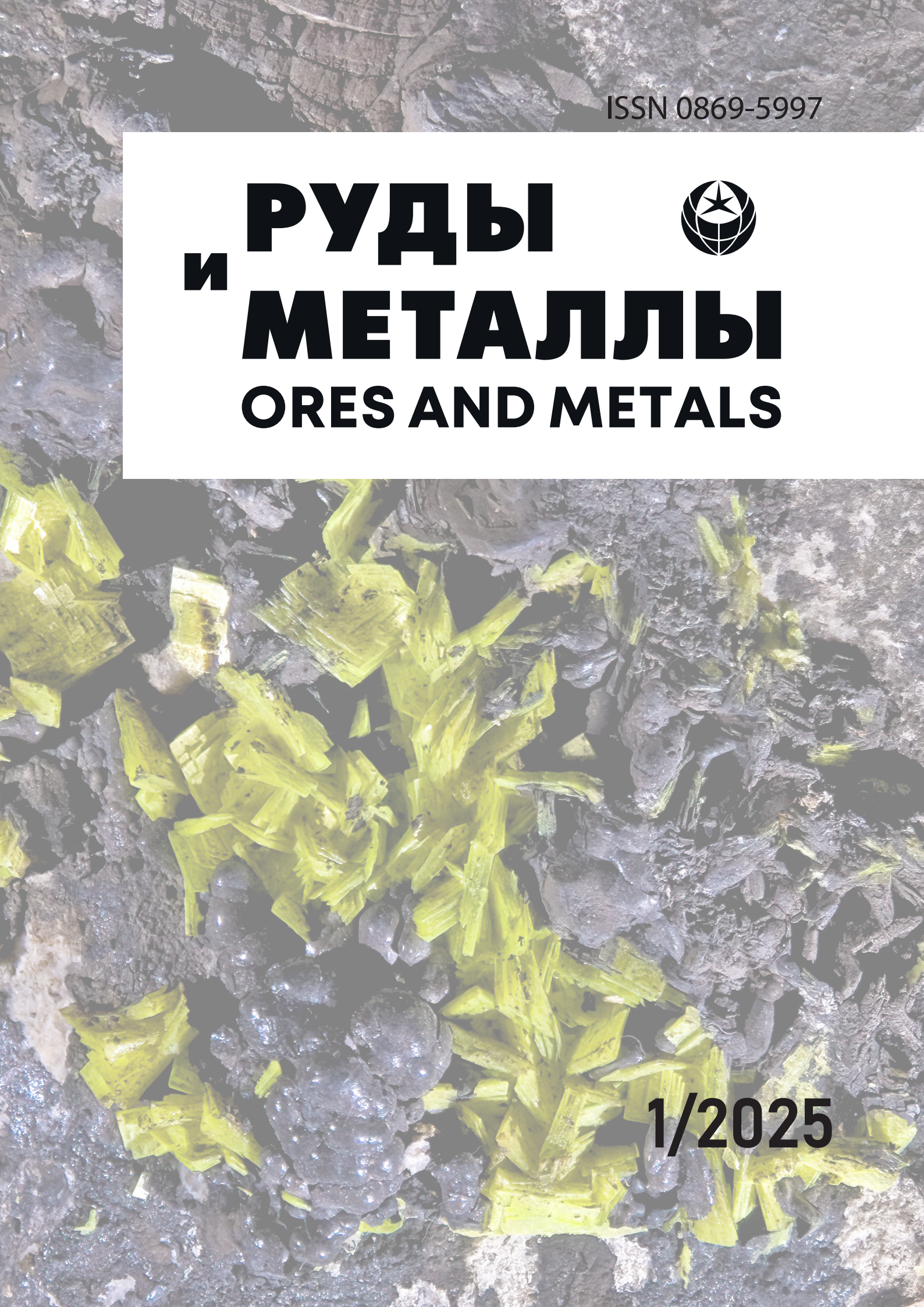
ISSN 0869-5997

РУДЫ и МЕТАЛЛЫ
ORES AND METALS



1/2025

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ 1/2025

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, 2025

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

Дамдинов Булат Батуевич
заместитель главного редактора
заместитель генерального директора ФГБУ «ЦНИГРИ»
доктор геолого-минералогических наук

Пирайно 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

Бозкая Гульчан
доктор наук, профессор
инженерно-геологического факультета
Университета Памуккале, Турция

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,
академик РАН

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

Зедгенизов Дмитрий Александрович
директор ИГГ УрО РАН
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

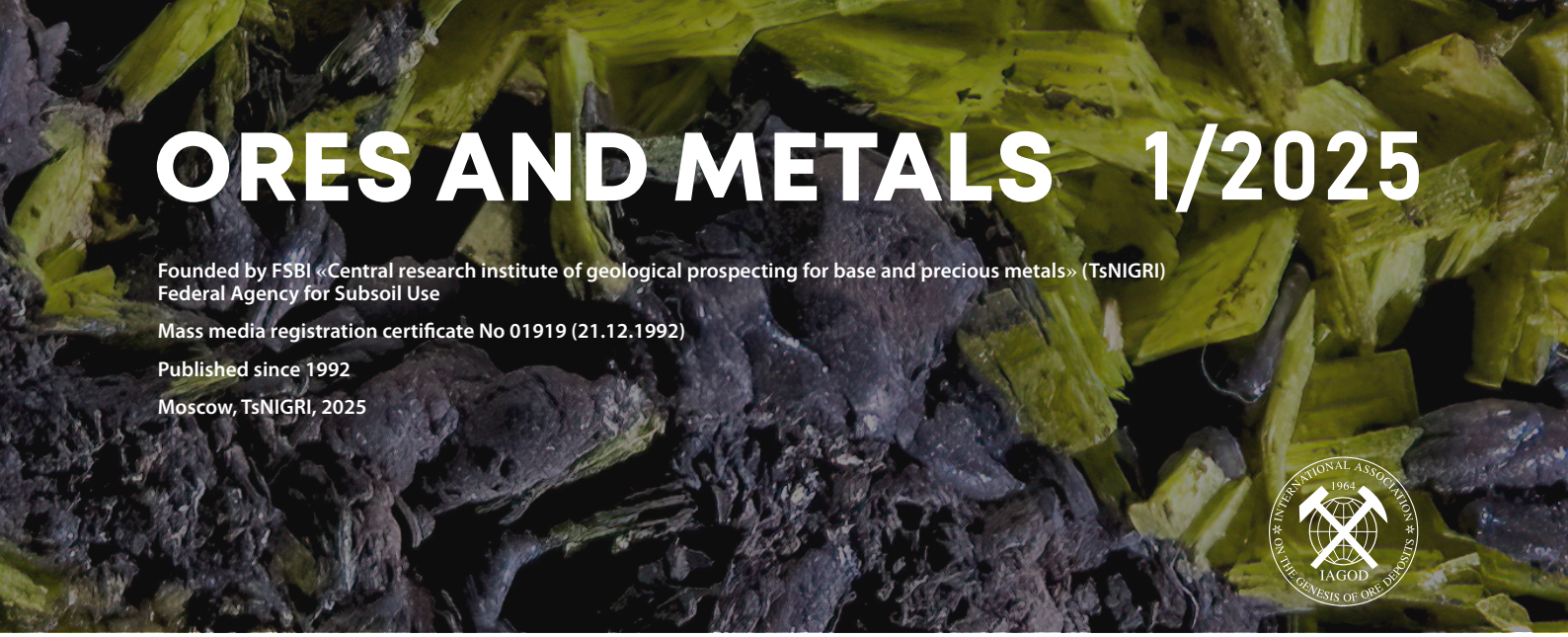
Проскурнин Василий Фёдорович
заведующий отделом региональной геологии
и полезных ископаемых
Восточных районов России ФГБУ «ВСЕГЕИ»
доктор геолого-минералогических наук

Селтмэн 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 1/2025

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, 2025

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

Bulat B. Damdinov
Deputy editor-in-chief
Deputy 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

Gülcan Bozkaya
Dr., Professor, Department of Geological Engineering
Pamukkale University, Turkey

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
Academician of RAS

Vadim S. Zvezdov
Head of metallogeny department, FSBI TsNIGRI
PhD

Dmitry A. Zedgenizov
Director, IGG UB RAS
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

Vasiliy 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

Иванов А. И.

Современные задачи Научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов

5

Ivanov A. I.

Actual tasks of the Central Research Institute of Geological Prospection for Base and Precious Metals

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

GEOLOGY OF THE ORE DEPOSITS

Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А.

Результаты геологического изучения недр на АБЦМ по «заявительному принципу» с особенностями его реализации на примере коренного золота

15

Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A.

Results of geological exploration for diamonds, base and precious metals (DBPM) under the "declaration principle" of the licensing, and specifics of implementation of the principle to primary gold deposits as an example

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

METHODS AND TECHNIQUES OF FORECASTING, PROSPECTING, EVALUATION AND EXPLORATION OF DEPOSITS

Рогизный В. Ф., Елисеев С. В.

Система разработки маломощных наклонных жил лентами по восстанию при шпуровой отбойке руды в двухсторонних присечках с взрывоставкой на настил восстающего (с использованием монорельсовых комплексов)

29

Rogizny V. F., Eliseev S. V.

System of inclined thin veins extraction by strips along rising during the blasthole ore breaking in two-sided undercuts with explosive ore delivery to the decking of a raise (using monorail complexes)

Хмельков А. М., Чугуевская Э. А.

Основные морфогенетические характеристики минералов-индикаторов кимберлитов

40

Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A.

The principal morphogenetic characteristics of kimberlite indicator minerals

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

GEOLOGY OF THE ORE DEPOSITS

Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А.

Условия формирования и изотопно-геохронологические характеристики золоторудного месторождения Южные Ашалы (Восточный Казахстан)

57

Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A.

The formation conditions and isotopic-geochronological characteristics of the Southern Ashaly gold deposit (Eastern Kazakhstan)

НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ

Современные задачи Научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов

К 90-летию знаменитого учреждения Государственной геологической службы Российской Федерации

Actual tasks of the Central Research Institute of Geological Prospection for Base and Precious Metals

Dedicated to the 90th Anniversary of the famous institution of the State Geological Survey of the Russian Federation

28 марта 2025 года исполнилось 90 лет со дня основания Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов – учредителя и издателя научно-технического журнала «Руды и металлы». Накануне юбилея исполняющий обязанности генерального директора ФГБУ «ЦНИГРИ» доктор геолого-минералогических наук, академик РАЕН А. И. Иванов ответил на несколько вопросов редакции.

**Руководитель ФГБУ «ЦНИГРИ»
доктор геолого-минералогических наук
А. И. Иванов**

– Анатолий Иннокентьевич, если бы представилась чудесная возможность «перелистнуть страницы времени» и поздравить первый коллектив НИГРИЗолото–ЦНИГРИ* и его руководителя с долголетием начатого ими большого дела, о каких достижениях ЦНИГРИ вам было бы приятно сообщить основателям института?

– В дни юбилея действительно жалеешь, что машины времени не существует и мы не можем поблагодарить основателей. Я считаю, что потенциал стремительного развития нашего института в XX веке заложен этими замечательными людьми. Первый директор и научный руководитель Николай Николаевич Горностаев** и его соратники в своём деле настоящие первопроходцы! Перед маленьким, но очень профессиональным коллективом НИГРИЗолото были поставлены амбициозные задачи: развернуть под эгидой Государственного союзного треста золотоплатиновой промышленности научно-исследовательские работы по геологии и разведке месторождений, вооружить региональные предприятия новейшими данными теории и практики. Трудно себе представить, как в то далёкое, полное трудностей и лишений время институт сумел за первые пять лет работы (до начала Великой Отечественной войны) провести собственные региональные исследования, позволившие своевременно оценить перспективы сырьевой базы золотой промышленности Советского Союза, и в значительной степени обосновать финансирование будущих поисково-разведочных работ. Полагаю, что именно столь яркое начало убедило руководство отрасли и страны в целесообразности сохранения и расширения нашего института

Сегодня мы знаем, какой замечательный путь прошёл ЦНИГРИ. В годы золотого века отечественной геологии он стал крупнейшим научно-исследовательским центром, ответственным за проблематику в области прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений благородных и цветных металлов и алмазов, техники и технологии геологоразведочных и буровых работ, анализа и обогащения руд, развития минерально-сырьевой базы и цветной металлургии. Конечно, хотелось бы рассказать первому директору и его коллегам о славной истории института. Но, наверное, лучше всего было бы провести их по лабораториям современного ЦНИГРИ, чтобы они поразились и порадовались возможностям новейшей лабораторной техники, ГИС-технологий, компьютеризации и информатизации геологии. Говоря образно, геологи первого поколения института пустились в путешествие по океану неизведанного в челне и на вёслах, а мы, их последователи, спустя 90 лет располагаем современным океанским научно-исследовательским судном.

У коллектива ЦНИГРИ высокий исследовательский потенциал: в институте рабо-

* НИГРИЗолото – первое название научно-исследовательского геологоразведочного института, учреждённого по распоряжению руководства Главного управления золотоплатиновой промышленности СССР в 1935 году. С 1957 года институт продолжил работу под названием ЦНИГРИ в ином ведомственном подчинении и с новым кругом задач.

** Николай Николаевич Горностаев (1896–1938) – советский учёный-геолог, петрограф, профессор, первый директор и научный руководитель НИГРИЗолото.

тает девять докторов и 47 кандидатов наук, а средний возраст сотрудников 47,7 года. ФГБУ «ЦНИГРИ» ежегодно организует Молодёжную научно-практическую конференцию «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче» и научно-практическую конференцию «Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов», которая становится дискуссионной площадкой геологов академических и прикладных институтов, горнорудных компаний; именно мы издаём знаменитый уже в годы работы Н. Н. Горностаева геологический научный журнал, в 1933–1991 гг. называвшийся «Советская геология», а ныне – «Отечественная геология», с 1992 года выпускаем журнал «Руды и металлы». За годы работы института наши сотрудники провели исследования во многих рудных районах мира, успешно работали и накопили колоссальный опыт изучения месторождений алмазов, цветных и благородных металлов. Неслучайно зарубежные партнёры проявляют большой интерес к разработкам ФГБУ «ЦНИГРИ».

– В 2018 году ЦНИГРИ обрёл статус федерального государственного бюджетного учреждения, и в системе Государственной геологической службы ему отведено особое место. Как актуальная проблематика геологоразведочной отрасли в России и за рубежом повлияла на эволюцию института в XXI веке, и какие первостепенные задачи стоят перед ФГБУ «ЦНИГРИ» в настоящее время?

– Основные проблемы геологоразведочной отрасли, обострившиеся во всём мире на рубеже XX и XXI столетий, – это, во-первых, быстрое сокращение запасов минерального сырья, которыми располагает человечество, о чём свидетельствует анализ состояния минерально-сырьевой базы России и мира; во-вторых, исчерпание фонда легко открываемых месторождений и вследствие этого работа в сложных ландшафтных условиях. В такой ситуации возникают стимулы к разработке новых методов и методик поисков, направленных на выявление так называемых слепых рудных тел, более совершенных технологий переработки руд, а также к увеличению финансирования геологоразведочных работ. Вот объективная картина, определяющая сегодня и перспективные задачи недропользователей, и регуляторную политику государства в лице Федерального агентства по недропользованию, и тренд развития отраслевых институтов, в том числе ФГБУ «ЦНИГРИ» – ведущего института Роснедр, курирующего расширение минерально-сырьевой базы алмазов, благородных (Au, Ag, Pt, Pd, др. МПГ) и цветных (Cu, Ni, Co, Pb, Zn) металлов.

Если в советское время основной акцент в работе ЦНИГРИ делался на систематических исследованиях месторождений (изучали закономерности их формирования, составляли прогнозно-поисковые модели), то миссия ФГБУ «ЦНИГРИ» несколько иная. Конечно, мы не оставляем своих традиционных исследований «по геологической тематике», как называл многолетнее изучение месторождений академик В. А. Обручев, который курировал наш институт с момента его учреждения: в рамках бюджетного финансирования, используя доступные материалы, научные сотрудники продолжают изучение ряда золоторудных, медно-порфировых, медно-колчеданных, полиметаллических, алмазных месторождений, чтобы уточнить их генезис и выстроить принципы дальнейших поисков месторождений подобного типа. Но главная задача – самостоятельно и во взаимодействии с недропользователями вести сложные поиски рудопроявлений и месторождений на фундаменте оригинальных разработок ЦНИГРИ. Институт, продолжающий выполнять экспертную работу в системе государственной геологической службы, эволюционирует в изменившейся экономической ситуации, мы предлагаем новые решения, опираясь на научный фундамент, созданный в предыдущие десятилетия, работаем с бесценными материалами геологических фондов ЦНИГРИ на новом научно-техническом уровне.

– Восполнение фонда рудных месторождений – задача, требующая постоянной масштабной работы геологической службы. Расскажите, пожалуйста, о тактике и стратегии, кото-

рые в настоящее время избрало руководство ФГБУ «ЦНИГРИ» в проведении традиционных для геологоразведочного института полевых исследований.

– Мы ищем новые месторождения в рамках существующей стадийности геологоразведочных работ. Основной вид наших исследований – *прогнозно-ревизионные работы (ПРР)*, цель которых определить новые площади для поисковых работ, проводимых, прежде всего, на средства государственного бюджета, и обосновать необходимость дальнейшего изучения этих площадей, ибо государственные деньги нужно тратить целенаправленно и экономно.

Мы поднимаем материалы всех предшественников, трудившихся в намеченном районе, обобщаем, анализируем и выделяем перспективные площади. Сегодня главный наш принцип – тщательный анализ всех фондовых геологических, геофизических и геохимических материалов, выявление и прогнозирование рудоносных структур и их целенаправленное изучение. Причём на подготовительной стадии мы должны максимально безошибочно локализовать участки, которые предстоит детально изучать в поле, потому что полевой сезон довольно короткий и мы не можем себе позволить распылять средства на исправление ошибок.

В советское время территория страны была покрыта пятидесятитысячной геологической съёмкой, поиски вели квадратно-гнездовым способом с мощным опробованием – тогда для этого были финансовые и кадровые возможности. В итоге во многих регионах находили рудопроявления, изучали их и открывали месторождения. Но большинство побед, увенчавших поиски месторождений в Советском Союзе, связано с выявлением рудных объектов на территориях, где рудные тела выходили на поверхность и в распоряжении геологов было достаточно каменного материала – могли отобрать образцы, изучить их. Сейчас выходов коренных пород на наших поисковых площадях нет. Лес, тайга, чехол рыхлых отложений... Если рудные тела перекрыты мощными четвертичными наносами, найти их методами, которые применяли коллеги 30–50 лет назад, просто не представлялось возможным в силу сложной ландшафтной обстановки. Сегодня мы проводим ПРР с новыми методиками и используем комплексный подход, сочетая непрямые геофизические методы, геохимическую съёмку, минералогический анализ; важно анализировать также данные дистанционного зондирования Земли из космоса (потенциал спутниковых данных раскрыт не в полной мере, потому что такая возможность появилась относительно недавно). Не выявленные предшественниками глубинные кладовые природы предстоит найти молодым сотрудникам ФГБУ «ЦНИГРИ».

Наши экспедиции работают в самых разных регионах России: на Алтае, в сибирской тайге, на Дальнем Востоке. В предъюбилейный для ЦНИГРИ год мы получили положительные результаты ПРР на ряде площадей. Появились перспективы выявления новых рудных объектов в Забайкалье, Бурятии, Алтайском крае, Кемеровской и Магаданской областях, на Чукотке. Иными словами, избранная ЦНИГРИ тактика полевых исследований приносит плоды.

Разумеется, трудностей много. Во-первых, в настоящее время геологическая съёмка проводится только в двухсоттысячном масштабе – очевидно, что это слишком редкое «сито» при опробовании и интересные участки могут быть пропущены. Во-вторых, в районах наших ПРР залегают многолетнемёрзлые породы, «гасящие» геохимические сигналы, связанные с восходящей миграцией рудных элементов от месторождений к дневной поверхности. Следовательно, надо прибегнуть к тяжёлым методам, которые не предусмотрены планом ПРР: ставить бульдозер, снимать мёрзлый слой, оттаивать грунт, вынутый из шурфа, постепенно докапываться до информативного делювиального слоя, при опробовании которого можно выявить перспективные геохимические и шлиховые аномалии для дальнейшей заверки горными и буровыми работами. Учитывая сложность этого процесса, роль научного анализа возрастает: необходимо понимать, где концентрировать поисковые работы.

Шагом вперёд в 2025 году станет проведение силами ФГБУ «ЦНИГРИ» региональных *прогнозно-минерагенических работ (ПМР),* целесообразность которых мы с коллегами доказываем последние пять лет. ПМР на заранее выбранной площади должны продолжаться три года подряд и включать горные, буровые работы, геофизические, геохимические и другие исследования. Пройдя трёхлетний цикл, мы сможем самостоятельно заверять свои прогнозные построения для конкретных перспективных площадей. К сожалению, юридический статус ПМР долгое время не был утверждён, без чего невозможно было получить лицензию на пользование недрами, согласовать проект освоения лесов, проводить буровые работы. Кроме того, есть тенденция к снижению государственного финансирования региональных работ, выполняемых учреждениями Роснедр (акцент сейчас делается на поисковых работах, реализуемых геологоразведочными предприятиями государственного холдинга «Росгеология»), следовательно для бурения скважин и проходки канав нашему институту необходимо привлечь субподрядчиков из числа недропользователей. Но преимущества ПМР, выгоды от использования потенциала ЦНИГРИ на стадии региональных поисковых работ очевидны, поэтому мы надеемся, что в ближайшее время приступим к их выполнению. Тем более что в Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года, утверждённой в июле 2024 года Президентом Владимиром Владимировичем Путиным, отчётливо сказано: финансирование регионального геологического изучения недр и связанных с ним тематических, прогнозно-минерагенических, опытно-методических, научно-исследовательских работ будет осуществляться за счёт средств федерального бюджета.

– В структуре ЦНИГРИ традиционно развито направление изучения минерально-сырьевой базы, отечественной и зарубежной. Какие задачи решает группа специалистов института, отвечающая в настоящее время за мониторинг и прогноз состояния минерально-сырьевой базы Российской Федерации и других стран мира?

– Анализ новых тенденций развития минерально-сырьевой базы благородных, цветных металлов и алмазов – одна из актуальных задач нашего института. Данную работу выполняют сотрудники экспертного уровня. Совершенно очевидно: не представляя общей картины, невозможно строить планы поисковых и геологоразведочных работ.

В основу разработанной Правительством Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года легли материалы, представленные аналитическими подразделениями подведомственных учреждений Роснедр и в их числе ЦНИГРИ. Закономерно, что в разделе «Текущее состояние минерально-сырьевой базы Российской Федерации и перспективы её развития» Стратегии отмечен следующий важный момент (я хотел бы зачитать этот тезис): «В силу исчерпания фонда легко открываемых месторождений выявление новых месторождений требует применения современных прогнозно-поисковых комплексов с использованием передовых геологоразведочных технологий. Важным фактором повышения эффективности геологоразведочных работ является подготовка перспективных площадей, обеспеченных опережающими работами геофизического и геохимического содержания и подготовленных к ведению поисковых работ».

– В XXI столетии в ЦНИГРИ организовано и успешно работает направление научно-методического сопровождения геологоразведочных работ. Экспертный уровень специалистов ФГБУ «ЦНИГРИ» высоко оценивают коллеги. Какое место эта работа, организованная по инициативе государственной геологической службы, занимает в жизни института?

– *Научно-методическое сопровождение геологоразведочных работ,* выполняемых на средства государственного бюджета, почти четверть века остаётся одним из ведущих направлений работы ЦНИГРИ. Это изначально очень сложная, комплексная деятельность, в которую вовлечены специалисты разных подраз-

делений института. Ведь в понятие научно-методического сопровождения входят подготовка долгосрочных программ и выбор приоритетных объектов геологоразведочных работ, контроль их качества на всех стадиях подготовки и проведения. Тут априори нужны настоящие эксперты с большим опытом собственных исследований и эрудицией, позволяющей оценивать новые объекты с позиций их значимости для развития конкретного российского региона, укрепления минерально-сырьевой базы определённых видов твёрдых полезных ископаемых. Такие специалисты есть только в научно-исследовательских учреждениях Роснедр, в том числе в ЦНИГРИ.

Эксперты нашего института осуществляют научно-методическое сопровождение поисковых и оценочных, а с 2025 года и региональных работ. При наличии данных о масштабе месторождения государство может установить более высокий стартовый размер платежа за пользование недрами. Бюджетные затраты на оценочные работы окупаются уже на аукционе либо за счёт уплаты налогов в период освоения месторождения.

На современном этапе научного сопровождения геологоразведочных работ мы продолжаем вести традиционные для ЦНИГРИ опытно-методические исследования, направленные на совершенствование методов поисков и оценки месторождений, а значит, на повышение эффективности использования бюджетных средств.

– Вероятно, оригинальные методические подходы сотрудников ФГБУ «ЦНИГРИ», успешно апробированные при поисках месторождений алмазов, цветных и благородных металлов, востребованы коллегами из производственных компаний?

– Конечно, мы сотрудничаем с недропользователями в рамках двусторонних договоров. Бóльшую часть поисковых работ в настоящее время ведут добывающие компании, которые должны расширять свою ресурсную базу для обеспечения фронта работ в будущем. Однако на ранних стадиях поисков на многих слабо изученных площадях информации для эффективного планирования работ недостаточно. Для анализа всех материалов и выявления закономерностей, позволяющих локализовать объекты поисков, нужны специалисты высокой квалификации. И тогда коллеги обращаются к нам, так как в профессиональном сообществе авторитет ФГБУ «ЦНИГРИ» очень высок. Партнёрам важно, что в нашем институте разработаны и постоянно совершенствуются инновационные технологии прогноза, поисков и оценки месторождений, прошедшие апробацию в разных регионах.

– В Санкт-Петербурге и Новосибирске открыты региональные подразделения ФГБУ «ЦНИГРИ». Какие задачи поставлены перед их коллективами?

– Наш институт ведёт полевые исследования по всей стране, и небольшие региональные представительства для ЦНИГРИ – удобный инструмент решения многих вопросов, в том числе кадровых. Специалисты, работающие в этих коллективах, живут в регионах. Они, как правило, прошли школу производственных геологоразведочных организаций. В представительстве ЦНИГРИ в Санкт-Петербурге и Новосибирске трудятся научные сотрудники, кандидаты наук. Все они умеют и хотят работать – такие профессионалы сегодня, в эпоху дефицита квалифицированных кадров, на вес золота. У каждого из них конкретное задание и большой объём работ, в том числе в полевых партиях ЦНИГРИ. Молодые сотрудники могут поступить в аспирантуру института и подготовить научную работу.

– В ЦНИГРИ пришло работать новое поколение геологов – недавних выпускников МГУ, МГРИ, других профильных вузов, и вы наблюдаете за их взрослением. Позволяет ли академическая подготовка молодых специалистов полноценно заниматься проблематикой, по которой работает институт?

– То, что в ЦНИГРИ работает целая плеяда молодых геологов, – очень позитивный момент. Ведь, как известно, в сфере наук о Земле сегодня существует острейшая кадровая проблема, связанная и с потерей интереса к

полевым профессиям у молодых людей, и со снижением уровня подготовки выпускников вузов. Преподавательский состав, конечно, меняется: неизбежно уходят состарившиеся опытные профессора, студентов нередко начинают учить люди недостаточно квалифицированные и грамотные. Соответственно, их ученики по знаниям и кругозору уступают своим ровесникам, пришедшим в профессию в 1970–1990-е годы и в первые десятилетия XXI века. Кроме того, если раньше жизнь в палатке вдали от цивилизации была для начинающего геолога естественна и даже желанна, то сейчас в представлении значительной части претендентов на прохождение геологической производственной практики такой быт неприемлем (курьёз, но с этим столкнулись все начальники геологических партий и не только в нашем институте). Интернет-зависимость, разумеется, усугубляет ситуацию.

На фоне сложившейся ситуации можно уверенно говорить о том, что работать в ЦНИГРИ сегодня приходят неслучайные люди, сознательно выбравшие геологию. Проблемы роста удаётся довольно быстро преодолеть, если есть стимулы к работе и профессиональный интерес. Поэтому мы предоставляем своей молодёжи хорошие карьерные возможности. Ребята поступают в аспирантуру, после её окончания защищают диссертацию. У нас трудятся заведующие лабораториями в возрасте всего 26 лет, и мы рады их успехам. А возможности для дальнейших занятий научными исследованиями у наших сотрудников сохраняются всегда, в чём институт выгодно отличается от производственных организаций, привлекающих молодых сравнительно высоким уровнем заработной платы. Мы иногда шутим, что ЦНИГРИ – кузница кадров для отрасли, но, если говорить серьёзно, профессиональные, талантливые ребята сегодня особенно нужны системе российской геологической службы – это государственная задача!

