicated to the 100th anniversary of N. V. Petrovskaya (1910–1991)], Moscow, IGEM RAN Publ., 2010, V. I, pp. 141–143.
- Il'enok S. S. Geneticheskie svyazi orudnenenija s intruzijami [Genetic connections of mineralization with intrusions], *Geologija zolotorudnyh mestorozhdenij Sibiri* [Geology of gold deposits in Siberia], Novosibirsk, Nauka SB RAS Publ., 1970, pp. 3–30.
- Kal'nichenko S. S. Jendogennoe zolotoe orudnenenie i rossypeobrazujuschie rudnye formacii Vostochnoj Tuvy [Endogenous gold mineralization and placer-forming ore formations of Eastern Tuva: Extended abstract of candidate's thesis], Moscow, 1972, 23 p.
- Kolpakov V. V., Nesterenko G. V., Zhmodik S. M., Osincev S. R. Novoe zoloto v alljuvial'nyh rossypjah [New gold in alluvial placers], *Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nyh asociacij, uslovija obrazovanija mestorozhdenij, zadachi prikladnyh issledovanij: materialy Vserossijskoj konferencii, posvyaschjionnoj 100-letiju N. V. Petrovskoj (1910–1991)* [Native gold: typomorphism of mineral associations, conditions of deposit formation, tasks of applied research: materials of the All-Russian conference dedicated to the 100th anniversary of N. V. Petrovskaya (1910–1991)], Moscow, IGEM RAN Publ., 2010, V. I, pp. 261–263.
- Korobejnikov A. F. Uslovija koncentracii zolota v paleozojskikh orogenah [Conditions of gold concentration in Paleozoic orogens], Novosibirsk, IGG SB RAS Publ. 1987, 176 p.
- Kuz'min A. M. Priroda volnistogo pogasanija kvarca [The nature of wavy quartz extinction], *Novye dannye po geologii i geografii Kuzbassa i Altaja: materialy nauchno-tehnicheskoy konferencii* [New data on geology and geography of Kuzbass and Altai: materials of the scientific and technical conference], Novokuzneck, 1969, pp. 192–195.
- Nekrasov I. Ja. Geohimija, mineralogija i genezis zolotorudnyh mestorozhdenij [Geochemistry, mineralogy and genesis of gold deposits], Moscow, Nauka Publ., 1991, 312 p.
- Nikiforova Z. S., Kalinin Ju. A., Makarov V. A. Jevoljucija samorodnogo zolota v jekzogennyh uslovijah [Evolution of native gold under exogenous conditions], *Geologija i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2020, V. 61, No 11, pp. 1514–1534. (In Russ.).
- Nikolaeva L. A. O chjom rasskazyvajut zolotinki [What do the gold coins tell about], Moscow, Nedra Publ., 1990, 111 p.
- Novgorodova M. I. Samorodnye metally v gidrotermal'nyh rudah [Native metals in hydrothermal ores], Moscow, Nauka Publ., 1983, 287 p.
- Petrovskaja N. V. Morfologija i struktura "novogo" zolota [Morphology and structure of the "new" gold], *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the USSR], 1941, V. 32, No 6, pp. 424–426. (In Russ.).
- Petrovskaja N. V. O produktivnyh mineral'nyh asociacijah v zolotorudnyh mestorozhdenijah [On productive mineral associations in gold deposits], *Zapiski Vsesojuznogo mineralogicheskogo obschestva* [Notes of the All-Union Mineralogical Society], 1955, V. 84, No 3, pp. 290–307. (In Russ.).
- Petrovskaja N. V. Samorodnoe zoloto (obschaja harakteristika, tipomorfizm, voprosy genezisa) [Native gold (general characteristics, typomorphism, questions of genesis)], Novosibirsk, Nauka SB RAS Publ., 1973, 347 p.
- Prudnikov S. G. Zakonomernosti razmeschenija rossypej zolota v morfostrukturah Tuvy i Zapadnogo Sajana [Patterns of placement of gold placers in the morphostructures of Tuva and Western Sayan: Extended abstract of candidate's thesis], Novosibirsk, 2003, 181 p.