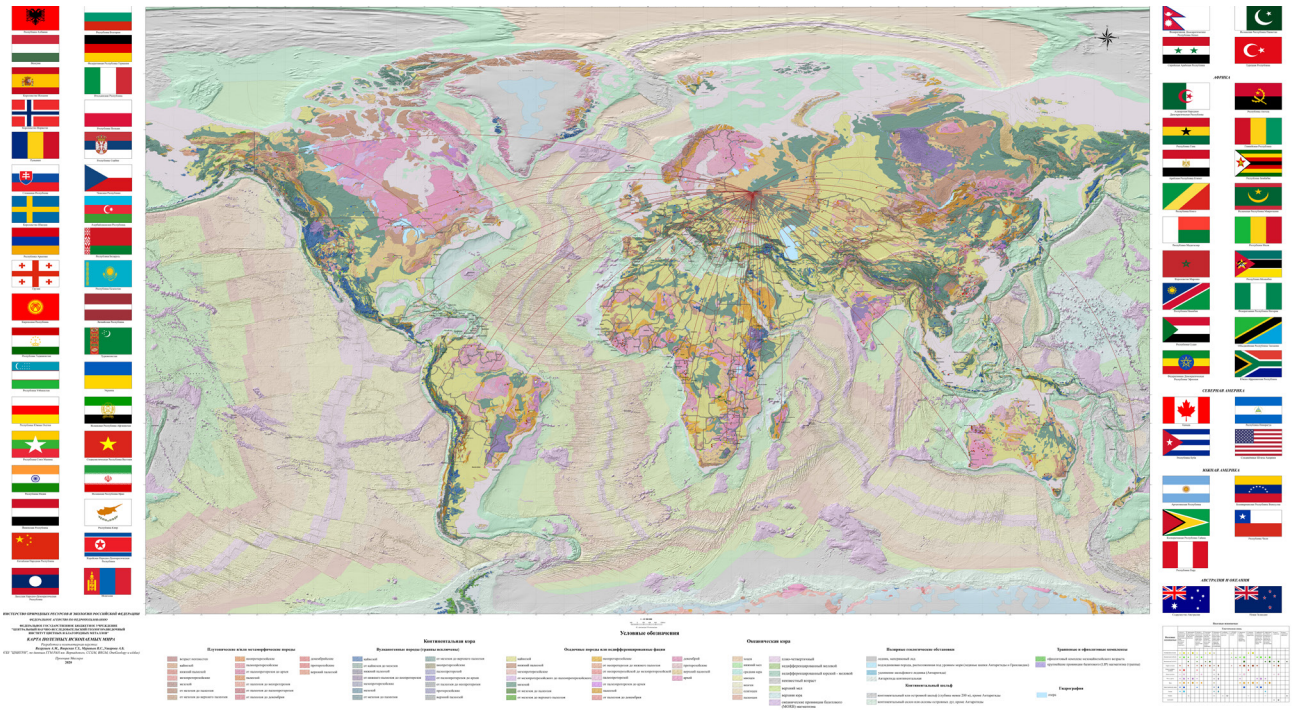
– В последние годы в ЦНИГРИ при поддержке Роснедр активно ведётся модернизация лабораторной базы. В какой мере наличие нового сложного оборудования расширяет потенциальные возможности геологоразведочного института?

– Современный геологоразведочный институт, работающий в системе Роснедр, просто должен располагать новейшим оборудованием – это аксиома. Я уже говорил о том, насколько усложнились поиски месторождений в настоящее время. И геологи связывают большие надежды с появившимися тонкими методами исследования вещества, способными восполнить пробелы в наших знаниях о месторождениях закрытых территорий.

Мы тщательно анализируем материал, отобранный в ходе прогнозно-ревизионных работ, проводимых нами в рамках государственного задания, и принимаем в аналитические лаборатории ЦНИГРИ пробы заказчиков, в том числе собранные в ходе совместных работ по договорам. Тонкие исследования позволяют искать месторождения на новом научном уровне. Мы вникаем в детали минералогии, геохимии изучаемых объектов, но наши задачи не ограничиваются написанием научных статей, как в академическом институте (хотя мы регулярно публикуем данные своих исследований), – наша цель найти закономерности (состав золота, строение минералов, состав горных пород, содержание полезных компонентов), общие для месторождений определённого типа, и на этой основе строить реалистичный прогноз локализации рудного объекта.

Одно из направлений работы, наряду с изучением индикаторных минералов, – выявление по определённым признакам индикаторных процессов рудообразования. Нужно понять их природу, взаимосвязь с другими явлениями и обосновать свою точку зрения, показать локализацию этих процессов.

Отмечу, что приобретённое оборудование – например, сканирующий электронный микроскоп TIMA – позволяет дать ответы на сложные вопросы о составе пород и минералов очень быстро, безошибочно, и сам анализ протекает почти без участия человека. Но для того, чтобы эффективно использовать эти возможности, необходимо понимать, как собирать материал, что ты хочешь получить в конце исследования.



География работ ЦНИГРИ за рубежом

– Очевидно, что хорошая оснащённость лабораторий – необходимое, но недостаточное условие успешной работы института. Публикации сотрудников ЦНИГРИ в российских и международных научных журналах, в том числе издаваемых Российской академией наук, свидетельствуют о сохранении второго непременного условия – высокого исследовательского потенциала коллектива. Каким образом дирекция и Роснедра поддерживают участие ЦНИГРИ в научной жизни геологического сообщества?

– Во-первых, в ФГБУ «ЦНИГРИ» действует Учёный совет, который курирует все вопросы научного и научно-организационного характера, в частности повышение квалификации научных кадров, выдвижение научных трудов на соискание различных премий. Геологическая секция Совета проводит теоретический семинар, посвящённый актуальным темам рудной геологии, – это мероприятие имеет большое значение для научного обмена и вовлечения молодёжи в творческую жизнь научно-исследовательского геологоразведочного института. Заседания семинара проходят систематически, докладчиками и слушателями могут быть и коллеги из других учреждений.

Во-вторых, в аспирантуре ЦНИГРИ ведётся подготовка кадров высшей квалификации по специальности 1.6.10. «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения». Активно работает Диссертационный совет института Д 30.1.001.01.

В ЦНИГРИ в течение 14 лет ежегодно проводится международная научно-практическая конференция, посвящённая научно-методическим основам прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов, о которой я уже упоминал как о наиболее значимом отраслевом научном форуме. Так, в 2024 году в работе конференции принимали участие 390 исследователей из 79 организаций, доклады звучали на шести секционных заседаниях, посвящённых проблематике изучения месторождений алмазов, благородных и цветных металлов, а также использованию геоинформационных технологий и пространственных данных в геологической области. За последние два года были учреждены две новые секции: «Проблемы генезиса, поис-

Коллектив Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов в День геолога 2023 года

ков и разведки платиновых и медно-никелевых месторождений» и «Медно-порфировые месторождения». ФГБУ «ЦНИГРИ» полностью берёт на себя организацию научно-практической конференции, поддержку нам оказывает Федеральное агентство по недропользованию.

В ФГБУ «ЦНИГРИ» работают редакции журналов «Отечественная геология» и «Руды и металлы», включённых в перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

Пять лет назад по инициативе нового поколения сотрудников ФГБУ «ЦНИГРИ» учреждён Совет молодых учёных и специалистов нашего института, и первым же крупным проектом ребят стала Молодёжная научно-образовательная конференция «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче», которая вскоре была преобразована в Рудную школу ЦНИГРИ – одну из самых востребованных сегодня площадок повышения квалификации начинающих исследователей рудных месторождений. Лекции на Рудной школе читают ведущие специалисты академических и отраслевых геологических институтов, и для всех слушателей это уникальная возможность задать интересующие их вопросы корифеям, обсудить сложные проблемы и расширить свой кругозор.

– За 90-летнюю историю института геологи ЦНИГРИ охватили исследованиями не только все рудоносные провинции бывшего СССР, но и работали почти на всех континентах Земли, не так ли? Какие приоритеты складываются в сфере международного сотрудничества института в наши дни?

– Ценность международного сотрудничества в геологии во все времена состоит, прежде всего, в возможности обмена научной мыслью и консолидации усилий специалистов для решения ключевых вопросов науки и практики. Этим целям на протяжении многих лет была подчинена работа Международного геологического конгресса, Международного союза геологических наук, Международной ассоциации по генезису рудных месторождений. Когда-то академик А. П. Карпинский писал: «Геологу нужна вся Земля». Действительно, в нашей профессии очень важно иметь возможность работать в разных регионах, с разной геологической обстановкой – тогда уровень знаний,

основания для научного прогноза неизмеримо возрастают. Это подтвердят мои коллеги во всём мире.

В связи с неправомерными нарушениями коммуникаций профессионального сообщества, имеющими место в последние три года, наш институт выдвигает предложение об учреждении нового Международного геологического общества с организационной ролью Российской Федерации. Создание нового центра взаимодействия дружественных России стран в сфере рудной геологии – один из главных приоритетов сегодняшних дней. Об этом свидетельствует позиция Роснедр: в июле 2024 года глава Федерального агентства по недропользованию презентовал руководителям геологических служб стран БРИКС общую геологическую платформу для обмена знаниями и практическим опытом.

Следующим приоритетом для ФГБУ «ЦНИГРИ», является – совершенствование нашей работы по информационно-аналитическому обеспечению Минприроды РФ, востребованной межправительственными комиссиями в части международного сотрудничества в области геологии и недропользования.

Наконец, необходимо наращивать объёмы и расширять географию наших договорных работ (прогнозных и поисковых). Интерес зарубежных коллег к ФГБУ «ЦНИГРИ», обладающему огромным опытом в вопросах прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений алмазов, цветных и благородных металлов, значителен. На государственном уровне и на уровне производственных компаний мы много лет активно сотрудничаем с Республикой Казахстан. Продолжается реализация связанной с изучением трансграничных структур долгосрочной программы «Металлогения без границ» с участием Казахстана, Китая, Монголии. Начато сотрудничество с геологами Таджикистана, КНДР, Кубы, Эфиопии. При активизации работы российских горнодобывающих компаний на территории вышеназванных и других дружественных стран ФГБУ «ЦНИГРИ» готов оказать коллегам научно-методическую поддержку.

Повторю: международное сотрудничество, позволяющее специалистам института знакомиться с геологической обстановкой других континентов, тем более вести поиски месторождений и работать на новых рудных объектах, – мощный импульс к профессиональному росту людей и развитию институтов государственной геологической службы.

– Анатолий Иннокентьевич, примите, пожалуйста, поздравления с 90-летием ЦНИГРИ и пожелания всесторонних успехов от редакции, редколлегии, авторов и читателей журнала «Руды и металлы»!

– Благодарю! Я с удовольствием передам эти пожелания коллегам. Символично, что мы отмечаем 90-летие ЦНИГРИ перед новым полевым сезоном, 91-м с начала работы института, и впереди у нашего замечательного коллектива много очень интересной работы.

Беседовала Е. В. Сидорова,
специальный корреспондент
научно-технического журнала «Руды и металлы»

Руды и металлы № 1/2025
Ores and metals № 1/2025

РУДЫ и МЕТАЛЛЫ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 553. 04 (470+571)

Результаты геологического изучения недр на АБЦМ по «заявительному принципу» с особенностями его реализации на примере коренного золота

Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А.

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

Аннотация. Представлены результаты работ на алмазы, благородные и цветные металлы по лицензиям «заявительного принципа» на территории РФ с момента начала действия механизма. Отражены ключевые аспекты изменения его нормативного регулирования. Приведены сведения о фактическом финансировании геологоразведочных работ (ГРР), динамике заявок и выдаче лицензий, приросте запасов алмазов, благородных и цветных металлов. Рассмотрены некоторые особенности реализации механизма на коренное золото.

Детализированы некоторые особенности результативности ГРР при реализации механизма на коренное золото в части динамики прироста его запасов; истории геологического изучения объектов, поставленных на госбаланс; сравнительной оценки этих объектов по крупности запасов, среднему содержанию в рудах и по категориям запасов с остальными впервые учтёнными госбалансом месторождениями, ГРР на которые проводились по другим основаниям выдачи лицензий. Изложены выводы о реализации «заявительного» механизма на АБЦМ.

Ключевые слова: заявительный принцип, финансирование ГРР, прирост балансовых запасов, геологическое изучение, месторождение, лицензия, золото.

Для цитирования: Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А. Результаты геологического изучения недр по «заявительному принципу» на АБЦМ с особенностями его реализации на примере коренного золота. Руды и металлы. 2025. № 1. С. 15–28. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10001.

Results of geological exploration for diamonds, base and precious metals (DBPM) under the "declaration principle" of the licensing, and specifics of implementation of the principle to primary gold deposits as an example

Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A.

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

Annotation. The article presents results of the work for diamonds, base and precious metals, fulfilled in the Russian Federation under the "declaration principle" licenses since the mechanism came into effect. The key aspects of amendments in its regulatory framework are demonstrated. Information is provided on the actual financing of geological exploration; the dynamics of applications for and issuance of licenses; and the increase in reserves of diamonds, base and precious metals. Some specifics of the mechanism implementation with respect to primary gold deposits are considered.

Some specifics of the geological exploration effectiveness during the mechanism implementation for primary gold are detailed in terms of its reserves increase dynamics; the history of geological exploration of the objects put into the state balance; and the comparative assessment of these objects with respect to the quantity of the mineral reserves, average gold grade in the ores, and the reserves categories with other ore deposits first recorded in the state balance, whose geological exploration was carried out on other grounds for issuing the licenses. Conclusions on the implementation of the "declaration" licensing mechanism for DBPM are presented.

Keywords: declaration principle, financing of geological exploration, increase in balance mineral reserves, geological exploration, mineral deposit, license, gold.

For citation: Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A. Results of geological exploration for diamonds, base and precious metals (DBPM) under the "declaration principle" of the licensing, and specifics of implementation of the principle to primary gold deposits as an example. Ores and metals. 2025. No. 1. pp. 15–28. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10001.

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 15–28 / Ores and metals № 1/2025, p. 15–28
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10001

Заявительный принцип лицензирования – упрощённый порядок получения права пользования недрами в целях геологического изучения. Механизм был введён для повышения уровня воспроизводства МСБ и развития «юниорного» бизнеса в России.

В 2014 г. в приказ Минприроды от 16.03.2005 № 61 были внесены изменения, позволившие инвесторам вовлекать для геологического изучения (ГИ) участки недр, по которым отсутствовали данные о наличии запасов полезных ископаемых (ПИ) и прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2. Таким образом планировалось увеличить объёмы геологоразведочных работ на «рискованных» площадях, т. е. с низкой степенью изученности и высокой вероятностью отрицательного результата. Далее нормативно-правовая база, регулирующая взаимоотношения в данной сфере, претерпела ряд изменений, что связано с её совершенствованием.

В 2016 г. приказ № 61 утратил действие в связи с вступлением в силу приказа Минприроды России от 10.11.2016 № 583, в котором были подробнее прописаны условия получения права пользования недрами с целью геологического изучения недр (ГИН).

В соответствии с приказом Минприроды России от 14.05.2019 № 299 было расширено действие «заявительного» механизма на возможность получения участков с прогнозными ресурсами категорий P_1 и P_2 для территорий субъектов Федерации, входящих в Дальневосточный федеральный округ (ДФО), Арктическую зону РФ (АЗРФ), а также на Иркутскую область.

Согласно приказу Минприроды России от 09.12.2020 № 1039 произошло расширение площади участков недр для геологического изучения на алмазы до 500 км^2, а также введён запрет на предоставление в пользование участков недр, которые полностью или частично расположены в границах проведения ГИН за счёт средств федерального бюджета, если работы прекращены менее чем за год до подачи заявки.

С 1 января 2022 г. вступил в силу приказ Минприроды России и Роснедр от 28.10.2021 № 802/20 [6], заменивший ранее действовавший приказ Минприроды России от 10.11.2016 № 583. В новом приказе предельное количество участков недр, предоставляемых в пользование на одного заявителя в течение календарного года, и их площадь увеличены до пяти и 500 км^2 каждый.

В 2023 г. принят приказ Минприроды России и Роснедр от 21.12.2022 № 901/09, который распространил заявительный принцип выдачи поисковых лицензий на все виды твёрдых полезных ископаемых на территории Сибирского федерального округа (СФО), за исключением металлических полезных ископаемых россыпных месторождений (кроме прогнозных ресурсов кат. P_3) и общераспространённых полезных ископаемых. Таким образом, снято ограничение на наличие прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2.

Согласно приказу Минприроды и Роснедр от 02.05.2024 № 255/06 внесены изменения в приказ Минприроды и Роснедр от 28.10.2021 г. № 802/20 в части предоставления права пользования участками недр заявителям, осуществляющим на таком участке региональное геологическое изучение недр.

Необходимо отметить, что с целью расширения ресурсной базы действующих горнодобывающих предприятий до 2022 г. в отдельный механизм предоставления участков недр для ГИ были выделены фланги и горизонты разведываемых и разрабатываемых месторождений ПИ; кроме того, по отдельному механизму у федеральных геологических компаний (ФГК – АО «Росгео») имелась возможность получить в пользование участок недр с целью ГИ за счёт собственных средств. Полученные результаты по указанным механизмам лицензирования (фланги и горизонты собственно золоторудных месторождений – Сухой Лог, Ведугинское, Красивое и др.; ФГК – медноколчеданное месторождение Новопетровское) не учитываются авторами в результатах работ по «заявительному принципу», т. к. имели иные основания выдачи.

Совершенствование нормативного регулирования механизма «заявительного принципа» корреспондирует с активностью инвесто-

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

Рис. 1. Динамика поданных заявок и выданных лицензий на АБЦМ по механизму «заявительного принципа»

Fig. 1. Dynamics of the applications submitted and licenses issued for DBPM under the "declaration principle" mechanism

ров, о чём свидетельствует динамика подаваемых заявок на геологическое изучение недр на алмазы, благородные и цветные металлы (АБЦМ) и выдачи лицензий на пользование недрами по «заявительному принципу».

Количество заявок на геологическое изучение, связанных с алмазами, благородными и цветными металлами, коррелирует с вносимыми изменениями в условия действия механизма «заявительного принципа» (рис. 1). Так, с 2019 г. отмечен резкий рост заявок на ГИ на АБЦМ, что обусловлено отменой ограничения на наличие прогнозных ресурсов кат. P_1 и P_2 при получении лицензий по «заявительному принципу» в регионах Дальневосточного ФО, Арктической зоны РФ и Иркутской области. В 2022–2023 гг., напротив, зафиксировано ежегодное снижение количества поданных заявок на АБЦМ. На это оказало влияние увеличение предельного количества участков, предоставляемых в пользование одному заявителю в течение календарного года, и их площади, а также ряд вводимых ограничений на лицензирование на территориях Камчатского края, Амурской области, Республики Хакасия и Кемеровской области – Кузбасса; кроме того, происходит исчерпание участков недр с известным ресурсным потенциалом.

По данным ФГИС «АСЛН» [8], за период действия механизма «заявительного принципа» с 2014 по 2024 гг. инвесторами было подано около 22,2 тыс. заявок на предоставление права пользования недрами для ГИ с целью поисков и оценки месторождений АБЦМ. При этом стоит отметить, что доля заявок на ГИ с целью поисков и оценки месторождений золота составляет 95 % от количества соответствующих заявок на АБЦМ.

По результатам рассмотрения поданных заявок на ГИ на АБЦМ можно сделать вывод, что около 44 % из них удовлетворяются. Остальные заявки регулятором возвращаются до рассмотрения либо отклоняются по результатам рассмотрения. Возврат происходит по 29 % поданных заявок, и ещё в 28 % случаев по результатам рассмотрения заявок по различным причинам выносится решение об их отклонении.

За период с 2014 по 2024 гг. по «заявительному» механизму инвесторам выдано более 9,1 тыс. лицензий на пользование недрами на АБЦМ (в качестве основного ПИ), на начало 2025 г. действовало более 6,1 тыс. лицензий указанного вида. Основной объём действующих лицензий приходится на золото – 93 %.

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 15–28 / Ores and metals № 1/2025, p. 15–28
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10001

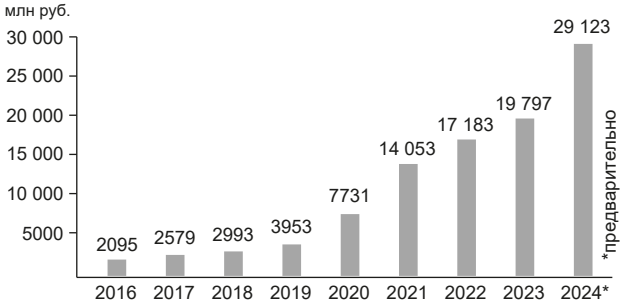


Рис. 2. Динамика финансирования ГРР на АБЦМ за счёт средств недропользователей по лицензиям «заявительного принципа»

Fig. 2. Dynamics of financing the geological exploration for DBPM by "declaration principle" license holders

Среди федеральных округов на конец 2024 г. почти 72 % всех действующих лицензий на АБЦМ в России, выданных по заявительному принципу, приходится на регионы, входящие в Дальневосточный ФО, подтверждая значительный ресурсный потенциал данной территории для выявления новых месторождений. Далее следует Сибирский ФО, но его доля существенно ниже – 21 %. На остальные федеральные округа приходится около 7 % всех действующих лицензий на пользование недрами на АБЦМ, выданных по «заявительному принципу».

Фактический объём финансирования геологоразведочных работ с целью поисков и оценки месторождений АБЦМ в рамках механизма «заявительного принципа» ежегодно увеличивается в номинальном выражении (без учёта влияния инфляции). При этом последовательно в 2020 и 2021 гг. произошло почти удвоение понесённых затрат недропользователями, а в 2024 г. их рост составил 47 % по отношению к прошлому году (рис. 2).

Большая доля от всего объёма финансирования ГРР на АБЦМ по «заявительному принципу» приходится на золото: от 50 до 76 % в разные годы. Планируемый объём затрат недропользователей на ГРР на АБЦМ в 2025 г. по «заявительному» механизму предполагает значительное их увеличение – более чем в 2 раза по сравнению с 2024 г. Однако сложившаяся практика и оценка по конкретным лицензиям в прошедшие годы показывают несоответствие планируемых и фактических затрат. Поэтому в 2025 г. можно ожидать увеличение фактических объёмов финансирования работ, но они будут меньше планируемых.

Согласно условиям пользования недрами, недропользователь обязан в установленный срок подготовить и утвердить проект на проведение работ по геологическому изучению, в котором отражаются планируемые объёмы, стоимость и сроки работ. Общая стоимость утверждённых проектов работ по ГИН на АБЦМ по заявительному принципу с 2014 г. ежегодно увеличивается, прежде всего это связано с ростом числа проектов на проведение работ с положительным решением экспертизы по ним, а также влиянием санкционной политики недружественных стран, инфляции и стоимости кредитов. По состоянию на начало 2025 г. положительное заключение по результатам экспертизы получили более 7,3 тыс. проектов на ГИН на АБЦМ по механизму «заявительного принципа» с суммарной стоимостью работ более 527 млрд руб. (в ценах текущих лет без учёта инфляционной составляющей).

Целевым результатом работ по геологическому изучению участка недр, включающему поиски и оценку месторождений ПИ, является прирост запасов путём их утверждения государственной (территориальной) комиссией по запасам. Прирост запасов (ABC_1+C_2) АБЦМ от деятельности недропользователей на участках недр, полученных ими в рамках действия механизма «заявительного принципа» (без учёта результатов работ по ГИ флангов и горизонтов разведываемых и (или) разрабатываемых месторождений, а также ГИ за счёт федеральных геологических компаний), приведён по данным протоколов ГКЗ/ТКЗ [8] в таблице 1.

На начало 2025 г. прирост балансовых запасов в рамках действия «заявительного» механизма по никелю, кобальту, свинцу и цинку отсутствовал.

Для платиноидов прирост балансовых запасов обеспечен пятью объектами, расположенными в Республике Саха (Якутия), Свердловской области и Республике Карелия. Основной

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

Таблица 1. Прирост балансовых запасов АБЦМ, полученный по механизму «заявительного принципа» за период 2014–2024 гг.*

Table 1. Increase in DBPM balance reserves, obtained due to the "declaration principle" mechanism for the period 2014–2024*

Вид ПИ (АБЦМ)	Единицы измерения	Прирост балансовых запасов		
		ABC_1+C_2	в т. ч. по категориям:	
			C_1	C_2
Алмазы россыпные	тыс. карат	1888,1	1221,3	666,8
Золото, в т. ч.:	т	386,3	76,8	309,5
коренное	т	293,0	51,4	241,6
россыпное	т	93,3	25,4	67,9
Серебро	т	1770,7	138,94	1631,72
МПГ, в т. ч.:	кг	9608,5	9534	74,5
платина	кг	4669,2	4594,7	74,5
палладий	кг	4939,3	4939,3	–
Медь	тыс. т	730,1	137,17	592,97
Цинк	тыс. т	отсутствует		
Свинец	тыс. т	отсутствует		
Никель	тыс. т	отсутствует		
Кобальт	т	отсутствует		

* Без учёта результатов работ по ГИ флангов и горизонтов разведываемых и (или) разрабатываемых месторождений, а также ГИ за счёт федеральных геологических компаний участков, переданных в пользование до 2022 г.

вклад обеспечил последний регион – 98 %, за счёт выявленного малосульфидного платинометального месторождения Куолисма.

Наращивание запасов меди произошло на трёх объектах: упомянутое месторождение Куолисма в Республике Карелия (попутный компонент); медно-порфировое месторождение Лугокан в Забайкальском крае (основной компонент и вклад в прирост запасов); Светлинское медноколчеданное месторождение в Оренбургской области.

Поставленные на госбаланс запасы россыпных алмазов получены в Пермском крае на месторождении Сюзевское (36 %) и в Республике Саха (Якутия) на месторождениях руч. Тыйдах-Юрях (40 %) и р. Беенчиме (24 %).

Почти весь (95 %) прирост балансовых запасов серебра получен в качестве попутного компонента, при этом 90 % обеспечены тремя месторождениями: Роман, Лугокан и Талгий. Единственным объектом собственно серебряных руд является месторождение Обоха в Республике Саха (Якутия) с балансовыми запасами 88,2 т серебра со средним содержанием 884,86 г/т.

Представленные данные показывают сосредоточение основного интереса инвесторов и, соответственно, недропользователей на ГИ месторождений коренного и россыпного золота, что выражается в значимых результатах на данный вид ПИ в рамках действия механизма. Основная доля (76 %) прироста балансовых запасов приходится на коренные объекты, на россыпные – 24 %.

Большинство (81 %) прироста запасов золота по лицензиям «заявительного принципа» получено на территории Дальневосточного ФО; на Сибирский ФО приходится 8 %, и около 11 % в сумме получено на территориях Приволжского, Уральского и Северо-Западного федеральных округов.

В пределах Южного, Северо-Кавказского и Центрального федеральных округов на начало 2025 г. пророст запасов АБЦМ отсутс-

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 15–28 / Ores and metals № 1/2025, p. 15–28
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10001

твует, что связано как с отсутствием выданных лицензий на ГИН, так и незавершённостью работ по ним.

Прирост запасов золота (коренного и россыпного) по лицензиям «заявительного принципа» за период 2014–2024 гг. получен на территории 23 субъектов РФ. Наибольшая доля прироста (38 %) получена на территории Забайкальского края, далее следуют Республика Саха (Якутия) – 26 %, Хабаровский край и Свердловская область – по 8 %. На остальные субъекты РФ, в которых получен прирост запасов золота в рамках механизма «заявительного принципа», приходится около 20 %.

По результатам деятельности недропользователей в рамках механизма «заявительного принципа» после постановки на Государственный баланс запасов (ГБЗ) на начало 2025 г. выданы 419 лицензий на разведку и добычу АБЦМ, и их количество продолжает увеличиваться. По 97 из них с 2017 по 2023 гг. было добыто около 10,3 т россыпного золота (рис. 3).

Основная доля (76 %) прироста балансовых запасов золота приходится на коренные объекты и за период 2014–2024 гг. составила 293 т. Положительный результат воспроизводства сырьевой базы рудного золота в рамках геологического изучения по «заявительному принципу» на начало 2025 г. обеспечен на 22 объектах в рамках 20 лицензионных участков на территориях семи субъектов РФ: Республики Саха (Якутия), Хабаровского края, Забайкальского края, Республики Башкортостан, Свердловской области, Республики Карелия и Оренбургской области (рис. 4).

По оперативным данным с начала 2025 г. в рамках «заявительного принципа» на госбаланс поставлено золоторудное месторождение Дубач в Среднеканском муниципальном округе Магаданской области с запасами золота по кат. C_2 14,732 т со средним содержанием 1,58 г/т (Протокол ГКЗ № Э003-00174-77/01661634 от 27.01.2025).

Суммарно 67 % прироста балансовых запасов рудного золота по механизму «заявительного принципа» обеспечили три крупных месторождения: Лугокан, Роман и Токкинское. Впервые прирост запасов коренного золота в рамках «заявительного» механизма был получен в 2017 г. на золоторудном месторождении Ягодное, что составило 1 % от суммарного прироста запасов месторождений коренного золота, впервые учтённых ГБЗ в этом году. В последующие годы вклад «заявительного принципа» в приросте запасов коренного золота среди новых месторождений, учтённых ГБЗ, характеризуется существенной вариацией. Максимальное значение отмечено в 2022 году – 55 %, за счёт медно-порфирового месторождения Лугокан и золото-кварцевого месторождения Роман.

Большинство месторождений с полученным приростом балансовых запасов коренного золота по указанному механизму имеют длительную историю изучения, приведённую в таблице 2, что стало одним из факторов успешности завершения ГРР.

Балансовые запасы рудного золота месторождений, представленных в таблице 2, составляют 271,1 т, или 92,5 % от всего прироста балансовых запасов рудного золота (293 т), полученного по механизму «заявительного принципа» с начала его реализации до 2025 г. Можно предположить, что у инвесторов было определённое представление в отношении участков недр, где проводить ГРР и какой будет результативность этих работ в части прироста запасов.

Приведённые данные подтверждают ранее сделанные авторами предположения [1], что с введением в действие механизма «заявительного принципа» у инвесторов в рамках правового поля возникла возможность получить в пользование участки недр с достоверной информацией о потенциальной локализации промышленных запасов полезных ископаемых. Механизм «заявительного принципа» создал возможность для доизучения существующих объектов без дополнительных затрат (процедура получения через аукцион) со стороны недропользователей путём безвозмездного получения поисковой лицензии в пользование. Ещё одним фактором возобновления работ на ранее нерентабельных участках недр стала благоприятная динамика мировых цен на металлы (золото, серебро и др.).

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10001

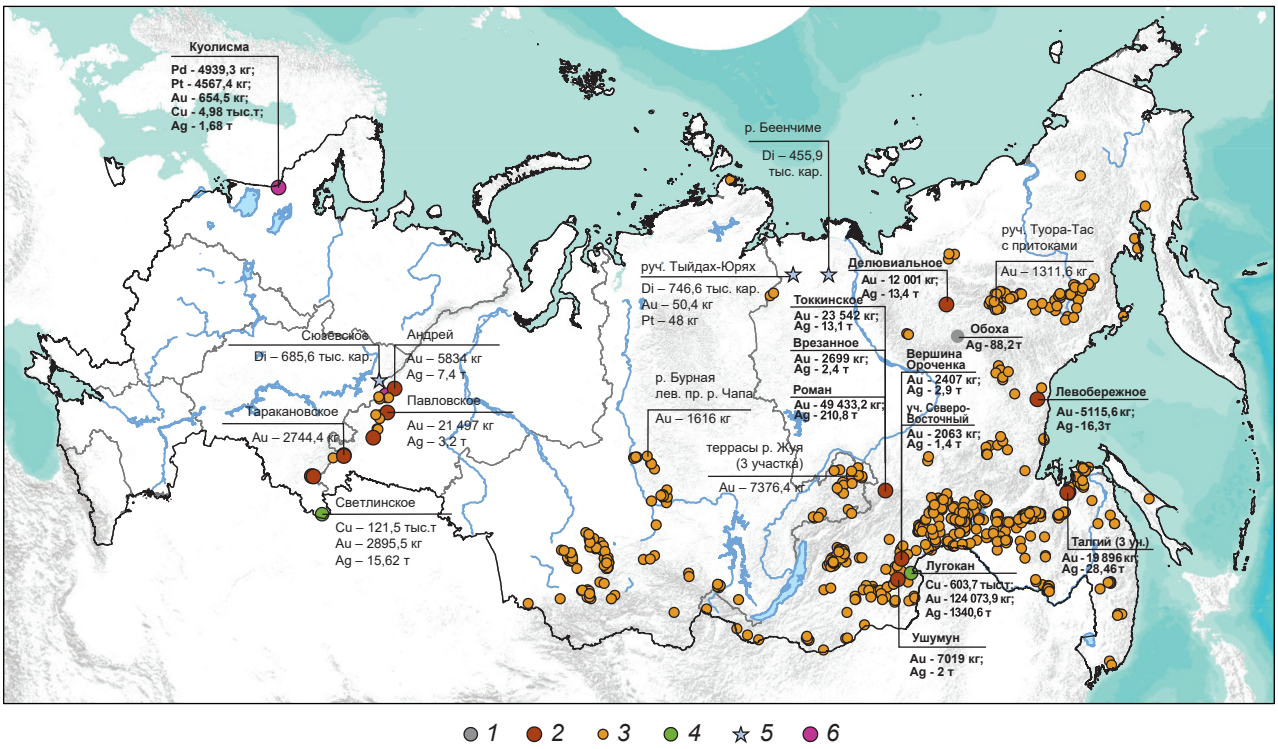


Рис. 3. Месторождения АБЦМ с приростом балансовых запасов, полученным в рамках действия «заявительного принципа» за период 2014–2024 гг.:
1 – серебро; золото: *2* – коренное, *3* – россыпное; *4* – медь; *5* – алмазы россыпные; *6* – МПГ

Fig. 3. DBPM deposits with an increase in the balance reserves, obtained within the framework of the "declaration principle" for the period 2014–2024:
1 – silver; gold: *2* – primary, *3* – placer; *4* – copper; *5* – placer diamonds; *6* – platinum-group metals

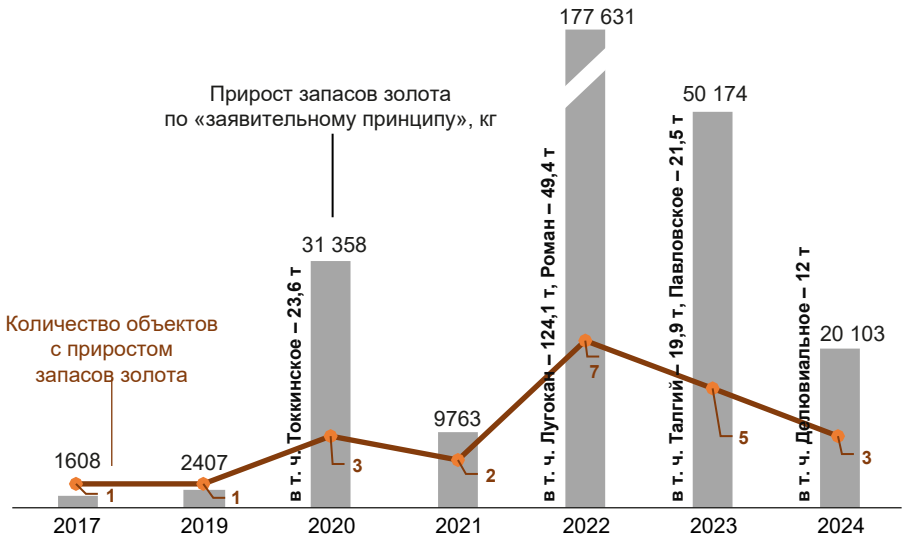


Рис. 4. Прирост балансовых запасов (ABC_1+C_2) коренного золота по «заявительному принципу» за период 2014–2024 гг.

Fig. 4. Increase in the balance reserves (ABC_1+C_2) of primary gold, related to the "declaration principle" for the period 2014–2024

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 15–28 / Ores and metals № 1/2025, p. 15–28
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10001

Таблица 2. История изучения основных месторождений с приростом балансовых запасов рудного золота, полученным в рамках действия механизма «заявительного принципа» до 2025 г.*

Table 2. History of geological exploration of the main gold deposits with an increase in the balance reserves of ore gold, obtained within the framework of the "declaration principle" mechanism until 2025*

Месторождение (субъект РФ)	Протокол экспертизы запасов (запасы, $C_{ср.}$)	История изучения объекта
Лугокан (Забайкальский край)	Протокол ГКЗ № 7093 от 03.10.2022. Прирост запасов C_1+C_2: Cu – 603,7 тыс. т (0,46 %) Au – 124,1 т (0,94 г/т) Ag – 1340,6 т (10,12 г/т)	XVIII в. – первые сведения о рудоносности района. 1930–1940 гг. – проводились поисково-разведочные работы на Au, W, Sn. 1956–1958 гг. – Междуреченской партией проведена геологическая съёмка м-ба 1 : 200 000. 1986–1990 гг. – Таёжной партией в пределах Лугоканского рудопроявления проводились поисковые работы м-ба 1 : 25 000 с применением геофизических методов. 2006–2015 гг. – по объекту «Лугоканская перспективная площадь» проводились поисковые и оценочные работы за счёт собственных средств ООО «ГРК «Быстринское» (дочернее предприятие ОАО «ГМК «Норильский никель»). Площадь обладала известным потенциалом рудоносности с ПР кат. P_1 – 165,32 т Au, 1901,8 т Ag, 745 тыс. т Cu и 1023,26 железных руд (протокол ТКЗ Забайкалнедра № 930 от 19.07.2013), кат. P_3 – 20 т Au (протокол ЦНИГРИ № 13 от 17.02.2016).
Ушумун (Забайкальский край)	Протокол ТКЗ Дальнедра № 1856 от 27.09.2021. Прирост запасов C_2: Au – 7,019 т (6,31 г/т) Ag – 2 т (1,65 г/т)	1958–1959 гг. – установлено наличие рудного золота на Ушумунском проявлении при заверке геохимических аномалий во время поисковых работ. 1964–1665 гг. – ЧГУ проведены детальные работы с целью оценки промышленных перспектив Ушумунского золоторудного проявления и его флангов. Прогнозные ресурсы Au – 22 т. 2005–2007 гг. – на Ушумуно-Чачинской площади зафиксированы пять вторичных геохимических аномалий. Прогнозные ресурсы Au кат. P_2 – 11,35 т, P_3 – 47 т. 2013–2015 гг. – в пределах Ушумунской рудоносной площади АО «Читагеолразведка» проводились поисковые работы на рудное золото. На 01.01.2010 Кадастром ПР ПИ РФ на уч. Топака-Джеронская рудоносная площадь учтено Au кат. P_3 – 22 т. Площадь обладала известным потенциалом рудоносности с ПР.
Врезанное (Республика Саха (Якутия)) Токкинское (Республика Саха (Якутия))	Протокол ГКЗ № 6480 от 12.10.2020. Прирост запасов C_2: Au – 2,699 т (0,78 г/т) Ag – 2,4 т (0,69 г/т); прирост запасов C_1+C_2: Au – 23,543 т (1,09 г/т); Ag – 13,1 т (0,61 г/т)	С 1960-х гг. – в разные периоды проводились геолого-поисковые работы. 1966–1984 гг. – в районе проводились тематические исследования Южно-Якутской партией тематической экспедиции ЯТГУ. 2004–2007 гг. – ООО «Нерюнгри-Металлик» разворачивает на Южно-Угуйской перспективной площади поисково-оценочные работы. 2015 г. – ООО «Геоуниверсал» проведены геологические маршруты на ранее выделенных перспективных участках Амурский и Врезанный. По существу участки являются западным флангом золоторудного кластера Гросс (включая месторождения Высокое, Тёмное, Таборное, а также многочисленные рудопроявления, согласно протоколу ГКЗ № 7224 от 30.12.2022) Площадь обладала известным потенциалом рудоносности с ПР. На 01.01.2016 Сводкой ПР ТПИ Республики Саха (Я) на Токкинской перспективной площади учтено по кат. P_3 – 20 т Au.

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

Окончание таблицы 2

Месторождение (субъект РФ)	Протокол экспертизы запасов (запасы, $C_{ср.}$)	История изучения объекта
Роман (Республика Саха (Якутия))	Протокол ГКЗ № 7224 от 30.12.2022. Прирост запасов C_1+C_2: Au – 49,4 т (0,61 г/т) Ag – 210,8 т (2,59 г/т)	С 1960-х гг. – тематическими партиями ЯТГУ проводились поисковые работы. 1976–1979 гг. – впервые выявлены золотоносные гидротермально-метасоматические породы Чоруодаканской партией ТУГРЭ. По существу участки являются западным флангом золоторудного кластера Гросс (включая месторождения Высокое, Тёмное, Таборное, Токкинское и Врезанное, а также многочисленные рудопроявления, согласно протоколу ГКЗ № 7224 от 30.12.2022). Площадь обладала известным потенциалом рудоносности с ПР.
Андрей (Свердловская область)	Протокол № 75-СВЕ/634-эксп. от 19.12.2023. Прирост запасов C_1+C_2: Au – 5,8 т (2,64 г/т) Ag – 7,4 т (3,35 г/т)	1961–1989 гг. – в районе Серебрянского участка поисковые работы проводились в ограниченных масштабах и были нацелены на выявление месторождений меди. 2006–2010 гг. – на северной части Серебрянского участка проводились поисковые работы ЗАО «Золото Северного Урала», дана отрицательная оценка на перспективы выявления золоторудных промышленных объектов (Протокол НТС Уралнедра № 203 от 03.05.2011).
Павловское (Свердловская область)	Протокол ГКЗ № 7417 от 15.08.2023. Прирост запасов C_2: Au – 21,5 т (2,1 г/т) Ag – 3,24 т (0,32 г/т)	Согласно паспорту ГКМ: 1960–1961 гг. – геологическая съёмка 1 : 50 000. 1961 г. – поиски. 2000–2001 гг. – геологическое доизучение. 2018–2020 гг. – поиски.
Талгий (участки Урачик, Талгий, Маленький) (Хабаровский край)	Протокол ГКЗ № 7329 от 13.04.2023. Прирост запасов C_1+C_2: Au – 19,896 т (2,92 г/т) Ag – 28,46 т (4,18 г/т)	С 1952 г. – изучение геологии и ПИ территории района работ. 1952–1993 гг. – проведены геолого-съёмочные работы, на перспективных участках – поисковые работы, в ходе которых открыты отдельные проявления рудного золота и месторождений россыпного золота. В 1991 г. поисковыми маршрутами при проведении геологической съёмки было выявлено рудопроявление Талгий.
Левобережное (Хабаровский край)	Протокол ТКЗ № 1249 от 13.05.2020 (утратил силу). Прирост запасов C_1+C_2: Au – 5,115 т (5,17 г/т) Ag – 16,32 т (16,48 г/т)	1976 г. – при проведении геолого-съёмочных работ открыто рудопроявление Левобережное. Позднее поисковыми работами НПО «Аэрогеология» (Карпузов А. Ф., 1977 г.) на рудопроявлениях Левобережное и Уенминское были выявлены 13 золоторудных тел с ПР золота кат. P_1– 1,3 т. Площадь обладала известным потенциалом рудоносности с ПР.

* По данным ГКМ, лицензионных материалов и проектов ГИН.

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 15–28 / Ores and metals № 1/2025, p. 15–28
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10001

Помимо основного вклада в воспроизводство сырьевой базы рассматриваемых видов АБЦМ для рудных месторождений, выявленных по механизму «заявительного принципа» и имевших оценку ресурсного потенциала, дискуссионным является возможное упущение государством дополнительной выгоды при реализации этих участков недр через механизм аукционов. Как представляется, успешность проведения аукциона, исходя из сведений об их проведении (https://torgi.gov.ru и https://nedradv.ru/nedradv/ru/auction), носит вероятностный характер. Это обусловлено отсутствием потенциальных инвесторов на участок недр с ресурсным потенциалом, тогда объект торгов остаётся невостребованным, причём неоднократно. А при их наличии, в зависимости от числа участников аукциона, итоговая финансовая нагрузка в виде платежа за участок недр носит для инвестора непрогнозируемый характер. В результате для инвестора с ограниченными финансовыми ресурсами, с учётом риска их невозврата, выгоднее использование механизма «заявительного принципа» с направлением средств сразу на ГРР, чем участие в аукционе, при котором часть средств уйдет на итоговый платеж.

При этом при получении лицензии на разведку и добычу ПИ по факту открытия месторождения, выявленного ранее в рамках «заявительного» механизма, законодательством [7] предусмотрена уплата недропользователем разового платежа, что в определённой степени компенсирует государству возможно упущенную выгоду при реализации передаваемого в пользование участка недр через механизм аукциона.

В этих обстоятельствах регулятору необходимо дальнейшее совершенствование правовой основы механизма «заявительного принципа», направленное на создание условий компаниям, не специализирующимся на добыче полезных ископаемых, а осуществляющим ГРР с целью последующей реализации участков недр с балансовыми запасами золота, полученными в результате таких работ в рамках действия механизма «заявительного принципа». Это отражало бы цель «заявительного принципа» в части развития «юниорных» компаний аналогично мировой практике, когда основной целью деятельности таких компаний является поиск и разведка новых месторождений полезных ископаемых, а их основная прибыль и возврат инвестиций формируются за счёт продажи разведанных запасов и ресурсов добычным компаниям [2].

При этом сложившаяся практика приобретения результатов ГРР у держателей заявительных лицензий проявилась главным образом в отношении рудных объектов, для россыпей она не приобрела широкого распространения.

Так, крупные недропользователи («Полиметалл», «Мангазея», Highland Gold Mining (HGM) и НГК «Ресурс») проводят конкурсы для юниорных компаний с целью поиска перспективных проектов в области геологоразведки на золото, платину, серебро, медь и полиметаллические руды. Особый интерес организаторы конкурса проявляют к проектам, находящимся вблизи своих действующих перерабатывающих комплексов [4].

Результаты ГРР по «заявительному» механизму по своим параметрам (количественные (запасы) и качественные (содержания компонента в рудах, состояние изученности запасов)) не выделяются из общего массива впервые поставленных на госбаланс месторождений коренного золота. Как уже было отмечено, большинство объектов были ранее известны и обладали достаточной геологической изученностью, поэтому качественные характеристики объектов, полученных по «заявительному принципу», схожи с другими месторождениями коренного золота, что соотносится с сырьевой базой коренного золота.

По крупности среди месторождений коренного золота [5], впервые учтённых ГБЗ, в том числе в результате ГРР по «заявительному принципу», преобладают мелкие (до 5 т) и средние (от 5 до 50 т) (рис. 5). В перспективе можно ожидать снижения количества новых мелких и средних месторождений с запасами коренного золота, в том числе по «заявительному принципу», т. к. количество недоизученных объектов с достоверной информацией о рудоносном потенциале таких месторождений будет уменьшаться.

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

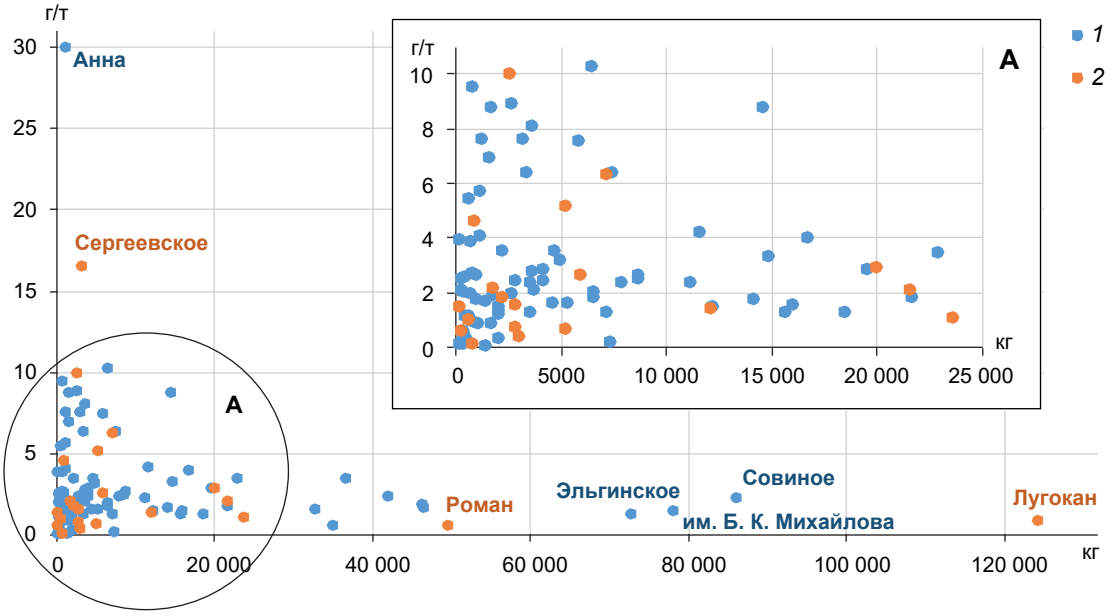


Рис. 5. Впервые учтённые на госбалансе месторождения коренного золота по крупности и среднему содержанию в рудах за период с 2017 по 2024 г.:
1 – новые объекты ГБЗ с запасами и средними содержаниями золота в руде; *2* – в т. ч. новые объекты по «заявительному принципу» с запасами и средними содержаниями золота в руде

Fig. 5. Primary gold deposits first recorded on the state balance, by their size and average gold grade in the ores, for the period from 2017 to 2024:
1 – new objects on the state balance of reserves with their reserves and average gold contents in ore; *2* – including new "declaration principle" objects with their reserves and average gold contents in ore

Месторождения коренного золота, относящиеся по запасам к крупным объектам (свыше 50 т), характеризуются низкими содержаниями золота в рудах. По механизму «заявительного принципа» поставлены на баланс два крупных месторождения, которым присвоен статус «участок недр федерального значения»: комплексное золотосодержащее медно-порфировое месторождение Лугокан и золотосульфидное месторождение Роман. Среднее содержание золота в рудах на обоих месторождениях низкое – 0,9 и 0,6 г/т соответственно. При существующей конъюнктуре рынка в перспективе возможно выявление крупных месторождений коренного золота с бедным содержанием золота в рудах, что потребует новых методик по поиску таких объектов и переработке бедных руд.

В структуре запасов месторождений коренного золота, учтённых Государственным балансом запасов на 01.01.2024 [3], преобладают запасы кат. ABC_1, их доля составляет 58 %, на кат. C_2 приходится 42 % (рис. 6). При этом на месторождениях, поставленных на ГБЗ в рамках «заявительного принципа», доля запасов коренного золота кат. C_2 значительно выше (82 %), чем доля запасов кат. C_1 (18 %) (см. табл. 1). Из этого следует, что недропользователям необходимо будет дополнительно нести затраты на проведение ГРР с целью перевода запасов в более высокие категории.

Введение механизма «заявительного принципа» не привело к ожидаемому масштабному эффекту в отношении воспроизводства запасов и выявления новых месторождений коренного золота. Указанные особенности не позволяют относить поставленные на баланс месторождения к полностью «новым» объектам, поскольку территория не была слабоизученной и высокорисковой в части проведения геологоразведочных работ, направленных на выявление запасов. При этом большинство

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 15–28 / Ores and metals № 1/2025, p. 15–28
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10001

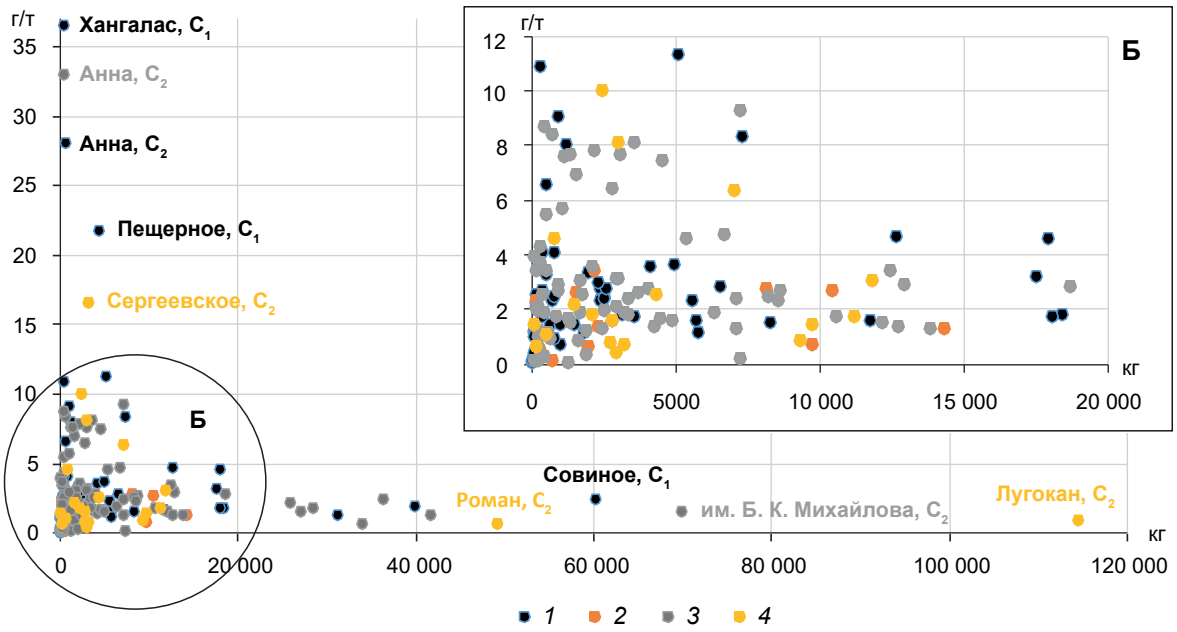


Рис. 6. Структура запасов месторождений коренного золота, впервые учтённых на госбалансе, по категориям за период с 2017–2024 гг.:
1 – новые объекты ГБЗ с запасами кат. C_1 и $C_{ср}$ в руде; *2* – в т. ч. новые объекты по «заявительному принципу» с запасами кат. C_1 и $C_{ср}$ в руде; *3* – новые объекты ГБЗ с запасами кат. C_2 и $C_{ср}$ в руде; *4* – в т. ч. новые объекты по «заявительному принципу» с запасами кат. C_2 и $C_{ср}$ в руде

Fig. 6. Structure of the mineral reserves of primary gold deposits first recorded on the state balance, by the categories, for the period from 2017 to 2024:
1 – new objects on the state balance of reserves with C_1 category reserves and average (C_{av}) gold contents in ore; *2* – including new "declaration principle" objects with their C_1 reserves and C_{av}; *3* – new objects on the state balance of reserves with their C_2 reserves and C_{av}; *4* – including new "declaration principle" objects with their C_2 reserves and C_{av}

компаний, ведущих ГРР на коренное золото и получивших положительный результат, являются дочерними компаниями крупных добычных компаний: например, ООО «Промышленные инвестиции» (Лугокан) аффилировано со структурой Highland Gold, ООО «Рудник Таборный» (Роман, Токкинское) принадлежит компании Nordgold. Это указывает на возможность проведения ГРР на поиски месторождений коренного золота в основном компаниями, располагающими финансовыми ресурсами и стремящимися расширить собственную сырьевую базу.

Следует ожидать, что в перспективе работы, ведущиеся на аналогичных участках недр, приведут к дальнейшему приросту запасов коренного золота и других видов АБЦМ. Но по мере исчерпания задела объектов, по которым имеется информация о достоверном ресурсном потенциале полезных ископаемых, существует риск снижения результативности реализации «заявительного» механизма.

Относительно малое количество коренных месторождений (22), несмотря на их значимый вклад в общий прирост балансовых запасов золота в рамках «заявительного» механизма, по-прежнему не дает возможности проведения детальной оценки результативности ГРР, в отличие от россыпных месторождений, чьё число статистически представительно.

Выводы:

1. Интерес со стороны инвесторов к механизму «заявительного принципа» продолжает оставаться на высоком уровне за счёт постоянного совершенствования условий действия механизма, но при этом в последние годы

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

отмечается снижение количества заявок и выданных лицензий.