18. Rodygin A. I. Dinamometamorficheskie porody (spravochnoe posobie [Dynamometamorphic rocks (reference guide)], Tomsk, Izd-vo Tomskogo universiteta Publ., 2001, 355 p.
19. Saprykin A. A., Jabloкова S. V. Osobennosti vnutrennej struktury zolota iz drevnih rossypjeh Priamur'ja [Features of the internal structure of gold from ancient placers of the Amur region], *Voprosy geologii mestorozhdenij zolota: materialy II konferencii po izucheniju mestorozhdenij zolota Sibiri* [Problems of the geology of gold deposits: materials of the II conference on the study of gold deposits in Siberia], Tomsk, Izd-vo Tomskogo universiteta Publ., 1970, pp. 390–397.
20. Solomenceva L. A., Litvinenko I. S. Geneticheskie tipy samorodnogo zolota v rossypjah Mjakit-Hurchanskogo uzla (severo-vostok Rossii) [Genetic types of native gold in placers of the Myakit-Khurchan node (north-east of Russia)], *Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nyh asociacij, uslovija obrazovaniya mestorozhdenij, zadachi prikladnyh issledovanij: materialy Vserossijskoj konferencii, posvschjonnoj 100-letiju N. V. Petrovskoj (1910–1991)* [Native gold: typomorphism of mineral associations, conditions of deposit formation, tasks of applied research: materials of the All-Russian conference dedicated to the 100th anniversary of N. V. Petrovskaya (1910–1991)], Moscow, IGEM RAN Publ., 2010, V. II, pp. 218–220.
21. Shilo N. A. Osnovy uchenija o rossypjah [Fundamentals of the doctrine of placers], Moscow, Nauka Publ., 1981, 384 p.
22. Scherbakov Ju. G. Geohimija zolotorudnyh mestorozhdenij v Kuzneckom Alatau i Gornom Altae [Geochemistry of gold deposits in Kuznetsk Alatau and Gorny Altai], Novosibirsk, Nauka SB RAS Publ., 1974, 274 p.
23. Kerr G., Falconer D., Reith F., Craw D. Transport-related mylonitic ductile deformation and shape change of alluvial gold, southern New Zealand, *Sedimentary Geology*, 2017, No 361, pp. 52–63.
24. Okamoto H., Massalski T. B. The Ag-Au (Silver-Gold) System, *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*, 1983, V. 4, No 1, pp. 30–38.
25. Philpotts A. R., Ague J. J. Principles of igneous and metamorphic petrology. Second Edition, New York, Cambridge university press, 2009, 685 p.
26. Silyanov S. A., Sazonov A. M., Zvyagina Y. A., Savichev A. A., Lobastov B. M. Gold in the Oxidized Ores of the Olympiada Deposit (Eastern Siberia, Russia), *Minerals*, 2021, No 11 (2), DOI: <https://doi.org/10.3390/min11020190>.
27. Stewart J., Kerr G., Prior D., Halfpenny A., Pearce M., Hough R., Craw D. Low temperature recrystallisation of alluvial gold in paleoplacer deposits, *Ore Geology Reviews*, 2017, No 88, pp. 43–56.

Хертек Чайна Март-ооловна (chayana83@mail.ru)

младший научный сотрудник¹

Сазонов Анатолий Максимович

доктор геолого-минералогических наук, профессор²

¹ Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской Академии наук, г. Кызыл, Россия

² Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

РУДНАЯ ШКОЛА 2024 ЦНИГРИ

14–16
февраля

Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов

ОТ ПРОГНОЗА К ДОБЫЧЕ

Организатор конференции – ФГБУ «ЦНИГРИ».









Принимаются заявки от студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов в возрасте до 35 лет.

На конференции запланировано проведение:

- лекций ведущими специалистами академических и отраслевых институтов;
- круглого стола на тему «Молодёжь как фактор развития отрасли», где участники конференции смогут узнать о возможностях молодых специалистов в геологической сфере;
- мастер-классов, направленных на приобретение знаний в профессиональной области;
- бесплатных экскурсий в кернохранилище ФГБУ «ВНИГНИ» в г. Апрелевка и на Международную выставку-форум «Россия» на ВДНХ.

Конференция пройдёт в смешанном формате: очно и онлайн.

НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ

-  Металлогения, минерагения и рудогенез
-  Прогноз, поиски, оценка и разведка месторождений полезных ископаемых
-  Разработка прогнозно-поисковых и геолого-генетических моделей месторождений твёрдых полезных ископаемых
-  Методы изучения вещественного состава пород и руд
-  Физико-химические условия минералообразования
-  Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых и участков недр
-  Использование геоинформационных технологий и пространственных данных в геологической отрасли
-  Современные технологии добычи и переработки минерального сырья



НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ

Служение рудной геологии и Отечеству. К 90-летию со дня рождения А. И. Кривцова

Noble service for ore geology and our country. To the 90th anniversary of the birth of A. I. Krivtsov



Анатолий Иванович Кривцов (7.12.1933–8.10.2010)

7 декабря 2023 года в ФГБУ «ЦНИГРИ» состоялось торжественное заседание учёного совета, посвящённое 90-летию со дня рождения Анатолия Ивановича Кривцова, знаменитого исследователя рудных месторождений, доктора геолого-минералогических наук, профессора, заместителя директора ЦНИГРИ в 1981–1984 и 1992–2010 гг., начальника Управления научно-исследовательских организаций и отдела научно-технического прогресса Мингео СССР в 1984–1991 гг., главного редактора журналов «Советская геология» в 1988–1991 гг. и «Отечественная геология» в 1992–2010 гг., основателя и заместителя главного редактора журнала «Руды и металлы» в 1993–2010 гг. Соратники и ученики говорили о значении этой крупной личности в истории отечественной геологической отрасли. С приветствием к собранию геологов обратились сотрудники Историко-краеведческого музея Яковлевского городского округа Белгородской области, в котором с большим почтением относятся к наследию своего знаменитого земляка.

Яркий представитель отечественной металлогенической школы и талантливый организатор науки, Анатолий Иванович Кривцов стал одним из создателей золотого века геологии, а в 1990–2000 гг. приложил огромные усилия для сохранения научного потенциала геологоразведочной отрасли как необходимого условия минерально-сырьевой безопасности России. От своих учителей – академика Владимира Ивановича Смирнова и других профессоров Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова – он перенял особенное, рыцарское отношение к профессии, что в сочетании со свойственным ему государственным подходом к решению отраслевых задач заставляло браться за самые трудные из них. Его работу высоко ценил министр геологии СССР в 1975–1989 гг. Евгений Александрович Козловский.

Вехи научной и трудовой биографии героя статьи – отражение проблематики рудной геологии второй половины XX – начала XXI в., и в то же время это свидетельства исторических перемен в жизни огромной страны, победившей в Великой Отечественной войне. В самом начале своей геологической судьбы – в середине 1950-х гг. – А. И. Кривцов принимал участие в создании минерально-сырьевой базы урана для советской атомной промышленности. Поступив на работу в ЦНИГРИ в начале 1960-х гг., когда в связи с послевоенным истощением минерально-сырьевой базы уральской медной промышленности началась переоценка разведывавшихся медноколчеданных месторождений, он принял участие в их масштабных исследованиях и бурной дискуссии об их генезисе, а в итоге стал одним из крупнейших в СССР знатоков рудных объектов этого типа. В середине 1970-х гг. А. И. Кривцов возглавил в ЦНИГРИ пионерные работы



по медно-порфировым месторождениям, составляющим основу мировой минерально-сырьевой базы меди (с попутным золотом и другими металлами), и вскоре институт стал лидером по этой тематике. Основываясь на обширных систематизированных данных о геологии и генезисе медно-порфировых месторождений, он одним из первых в стране занялся разработкой их прогнозно-поисковых моделей и вместе с коллегами вплотную подошёл к созданию генетических моделей. Вслед за этим ЦНИГРИ и другие подведомственные организации Мингео СССР взяли курс на создание прогнозно-поисковых комплексов различных типов месторождений цветных и благородных металлов и алмазов – прогрессивной технологии поисковых работ, занявшей подобающее место в системе выделения и оценки новых рудных объектов.