2. Затраты недропользователей на ГРР на АБЦМ в рамках действия «заявительного принципа» ежегодно увеличиваются, основная их доля приходится на поиски и оценку месторождений золота.

3. Основной интерес недропользователей к геологическому изучению участков недр в рамках «заявительного принципа» среди видов минерального сырья сосредоточен на золоте. В большой степени истинная цель «заявительного принципа» выражена в результатах работ на россыпное золото.

4. При утверждении балансовых запасов АБЦМ, полученных в результате ГРР по «заявительному принципу», преобладают запасы кат. C_2, что обуславливает необходимость стимулирования перевода запасов в более высокие категории.

5. Требуется дальнейшее совершенствование правовой основы механизма «заявительного принципа», направленное на создание условий компаниям, не специализирующимся на добыче полезных ископаемых, а осуществляющим ГРР с целью последующей реализации участков недр с балансовыми запасами россыпного золота, что отвечает мировой практике деятельности юниорных геологоразведочных компаний.

6. В перспективе, по мере исчерпания задела объектов, по которым имеются сведения о локализации потенциальных промышленных запасов полезных ископаемых, существует риск снижения результативности реализации механизма «заявительного принципа».

Список литературы

1. *Алексеев Я. В., Попов И. В.* Особенности реализации механизма «заявительного принципа» на алмазы, благородные и цветные металлы // Отечественная геология. – 2023. – № 2. – С. 14–26.
2. *Бурдин Д. Б.* Анализ применения и вопросы совершенствования представления права пользования недрами для геологического изучения недр по заявительному принципу в РФ // Недропользование XXI. – 2022. – № 3 (95). – С. 24–29.
3. *Информационные* ресурсы ФГБУ «Росгеолфонд» [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://rfgf.ru.
4. *«Полиметалл»*, «Мангазея», HGM и «НГК Ресурс» подвели итоги конкурса юниоров [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://gold.1prime.ru/news/20250115/569000.html.
5. *Постановление* Правительства Российской Федерации от 01 марта 2023 г. № 335 «О государственной экспертизе запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, об определении размера и порядка взимания платы за ее проведение» [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202303060030.
6. *Приказ* Минприроды России и Роснедр от 28 октября 2021 года № 802/20 «Об утверждении порядка предоставления права пользования участками недр для геологического изучения недр, включающего поиски и оценку месторождений полезных ископаемых, на участке недр, не включенном в перечень участков недр для геологического изучения недр, за исключением недр на участках недр федерального значения и участках недр местного значения» [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://rosnedra.gov.ru.
7. *Приказ* Минприроды РФ и Роснедр от 31 марта 2022 года № 242/01 «Об установлении методики расчета минимального (стартового) размера разового платежа за пользование недрами» [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://rosnedra.gov.ru.
8. *ФГИС* «АСЛН» [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://asln.rosnedra.gov.ru.

References

1. Alekseev Ya. V., Popov I. V. Osobennosti realizatsii mekhanizma «zayavitel'nogo printsipa» na almazy, blagorodnye i tsvetnye metally [Features of the implementation of the "declarative principle" mechanism for diamonds, precious and non-ferrous metals], *Otechestvennaya geologiya* [*National geology*], 2023, No 2, pp. 14–26. (In Russ.).
2. Burdin D. B. Analiz primeneniya i voprosy sovershenstvovaniya predstavleniya prava pol'zovaniya nedrami dlya geologicheskogo izucheniya nedr po

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 15–28 / Ores and metals № 1/2025, p. 15–28
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10001

zayavitel'nomu printsipu v RF [Analysis of the application and issues of improving the presentation of the right to use subsoil for geological study of subsoil according to the declarative principle in the Russian Federation], *Nedropol'zovanie XXI* [*Subsoil use XXI*], 2022, № 3 (95), pp. 24–29. (In Russ.).

3. Informatsionnye resursy FGBU «Rosgeolfond» [Information resources of the Federal State Budgetary Institution "Rosgeolfond"], available at: URL: https://rfgf.ru.
4. «Polimetall», «Mangazeya», HGM i «NGK Resurs» podveli itogi konkursa yuniorov ["Polymetal", "Mangazeya", HGM and "NGK Resurs" summed up the results of the junior competition], available at: URL: https://gold.1prime.ru/news/20250115/569000.html.
5. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 01 marta 2023 g. № 335 «O gosudarstvennoi ekspertize zapasov poleznykh iskopaemykh i podzemnykh vod, geologicheskoi informatsii o predostavlyaemykh v pol'zovanie uchastkakh nedr, ob opredelenii razmera i poryadka vzimaniya platy za ee provedenie» [Resolution of the Government of the Russian Federation of March 1, 2023 No. 335 "On the state examination of mineral reserves and groundwater, geological information on subsoil areas provided for use, on determining the amount and procedure for collecting fees for its implementation"], available at: URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202303060030.
6. Prikaz Minprirody Rossii i Rosnedr ot 28 oktyabrya 2021 goda № 802/20 «Ob utverzhdenii poryadka predostavleniya prava pol'zovaniya uchastkami nedr dlya geologicheskogo izucheniya nedr, vklyuchayushchego poiski i otsenku mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh, na uchastke nedr, ne vklyuchennom v perechen' uchastkov nedr dlya geologicheskogo izucheniya nedr, za isklyucheniem nedr na uchastkakh nedr federal'nogo znacheniya i uchastkakh nedr mestnogo znacheniya» [Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation and Rosnedra dated October 28, 2021 No. 802/20 "On approval of the procedure for granting the right to use subsoil plots for geological exploration of subsoil, including prospecting and evaluation of mineral deposits, on a subsoil plot not included in the list of subsoil plots for geological exploration of subsoil, with the exception of subsoil on subsoil plots of federal significance and subsoil plots of local significance"], available at: URL: https://rosnedra.gov.ru.
7. Prikaz Minprirody RF i Rosnedr ot 31 marta 2022 goda № 242/01 «Ob ustanovlenii metodiki rascheta minimal'nogo (startovogo) razmera razovogo platezha za pol'zovanie nedrami» [Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation and Rosnedra dated March 31, 2022 No. 242/01 "On establishing the methodology for calculating the minimum (starting) amount of a one-time payment for subsoil use"], available at: URL: https://rosnedra.gov.ru.
8. FGIS «ASLN» [Federal State Information System "Automated system of subsoil use licensing"], available at: URL: https://asln.rosnedra.gov.ru.

Алексеев Ярослав Владимирович (alekseev@tsnigri.ru)
кандидат геолого-минералогических наук, заведующий отделом

Попов Иван Владимирович (popov@tsnigri.ru)
заведующий лабораторией

Куликов Данила Алексеевич (tsnigri@tsnigri.ru)
заместитель генерального директора

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

© Алексеев Я. В., Попов И. В., Куликов Д. А., 2025
© Alekseev Ya. V., Popov I. V., Kulikov D. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025
Ores and metals № 1/2025

РУДЫ и МЕТАЛЛЫ

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 622.23.05

Система разработки маломощных наклонных жил лентами по восстанию при шпуровой отбойке руды в двухсторонних присечках с взрыводоставкой на настил восстающего (с использованием монорельсовых комплексов)

Рогизный В. Ф.[1], Елисеев С. В.[2]

[1] Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва, Россия; [2] АО «ВНИПИпромтехнологии», г. Москва, Россия

Аннотация. В работе приводится краткая характеристика ведения горных работ на месторождениях, которые отрабатывают маломощные наклонные жилы с низким уровнем механизации. Из-за ограниченного пространства в забоях используют только переносные пневматические перфораторы, а для погрузки-доставки руды малопроизводительные скреперные лебёдки. Для отработки запасов на таких объектах предлагается система разработки, в которой наклонное положение жил используется для доставки горнорудной массы из забоев вниз к откаточному штреку под собственным весом по настилу с низким коэффициентом трения (из высокомолекулярного полиэтилена). Если будет реализована взрыводоставка горнорудной массы по «скользкому» настилу, возможно существенное повышение общего уровня механизации горных работ за счёт применения монорельсовых комплексов, производительного бурового оборудования, расширяются возможности использования текущей породы в закладку выработанного пространства. Наиболее простым способом оценки эффективности взрыводоставки представляется использование настила листового полиэтилена ВМПЭ ПЭ 500 и/или СВМПЭ PE-1000 при проходке наклонного блокового восстающего вместо скреперной доставки.

Ключевые слова: отработка наклонных жил, повышение уровня механизации, монорельсовые комплексы, взрыводоставка по настилу.

Для цитирования: Рогизный В. Ф., Елисеев С. В. Система разработки маломощных наклонных жил лентами по восстанию при шпуровой отбойке руды в двухсторонних присечках с взрыводоставкой на настил восстающего (с использованием монорельсовых комплексов). Руды и металлы. 2025. № 1. С. 29–39. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10002.

System of inclined thin veins extraction by strips along rising during the blasthole ore breaking in two-sided undercuts with explosive ore delivery to the decking of a raise (using monorail complexes)

Rogizny V. F.[1], Eliseev S. V.[2]

[1] Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia
[2] JSC "VNIPIpromtekhnologii", Moscow, Russia

Annotation. The paper provides a brief description of mining operations at ore deposits that extract inclined thin veins with a low mechanization level. Because of the limited space, only portable pneumatic perforators are used in the faces, and low-performance scraper hoists are used for loading and delivering the ore. To extract ore reserves at such objects, a mining operation system is proposed in which the inclined position of the veins is used for delivering the ore mass from the faces down to the haulage drift under its own weight along a low-friction decking (made of high-molecular-weight polyethylene). If such explosive delivery of the ore mass along a "slippery" decking will be implemented, it is possible to significantly increase the overall level of mechanization of the mining operations due to the use of monorail complexes, productive drilling equipment, and expand the possibilities of using the current rock for backfilling the mined-out space. It is considered that the simplest way to assess the efficiency of the explosive delivery is to use a decking of sheet polyethylene VMPE PE 500 and/or SVMPE PE-1000 when driving an inclined block raise, instead of the scraper delivery.

Keywords: mining of inclined veins, raising the mechanization level, monorail complexes, explosive delivery of ore along a decking.

For citation: Rogizny V. F., Eliseev S. V. System of inclined thin veins extraction by strips along rising during the blasthole ore breaking in two-sided undercuts with explosive ore delivery to the decking of a raise (using monorail complexes). Ores and metals. 2025. No. 1. pp. 29–39. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10002.

© Рогизный В. Ф., Елисеев С. В., 2025
© Rogizny V. F., Eliseev S. V., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 29–39 / Ores and metals № 1/2025, p. 29–39
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10002

Общие сведения

Месторождения с тонкими и маломощными наклонными жилами, доля которых в балансе запасов редких и благородных металлов оценивается в 8–10 %, являются наиболее сложными объектами для подземной разработки. Для месторождений с таким типом руд помимо малой мощности характерны изменчивость по углам падения и качеству руды, различия в глубине залегания, наличии тектонических нарушений и т. д.

Эти объекты характеризуются низкой производительностью забойного рабочего, высоким разубоживанием (до 35–40 %); велики потери руды при оставлении рудных целиков. Особенно негативное влияние оказывает малая мощность жил при углах падения 20–25°, когда затруднено использование современного оборудования и отсутствует возможность применения гравитационной доставки руды.

За последние десятилетия добычные забои на подобных объектах технический прогресс обходил стороной, так как средства механизации при проведении восстающих выработок и выемке руды практически не совершенствовались.

При подготовке блоков/панелей нет возможности применения монорельсовых комплексов *на проходке* наклонных восстающих (такая проходка оправдана при крутом падении, когда отделённая взрывом горнорудная масса падает вниз к пунктам погрузки под собственным весом).

При *очистной выемке руды* в ограниченном пространстве для бурения шпуров можно использовать только маломощные переносные перфораторы, а для погрузки-доставки руды преимущественно применяются малопроизводительные скреперные лебёдки (на участках с углами падения ≥ 35° прямое скреперование запрещено из-за самопроизвольного падения кусков [4, 5, 7]).

Система разработки, обозначенная в названии статьи, предлагается для отработки маломощных (m_P ≈ 0,6–1,6 м) рудных тел с углами падения α ≈ 20–25° до 35–40°. Основным элементом системы является использование наклонного положения жил для доставки отбитой горнорудной массы из проходческого, а руды – из очистных забоев вниз к откаточному штреку *под собственным весом по листовому настилу* (металлическому или из высокомолекулярного полиэтилена).

В прошлом веке на угольных шахтах широко применялась доставка угля под уклон 19°–35° собственным весом по настилу из стальных рештаков. При этом на участках с небольшими углами наклона использовали эмалированные рештаки с низким коэффициентом трения. На руднике Букука при отработке маломощных наклонных жил с углом падения 15–40° для передвижения руды также применяли желоба, проталкивая в заторах руду гребками [1, 8, 9].

Если будет реализована *взрыводоставка горнорудной массы к откаточному штреку по «скользкому» настилу* из современных материалов, потенциально возможно существенное повышение общего уровня механизации горных работ и экономических показателей предприятия.

В системе разработки предлагается использовать следующее (при необходимости модернизированное) оборудование:

- монорельсовый комплекс КПУ для проходки наклонных восстающих снизу вверх *из монтажной камеры на откаточном штреке* (с креплением кровли сталеполимерной анкерной крепью (СПАК) с сеткой и укладкой настила на почву);
- монорельсовый полок очистной КО-4Г, базируясь *в монтажной камере вентиляционного штрека*, обеспечивает транспортировку людей и материалов в очистные забои, позволяет существенно упростить последующие процессы выемки (бурение шпуров, их заряжание и взрывание, при необходимости зачистку почвы и приём закладочного материала);
- производительный станок для бурения шпуров при отбойке руды в двухсторонних присечках (варианты буровых станков-аналогов рассмотрены ниже);
- пневмоустановку «Ульба-100» для заряжания шпуров по руде гранулированным ВВ, их взрывания с взрыводоставкой массы на настил восстающего;

© Рогизный В. Ф., Елисеев С. В., 2025
© Rogizny V. F., Eliseev S. V., 2025

• вакуумную установку Durovac для зачистки рудной мелочи на почве отработанной секции (по необходимости).

Перечень наклонных жильных месторождений

В таблице приведён перечень наклонных жильных месторождений, где выделены действующие предприятия, подготавливаемые к разработке, а также законсервированные по экономическим причинам и находящиеся в нераспределённом фонде.

По оценкам авторов, на этих объектах может быть реализована (в определённых долях) технология подготовки и отработки жил с использованием современных комплексов оборудования и взрыводоставки.

Как видно из таблицы, число действующих и подготавливаемых к разработке месторождений, примерно соответствует числу законсервированных и в нераспределённом фонде. Авторы считают, что создание эффективной технологии отработки тонких и маломощных

Таблица. Перечень наклонных жильных месторождений, на которых целесообразно провести опытно-промышленные работы для оценки эффективности взрыводоставки горнорудной массы (в том числе с комплексом монорельсового оборудования)

Table. List of inclined vein ore deposits where it is advisable to conduct pilot industrial work to assess the efficiency of the blasting delivery of ore mass (including with a complex of monorail equipment)

№	Месторождение	Сырьё	Субъект РФ	Недропользователь
1. Действующие предприятия				
1.1	Ирокинда	Au	Республика Бурятия	ООО «Ирокинда»
1.2	Бадран	Au	Республика Саха (Якутия)	АО ГК «Западная»
1.3	Кедровское	Au	Республика Бурятия	ООО АС «Западная»
1.4	Каральвеемское	Au	Республика Саха (Якутия)	АО «Рудник Каральвеем»
1.5	Кекура	Au	Чукотский АО	ЗАО «Базовые Металлы»
2. Месторождения, подготавливаемые к разработке (защищены ТЭО кондиций)				
2.1	Холтосонское	WO_3	Республика Бурятия	АО «Твердосплав»
2.2	Северный Каменник	Pd	Мурманская область	Федорово Холдинг
3. Законсервированные по экономическим причинам				
3.1	Бом-Горхонское	WO_3	Забайкальский край	ООО «Старательская артель «Кварц»
3.2	Букукинское	WO_3	Забайкальский край	Остановлено с 1960 г.
3.3	Антоновогорское	WO_3	Забайкальский край	Остановлено с 1960 г.
3.4	Кировское	WO_3	Республика Бурятия	
4. Нераспределённый фонд				
4.1	Берикуль	Au	Кемеровская область	
4.2	Белухинское	Au	Забайкальский край	
4.3	Юрское	Au	Республика Саха (Якутия)	
4.4	Калгутинское	WO_3-Mo-Cu	Республика Алтай	

© Рогизный В. Ф., Елисеев С. В., 2025
© Rogizny V. F., Eliseev S. V., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 29–39 / Ores and metals № 1/2025, p. 29–39
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10002

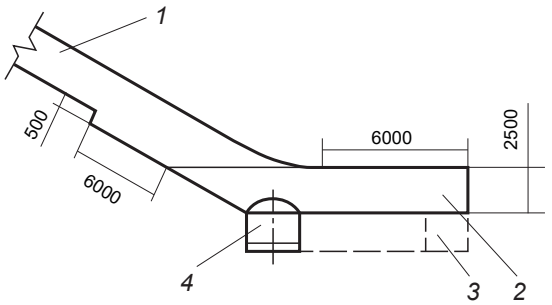


Рис. 1. Расположение монтажной камеры на откаточном горизонте:
1 – восстающий; *2* – монтажная камера; *3* – ходок к камере; *4* – откаточный штрек

Fig. 1. Position of the assembly chamber on the haulage horizon:
1 – raise; *2* – assembly chamber; *3* – passage to the chamber; *4* – haulage drift

наклонных жил с применением более производительного оборудования является актуальной задачей, решение которой улучшит экономические показатели добычи руды и будет способствовать снижению количества объектов, законсервированных и в нераспределённом фонде.

В предлагаемой системе разработки выделяются следующие этапы горных работ.

Подготовка блока/ленты наклонным восстающим (I)

Проходка откаточного (нижнего) и вентиляционного (верхнего) штреков выполняется традиционными способами, но проходка наклонных восстающих (α ≈ 20–40°) намечена с использованием монорельсовых комплексов КПУ, эффективность которых уже доказана многолетней практикой проходки вертикальных выработок. Для сборки монорельсового комплекса и его укрытия во время взрывных работ у откаточного штрека сооружают монтажные камеры. При незначительных запасах руды в блоке/панели (малая мощность жил и площадь рудных зон) монтажные камеры размещают в кровле откаточного штрека (рис. 1).

Выдача горнорудной массы из проходческого забоя выполняется на почву откаточной выработки, где оформляется пункт приёма массы, поступающей скольжением по настилу к сопряжению камеры со штреком. В проходческом забое восстающего (рис. 2) помимо традиционной оборки кровли и наращивания очередной секции монорельса (длина 1,5 м) выполняются следующие операции:

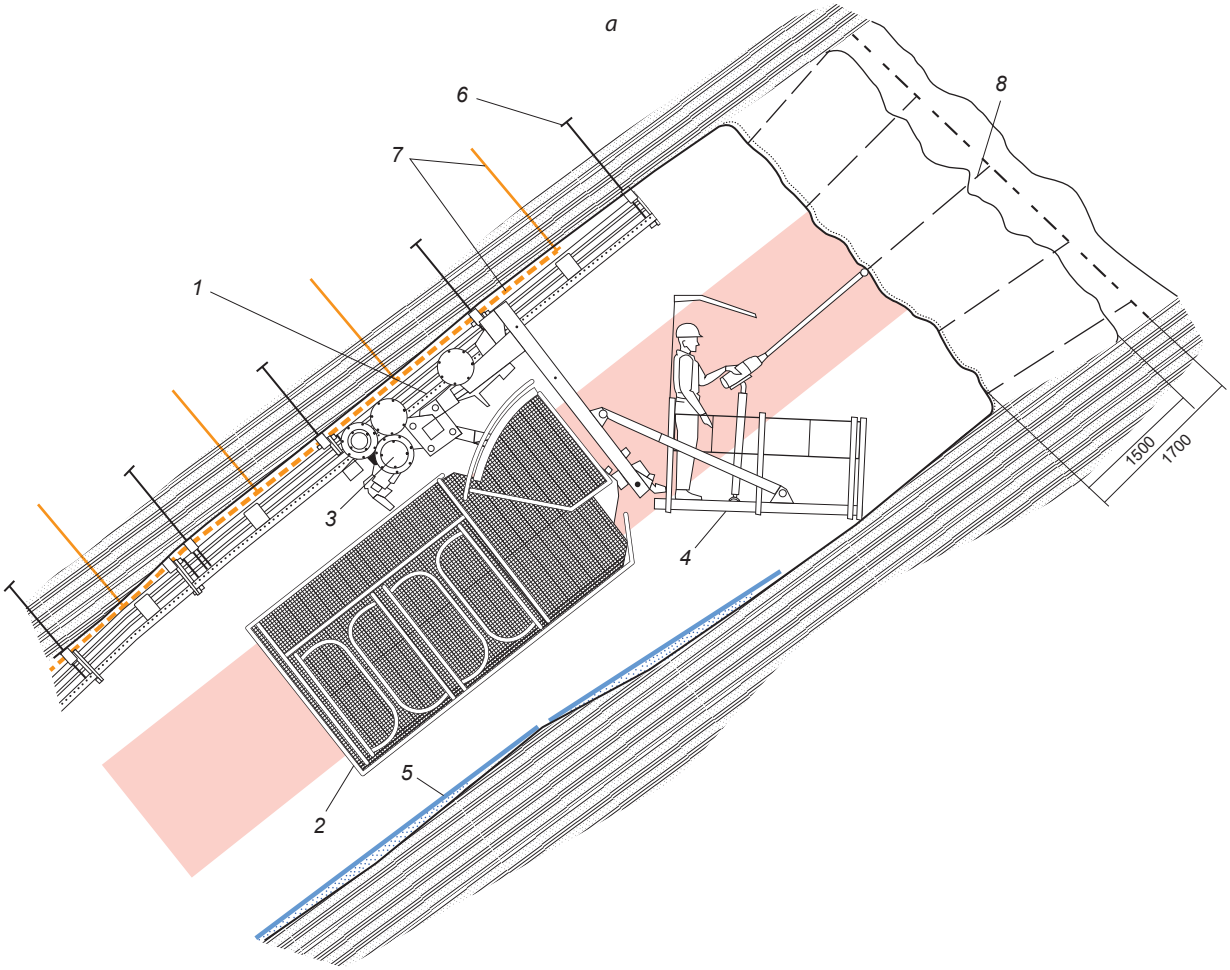
- производится крепление восстающего сталеполимерной анкерной крепью с металлической сеткой для последующего безопасного бурения шпуров в очистных забоях и их заряжания;
- на почве восстающего выполняется планировка и наращивание «скользкого» листа настила (длина 3 м) для перемещения взорванной горнорудной массы вниз к откаточному штреку;
- бурение шпуров в забое восстающего ведётся с рабочей платформы КПУ перфораторами ПП-63 с пневмоподдержкой П-2 (а не телескопными ПТ-36), заряжание шпуров ВВ выполняется вручную;
- взрывание шпуровых зарядов производится дистанционно; после взрыва горнорудная масса падает на настил и под собственным весом скатывается к откаточному штреку за счёт низкого трения по металлу или сверхвысокомолекулярному полиэтилену (СВМПЭ);
- проветривание проходческого забоя выполняется водовоздушной смесью, которая подаётся по трубопроводам монорельса (в сочетании с работой вентилятора местного проветривания на всасывание).

В предлагаемой технологии проходки, как отмечалось выше, намечается реализовать доставку горнорудной массы вниз к откаточному штреку при монорельсовой проходке восстающего, а также при добыче руды, под собственным весом по листовому настилу. При этом в опытно-промышленных работах (ОПР) для формирования настила с низким коэффициентом трения рекомендуется испытать стандартные материалы в следующих размерах:

- лист высокомолекулярного полиэтилена ВМПЭ ПЭ 500 10 × 1500 × 3000 мм, вес 43,2 кг (цена с НДС 21 362 руб./шт.);
- лист сверхвысокомолекулярного полиэтилена СВМПЭ РЕ-1000 10 × 2000 × 4000 мм, вес 74,4 кг (цена с НДС 52 815 руб./шт. (в 1,4 раз дороже));

© Рогизный В. Ф., Елисеев С. В., 2025
© Rogizny V. F., Eliseev S. V., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 29–39 / Ores and metals № 1/2025, p. 29–39
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10002



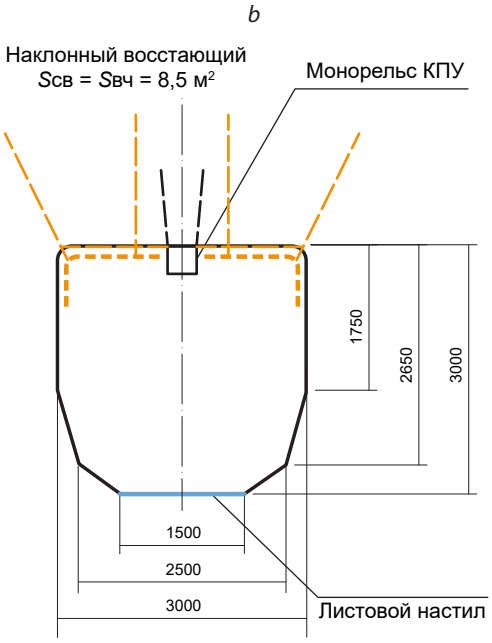


Рис. 2. Монорельсовый комплекс КПУ в забое наклонного восстающего (α ≈ 20–40°):

общий вид (*a*): *1* – цевочный монорельс; *2* – кабина; *3* – ходовая часть; *4* – платформа верхняя; *5* – листовой настил на спланированной почве; *6* – анкера крепления монорельса (через 1,5 м); *7* – сетка и её крепление анкерами; *8* – шпуры, подготовленные к заряжанию и взрыванию; (*b*) сечение восстающего с монорельсом и креплением кровли СПАК с сеткой, на почве – листовой настил

Fig. 2. The KPU monorail complex in the face of an inclined raise (α ≈ 20–40°):

general view (*a*): *1* – pinwheel monorail; *2* – cabin; *3* – chassis; *4* – upper platform; *5* – sheet decking on leveled soil; *6* – monorail fastening anchors (every 1,5 m); *7* – mesh and its fastening with anchors; *8* – blastholes prepared for loading and blasting; (*b*) section of the raise with a monorail and roof fastening of the SPAK with a mesh (the sheet decking is on the floor)

© Рогизный В. Ф., Елисеев С. В., 2025
© Rogizny V. F., Eliseev S. V., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 29–39 / Ores and metals № 1/2025, p. 29–39
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10002

• лист горячекатанный 10 × 1500 × 3000 мм, вес ~ 400 кг, Ст. 3 ГОСТ 19903-2015 (цена с НДС 80 000 руб./т × 0,4 т = 32 000 руб./шт.)*.

Проходка наклонного восстающего комплексом КПУ на высоту блока/ленты завершается его сбойкой с вентиляционным штреком. После этого комплекс по монорельсу перемещается вниз на откаточный горизонт и будет использоваться для проходки параллельного наклонного восстающего следующей ленты. Возрастающие объёмы горно-подготовительных работ на 1000 т руды компенсируются ростом производительности труда.

Очистная выемка с взрыводоставкой руды на настил (II)

После сбойки блокового восстающего с вентиляционным горизонтом появляется возможность вести очистную выемку запасов пласта/жилы секциями по восстанию со шпуровой отбойкой руды при минимальном прихвате породы в двухсторонних присечках пласта. Монорельс в кровле восстающего, а также настил на его почве, не демонтируются. Эти элементы используются другим монорельсовым комплексом КО-4Г (завод «Амурский металлист», г. Благовещенск), который собирается в монтажной камере вентиляционного штрека (должна быть построена к моменту сбойки).

Рассматриваются два варианта очистной выемки при использовании КО-4Г, которые отличаются способом управления горным давлением:

• последовательная отработка лент по восстанию *с оставлением междуленточных и околоштрековых целиков*;

• двухстадийная сплошная система разработки с комбинированной (породной и твердеющей) закладкой лент 1-й стадии [6], при этом ленты 2-й стадии отрабатываются полностью, обеспечивая минимальные потери руды (*только в околоштрековых целиках*).

На рис. 3 представлен второй вариант сплошной системы разработки с закладкой, где после проходки блокового восстающего последовательно отрабатываются секции ленты: выкрепляется лестничное отделение и отшив, бурятся взрывные шпуры, при их взрывании и взрыводоставке руды по «скользким» настилам ведётся отбойка запасов ленты в двухсторонних присечках.

Перемещаясь по монорельсу вниз, КО-4Г обеспечивает транспорт людей и материалов с вентиляционного горизонта в очистные забои, создавая благоприятные условия для выполнения следующих технологических процессов выемки руды в каждой секции:

• порядное бурение отбойных шпуров в пределах очередной секции в обе стенки восстающего с уклоном по падению жилы;

• выкрепление в секции стойками ходового отделения с лестницей, а также наклонного отшива, который направит поток отбитой руды на настил восстающего (помимо деревянных стоек используются и стойки гидравлические Elbroc Omni 80);

• заряжание шпуров, их взрывание, контроль проветривания секции после взрыва, а также качество взрыводоставки руды к откаточному штреку;

• зачистка рудной мелочи с почвы отработанных секций (при необходимости).

На завершающем этапе отработки ленты с использованием КО-4Г выполняется демонтаж монорельса, а также подготовка ленты к частичной закладке выработанного пространства путём образования искусственных целиков из породы и твердеющей смеси на границах с запасами лент 2-й стадии отработки.

Закладка выработанного пространства (III)

Настил из восстающего последовательно переукладывается в верхние части двух закладочных перемычек: вначале для приёма породы под собственным весом, затем за герметичную перемычку бетононасосом по бетонопроводу подаётся твердеющая смесь под кровлю.

Реализуемость и экономическая целесообразность перечисленных технологических

* Отмечается низкий коэффициент трения ВМПЭ – из таких листов делают площадки для катания на стальных коньках, а вставки из СВМПЭ используются в бронежилетах. Лист Ст. 3 ГОСТ 19903-2015 отличается существенно большим весом и включён в сравнение настилов при необходимости утяжелить его элементы.

© Рогизный В. Ф., Елисеев С. В., 2025
© Rogizny V. F., Eliseev S. V., 2025

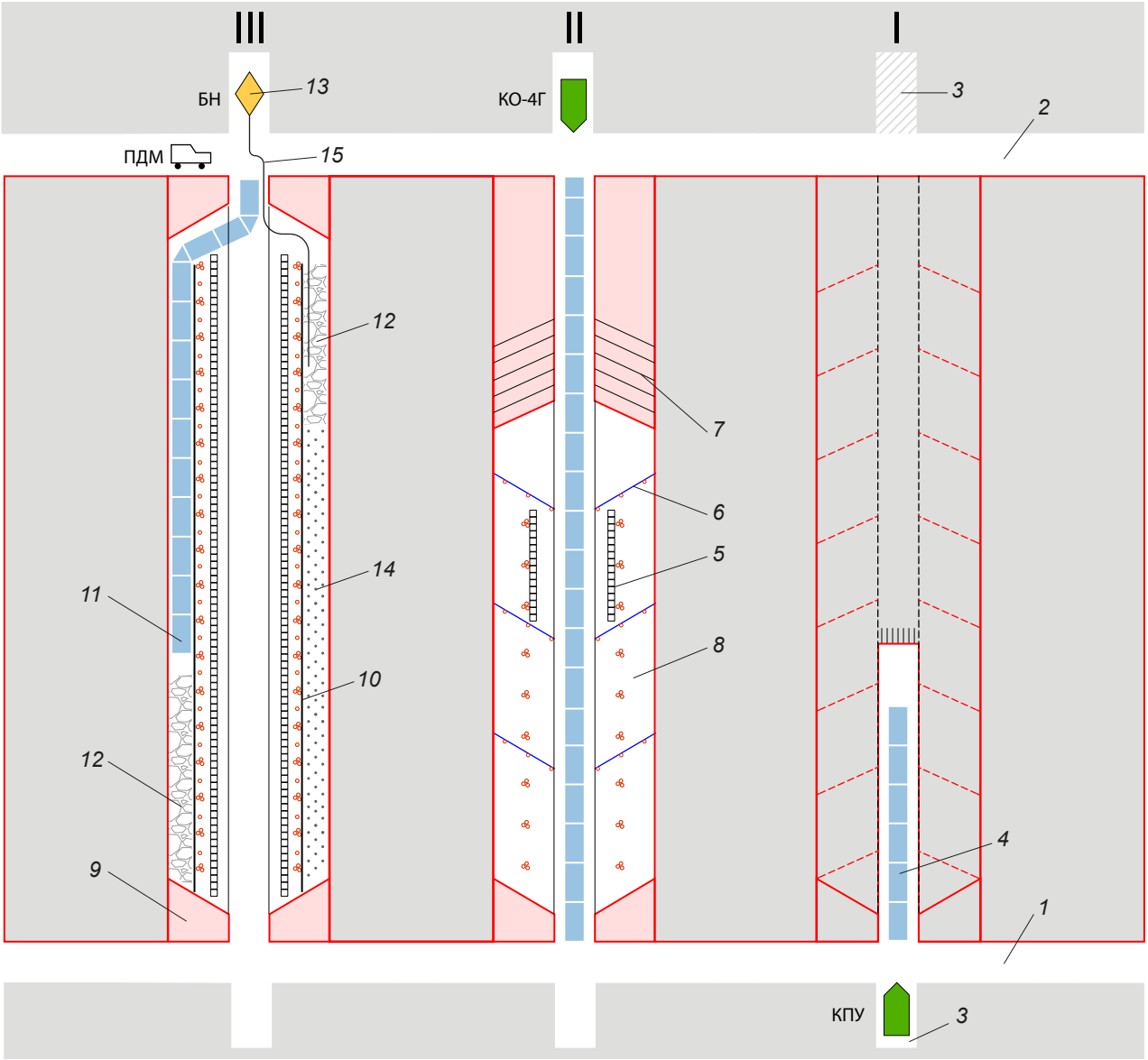


Рис. 3. Подготовка и отработка ленты 1-й стадии при сплошной системе разработки по восстанию с комбинированной закладкой:

1 – откаточный штрек; *2* – вентиляционный штрек; *3* – монтажные камеры (нижняя и верхняя); *4* – полимерный настил на почве восстающего; *5* – ходовое отделение с лестницей; *6* – наклонный отшив с дополнительным настилом; *7* – комплект шпуров в одновременно взрываемой двухсторонней секции; *8* – секция; *9* – надштрековый целик; *10* – закладочные перемычки; *11* – настил на почве для подачи породной закладки; *12* – породная часть закладки на почве; *13* – бетононасос для подачи твердеющей закладки; *14* – твердеющая закладка под кровлю; *15* – бетонопровод

Fig. 3. Preparation for the 1st stage strip extraction using a continuous system of mining along rising with combined backfill:

1 – haulage drift; *2* – ventilation drift; *3* – assembly chambers (lower and upper); *4* – polymer flooring on the raise floor; *5* – travel compartment with a ladder; *6* – inclined facing with additional decking; *7* – a set of blastholes in a simultaneously blasted two-sided section; *8* – section; *9* – above-deck pillar; *10* – backfill bulkheads; *11* – decking on the floor for feeding the rock backfill; *12* – rock part of the backfill on the floor; *13* – concrete pump for feeding hardening backfill; *14* – hardening backfill under the roof; *15* – concrete pipeline

© Рогизный В. Ф., Елисеев С. В., 2025
© Rogizny V. F., Eliseev S. V., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 29–39 / Ores and metals № 1/2025, p. 29–39
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10002

процессов выемки руды должны быть установлены в процессе опытно-промышленных работ (ОПР). Помимо монорельсового комплекса рекомендуется использовать следующее оборудование, которое обеспечивает добычу руды:

- для бурения шпуров при выемке руды в секциях в процессе ОПР предлагается использовать серийный станок БП-65М (АО «Машиностроительный холдинг», г. Екатеринбург) или НБП-65 Pride, который должен быть доработан под условия бурения с наклонённой почвы шпуров диаметром 42/46 мм и глубиной 4,5 м наращиваемым ставом штанг;
- для механизированного заряжания шпуров гранулированным ВВ – установка «Ульба-100» (повышение надёжности взрывания шпуровых зарядов может быть достигнуто при использовании двух патронов-боевиков в донной части заряда);
- вакуумная установка Durovac для зачистки рудной мелочи с почвы отработанных секций/площадей на завершающем этапе отработки ленты (при необходимости).

Материалы для выкрепления лестничных отделений/отшивов в секциях складируются у камеры-стоянки и доставляются вниз в очистные забои с КО-4Г. Гранулированные ВВ и ВМ также доставляются взрывниками монорельсовым комплексом.

Длина отрабатываемой секции по падению выбирается из расчёта взрыводоставки отбитой руды по наклонённой почве секции к отшиву и дальше на настил восстающего.

Схема расположения шпуров при двухсторонней отбойке руды в присечках представлена на рис. 4. Заряжание шпуров гранулированным ВВ выполняется с применением установки «Ульба-100», а порядное взрывание шпуров ведётся с замедлением, чтобы поддерживать свободным пространство для руды, отбиваемой следующим рядом шпуров. Проветривание забоя происходит за счёт общешахтной депрессии.

Оборудование для бурения шпуров

На рис. 3 представлен вариант сплошной системы разработки наклонного пласта лентами по простиранию, при котором выемка лент ведётся секциями по восстанию. Для производительного бурения шпуров глубиной 4,5 м в присечках при селективной отбойке жилы предлагается использовать буровой станок БП-65М или НБП-65 (рис. 5).

Станок оснащён перфоратором тяжёлого типа для бурения скважин на глубину 20 м. Для реализации намеченной схемы шпуров, потребуется более лёгкий перфоратор на податчике, обеспечивающим бурение наращиваемым ставом коротких (0,9 м) штанг. Особенность станка в том, что он позволяет производить *бурение шпуров по горизонтали на высоте от 0,7 до 1,4 м* от поверхности. С учётом возможности бурения под небольшим углом к горизонту намеченные схемы шпуров (см. рис. 4) могут быть реализованы.

Станок оснащён двумя лебёдками (ручной и пневматической), что упрощает его перемещение по настилу наклонного восстающего снизу вверх (отдельно может быть рассмотрена схема перемещения станка канатом лебёдки, установленной на вентиляционном штреке). Так как бурение намечено в стенки наклонного восстающего, с повышенной опасностью падения кусков породы, рабочая площадка станка должна быть оформлена защитным ограждением.

В рабочем положении станок распирается между кровлей и почвой восстающего гидроцилиндром и выполняет бурение двухсторонних рядов взрывных шпуров в контуре пласта. Ряды шпуров наклоняются вниз ~ 20–30° с целью обеспечить сброс основного объёма отбитой в секции руды с почвы пласта на настил наклонного восстающего.

Перемещаясь вверх по восстающему, станок выполняет бурение шпуров в объёме одновременно взрываемой двухсторонней секции. На металлическом настиле забойщик не устоит, поэтому перемещение людей по наклонному восстающему допускается лишь в пределах защищённой площадки бурового станка или в кабине КО-4Г.

С одной установки станка намечается двухстороннее бурение двух рядов шпуров (при отработке тонких участков ($m_р$ = 0,6–1,0 м) два шпура в ряду, при отработке маломощ-

© Рогизный В. Ф., Елисеев С. В., 2025
© Rogizny V. F., Eliseev S. V., 2025

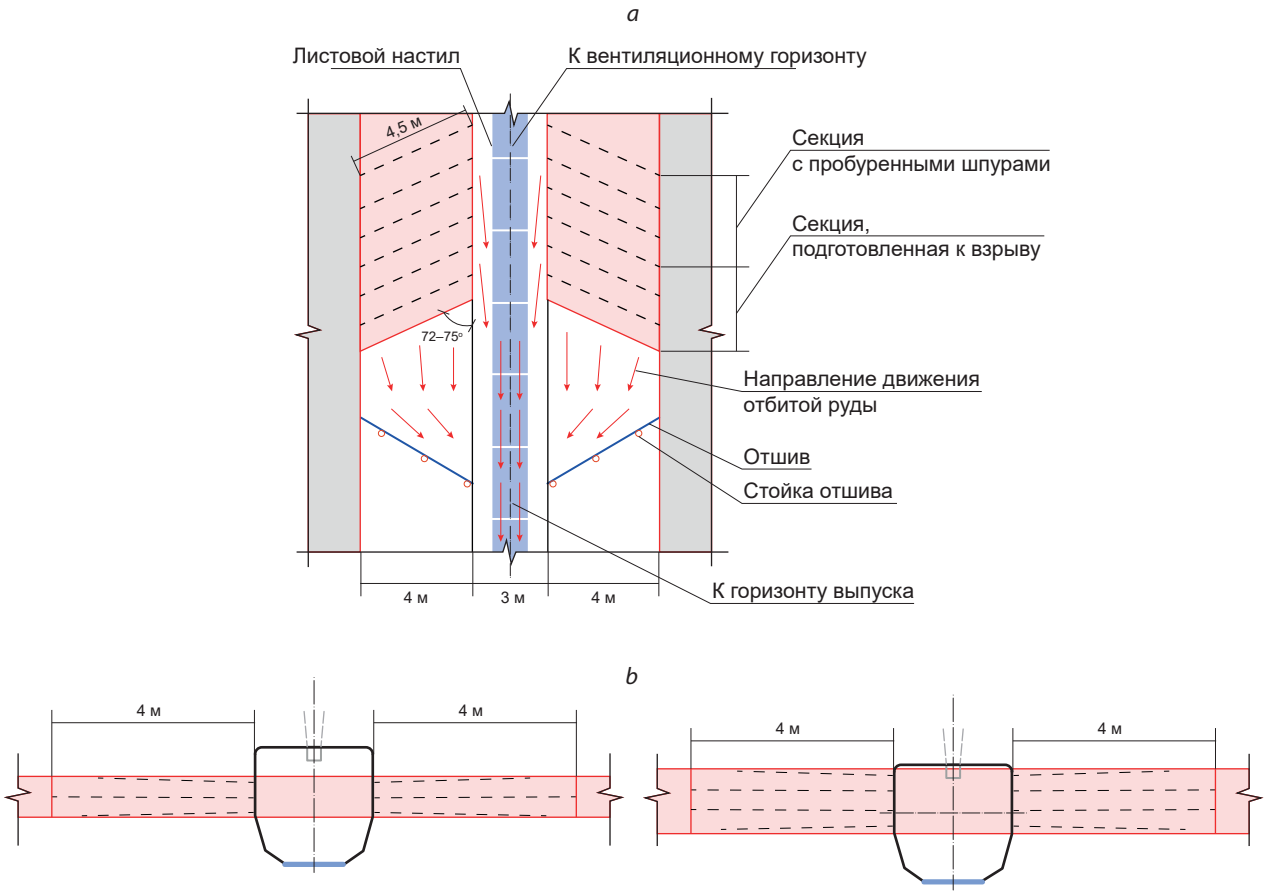


Рис. 4. Примерная схема расположения шпуров при двухсторонней отбойке руды в присечках: *a* – план секции; *b* – разрезы по ряду шпуров и восстающему при мощности рудного тела 1,0 (слева) и 1,6 м (справа)

Fig. 4. Approximate layout of blastholes distribution for two-sided ore mining in undercuts: *a* – section plan; *b* – sections along a row of blastholes and a raise with an ore body thickness of 1,0 m (on the left) and 1,6 m (on the right)

Рис. 5. Общий вид бурового станка: *a* – НБП-65 (ПК «Прайд», г. Челябинск); *b* – БП-65М (АО «Машиностроительный холдинг», г. Екатеринбург)

Fig. 5. General view of the drilling machine: *a* – NBP-65 (PK Pride, Chelyabinsk); *b* – BP-65M (JSC “Mashinostroitelnyi Holding”, Yekaterinburg)

© Рогизный В. Ф., Елисеев С. В., 2025
© Rogizny V. F., Eliseev S. V., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 29–39 / Ores and metals № 1/2025, p. 29–39
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10002

ных участков ($m_р$ = 1,2–1,8 м) – три шпура). Перемещение станка на очередную пару рядов выполняется канатной лебёкой, при этом величина шага равняется расстоянию между рядами взрывных шпуров. (Паспорт БВР должен выбираться применительно к конкретным условиям отбойки руды).

В варианте сплошной системы разработки, который показан на рис. 3, отработка ленты ведётся по-секционно. Для направления взрываемой руды в сторону восстающего в каждой секции выкрепляется стойками отшив с дополнительным настилом. При этих работах для перемещения людей по почве пласта (согласно ФНПБ-2020 п. 113, п. 80) при уклоне от 20–25° до 35–40° должны быть сооружены лестницы и перила.

Так как в варианте рассматривается двухсторонняя отбойка руды в присечках, считаем целесообразным (при успешной реализации взрыводоставки горнорудной массы по настилу) разработать станок гидроперфораторного бурения, который может перемещаться в наклонном восстающем «шаганием». (Такое решение ОАО «ЦНИИподземмаш» было реализовано в распорно-шагающем устройстве УБШ-1500 с двумя перфораторами ПП-63. В процессе подготовки к бурению очередной секции шпуров по рудному пласту УБШ-1500 пневмоцилиндрами распирался между кровлей и почвой).

Как отмечалось выше, в рабочем положении станок должен быть защищён сетками, которые способны предотвратить травмирование трудящихся при случайном падении кусков породы сверху. В камере на вентиляционном штреке устанавливаются шланговые барабаны для снабжения станка электроэнергией, сжатым воздухом и водой.

Заключение

В статье рассмотрены возможности создания эффективной технологии отработки маломощных наклонных жил на основе применения комплекса монорельсового перемещения и взрыводоставки горнорудной массы по «скользкой» почве наклонного восстающего, на которой уложен настил с низким коэффициентом трения.

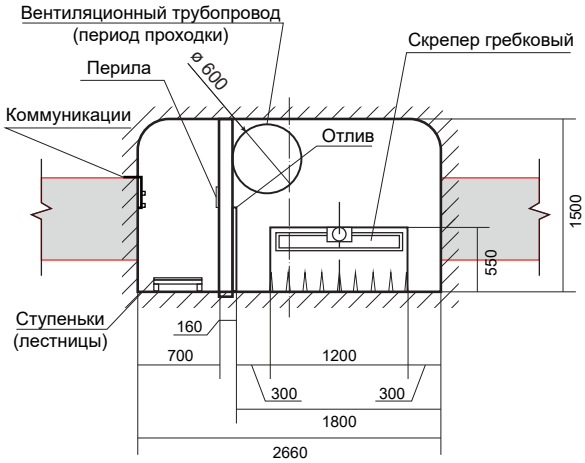


Рис. 6. Вентиляционно-ходовой восстающий

Fig. 6. Ventilation and access raise

Рекомендуется испытать взрыводоставку горнорудной массы по «скользкому» настилу. Наиболее простым способом оценки работоспособности и эффективности взрыводоставки горнорудной массы по наклонным выработкам под собственным весом представляется использование высокомолекулярного листового полиэтилена при проходке блокового восстающего вместо скреперной доставки (рис. 6).

Если в процессе проведения ОПР вопрос эффективной доставки к откаточному штреку породы при проходке, руды при очистной выемке, а также породной части закладки решается положительно, появляется возможность существенным образом механизировать горные работы за счёт ввода в действие монорельсовых комплексов и гидроперфораторного бурения шпуров.

Список литературы

1. *Дубынин Н. Г., Фесенко В. А.* Совершенствование технологии выемки тонких наклонных жил. – Новосибирск : Изд-во «Наука», Сибирское отд., 1974. – 110 с.
2. *Лизункин В. М., Ситников Р. В., Лизункин М. В., Че-Дин-Чо.* Особенности условий и обоснование направлений совершенствования технологии разработки маломощных пологих и наклон-

© Рогизный В. Ф., Елисеев С. В., 2025
© Rogizny V. F., Eliseev S. V., 2025

ных жил Бом-Горхонского вольфрамового месторождения // Горный информ.-аналит. бюллетень. – 2009. – № 53. – С. 154–161.

3. *Методические* указания по определению конструктивных параметров систем разработки на руднике Ирокинда ОАО «Бурятзолото» / Составители Л. И. Сосновский, А. М. Павлов и др. – Иркутск : ИрГТУ, 2010. – 72 с.
4. *Нормы* технологического проектирования горнодобывающих предприятий металлургии с подземным способом разработки ВНТП 37-86. – М. : Минцветмет СССР, 1986.
5. *Нормы* технологического проектирования горнодобывающих предприятий металлургии с подземным способом разработки ВНТП 13-2-93. – СПб. : Гипроруда, 1993.
6. *Петров А. Н., Алексеев Д. Н., Петров Д. Н., Колесников С. Г.* Технологические решения по отработке подмерзлотных горизонтов месторождения Бадран // Горный журнал. – 2016. – № 9. – С. 46–49.
7. *Правила* технической эксплуатации (ПТЭ) рудников, приисков и шахт, разрабатывающих месторождения цветных, редких и драгоценных металлов. – М. : Недра, 1981.
8. *Селедков Ю. В., Луневский П. Д., Тарасов Л. Я.* Системы подземной разработки рудных месторождений. – М. : Металлургиздат, 1958. – 407 с.
9. *Шахтный* транспорт. Справочник / Под ред. Штокмана И. Г. – М. : Недра, 1964. – 430 с.

References

1. Dubynin N. G., Fesenko V. A. Sovershenstvovanie tekhnologii vyemki tonkikh naklonnykh zhil [Improving the technology of extraction of thin inclined veins], Novosibirsk, Nauka SB Publ., 1974, 110 p.
2. Lizunkin V. M., Sitnikov R. V., Lizunkin M. V., Che-Din-Cho. Osobennosti uslovii i obosnovanie napravlenii sovershenstvovaniya tekhnologii razrabotki malomoshchnykh pologikh i naklonnykh zhil Bom-Gorkhonskogo vol'framovogo mestorozhdeniya [Features of conditions and substantiation of directions of improvement of technology of development of thin flat and inclined veins of the Bom-Gorkhon tungsten deposit], *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [*Mining information-analytical bulletin*], 2009, No 53, pp. 154–161. (In Russ.).
3. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu konstruktivnykh parametrov sistem razrabotki na rudnike Irokinda OAO «Buryatzoloto» [Guidelines for determining the design parameters of development systems at the Irokinda mine of OJSC Buryatzoloto], Irkutsk, IrSTU Publ., 2010, 72 p.
4. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya gornodobyvayushchikh predpriyatii metallurgii s podzemnym sposobom razrabotki VNTP 37-86 [Standards for the technological design of mining enterprises of metallurgy with underground development VNTP 37-86], Moscow, USSR Ministry of Non-Ferrous Metallurgy Publ., 1986.
5. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya gornodobyvayushchikh predpriyatii metallurgii s podzemnym sposobom razrabotki VNTP 13-2-93 [Standards for the technological design of mining enterprises of metallurgy with underground development VNTP 13-2-93], St. Petersburg, Giproruda Publ., 1993.
6. Petrov A. N., Alekseev D. N., Petrov D. N., Kolesnikov S. G. Tekhnologicheskie resheniya po otrabotke podmerzlotnykh gorizontov mestorozhdeniya Badran [Technological solutions for the development of subpermafrost horizons of the Badran deposit], *Gornyi zhurnal* [*Mining Journal*], 2016, No 9, pp. 46–49.
7. Pravila tekhnicheskoi ekspluatatsii (PTE) rudnikov, priiskov i shakht, razrabatyvayushchikh mestorozhdeniya tsvetnykh, redkikh i dragotsennykh metallov [Technical operation rules for mines, fields, and shafts developing deposits of non-ferrous, rare, and precious metals], Moscow, Nedra Publ., 1981.
8. Seledkov Yu. V., Lunevskii P. D., Tarasov L. Ya. Sistemy podzemnoi razrabotki rudnykh mestorozhdenii [Underground mining systems for ore deposits], Moscow, Metallurgizdat Publ., 1958, 407 p.
9. Shakhtnyi transport. Spravochnik [Mine transport. Handbook], Moscow, Nedra Publ., 1964, 430 p.

Рогизный Валерий Фёдорович (rogizny@tsnigri.ru)
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник [1]

Елисеев Сергей Владимирович
заместитель начальника горного отдела [2]

[1] ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», г. Москва, Россия

[2] АО «ВНИПИпромтехнологии», г. Москва, Россия

© Рогизный В. Ф., Елисеев С. В., 2025
© Rogizny V. F., Eliseev S. V., 2025

РУДЫ и МЕТАЛЛЫ

Руды и металлы № 1/2025
Ores and metals № 1/2025

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553. 81:549

Основные морфогенетические характеристики минералов-индикаторов кимберлитов

Хмельков А. М., Чугуевская Э. А.

АК «АЛРОСА» (ПАО), Вилюйская геологоразведочная экспедиция, г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Приведены сведения по морфологии и морфогенезу минералов из кимберлитов и ореолов рассеяния. Детально рассмотрены основные морфогенетические особенности главных минералов-индикаторов кимберлитов. Описаны наиболее распространённые типы микрорельефа на минералах, их диагностические признаки и генезис. Физиографические исследования являются основными при изучении кимберлитовых минералов из шлиховых ореолов рассеяния в процессе алмазопоисковых работ. Знание генезиса особенностей макро- и микроморфологии кимберлитовых минералов позволяет судить о физико-химических условиях их образования, что помогает восстановить последовательность этапов морфогенеза всей минеральной ассоциации и проследить историю развития ореолов рассеяния.

Приведённые новые сведения способны оказать помощь специалистам, занятым поисками и прогнозом алмазных месторождений, в том числе при определении генезиса поверхностей на минералах и выяснении условий их формирования. Морфологические особенности минералов-индикаторов кимберлитов могут служить хронологическим репером, позволяющим установить хронологическую последовательность экзогенных изменений минерального вещества.

Ключевые слова: морфология, морфогенез, минералы-индикаторы кимберлитов, первичная поверхность, кимберлиты, гранат, пикроильменит, хромшпинелид, оливин.

Для цитирования: Хмельков А. М., Чугуевская Э. А. Основные морфогенетические характеристики минералов-индикаторов кимберлитов. Руды и металлы. 2025. № 1. С. 40–56. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10003.

The principal morphogenetic characteristics of kimberlite indicator minerals

Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A.

Vilyuisk Geological Exploration Expedition, ALROSA (PJSC), Novosibirsk, Russia

Annotation. The article provides information on the morphology and morphogenesis of minerals from kimberlites and their scattering halos. The principal morphogenetic characteristics of the main kimberlite indicator minerals are discussed in detail. The most common types of microrelief on the minerals, their diagnostic features, and the genesis are described. Physiographic investigations play the basic role in studying the kimberlite minerals from heavy mineral concentrate scattering halos during geological prospecting for diamond. Knowledge of the genesis of the macro- and micromorphology of kimberlite minerals allows one to suggest the physical and chemical conditions of the mineral formation. This helps to reconstruct the succession of stages of the entire mineral assemblage morphogenesis and to trace the history of the scattering halos development.

The new information presented may help specialists engaged in prospecting and forecasting for diamond deposits, among other tasks, to determine the genesis of surfaces on the minerals and to clarify their formation conditions. Morphological features of the kimberlite indicator minerals may serve as a chronological reference point that allows to reveal a chronological succession of supergene transformations in the mineral matter.

Keywords: morphology, morphogenesis, kimberlite indicator minerals, primary surface, kimberlites, garnet, picroilmenite, chromespinelide, olivine.

For citation: Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A. The principal morphogenetic characteristics of kimberlite indicator minerals. Ores and metals. 2025. No. 1. pp. 40–56. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10003.

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

Введение. Важное место при алмазопоисковых работах занимает изучение морфологии минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) и выяснение условий их морфогенеза. Морфология – первое, с чем сталкивается исследователь при изучении минерального вещества [4]. Каждый признак минерального индивида по закону резонанса отражает определённые параметры среды, в результате чего становится возможным с помощью индикаторных признаков восстанавливать все особенности минералообразующей обстановки прошлого [13]. Исследуя физиографию МИК, опытный минералог оценивает не просто литодинамические обстановки, через которые прошли данные минералы, но и особенности этих обстановок, интенсивность влияния тех или иных факторов, его продолжительность, последовательность этапов морфогенеза и т. д. По образному замечанию академика Н. П. Юшкина, минералы являются «письмами» из геологического прошлого, которые можно читать с помощью различных методов и приборов, получая ценную информацию [14].