Курируя в Мингео деятельность подведомственных научно-исследовательских организаций, А. И. Кривцов занимался самыми весомыми и интересными проблемами, в том числе координацией проведения в СССР сверхглубокого бурения, развитием математических методов в геологии, налаживанием международного сотрудничества отечественной геологической службы и многими другими. В 1990-х гг. в качестве заместителя директора ЦНИГРИ по научной работе он реализовал неординарный проект – создание многофакторных моделей основных геолого-промышленных типов месторождений золота, цветных металлов и алмазов для разработки эффективных методик геологической разведки. Это был целенаправленный и очень успешный анализ огромного оригинального материала, накопленного в отрасли, и полученные результаты отвечали запросам времени. В тот же период А. И. Кривцов написал первый в стране учебник «Прикладная металлогения», дав жизнь новой учебной дисциплине.

Когда на рубеже веков внимание к нуждам геологоразведочной отрасли катастрофически ослабело, Анатолий Иванович не пожелал мириться с наступающей стагнацией в поисках новых рудных районов и месторождений России. Он стремился привлечь к вопросам национальной минерально-сырьевой безопасности внимание государственных мужей. В начале 2000-х гг. вместе с коллегами из ЦНИГРИ и Министерства природных ресурсов РФ А. И. Кривцов стал ведущим автором представленной в Совет безопасности РФ аналитической записки «О сырьевой безопасности России в XXI веке», принял активнейшее участие в разработке концепции обеспечения минерально-сырьевой безопасности России в условиях глобализации в XXI в. Это была огромная экспертная аналитическая работа, повлиявшая на принципы построения долгосрочных государственных программ изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы страны, в том числе составленных уже без Анатолия Ивановича Кривцова.

В ЦНИГРИ, где Анатолий Иванович Кривцов трудился более 30 лет, готовится к изданию книга о его жизни и работе – «Рыцарь рудной геологии Анатолий Кривцов». Герой книги главной своей задачей всегда считал внедрение научных разработок в практику геологоразведочных работ и сделал на этом поприще впечатляюще много. Коллеги проанализировали его вклад как учёного и организатора науки, а также написали о нём как о человеке, оставшемся в памяти многих геологов. В книге немало воспоминаний коллег А. И. Кривцова – авторов и редакторов журнала «Руды и металлы», им учреждённого и продолжающего дело своего основателя и первого редактора.

*Редколлегия книги
«Рыцарь рудной геологии
Анатолий Кривцов»*

НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ

I Международный геологический чемпионат «ГеоВызов»

I International Geological Championship “GeoChallenge”

С 16 по 22 сентября 2023 года Федеральное агентство по недропользованию при поддержке Правительства Республики Башкортостан провело в Уфе I Международный геологический чемпионат «ГеоВызов».

Мероприятие организовано в рамках Десятилетия науки и технологий, которое проходит в нашей стране по поручению Президента Российской Федерации В. В. Путина. Широкий комплекс инициатив направлен на усиление роли науки и технологий в решении важнейших задач развития общества и страны.

В I Международном геологическом чемпионате «ГеоВызов» приняли участие более 120 студентов высших и средне-специальных учебных заведений. Местом притяжения молодых специалистов отрасли из многих регионов Российской Федерации и Республики Казахстан стал г. Уфа, парк «Патриот» им. Героя РФ Серафимова М. В. География Чемпионата включала такие города как Усть-Каменогорск (Казахстан), Красный Луч (ЛНР), Владивосток,

Грозный, Екатеринбург, Казань, Октябрьский, Пермь, Магнитогорск, Миасс, Москва, Новосибирск, Самара, Санкт-Петербург, Тюмень, Уфа.