Ведущую роль при проведении алмазопоисковых работ занимает шлихо-минералогический метод, в основу которого положено нахождение, изучение и прослеживание МИК в ореолах рассеяния. В практике алмазопоисковых работ традиционно используются такие основные минералы-индикаторы кимберлитов, как гранат, пикроильменит, хромшпинелид, оливин и хромдиопсид, которые обладают ярко выраженным типоморфизмом. В данной работе приведены сведения по морфологии и морфогенезу МИК из кимберлитов и ореолов рассеяния преимущественно Якутской алмазоносной провинции (ЯАП), в отдельных случаях показаны наиболее характерные примеры по некоторым другим территориям.

Активизация алмазопоисковых работ во второй половине XX века в пределах Сибирской платформы стимулировала отечественную науку к усиленному изучению морфологии и морфогенеза МИК. Наиболее значимыми в данном направлении являются экспериментальные и прикладные исследования В. П. Афанасьева [4]. Однако как в зарубежной, так и в отечественной литературе незаслуженно мало уделено внимания внешней топографии поверхностей на МИК. Опубликованные данные в большинстве своём касаются макроморфологии зёрен минералов [1, 2, 8, 15]. В то же время значительный объём сведений по микроморфологии кимберлитовых минералов изложен в производственных отчётах Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА» и не известен широкому кругу исследователей. Традиционно обладая высококвалифицированной минералогической школой, Амакинская экспедиция занималась «тонкими» физиографическими исследованиями кимберлитовых минералов на всём протяжении своего существования. В этой связи приведённые новые данные по морфогенетическим особенностям МИК способны оказать существенную помощь специалистам в области алмазной геологии, в том числе при определении генезиса поверхностей на минералах и выяснении условий, при которых происходило их формирование.

Методы исследований. В работе использовались коллекции зёрен МИК, отобранные авторами при просмотре шлихов во время работы в Амакинской и Вилюйской экспедициях АК «АЛРОСА» за период с 2000 по 2025 год включительно. Исследования морфологических особенностей МИК были выполнены с помощью оптической компьютерной системы на базе бинокуляра «Leica» MZ16A (Германия), предназначенной для визуализации и качественной обработки изображений макро- и микроморфологии минералов. Данная система, помимо бинокуляра, включает видеокамеру Leica DFC-490 (8 Мп) и рабочую станцию с программным комплексом, обеспечивающим компьютерный интерфейс. Оптическое оборудование позволяет проводить увеличение объектов до 920 крат с выводом цветного изображения на монитор и цифровой записью получаемого изображения. Качественные фотографии минералов и их поверхностей выполнены с помощью программного обеспечения «Leica Application Suite», которое предоставляет возможность делать снимки с высочайшей глубиной резкости путём пошагового (в микронах) фотографирования отдельных срезов и последующей автоматической «сшивкой» получаемого изображения.

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 40–56 / Ores and metals № 1/2025, p. 40–56
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10003

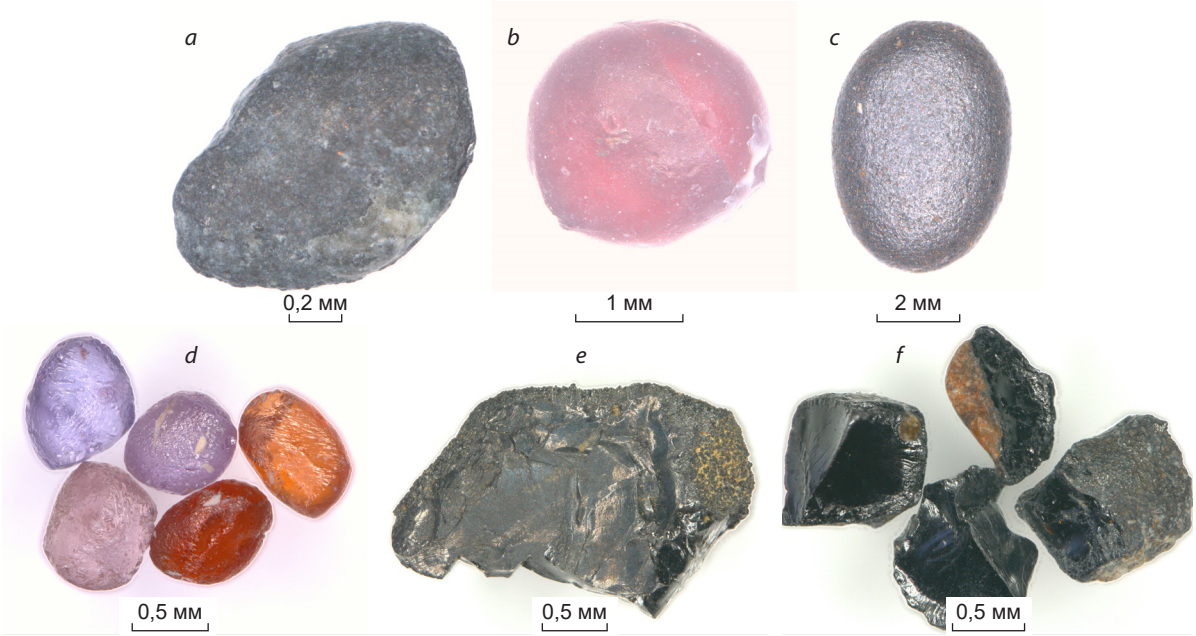


Рис. 1. Внешний вид первично целых (*a, b*), вторично целых (*c, d*), первично колотых (*e*) и вторично колотых (*f*) зёрен пикроильменита (*a, c, e, f*) и граната (*b, d*):
a – тр. Комсомольская-Магнитная (Верхне-Мунское кимберлитовое поле); *b* – тр. Чукукская (Алакит-Мархинское кимберлитовое поле); *c* – р. Хастах (Приморский алмазоносный район); *d* – кубоиды, россыпь Дьюкунах (Моркокинский алмазоносный район); *e* – участок Бобико (Гвинея); *f* – тр. Заполярная (Верхне-Мунское поле)

Fig. 1. Appearance of the primary whole (*a, b*), secondary whole (*c, d*), primary broken (*e*) and secondary broken (*f*) grains of picroilmenite (*a, c, e, f*) and garnet (*b, d*):
a – Komsomolskaya-Magnitnaya pipe (Upper-Muna kimberlite field); *b* – Chukuka pipe (Alakit-Markha kimberlite field); *c* – Khastakh River (Primorsky diamondiferous area); *d* – cuboids, Dyukunakh placer (Morkoka diamondiferous area); *e* – Bobiko site (Guinea); *f* – Zapolyarnaya pipe (Upper-Muna field)

Результаты исследований. Приступая к рассмотрению морфогенеза основных МИК, кратко остановимся на некоторых их морфологических особенностях, которые являются общими для всех минералов кимберлитов. В первую очередь более детально рассмотрим такие понятия, как первично целые и вторично целые, первично колотые и вторично колотые зёрна минералов, первично и вторично трещиноватые зёрна, а также разберём некоторые другие специальные термины, традиционно используемые в описательной минералогии при морфогенетическом анализе МИК. Используемая в работе специальная терминология не только отражает физиографические особенности МИК, но также несёт в себе и генетический контекст, так как позволяет судить о конкретных физико-химических условиях формирования той или иной морфологической особенности конкретного минерала.

Первично и вторично целые зёрна

К первично целым зёрнам, независимо от того, массивное зерно или трещиноватое, следует относить такие зёрна, поверхность которых обладает однотипной первичной поверхностью. В качестве примеров могут служить первично целое массивное зерно пикроильменита с тонкошероховатой первичной поверхностью из тр. Комсомольская-Магнитная Верхне-Мунского кимберлитового поля (рис. 1, *a*) и первично целое трещиноватое зерно пиропа с матированной поверхностью из тр. Чукукская (см. рис. 1, *b*) Алакит-Мархинского кимберлитового поля ЯАП.

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

Соответственно, ко вторично целым зёрнам следует относить зёрна, поверхность которых ограничена исключительно поверхностями вторичного происхождения. Это или интенсивно изношенные зёрна с механогенной (истёртой) поверхностью, примером которых может служить предельно изношенное зерно пикроильменита из аллювия р. Хастах севера ЯАП (см. рис. 1, *c*), или зёрна, сплошь ограниченные поверхностями химического растворения, как, например, кубоиды из древней россыпи Дьюкунах (см. рис. 1, *d*). По вторично целым зёрнам, за редким исключением, невозможно определить, за счёт первично целых или колотых зёрен сформировалась данная морфологическая разновидность МИК, которая по внешнему виду представляет собой вполне цельные зёрна без каких-либо видимых следов сколов.

Первичная и вторичная трещиноватость

В связи с тем, что растрескивание глубинных минералов является довольно распространённым процессом и реализуется в широком диапазоне обстановок при различных физико-химических условиях, среди МИК различаются зёрна с первичной и вторичной трещиноватостью. Первичная трещиноватость на МИК (см. рис. 1, *b*) образуется в эндогенных условиях непосредственно в процессе становления кимберлитовых тел в результате декомпрессии и взаимодействия зёрен минералов с кимберлитовым расплавом. Вторичная трещиноватость на МИК возникает преимущественно в экзогенных условиях и может осуществляться практически во всём спектре обстановок: в условиях диагенеза, гипергенеза, метагенеза и метасоматоза. Следует отметить, что растрескивание зёрен МИК достаточно широко может проявляться и в постмагматическую стадию непосредственно в кимберлитах под воздействием гидротермальных растворов. В этом случае образующаяся трещиноватость практически ничем не будет отличаться от вторичной трещиноватости.

Первично и вторично колотые зёрна

Как следствие, первично колотые зёрна возникают за счёт дезинтеграции первично (эндогенно) трещиноватых зёрен (см. рис. 1, *e*) и поэтому в отличие от целых зёрен характеризуются одновременно и первичной округлостью, и наличием резких перегибов (рёбер). Кроме этого, для первично колотых зёрен характерно наличие двух (редко более) типов первичных поверхностей: с более грубым микрорельефом на основном зерне и более «тонкой» первичной поверхностью на сколах, разделённых ясно выраженным угловатым перегибом, отражающим границу первичного (эндогенного) скола. Чаще всего на первичном сколе наблюдается матированная поверхность, реже – шероховатая, в то время как округлая протомагматическая поверхность выражена более грубо и имеет шероховатый или бугорчатый микрорельеф, соответственно. К примеру, на рис. 1, *e* представлено зерно пикроильменита из ореола участка Бобико (Гвинея), на первичном сколе которого хорошо видна матированная поверхность, тогда как первичная протомагматическая поверхность – грубошероховатая. Это свидетельствует о том, что зерно, находясь в эндогенных условиях, было расколото или надтреснуто, а продолжающееся действие расплава привело к возникновению на сколе матовой поверхности.

Вторично колотые зёрна (см. рис. 1, *f*) диагностируются без особых затруднений. Вторичные сколы имеют, как правило, сильный блеск: на зёрнах граната, оливина и хромдиопсида он стеклянный, на пикроильмените – металлический. Происхождение вторично колотых зёрен связано с процессами физического и химического выветривания. Так, вторично колотые зёрна МИК широко распространены в элювии кимберлита. Непосредственно в кимберлитах вторичная колотость может быть также связана с постмагматическим этапом становления кимберлитовых тел.

По мнению отдельных исследователей [5], основная масса МИК колется непосредственно в кимберлите, а вклад последующего дробления в общий объём экзогенных изменений минералов невелик, с чем трудно согласиться. Как уже отмечалось, процесс растрескивания минералов и образование колотых зёрен может осуществляться в широком диапазоне обстановок. Например, в условиях гипергенеза, в том числе непосредственно в промежуточном коллекторе, а также в условиях метагене-

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 40–56 / Ores and metals № 1/2025, p. 40–56
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10003

за при формировании складчатости и в зоне метасоматоза при воздействии на осадочный коллектор траппов. Не вызывает сомнения и тот факт, что определённая часть зёрен МИК колется в процессе их транспортировки в водной среде, что подтверждается отчётными данными Л. А. Зимина (А. А. Панкратов, Л. А. Зимин, 1973), изучавшего МИК из целого ряда кимберлитовых тел и связанных с ними ореолов Далдыно-Алакитского алмазоносного района ЯАП. Из этих данных следует, что если непосредственно в трубках содержание целых зёрен пиропа и пикроильменита достигает 40–50 %, то в русловом аллювии ближайших водотоков количество колотых зёрен почти всегда приближается к 100 %. Образующиеся при этом сколы по своей сути являются вторичными. Хотя, ради справедливости, следует отметить, что в отдельных случаях и непосредственно в кимберлитовых телах содержание колотых зёрен также может достигать 80–90 %. Кроме этого, опыт собственных наблюдений показывает, что на перекатах резко возрастает количество угловатых осколков зёрен по сравнению со спокойными участками русла реки и уловами. В качестве показательного примера, свидетельствующего в пользу интенсивного раскалывания МИК в процессе их транспортировки в водной среде, свидетельствует зерно граната из аллювия р. Тюнгкян (Муно-Тюнгский алмазоносный район, ЯАП), показанное на рис. 2. Из данного рисунка хорошо видно, что зерно сильно обколото, и, если бы не сохранившийся небольшой фрагмент истёртой поверхности, его можно было отнести к совершенно неизношенному зерну. Однако сохранившийся небольшой участочек с истёртой механогенной поверхностью наглядно демонстрирует, что колотость данного граната является результатом механического воздействия на существенно изношенное зерно в процессе его транспортировки в аллювии.

Поверхности на кимберлитовых минералах по генезису образования

По генезису все поверхности на кимберлитовых минералах подразделяются на первичные и вторичные по отношению к процессам

Рис. 2. Интенсивно колотое зерно граната с сохранившимся участком изношенной поверхности (р. Тюнгкян, Муно-Тюнгский алмазоносный район)

Fig. 2. Intensely broken garnet grain with a preserved portion of the worn surface (Tyungkyan River, Muna-Tyung diamondiferous area)

ореолообразования. К первичным традиционно относятся эндогенные (магматогенные) поверхности на минералах, сформировавшиеся в результате реакции зёрен с кимберлитовым расплавом, а также поверхности, образованные в гидротермальную стадию становления кимберлитовых тел.

Облик минералов, сформированный после становления кимберлитовых тел, по своей сути является вторичным применительно к шлиховым механическим ореолам рассеяния. Таким образом, вторичная поверхность – это микрорельеф, сформировавшийся на МИК под воздействием экзогенных факторов: в условиях гипергенеза, диагенеза, метагенеза или метасоматоза. Как результат, облик МИК, сформировавшийся в экзогенных условиях, независимо от местонахождения данных минералов, будь то непосредственно кимберлитовое тело или осадочный коллектор, несвойственен облику минералов из коренного источника как итогу глубинного этапа морфогенеза.

Некоторые поверхности на МИК обладают конвергентным характером и, таким образом, могут иметь как первичный, так и вторичный генезис, в зависимости от обстановок, в которых происходило их формирование. Ниже кратко приведена характеристика наиболее распространённых типов поверхностей,

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

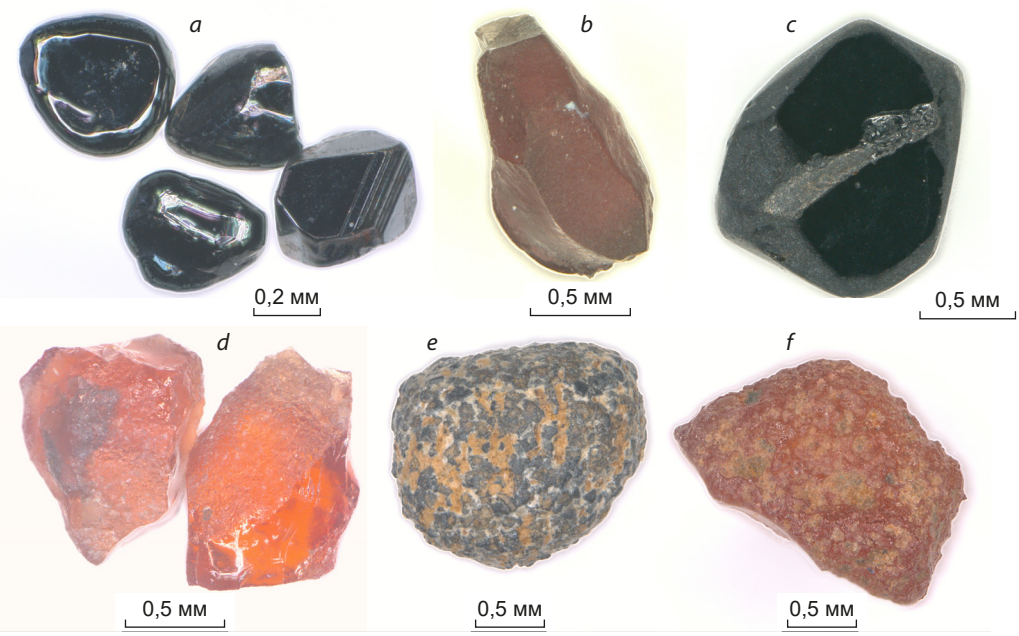


Рис. 3. Внешний вид наиболее распространённых первичных поверхностей на примере зёрен хромшпинелида (*a, c*), граната (*b, d, f*) и пикроильменита (*e*):
a – зеркальная (тр. Деймос, Верхне-Мунское поле); *b* – матированная (тр. Комсомольская-Магнитная, Верхне-Мунское поле); *c* – зеркальных граней, матированных рёбер (тр. Заполярная, Верхне-Мунское поле); *d* – шероховатая (тр. Гриба, Архангельская алмазоносная провинция); *e* – бугорчатая (тр. 76/90, Толуопское кимберлитовое поле); *f* – ямчатая (тр. Хоркич, Тайгикун-Нембинское кимберлитовое поле, Эвенкия)

Fig. 3. Appearance of the most common primary surfaces, exemplified by the chromespinelide (*a, c*), garnet (*b, d, f*) and picroilmenite (*e*) grains:
a – mirror (Deimos pipe, Upper-Muna field); *b* – matted (Komsomolskaya-Magnitnaya pipe, Upper-Muna field); *c* – mirror faces with matted ribs (Zapolyarnaya pipe, Upper-Muna field); *d* – rough (Grib pipe, Arkhangelsk diamondiferous province); *e* – tuberous (Pipe 76/90, Toluop kimberlite field); *f* – pitted (Horkich pipe, Taigikun-Nemba kimberlite field, Evenkia)

названия которых соответствует терминологии, изначально предложенной Л. А. Зиминым (А. А. Панкратов, Л. А. Зимин, 1973).

Зеркальная поверхность – гладкая, блестящая поверхность, встречается достаточно редко и обычно бывает распространена на гранях хромшпинелида (рис. 3, *a*). Имеет первичный генезис.

Матированная поверхность – тусклая поверхность, может покрывать как весь минерал, так и часть поверхности зерна, ограниченную сколами (см. рис. 3, *b*; рис. 1, *b*). Часто наблюдается на первичных (эндогенных) сколах (см. рис. 1, *e*). Поверхность первичная (не исключается возможность её формирования в постмагматическую стадию под воздействием гидротермальных растворов).

Зеркальных граней, матированных рёбер – поверхность характерна исключительно для зёрен хромшпинелида, встречается довольно часто и характеризуется наличием матированной поверхности (как правило, тонкоматированной), развитой по рёбрам кристаллов и частично заходящей на грани (см. рис. 3, *c*). Первичный генезис.

Шероховатая поверхность состоит из множества тесно прикасающихся основаниями бугорков неправильной формы. По внешнему виду напоминает поверхность наждачной бумаги (см. рис. 3, *d*; рис. 1, *a*). В зависимости от размера микроформ может подразделяться на грубошероховатую и тонкошероховатую поверхности. В наиболее типичном виде характерна для зёрен пикроильменита, однако встре-

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 40–56 / Ores and metals № 1/2025, p. 40–56
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10003

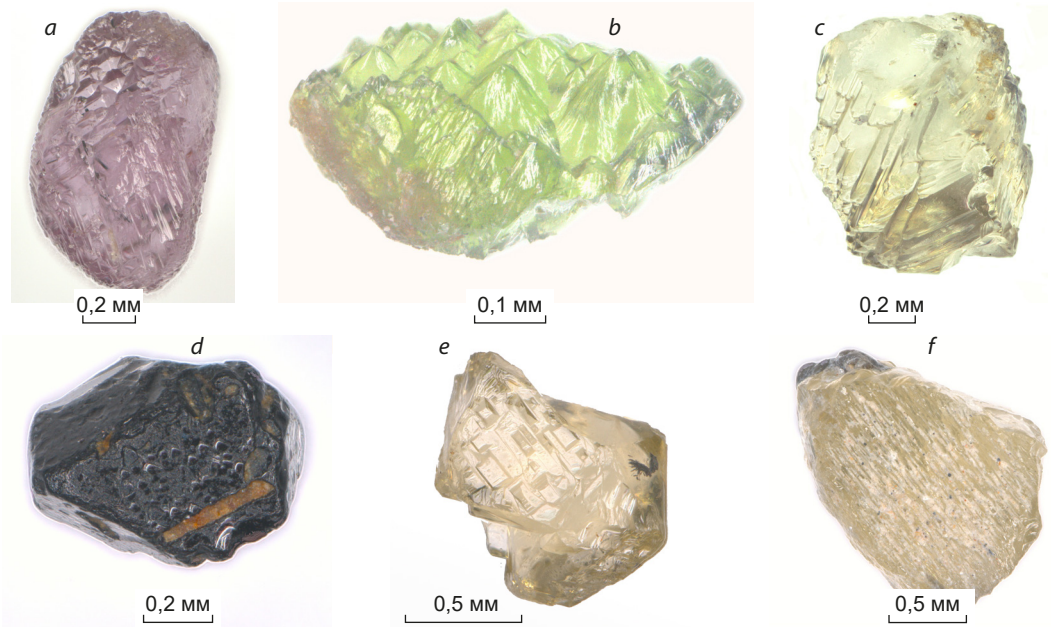


Рис. 4. Внешний вид наиболее распространённых поверхностей конвергентного характера на примере зёрен граната (*a*), хромдиопсида (*b*), оливина (*c, e, f*) и хромшпинелида (*d*):
тетрагональных пирамид: *a* – вторичная (бедошеминский коллектор, Эвенкия), *b* – первичная (тр. Мэри, Молодинское кимберлитовое поле); черепитчатая: *c* – первичная (тр. Дьянга, Бенчимэ-Куойкское кимберлитовое поле), *d* – вторичная (р. Алымджа, Моркокинский алмазоносный район); ступенчатая: *e* – первичная (тр. Заполярная, Верхне-Мунское поле); занозистая: *f* – первичная (тр. Новинка, Верхне-Мунское поле)

Fig. 4. Appearance of the most common convergent-style surfaces, exemplified by the garnet (*a*), chromdiopside (*b*), olivine (*c, e, f*), and chromespinelide (*d*) grains:
tetragonal pyramidal: *a* – secondary (Bedosheminian collector, Evenkia) and *b* – primary (Mary pipe, Molodinskoe kimberlite field); tiled: *c* – primary (Dyanga pipe, Benchime-Kuoik kimberlite field) and *d* – secondary (Alymdzha River, Morkoka diamondiferous area); stepped: *e* – primary (Zapolyarnaya pipe, Upper-Muna field); splintery: *f* – primary (Novinka pipe, Upper-Muna field)

чается и на других МИК. Первичная (магматогенная).

Бугорчатая поверхность (см. рис. 3, *e*) характеризуется наличием на зёрнах изолированных бугорков, иногда в виде «шипов» с острыми или притупленными вершинами (шиповидная поверхность типа «ёжики»), иногда в виде хорошо выраженных полигональных пирамидок (микропирамидальная поверхность). Бугорчатая поверхность наиболее характерна для пиропа и пикроильменита, на хромите встречается крайне редко. Типичная бугорчатая поверхность отличается от шероховатой более крупными размерами микроформ. Первичная.

Ямчатая поверхность характеризуется наличием изолированно расположенных ямок, которые могут иметь различные форму и размеры. Присуща как пиропу, так и пикроильмениту. Может иметь как первичный (см. рис. 3, *f*), так и вторичный генезис.

Поверхность тетрагональных пирамид представляет собой сочетание хорошо выраженных пирамидок, соприкасающихся основаниями. Наибольшим распространением пользуется на зёрнах оливина, характерна также для граната (рис. 4, *a*) и хромдиопсида (см. рис. 4, *b*). Имеет конвергентный характер: на оливине и хромдиопсиде, как правило, первичная (гидротермальная), на гранате – чаще вторичная (эпигенетическая).

Черепитчатая поверхность характеризуется наличием ориентированных в одном направлении вершинами плоских геометриче-

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

ски правильных треугольников, часто плотно соприкасающихся друг с другом. Присуща обычно пиропу и оливину (см. рис. 4, *c*), реже отмечается на хромдиопсиде. Данная поверхность также имеет конвергентный характер и может быть как первичной, образующейся непосредственно в кимберлите в постмагматическую стадию (обычно на оливине), так и вторичной (преимущественно на гранате), формирующейся под воздействием интрузий траппов или в условиях метагенеза (эпигенеза) [11]. Непосредственно в кимберлитовых телах на пиропах встречается достаточно редко, в то же время имеет широкое распространение на зёрнах граната из осадочных коллекторов, подвергнутых складчатости или воздействию трапповых интрузий. Данная поверхность, помимо силикатов, может образовываться в том числе и на оксидах, в частности на пикроильмените [10] и хромшпинелиде (см. рис. 4, *d*).

Ступенчатая поверхность напоминает ступеньки лестницы или разрушенную, сдвинутую с места поленницу дров (см. рис. 4, *e*). По аналогии с черепитчатой поверхностью имеет конвергентный характер и может реализоваться в широком диапазоне обстановок. Является типичной для оливина, на котором, как правило, имеет первичный генезис. Реже отмечается на зёрнах граната, на которых преимущественно вторичная.

Занозистая поверхность представляет собой сочетание узких, имеющих острые окончания, тесно прилегающих друг к другу и параллельно ориентированных плоских граней и впадин (см. рис. 4, *f*). Иногда называется игольчатой. Встречается редко, образуется по зёрнам оливина и граната. Обычно имеет гидротермальный генезис и может образовываться непосредственно в кимберлите, особенно по оливину. Не исключена возможность образования данной поверхности по зёрнам граната в результате растворения в условиях метасоматоза и метагенеза [9].

Все отмеченные выше поверхности конвергентного характера (тетрагональных пирамид, черепитчатая, ступенчатая, занозистая) хотя и образуются в разных обстановках, но в схожих физико-химических условиях под воздействием практически одинаковых агентов растворения – термальных минерализованных растворов. В этой связи все данные поверхности объединены в один морфогенетический тип под общим названием – пирамидально-черепитчатый тип растворения [9, 10]. При этом важно отметить, что, несмотря на формирование всего многообразия поверхностей данного типа растворения в различных экзогенных обстановках, в том числе в условиях метасоматоза и метагенеза [11], пирамидально-черепитчатый тип растворения никогда не образуется в условиях гипергенеза. Поэтому в морфогенетическом плане поверхности пирамидально-черепитчатого типа растворения не имеют ничего общего с процессами корообразования. Различия в элементах микрорельефа, формирующегося при пирамидально-черепитчатом типе растворения, обусловлены кристаллографической ориентировкой растворяемого участка, а интенсивность растворения и выраженность микроформ рельефа зависят от агрессивности среды, температуры и, в меньшей степени, от давления и времени воздействия агентов растворения на минерал [10]. Как результат, пирамидально-черепитчатый тип растворения бывает достаточно разнообразным, как по топографии поверхностей, так и по интенсивности растворения (рис. 5). Нередко на одном зерне минерала могут присутствовать сразу несколько видов поверхностей пирамидально-черепитчатого типа растворения. Например, поверхность тетрагональных пирамид в комбинации с черепитчатой (см. рис. 5, *a–d*) или черепитчатая поверхность в комбинации с занозистой и т. д.