За неделю проведения мероприятия участники прошли 12 геологических соревнований, охватывающих все области наук о Земле и практические умения, которыми должны обладать будущие геологи: «Геологический маршрут», «Шлиховое опробование», «Геологический разрез», «Минералогия и петрография», «Палеонтология», «Радиометрия», «Геохимия», «Гидрогеология», «Тестирование по основам геологических знаний», «Проект "Экскursionная геологическая тропа"», «Организация полевой стоянки и техника безопасности».

В торжественной церемонии открытия 17 сентября приняли участие представители Правительства Республики Башкортостан, Роснедр, регионального Минприроды, научных институтов, компаний-недропользователей. На открытии церемонии выступил руководитель Роснедр Е. И. Петров, который отметил,



Сбор участников Чемпионата перед ГКЗ «Башкортостан»



Шествие команд на церемонии открытия

насколько значима профессия геолога в наше время, и подчеркнул, что будущее за молодёжью, а также пожелал всем командам удачи и ярких впечатлений.

От ЦНИГРИ в организационном комитете состояли: председатель Совета молодых учёных и специалистов Е. Д. Костина, участвовавшая в судействе этапа «Шлиховое опробование», а также начальник отдела поисковой геохимии С. А. Карась и инженер 1 категории отдела поисковой геохимии К. А. Габбасов, которые организовали для участников «ГеоВызова» этап «Геохимия» и являлись на нём судьями.

Во второй день соревнований состоялась защита проектов заочного этапа, которые были ещё перед началом Чемпионата подготовлены участниками по следующим предложенным темам:

- «Геология среди школьников – как вызвать интерес к отрасли?»
- «Решение кадровых проблем в геологической отрасли»;
- «Популяризация геологии в обществе: информационный проект»;

- «Социальный геологический проект»;
- «Инновационные российские технологии и IT-решения в геологической отрасли».

Итоги проведения I Международного геологического чемпионата «ГеоВызов» были подведены 22 сентября на торжественной церемонии закрытия в парке «Патриот», где все семь дней проживали участники. На церемонии закрытия выступил советник руководителя Роснедр Д. Н. Олейник, который поблагодарил команды за упорство и волю к победе и выразил признательность Правительству Республики Башкортостан за поддержку Чемпионата и проведение его на самом высоком уровне.

Среди почётных гостей на мероприятии также присутствовали: заместитель премьер-министра Правительства – руководитель аппарата Правительства Республики Башкортостан А. Ф. Абдрахманов, министр природопользования и экологии Республики Башкортостан Н. М. Фазылов, его первый заместитель Д. Р. Шарафутдинов, заместитель министра образования и науки Республики И. В. Косолапова, а также депутат Госдумы России З. З. Байгускаров.



Встреча Оргкомитета с участниками Чемпионата в парке «Патриот»

По итогам «ГеоВызова» обладателем Гран-при стала команда «Геоюниверс» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет). В качестве приза команда пройдёт стажировку в АО «Башнефтегеофизика».

Первое место разделили команды «Геобарсы» (г. Казань, Институт геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета) и «Нанесённые ветром» (г. Уфа, Уфимский университет науки и технологий). Они получили возможность пройти стажировку в компании АО «Золоторудная компания "Павлик"» и международной золотодобывающей компании Nordgold.

На втором месте – команда «Разведка молотком» (г. Екатеринбург, Уральский государственный горный университет), она также получит возможность попасть на стажировку на

предприятии АО «Золоторудная компания "Павлик"».

Третье место заняла команда «Взрывные самоцветы» (г. Миасс, Южно-Уральский государственный университет). Ребята получили памятные призы от организаторов Чемпионата.