Судя по форме зерна граната на рис. 5, *b*, пирамидально-черепитчатый рельеф растворения развился по предельно изношенному в прибрежно-морских условиях минералу. В то же время угловатая форма граната на рис. 5, *d, e* говорит о том, что пирамидально-черепитчатому типу растворения подверглись зёрна с континентальным износом. Весьма необычно выглядит зерно граната-кубоида с пирамидально-черепитчатым типом растворения на рис. 5, *c*. Для кубоидов обычно характер-

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 40–56 / Ores and metals № 1/2025, p. 40–56
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10003

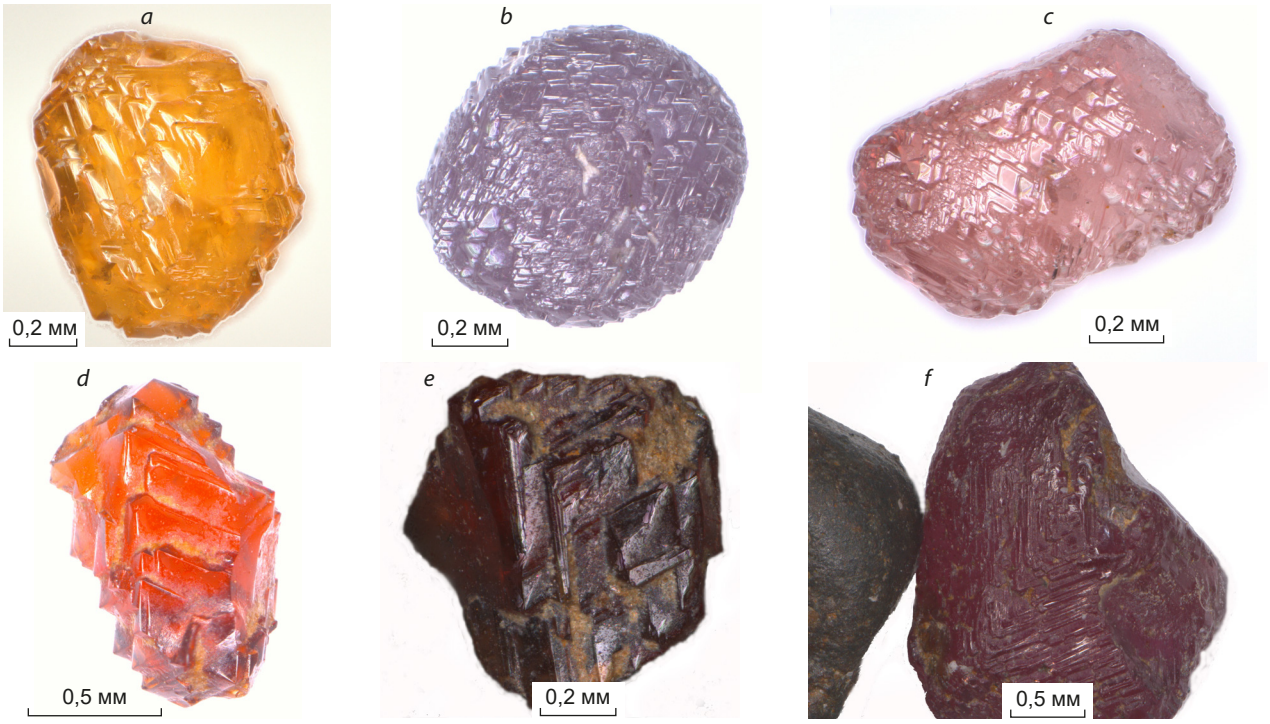


Рис. 5. Вариации пирамидально-черепитчатого типа растворения на гранате из различных обстановок:
a–c – условия метасоматоза (бедошеминский коллектор, Эвенкия); *d* – условия метасоматоза (бассейн р. Нижняя Томба); *e, f* – условия метагенеза (карнийский коллектор, Лено-Оленёкское междуречье)

Fig. 5. Varieties of the pyramidal-tiled type of the dissolution on garnets from different settings:
a–c – metasomatism conditions (Bedosheminian collector, Evenkia); *d* – metasomatism conditions (Nizhnyaya Tomba River basin); *e, f* – metagenesis conditions (Carnian collector, Lena-Olenek interfluve)

на каплевидная поверхность. Кубоидный и пирамидально-черепитчатый типы растворения реализуются при совершенно разных физико-химических условиях, под воздействием различных агентов растворения. Кубоидный тип коррозии формируется в коре выветривания, где агентами растворения являются органические кислоты [7]. При пирамидально-черепитчатом типе коррозии агентами растворения выступают минерализованные растворы, и реализуется он в более широком диапазоне обстановок. Такая необычная комбинация в виде крайней формы растворения граната в гипергенных условиях в сочетании с пирамидально-черепитчатым типом растворения свидетельствует о том, что вначале зерно было интенсивно растворено в коре выветривания и только после этого оно было подвергнуто коррозии в условиях эпигенеза. Причём эти два этапа растворения были разобщены во времени, учитывая геолого-поисковую обстановку конкретных территорий.

Все отмеченные выше поверхности пирамидально-черепитчатого типа растворения благодаря своим специфическим микроформам и рельефности, как правило, хорошо выражены, в связи с чем легко диагностируются.

Каплевидная поверхность состоит из множества похожих на капли бугорков (рис. 6, *a*). Иногда каплевидные бугорки бывают одиночными или образуют скопления, могут быть достаточно крупными или в виде «тонкого», едва различимого в бинокуляр микрорельефа. Нередко бугорки бывают наклонены и ориентированы в одном направлении, в результате чего могут напоминать черепитчатую скульптуру. Каплевидная поверхность характерна для граната, особенно часто встре-

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

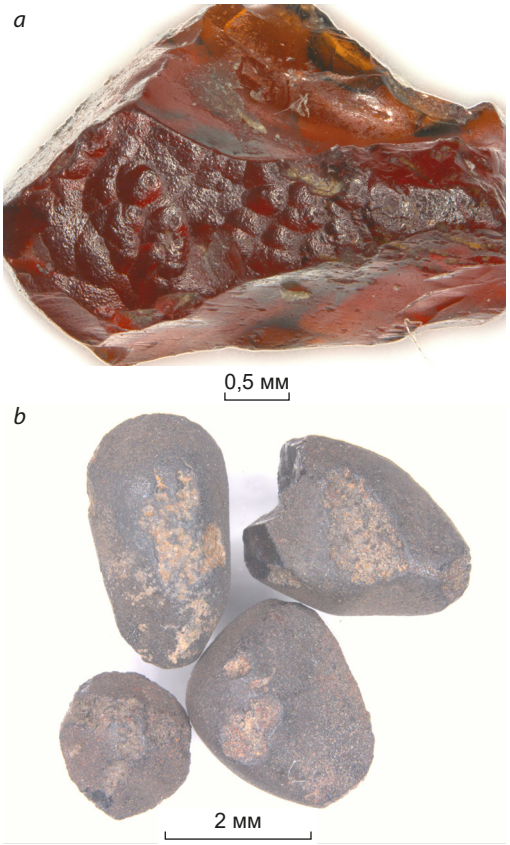


Рис. 6. Внешний вид наиболее распространённых вторичных поверхностей на примере зёрен граната (*a*) и пикроильменита (*b*):

a – двойная каплевидная поверхность (бассейн р. Тюнг, Муно-Тюнгский алмазоносный район); *b* – корродированная поверхность (тр. Мир, Мирнинское кимберлитовое поле)

Fig. 6. Appearance of the most common secondary surfaces, exemplified by the garnet (*a*) and picroilmenite (*b*) grains:

a – binary drop-shaped surface (Tyung River basin, Muna-Tyung diamondiferous area); *b* – corroded surface (Mir pipe, Mirny kimberlite field)

чается на зёрнах-кубоидах, представляющих собой крайнюю форму растворения минерала [4, 7].

Из рис. 6, *a* хорошо видно, что грубая каплевидная поверхность на зерне граната из аллювия одного из водотоков в бассейне р. Тюнг осложнена более мелкими каплями-бугорками. По своей сути сформировавшийся на гранате микрорельеф представляет собой двойную каплевидную поверхность, что отмечается впервые. Это свидетельствует о том, что на одном минерале отразились сразу две эпохи корообразования, разобщённые во времени. При этом на первом этапе гипергенеза условия были достаточно агрессивными, в результате чего зерно граната подверглось более интенсивному растворению с формированием крупного каплевидного рельефа. Второй этап гипергенного растворения был более щадящим, в результате чего сформировался более «тонкий» каплевидный микрорельеф, который наложился на более раннюю каплевидную поверхность. Учитывая то, что по геологическим данным для ЯАП наиболее интенсивный латеритный характер корообразования достоверно связывается со среднепалеозойским временем (D_3–C_1), можно с большой долей уверенности утверждать, что, во-первых, коренным источником граната с каплевидной гипергенной поверхностью в бассейне р. Тюнг являлись кимберлиты не мезозойского, а позднедевонского возраста. Во-вторых, изначально зерно граната подверглось гипергенному растворению именно в среднепалеозойское время. Второй этап гипергенеза, в меньшей степени отразившийся на гранате, мог быть связан с ранним триасом, хотя сама возможность существования в пределах ЯАП латеритной коры выветривания мезозойского возраста некоторыми исследователями до последнего времени ставилась под сомнение в связи с отсутствием известных фактов проявления на кимберлитовых минералах двух периодов гипергенеза [3]. Тем не менее в северной части ЯАП закартированы реликты достаточно зрелой коры выветривания латеритного типа индского времени, представленные охристыми монтмориллонит-каолинитовыми красочными глинами [12]. К отдельным участкам этой коры выветривания даже приурочены месторождения минеральных красок. Особо отметим, что каплевидная поверхность всегда имеет вторичное происхождение и образуется только в гипергенных условиях (кубоидный тип растворения).

Корродированная поверхность представляет собой сочетание неправильных, глубоко проникающих в зерно каверн разъедания (см. рис. 6, *b*). Отдельные каверны, сливаясь меж-

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 40–56 / Ores and metals № 1/2025, p. 40–56
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10003

ду собой, могут образовывать подобие рвов. По внешнему виду такие зёрна напоминают губчатую поверхность. Данная поверхность характерна преимущественно для граната, на зёрнах пикроильменита встречается реже и выражена гораздо слабее. Чаще коррозионный рельеф на зёрнах пикроильменита весьма тонкий, заметить который можно лишь по суммарному отблеску от поверхности растворения, что является отличительной особенностью любого химического растворения от магматогенных поверхностей. Корродированная поверхность на МИК имеет вторичное происхождение и, как правило, связывается с корообразовательными процессами. Однако стоит заметить, что пикроильменит, в отличие от граната, неохотно растворяется в гипергенных условиях. Более охотно пикроильменит подвергается вторичным изменениям в условиях метасоматоза и метагенеза, причём нередко сильнее, чем гранат [11]. Поэтому зачастую принимаемые за гипергенную коррозию вторичные изменения на пикроильмените на самом деле связаны именно с процессами метасоматоза или метагенеза. В этой связи не исключено, что и наблюдаемая на зёрнах пикроильменита из верхней части тр. Мир корродированная поверхность (см. рис. 6, *b*) имеет не гипергенное, а метасоматическое происхождение, образование которой обусловлено воздействием трапповых интрузий. При более значительном увеличении в углублениях зёрен пикроильменита можно хорошо различить светло-коричневатое лейкоксен-анатазовое вещество (см. рис. 6, *b*). В гипергенных условиях если и происходит лейкоксенизация пикроильменита, то по несколько иной схеме и значительного отрицательного рельефа растворения при этом не возникает [9].

Следует добавить, что на МИК одновременно могут присутствовать разные типы эпигенетических поверхностей различного генезиса, образованные в совершенно различных физико-химических условиях. В качестве примера можно привести зёрна граната-кубоида из древней россыпи Дьюкунах, изображенные на рис. 1, *d*, или кубоид граната из бедошеминского промежуточного коллектора на рис. 5, *c*. Все эти зёрна-кубоиды представляют собой крайнюю форму растворения в гипергенных условиях, но позже подверглись ещё и пирамидально-черепитчатому типу растворения, который не имеет ничего общего с процессами гипергенеза. Пирамидально-черепитчатый тип растворения на зёрнах граната как из россыпи Дьюкунах ЯАП, так и из бедошеминского коллектора Эвенкии возник в условиях метасоматоза в результате воздействия трапповых интрузий на осадочный коллектор, куда уже растворённые до кубоидов зёрна граната были переотложены [7]. В любом случае наличие на зёрнах МИК поверхностей различного генезиса однозначно будет свидетельствовать о сложной экзогенной эволюции минерального вещества.

Форма зёрен МИК

Форма зёрен (рис. 7) является важной морфологической особенностью, широко используемой в практике алмазопоисковых работ при сравнении и идентификации поисковых объектов. По форме зёрен все МИК подразделяются на четыре основные группы: округлая (см. рис. 7, *a*), угловато-округлая (см. рис. 7, *b*), угловатая (см. рис. 1, *f*) и остроугольная (см. рис. 7, *c*). Для пикроильменитов помимо данных основных форм учитывается также наличие гексагональных зёрен (гексагональных табличек) (см. рис. 7, *d*) и зёрен лепёшковидной формы (см. рис. 7, *e*). В отличие от более изометричной округлой формы, зёрна пикроильменита лепёшковидной формы имеют уплощение по одной из осей.

Среди зёрен граната дополнительно выделяются кубоиды (см. рис. 1, *d*; рис. 5, *c*), а также зёрна с кристаллографической огранкой, которые встречаются крайне редко как непосредственно в кимберлитовых телах (см. рис. 7, *f*), так и в ореолах рассеяния. При этом кубоидную форму граната не следует путать с кристаллографической огранкой, так как последняя является формой идиоморфного роста минерала, а кубоиды являются крайней формой химического растворения. Среди зёрен оливина дополнительно выделяются идиоморфные кристаллы с характерным дипирамидально-призматическим габитусом [6], которые кристаллизуются непосредственно из кимберлитового расплава (оливин II генера-

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

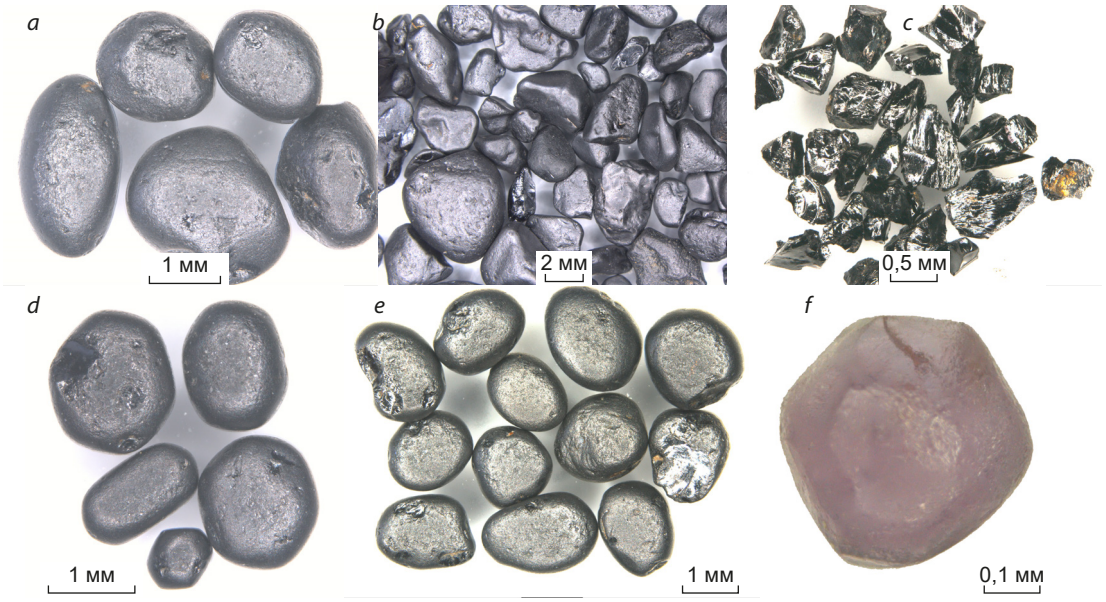


Рис. 7. Форма зёрен кимберлитовых минералов на примере пикроильменита (*a–e*) и граната (*f*):
a – округлая (р. Тюнг, Муно-Тюнгский алмазоносный район); *b* – угловато-округлая (р. Улахан-Талахтах, Приморский алмазоносный район); *c* – остроугольная (бассейн р. Моркока, Моркокинский алмазоносный район); *d* – гексагональная (р. Линдекит, Приленский алмазоносный район); *e* – лепёшковидная (р. Улахан-Далдын, Муно-Тюнгский алмазоносный район); *f* – кристаллографическая (тр. Поисковая, Верхне-Мунское поле)

Fig. 7. Grain shape of kimberlite minerals, exemplified by picroilmenite (*a–e*) and garnet (f):
a – rounded (Tyung River, Muna-Tyung diamondiferous area); *b* – angular-round (Ulakhan-Talakhtakh river basin, Primorsky diamondiferous area); *c* – acute-angled (Morkoka River basin, Morkoka diamondiferous district); *d* – hexagonal (Lindekit River, Prilensky diamondiferous area); *e* – pancake-shaped (Ulakhan-Daldyn river basin, Muna-Tyung diamondiferous area); *f* – crystallographic (Poiskovaya pipe, Upper-Muna field)

ции). Среди кристаллов хромшпинелида помимо округлой, угловатой и остроугольной форм традиционно выделяются октаэдры (рис. 8, *a*), октаэдры с вициналями (см. рис. 8, *b*), сростки октаэдров (см. рис. 8, *c*) и мириоэдрические кристаллы (см. рис. 8, *d*).

Под изменёнными зёрнами МИК, выделяемыми в качестве самостоятельной морфологической особенности, характеризующей внешний вид минералов, понимается наличие характерной белёсой поверхности («выцветов»), обусловленной развитием густой микроскопической трещиноватости. Изменённые зёрна наиболее характерны для граната, встречаются также среди зёрен оливина и хромдиопсида. Изменённые разности обычно отмечаются среди зёрен пиропа из коры выветривания, а также характерны для граната из зоны метасоматоза [7], видоизменение которых связано с воздействием трапповых интрузий (рис. 9, *a*). Изменение МИК может осуществляться и непосредственно в кимберлитовых трубках под воздействием гидротермальных растворов (см. рис. 9, *b*).

Внутреннее строение зёрен

Внутреннее строение зёрен является важной типоморфной особенностью МИК. При этом агрегативность зёрен характерна исключительно для пикроильменита и по своему генезису она может быть как первичной, так и вторичной. В целом по внутреннему строению зёрна пикроильменита можно разделить на три основные группы: монокристаллические зёрна с плоскораковистым изломом (рис. 10, *a*); поликристаллические, или агрегатные, с зернистым изломом (см. рис. 10, *b*); зёрна пикроильменита слоистого строения (см. рис. 10, *c*).

Слоистые зёрна пикроильменита встречаются крайне редко. Слоистость в пикроильмените из кимберлитов обусловлена широким

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 40–56 / Ores and metals № 1/2025, p. 40–56
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10003

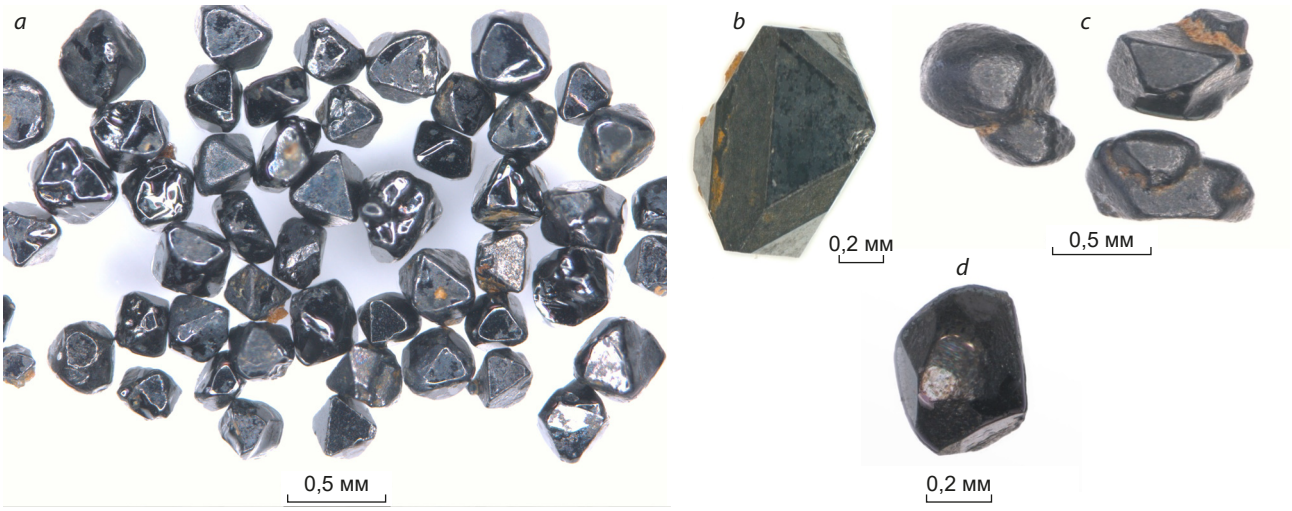


Рис. 8. Форма зёрен хромшпинелида:
a – октаэдры (р. Бур, Нижнеоленекский алмазоносный район); *b* – октаэдр с вициналями (тр. Поисковая, Верхне-Мунское поле); *c* – сростки октаэдров (р. Чимидикян, Муно-Тюнгский алмазоносный район); *d* – мириоэдрический кристалл (тр. Деймос, Верхне-Мунское поле)

Fig. 8. Grain shape of chromespinelide:
a – octahedrons (Bur River, Lower-Olenek diamondiferous area); *b* – octahedron with vicinals (Poiskovaya pipe, Upper-Muna field); *c* – octahedron intergrowths (Chimidikyan River, Muna-Tyung diamondiferous area); *d* – myriohedral crystal (Deimos pipe, Upper-Muna field)

развитием структур распада твёрдого раствора, в процессе которого происходит развитие ламелеобразных удлинённых микровыделений иного состава (титаномагнетит, хромшпинель, ульвошпинель и др.), ориентированных по пинакоиду [9].

Основное количество пикроильменита как в кимберлитовых телах, так и в ореолах рассеяния составляют всё же зёрна монокристаллического строения с плоскораковистым изломом. Пикроильменит агрегатного строения имеет резко подчинённое значение. Агрегатные зёрна пикроильменита встречаются совместно с монокристаллами во многих кимберлитовых телах ЯАП. В отдельных трубках зёрна агрегатного строения могут даже преобладать над пикроильменитом с плоскораковистым изломом. Примером такого тела является тр. 74/90 Толуопского кимберлитового поля. Иногда в ореолах встречаются зёрна пикроильменита комбинированного внутреннего строения, когда внутренняя часть зерна имеет монокристаллическую структуру, а внешняя зона представлена агрегатным строением (см. рис. 10, *d*).

Происхождение агрегатных зёрен пикроильменита связывается с процессами рекристаллизации деформированных желваков, которая осуществляется непосредственно в кимберлите в магматическую стадию [4]. Однако следует отметить, что агрегативность пикроильменита может являться не только результатом глубинного морфогенеза минерала, но иметь вторичное происхождение и формироваться в экзогенных условиях [9, 10]. В частности, вторичная агрегативность пикроильменита может быть связана с условиями метасоматоза и образовываться непосредственно в промежуточном коллекторе, при воздействии трапповых интрузий на осадки [10]. Кроме этого, вторичная агрегативность зёрен пикроильменита может формироваться в условиях метагенеза (эпигенеза) при формировании складчатости, также непосредственно в

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

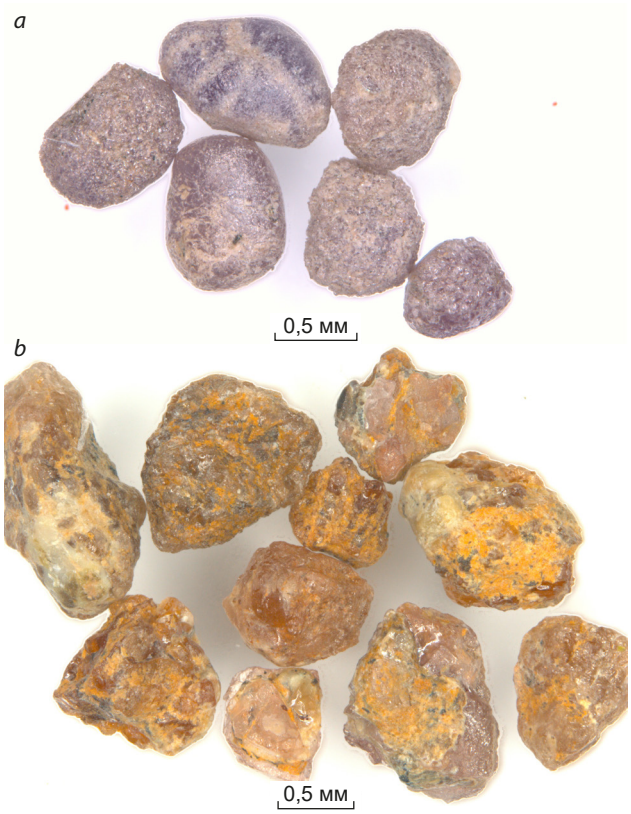


Рис. 9. Внешний вид изменённых зёрен граната:
a – в условиях метасоматоза (россыпь Дьюкунах, Моркокинский алмазоносный район); *b* – в постмагматическую стадию (тр. Заполярная, Верхне-Мунское поле)

Fig. 9. Appearance of altered garnet grains:
a – under conditions of metasomatosis (Dyukunah placer, Morkoka diamondiferous area); *b* – at the post-magmatic stage (Zapolyarnaya pipe, Upper-Muna field)

осадочном коллекторе. Каких-либо различий в составах пикроильменита с первичной и вторичной природой агрегатного строения не отмечено: по составу отдельные блоки как первых, так и вторых практически идентичны между собой. Для агрегатных зёрен пикроильменита из кимберлитовых тел лишь отмечается в отдельных случаях присутствие карбонат-серпентинового вещества между блоками [9]. В то же время между первичной и вторичной агрегативностью существуют некоторые морфологические отличия в строении кристаллов. Так, первичная агрегативность выглядит контрастнее, с ярко выраженными блоками, с чёткими межзерновыми границами и зачастую с тонкой первичной матированной поверхностью, покрывающей поверхности блоков (см. рис. 10, *b*). На зёрнах пикроильменита со вторичной агрегативностью межзерновые границы проявлены нечётко, отдельные блоки просматриваются лишь в краевых частях минерала, в центральной же части зёрен они почти не проявляются. При этом для микроблоков характерен блеск при полном отсутствии каких-либо первичных магматогенных поверхностей (см. рис. 10, *e*). Именно для пикроильменита со вторичной агрегативностью наиболее характерны зёрна комбинированного внутреннего строения [10], когда агрегатное строение присуще лишь для внешней зоны зёрен (см. рис. 10, *d*), причём эта внешняя зона имеет различную мощность в зависимости от интенсивности эпигенетических изменений минерала. Таким образом, простое наличие в шлиховых ореолах неизношенных зёрен пикроильменита агрегатного строения не может являться обязательным признаком наличия расположенных в непосредственной близости коренных источников. В этом случае необходимо более детальное изучение морфологии и состава всей минеральной ассоциации.

Заключение. Приведённые выше основные морфогенетические характеристики кимберлитовых минералов охватывают лишь часть огромного разнообразия их морфологических особенностей.