Завершилась церемония технологичным красочным шоу, в полной мере олицетворяющим современную и наукоёмкую профессию геолог.

«ГеоВызов» открыл новые горизонты для молодых специалистов, подарив им знания и возможности для будущих геологических достижений. Подать заявку на участие во II Международном геологическом чемпионате «ГеоВызов», который запланирован к проведению в 2024 году, можно на официальном сайте мероприятия геовывозов.рф.

XIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



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

10–12
АПРЕЛЯ
2024

МОСКВА  ЦНИГРИ

К участию приглашаются представители территориальных органов Роснедр, геологоразведочных предприятий, компаний-недропользователей, научно-исследовательских отраслевых и академических институтов, вузов.

Программа конференции включает пленарное заседание, устные и стендовые доклады на тематических секциях.

Конференция пройдёт в смешанном (очном и онлайн) формате. У докладчиков будет возможность выступить в зале конференций ФГБУ «ЦНИГРИ». Для тех, кто не сможет приехать, доступно выступление онлайн. Все выступления будут транслироваться в прямом эфире.

Официальные языки конференции – русский и английский

Организационный взнос с участников не взимается

Окончание приёма заявок и оплаты участия в полевых экскурсиях – 12 февраля 2024 г.

Окончание регистрации и приёма тезисов – 20 февраля 2024 г.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- Минерагеня АБЦМ
- Приоритетные направления прогнозно-поисковых работ на АБЦМ
- Перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ на АБЦМ различных стадий
- Опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на АБЦМ
- Научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков, оценки и разведки
- Использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ
- Разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРП



conference@tsnigri.ru
www.conference.tsnigri.ru



8(495) 315-43-65 (доб. 360)
секретарь конференции
Селиванов Павел Владимирович



г. Москва, Варшавское шоссе,
д. 129 к. 1

Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 2023 г.

Общие вопросы недропользования

Егорова И. В.

Перспективы мирового рынка природного урана. – № 1. – С. 6–16.

Прикладная металлогения

Ежков Ю. Б., Холиёров А. Т., Рахимов Р. Р., Тошметов У. Х.

Бор-скарново-магнетитовое оруденение Мингбулакского рудного поля (Восточный Узбекистан). – № 2. – С. 6–17.

Черных А. И., Гирфанов М. М., Истомин В. А., Фёдоров Д. Т., Пашков В. С., Сватков А. С.

Минерально-сырьевая база стран СНГ Центрально-Азиатского региона: состояние, направления взаимодействия и развития. – № 3. – С. 6–36.

Гаськов И. В.

Эндогенное золото российского Алтая. – № 3. – С. 37–60.

Сурин Т. Н.

Палеовулканизм, поисковые признаки и перспективы обнаружения нового промышленного медно-цинково-колчеданного оруденения в Верхнеуральском рудном районе (Южный Урал). – № 4. – С. 6–22.

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений

Шевкунов А. Г., Корницкий А. И., Башкиров А. П., Айдаркулов Т. Н.

Месторождение золота Кумтор (Срединный Тянь-Шань, Кыргызстан) и применение трёхмерного моделирования в программе Leapfrog Geo (Seequent) при проведении геологоразведочных работ. – № 2. – С. 18–43.

Левочская Д. В., Якич Т. Ю., Лесняк Д. В., Рудмин М. А., Рубан А. С., Ерофеев А. Е., Мазуров А. К.

Основные этапы рудообразования эпитермального месторождения золота Светлое (Хабаровский край) на базе изучения вещественного состава метасоматитов и руд. – № 3. – С. 61–86.

Строение рудных месторождений

Владимирцева О. В., Коноплев В. А., Березнев М. В.

Состав и золотоносность неогеновых отложений среднего течения р. Селеннях (Республика Саха (Якутия)). – № 1. – С. 17–24.

Сажина Т. И., Дамдинова Л. Б., Дамдинов Б. Б.

Минеральный состав и условия формирования кварц-берилловой минерализации Первомайского молибденового месторождения (Джидинское рудное поле, Юго-Западное Забайкалье). – № 1. – С. 25–39.

Степанов В. А.

О золотоносности сурьмяного и ртутного оруденения Приамурья. – № 1. – С. 40–51.

Болонин А. В., Мызников И. К., Нигматуллина А. М.

Богатые железные руды в латеритной коре выветривания полосчатой железистой формации в горном хребте Симанду (Гвинейская Республика). – № 2. – С. 44–63.

Мотов А. П., Соболев А. О.

Филогенез золота вулканогенно-осадочных колчеданно-полиметаллических руд. – № 2. – С. 64–77.

Сучков А. В., Выдрич Д. Е.

Рудно-метасоматическая зональность молибденовых рудопроявлений Тёплое 2 и Интрузивное Джетского рудного узла (Восточный Саян). – № 2. – С. 78–89.

Николаев Ю. Н., Балыкова И. В., Кузин С. В., Бакшеев И. А., Аплеталин А. В., Прокофьев В. Ю., Власов Е. А., Калько И. А., Косятов В. В.

Состав, условия формирования, закономерности размещения и зональность золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка). – № 3. – С. 87–105.



Пак Н. Т., Ивлева Е. А., Шатов В. В., Шатова Н. В., Гончаренко А. А.

Кварц-турмалиновые метасоматиты на месторождениях золота в Актюз-Боординском рудном районе (Северный Тянь-Шань, Кыргызстан). – № 3. – С. 106–120.

Викентьев И. В., Викентьева О. В., Блоков В. И., Выхристенко Р. И., Юшко Н. А., Криночкин Л. А.

Новые данные по геологической структуре и зональности Воронцовского золоторудного поля на Северном Урале. – № 4. – С. 23–35.

Кряжев С. Г., Двуреченская С. С., Окулов А. В., Федак С. И.

Золото-мышьяково-сульфидное оруденение Каянчинской площади (Горный Алтай). – № 4. – С. 36–51.

Старостин И. А., Черных А. И., Гирфанов М. М.

Палеогеотектоническая позиция Кызыкчадрского медно-порфирикового рудного поля (Республика Тыва). – № 4. – С. 52–73.

Комплексное использование минерального сырья

Веселовский А. А., Лагуткин С. В.

Безотходная переработка отвальных никелевых шлаков. – № 1. – С. 52–59.

Дискуссии

Хертек Ч. М., Сазонов А. М.

Деформационные и метасоматические преобразования детритового золота при россыпеподобии. – № 4. – С. 74–90.

Новости, информация

Итоги XII Международной научно-практической конференции в ФГБУ «ЦНИГРИ». – № 2. – С. 90–92.

Открытие памятника министру геологии СССР Е. А. Козловскому. – № 2. – С. 93–94.

Открытие выставки «Одушевлённый камень» в ЦНИГРИ. – № 2. – С. 95–96.

Академик Г. В. Богомолов – первооткрыватель. – № 3. – С. 121–122.

Служение рудной геологии и Отечеству. К 90-летию со дня рождения А. И. Кривцова. – № 4. – С. 92–93.

I Международный геологический чемпионат «ГеоВызов». – № 4. – С. 94–96.

Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 2023 г. – № 4. – С. 98–99.

Редакция: О. А. Грибовская, В. С. Жаркова
Вёрстка: О. А. Грибовская, В. Ю. Козлова
Оригинал-макет: А. С. Рязанцева, В. Ю. Козлова
Фото на обложке (Флюорит): https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/Fluorite%2C_galène_3.jpg

Подписано в печать 20.12.23 г. Формат 290 × 205. Бумага листовая. Печать цифровая
Отпечатано в ФГБУ «ЦНИГРИ»: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1

Адрес редакции:
117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ФГБУ «ЦНИГРИ»
Телефон: 8 (495) 315-28-47
E-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru
Сайт: <http://www.rm.tsnigri.ru>
© «Руды и металлы», 2023