Физиографические исследования являются основными при изучении МИК из шлиховых ореолов рассеяния в процессе алмазопоисковых работ [3] и при прогнозной оценке территорий на коренную алмазоносность. Знание генезиса особенностей макро- и микроморфологии кимберлитовых минералов позволяет судить о физико-химических условиях их эволюции, что помогает восстановить последовательность этапов морфогенеза всей минеральной ассоциации, определить закономерности эпигенетических изменений МИК в процессе формирования механических ореолов рассеяния и, в конечном итоге, проследить все стадии развития данных ореолов. От-

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 40–56 / Ores and metals № 1/2025, p. 40–56
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10003

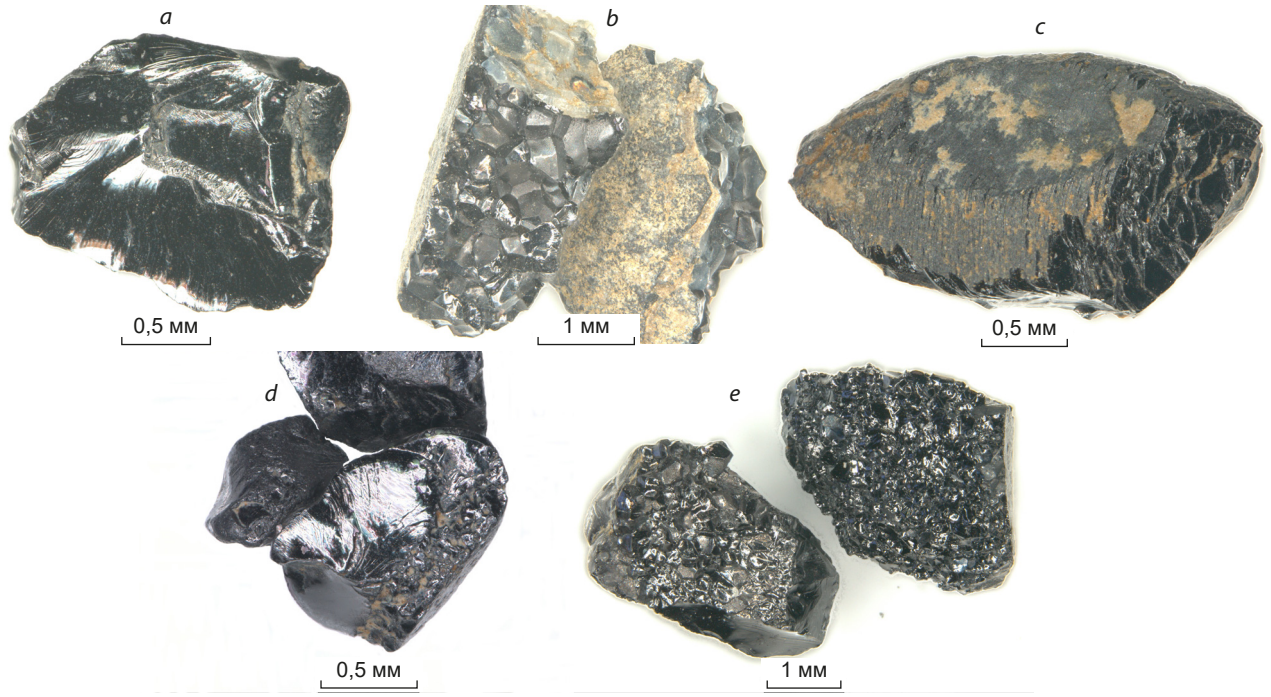


Рис. 10. Зёрна пикроильменита с различным типом внутреннего строения:
a – монокристального строения с раковистым изломом (бассейн р. Тюнг, Муно-Тюнгский алмазоносный район); *b* – агрегатного строения с зернистым изломом (элювий кимберлита, тр. 74/90, Толуопское поле); *c* – слоистого строения (тр. 74/90); *d* – комбинированного строения с монокристаллической внутренней частью и агрегатной внешней зоной (р. Улахан-Талахтах, Приморский алмазоносный район); *e* – с вторичной агрегативностью из зоны метасоматоза (междуречье Марха-Моркока, Далдыно-Алакитский алмазоносный район)

Fig. 10. Picroilmenite grains with various types of the internal structure:
a – monocrystalline structure with a conchoidal fracture (Tyung River basin, Muno-Tyung diamondiferous area); *b* – aggregative structure with a granular fracture (kimberlite eluvium, Pipe 74/90, Toluop field); *c* – laminated structure (Pipe 74/90); *d* – combined structure with a monocrystalline inner portion and an aggregative outer zone (Ulakhan-Talakhtakh river basin, Primorsky diamondiferous area); *e* – with secondary aggregativity, from the metasomatosis zone (Markha-Morkoka interfluve, Daldyn-Alakit diamondiferous area)

дельные морфологические особенности МИК могут служить хронологическим репером, позволяющим установить хронологическую последовательность экзогенных изменений минерального вещества [3].

Приведённые сведения способны оказать помощь специалистам, занятым поисками и прогнозом алмазных месторождений, при решении задач идентификации и локализации шлиховых ореолов.

Список литературы

1. *Афанасьев В. П., Белик Ю. П., Ярош А. А.* О новой морфологической разновидности пикроильменита из алмазоносных россыпей // Минералогический сборник Львов. ун-та. – 1976. – № 30, вып. 1. – С. 73–74.
2. *Афанасьев В. П., Герасимов А. Ю., Бабенко В. В.* Самоогранение пикроильменита в процессе истирания как следствие анизотропии его механических свойств / Минералогическая кристаллография и ее применение в практике геологоразведочных работ. – Киев : Наук. думка. – 1986. – С. 159–163.
3. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н.* Минералогические поиски месторождений алмазов: развитие,

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

состояние, перспективы / Геология алмазов – настоящее и будущее. – Воронеж, ВГУ, 2005. – С. 1291–1318.

4. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П.* Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. – Новосибирск : Филиал «Гео»; Изд-во СО РАН, 2001. – 276 с.
5. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П.* Поисковая минералогия алмаза / под науч. ред. Н. В. Соболева, С. И. Митюхина. – Новосибирск : Гео, 2010. – 650 с.
6. *Власова Э. А., Хмельков А. М.* Вариации состава оливина из ксенолитов в кимберлитах Якутии // Записки Российского минералогического общества. – 2020. – Т. 149, № 2. – С. 55–61.
7. *Власова Э. А., Хмельков А. М.* Морфогенетические особенности гранатов из россыпи Дьюкунах, Якутская алмазоносная провинция // Руды и металлы. – 2021. – № 1. – С. 106–112.
8. *Харькив А. Д., Белик Ю. П., Илупин И. П.* О находке «кубоидов» пиропа на Сибирской платформе // Геология и геофизика. – 1970. – № 7. – С. 117–121.
9. *Хмельков А. М.* Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазоносной провинции). – Новосибирск : АРТА, 2008. – 252 с.
10. *Хмельков А. М.* Пирамидально-черепитчатый тип растворения и возможность его образования на пикроильменитах // Вестник Воронежского гос. у-та. Сер. Геология. – 2011. – № 2. – С. 256–263.
11. *Хмельков А. М.* Эпигенетические изменения кимберлитовых минералов в осадочном коллекторе в результате формирования складчатости // Вестник Воронежского гос. у-та. Сер. Геология. – 2015. – № 1. – С. 73–82.
12. *Школа И. В.* Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000, листы R-51-I, II. Объяснительная записка / под науч. ред. Д. А. Вольнова. – М., 1985. – 71 с.
13. *Юшкин Н. П.* Проблемы археологической минералогии Урала / Минералы в материальной культуре древних уральских народов. – Свердловск; Миасс : Ин-т минералогии. – 1988. – С. 3–7.
14. *Юшкин Н. П.* Наука: труд, поиск, жизнь. – Екатеринбург : УрО РАН, 2006. – 464 с.
15. *Gravenor C. P., Leavitt R. K.* Experimental formation and significance of etch patterns on detrital garnets // Canadian Journal of Earth Sciences. – 1981. – Т. 18, №. 4. – С. 765–775.

References

1. Afanas'ev V. P., Belik Yu. P., Yarosh A. A. O novoi morfologicheskoi raznovidnosti pikroil'menita iz almazonosnykh rossypei [About a new morphological variety of picroilmenite from diamondiferous placers], *Mineralogicheskii sbornik L'vovskogo universiteta* [*Mineralogical Collection of Lviv University*], 1976, No 30, V. 1, pp. 73–74. (In Russ.).
2. Afanas'ev V. P., Gerasimov A. Yu., Babenko V. V. Samoogranenie pikroil'menita v protsesse istiraniya kak sledstvie anizotropii ego mekhanicheskikh svoistv [Self-degradation of picroilmenite in the process of abrasion as a consequence of anisotropy of its mechanical properties], Mineralogicheskaya kristallografiya i ee primenenie v praktike geologorazvedochnykh rabot [Mineralogical crystallography and its application in the practice of geological exploration], Kiev, Naukova dumka Publ., 1986. pp. 159–163. (In Russ.).
3. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N. Mineralogicheskie poiski mestorozhdenii almazov: razvitie, sostoyanie, perspektivy [Mineralogical prospecting of diamond deposits: development, state, prospects], Geologiya almazov – nastoyashchee i budushchee [Diamond Geology – Present and Future], Voronezh, Voronezh State University, 2005, pp. 1291–1318. (In Russ.).
4. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Pokhilenko N. P. Morfologiya i morfogenez indikatornykh mineralov kimberlitov [Morphology and morphogenesis of kimberlite indicator minerals], Novosibirsk, SB RAS Publ., 2001, 276 p.
5. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Pokhilenko N. P. Poiskovaya mineralogiya almaza [Diamond Prospecting Mineralogy], Novosibirsk, Geo Publ., 2010, 650 p.
6. Vlasova E. A., Khmelkov A. M. Variatsii sostava olivina iz ksenolitov v kimberlitakh Yakutii [Variations of composition of olivine from xenolites in kimberlites of Yakutia]. *Zapiski Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva* [*Proceedings of the*

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 40–56 / Ores and metals № 1/2025, p. 40–56
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10003

Russian Mineralogical Society], 2020, V. 149, No 2, pp. 55–61. (In Russ.).

7. Vlasova E. A., Khmelkov A. M. Morfogeneticheskie osobennosti granatov iz rossypi D'yukunakh, Yakutskaya almazonosnaya provintsiya [Morphogenetic features of garnets from Dyukunakh placer, Yakutian diamondiferous province]. *Rudy i metally* [*Ores and metals*], 2021, No 1, pp. 106–112. (In Russ.).
8. Khar'kiv A. D., Belik Yu. P., Ilupin I. P. O nakhodke «kuboidov» piropa na Sibirskoi platforme [On the discovery of pyrope "cuboids" on the Siberian Platform]. Geologiya i geofizika [*Geology and Geophysics*], 1970, No 7, pp. 117–121. (In Russ.).
9. Khmelkov A. M. Osnovnye mineraly kimberlitov i ikh evolyutsiya v protsesse oreoloobrazovaniya (na primere Yakutskoi almazonosnoi provintsii) [The main minerals of kimberlites and their evolution in the process of halation (on the example of the Yakutian diamondiferous province)], Novosibirsk, ARTA Publ., 2008, 252 p.
10. Khmelkov A. M. Piramidal'no-cherepitchatyi tip rastvoreniya i vozmozhnost' ego obrazovaniya na pikroil'menitakh [Pyramidal-tiled type of resorption and the possibility of its formation on picroilmenites]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya* [*Proceedings of Voronezh State Universiry. Series: Geology*], 2011, No 2, pp. 256–263. (In Russ.).
11. Khmelkov A. M. Epigeneticheskie izmeneniya kimberlitovykh mineralov v osadochnom kollektore v rezul'tate formirovaniya skladchatosti [Epigene changes of kimberlite minerals in a sedimentation reservoir as a result of folding]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya* [*Proceedings of Voronezh State Universiry. Series: Geology*], 2015, No 1, pp. 73–82. (In Russ.).
12. Shkola I. V. Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1 : 200 000, listy R-51-I, II. Ob"yasnitel'naya zapiska [Geological map of the USSR at a scale of 1 : 200,000, sheets R-51-I, II. Explanatory note], Ed. D. A. Vol'nov, Moscow, 1985, 71 p.
13. Yushkin N. P. Problemy arkheologicheskoi mineralogii Urala [Problems of archaeological mineralogy of the Urals], Mineraly v material'noi kul'ture drevnikh ural'skikh narodov [Minerals in the material culture of ancient Uralic peoples], Sverdlovsk, Miass, Institute of mineralogy Publ., 1988, pp 3–7. (In Russ.).
14. Yushkin N. P. Nauka: trud, poisk, zhizn' [Science: labor, search, life], Ekaterinburg, UB RAS Publ., 2006, 464 p.
15. Gravenor C. P., Leavitt R. K. Experimental formation and significance of etch patterns on detrital garnets, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1981, V. 18, No 4, pp. 765–775.

Хмельков Александр Михайлович (st_56@mail.ru)
кандидат геолого-минералогических наук, ветеран АК «АЛРОСА» (ПАО)

Чугуевская Эльвира Александровна
геолог I категории

АК «АЛРОСА» (ПАО), Вилюйская геологоразведочная экспедиция, г. Новосибирск, Россия

© Хмельков А. М., Чугуевская Э. А., 2025
© Khmelkov A. M., Chuguevskaya E. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025
Ores and metals № 1/2025

РУДЫ и МЕТАЛЛЫ

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553. 411.071:550.93 (574.4)

Условия формирования и изотопно-геохронологические характеристики золоторудного месторождения Южные Ашалы (Восточный Казахстан)

Греку Е. Д.[1], Калинин Ю. А.[1], Гладков А. С.[2], Наумов Е. А.[3], Сердюков А. Н.[4], Боровиков А. А.[1]

[1] Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия;
[2] Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия; [3] Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва, Россия;
[4] ТОО «К-ПЛЕЙСЕР», г. Семей, Республика Казахстан

Аннотация. Геолого-структурными исследованиями обоснованы четыре этапа становления и активизации разрывной сети месторождения Южные Ашалы. Гомогенизация флюидных включений в кварце золото-малосульфидно-кварцевых руд происходила при температурах 338–147 °С. Солёность флюидов варьировала от 10,5 до 0,3 мас. % при преобладающей роли NaCl и KCl. Изотопный состав серы пирита-I отвечает осадочному источнику ($\delta^{34}S$ = -7 ‰), а пирита-II и арсенопирита-I – глубинному. Изотопный U-Pb возраст циркона (LA-ICP-MS) из гранитоидов составляет 309 ± 2,1 и 305,8 ± 2,2 млн лет, а возраст золото-малосульфидно-кварцевых руд – 280 млн лет (Ar/Ar метод). Предложена структурно-вещественная модель формирования месторождения: I – осадконакопления и раннего диагенеза; II – позднего диагенеза и метаморфизма, с которым связаны руды золото-сульфидной формации; III – эффузивного магматизма; IV – интрузивного магматизма; V – гидротермальный-I, с которым связаны руды золото-малосульфидно-кварцевого типа; VI – пострудный гидротермальный-II.

Ключевые слова: Восточный Казахстан, Западно-Калбинский золотоносный пояс, геолого-структурные исследования, флюидные включения, изотопный состав S и C, U-Pb и Ar/Ar датирование, структурно-вещественная модель.

Для цитирования: Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А. Условия формирования и изотопно-геохронологические характеристики золоторудного месторождения Южные Ашалы (Восточный Казахстан). Руды и металлы. 2025. № 1. С. 57–82. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004.

The formation conditions and isotopic-geochronological characteristics of the Southern Ashaly gold deposit (Eastern Kazakhstan)

Greku E. D.[1], Kalinin Yu. A.[1], Gladkov A. S.[2], Naumov E. A.[3], Serdyukov A. N.[4], Borovikov A. A.[1]

[1] Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia;
[2] Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia;
[3] Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia;
[4] K-PLACER LLP, Semey, Republic of Kazakhstan

Annotation. The geological structural studies substantiate four stages of formation and activation of the fault network of the Southern Ashali gold deposit. Homogenization of fluid inclusions in quartz of the gold-low-sulfide-quartz ores took place at 338…147 °C. The salinity of the fluids varied from 10,5 to 0,3 wt.% with the dominant presence of NaCl and KCl. The sulfur isotope composition of pyrite-I ($\delta^{34}S$ = -7 ‰) corresponds to a sedimentary source, and that of pyrite-II and arsenopyrite-I corresponds to a deep-seated source. The U-Pb isotope age determinations (LA-ICP-MS) on zircons from the granitoids 309.1 ± 2.1 and 305.8 ± 2.2 Ma, respectively, and the age of gold-low-sulfide-quartz ores is 280 Ma (Ar/Ar technique). A structural-compositional model of the ore deposit formation is proposed, that comprises six stages: I – sedimentation and early diagenesis; II – late diagenesis and/or metamorphism, associated with the gold-sulfide ores; III – effusive magmatism; IV – intrusive magmatism; V – hydrothermal-I, associated with gold-low-sulfide-quartz type ores; and VI – post-ore hydrothermal-II stage.

Keywords: Eastern Kazakhstan, West Kalba gold-bearing belt, geological structural studies, fluid inclusions, S and C isotopic composition, U-Pb and Ar/Ar dating, structural-compositional model.

For citation: Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A. The formation conditions and isotopic-geochronological characteristics of the Southern Ashaly gold deposit (Eastern Kazakhstan)s. Ores and metals. 2025. No. 1. pp. 57–82. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004.

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

Введение. Настоящая статья является продолжением предыдущей работы [11], в которой были подробно рассмотрены этапность рудообразования и минералого-геохимические особенности золотоносных парагенезисов месторождения Южные Ашалы Западно-Калбинского золотоносного пояса (ЗКЗП) Восточного Казахстана. Было обосновано выделение двух главных этапов рудообразования, каждому из которых соответствует свой тип руд: ранний золото-сульфидный и поздний золото-малосульфидно-кварцевый. На основе детального изучения вещественного состава руд установлена стадийность минералообразования, выявлены особенности распределения и уровни концентрирования золота в пиритах и арсенопиритах месторождения. Сделано заключение о сложности и длительности процессов рудообразования на месторождении Южные Ашалы, являющемся нетипичным представителем так называемых «орогенных» месторождений Западно-Калбинского золотоносного пояса. Значительные по запасам объекты «орогенного» типа широко распространены в ЗКЗП (Бакырчик, Большевик, Суздаль, Жанан и другие), локализуясь, как правило, в углеродисто-терригенных толщах карбона и представляя собой упорные арсенопирит-пиритовые вкрапленные руды с трудно извлекаемым тонким золотом. Но нередко в рудных полях ЗКЗП присутствуют жильные и штокверковые минерализованные зоны в приконтактовых частях гранитоидных интрузий, являвшиеся долгие десятилетия основным объектом золотодобычи (например, месторождения Акжал, Баладжал, Сулу, Президент и др.). Традиционно золоторудные месторождения региона связывались с магматизмом кунушского [8, 13, 14] и аргимбайского [23] комплексов.

Цель настоящей статьи – на основе комплексного анализа вещественных (изотопно-геохимических, изотопно-геохронологических, термобарогеохимических) и геолого-структурных характеристик разработать предварительную модель формирования месторождения Южные Ашалы.

Краткая геологическая характеристика месторождения. Геологическое строение месторождения Южные Ашалы было охарактеризовано в предыдущей статье, равно как и структурно-текстурные и минералого-геохимические особенности руд [11]. Также данные о геологическом строении месторождения Южные Ашалы кратко приводятся в работах предыдущих исследователей [7, 16, 17, 28, 29, 37].

Геологическое строение месторождения достаточно простое: в основании разреза залегают терригенно-осадочные породы буконьской свиты (C_2bk), смятые в узкие линейные складки субширотного простирания, которые, по материалам геолого-съёмочных работ, последовательно перекрываются вулканогенно-осадочными породами даубайской (C_2db) и майтюбинской свит (C_2mt). Вышеописанные вмещающие породы прорываются дайками и малыми телами основного и кислого состава, контролируемыми главным образом зонами Южного, Поперечного и Долинного разломов (рис. 1). На месторождении выделяются руды золото-сульфидного и золото-малосульфидно-кварцевого типов. Первый тип локализуется в терригенно-осадочных породах буконьской свиты в виде минерализованных зон (мощностью до 15 м), второй – приурочен ко кварцевым жилам (мощностью до 2 м), которые прорывают породы буконьской и даубайской свит [11].

Материалы и методы исследования. В основу работы положен фактический материал, полученный и обобщённый авторами в ходе полевых исследований на объектах Даубай-Ашалинского рудного поля в период с 2016 по 2022 г. Хорошая обнажённость территории исследования, а следовательно, её высокая степень дешифрируемости позволила использовать метод структурного дешифрирования для выявления особенностей площадного распределения разрывных нарушений. Метод базируется на теоретической концепции о ландшафтах как динамичных природных системах, в которых отражены изменения, вызванные неотектоническими процессами. В качестве исходных данных использовались материалы аэрокосмической съёмки (МАКС) высокого разрешения с онлайн-сервиса ArcGIS Online. Выделение и интерпретация разрыв-

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

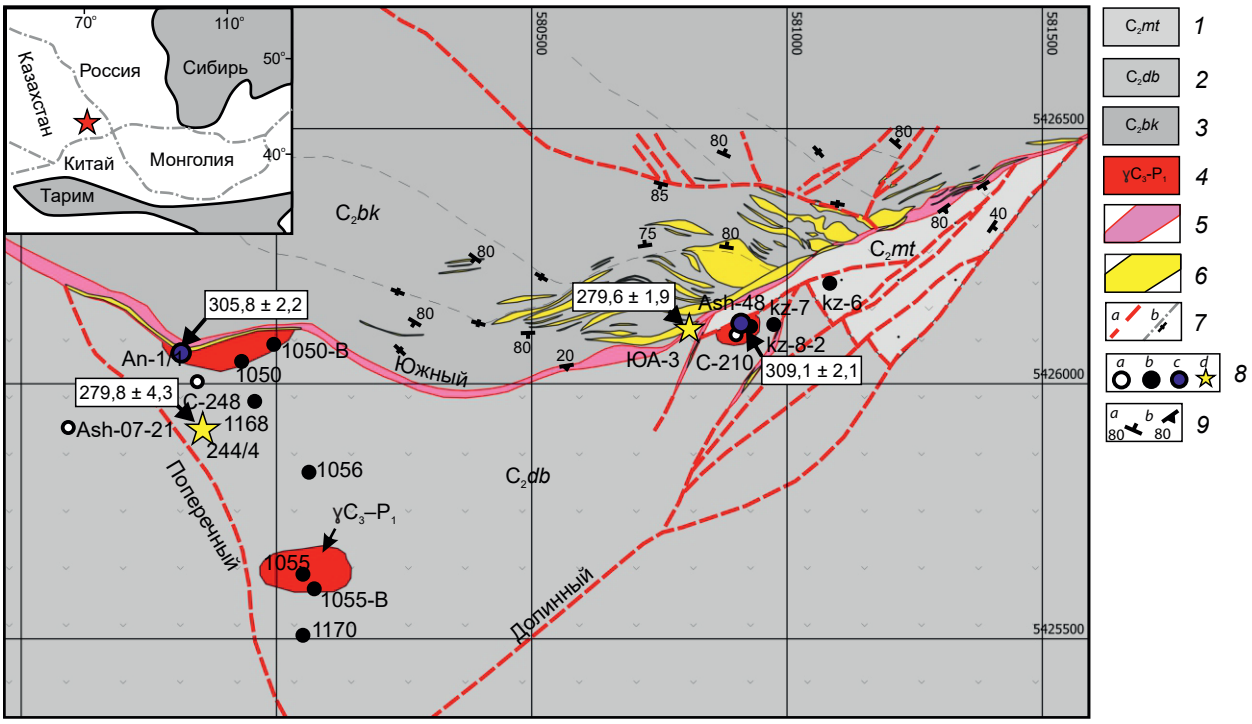


Рис. 1. Геологическая схема месторождения Южные Ашалы (по данным [17, 28, 29] с изменениями):
1 – туфобрекчии (C_2mt); *2* – андезибазальты, андезиты, базальты (C_2db); *3* – терригенно-осадочные породы (C_2bk); *4* – сиенит-порфиры, диориты, гранодиориты; *5* – углеродистые тектониты/милониты/катаклазиты (сдвиговые зоны); *6* – рудные тела; *7a* – разломы; *7b* – оси антиклинальных складок с элементами залегания; *8* – точки отбора проб: *a* – из керна скважин, *b* – с поверхности, *c* – циркона на возраст (U-Pb методом), *d* – серицита на возраст (Ar/Ar методом); *9* – элементы залегания: *a* – слоистости; *b* – разломов.
Примечание: система координат – Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 14

Fig. 1. Schematic geological map of the South Ashali deposit (modified after [17, 28, 29]):
1 – tuff breccia (C_2mt); *2* – basaltic andesites, andesites, basalts (C_2db); *3* – terrigenous sedimentary rocks (C_2bk); *4* – syenite porphyries, diorites, granodiorites; *5* – carbonaceous tectonites/mylonites/cataclasites (shear zones); *6* – ore bodies; *7a* – faults; *7b* – axes of anticlinal folds with the attitudes; *8* – sampling points: *a* – from borehole cores, *b* – from the surface, *c* – of zircon for the age determination (U-Pb method), *d* – of sericite for the age determination (Ar/Ar method); *9* – attitudes: *a* – layering; *b* – faults.
Notes: coordinate system – Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 14

ных нарушений проводились на основе гидрогеологических, геоморфологических и почвенно-геоботанических признаков (индикаторов), указывающих на наличие разломов на исследуемой площади [22].

Структурные наблюдения были выполнены как на месторождении Южные Ашалы, так и в пределах близлежащих месторождений и рудопроявлений Даубай-Ашалинского рудного поля, что позволило более полно охарактеризовать особенности структурного контроля золоторудной минерализации. Решение задач, связанных с выявлением закономерностей структурного контроля месторождения Южные Ашалы, осуществлено с помощью тектонофизического подхода [27]. В его основе лежит детальное изучение разноранговых тектонических дислокаций (складок и разрывов) в естественных/искусственных обнажениях, определение их параметров, кинематики (для дизъюнктивов), а также взаимоотношений для восстановления полей тектонических напряжений с выделением этапов формирования и активизации рудовмещающих структур. С этой

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

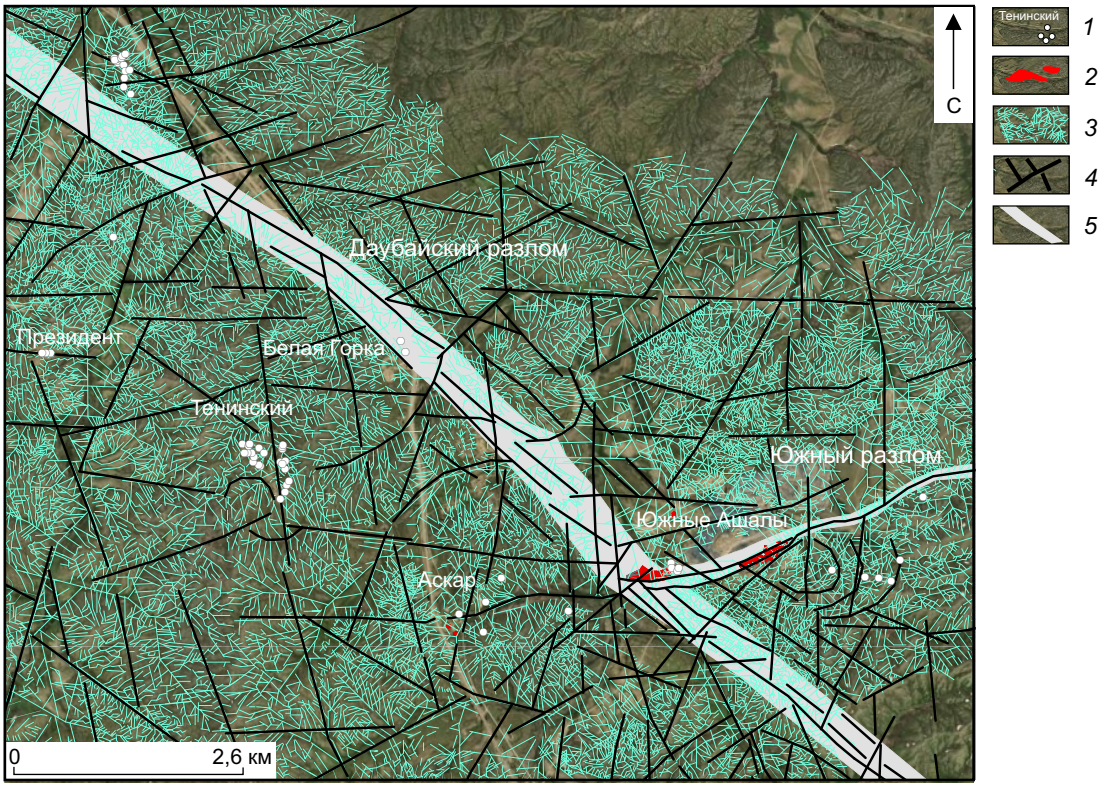


Рис. 2. Схема линеаментов изучаемой территории:
1 – точки наблюдений и названия рудных участков; *2* – рудные тела; *3* – локальные линеаменты, выделенные по результатам структурного дешифрирования; *4* – генерализованные линеаменты; *5* – зоны разломов

Fig. 2. Schematic map of lineaments of the study territory:
1 – observation points and names of the ore sites; *2* – ore bodies; *3* – local lineaments identified based on the structural deciphering; *4* – generalized lineaments; *5* – fault zones

целью на месторождении Южные Ашалы и на сопредельных участках изучаемой площади были созданы сети точек тектонофизических и геолого-структурных наблюдений (рис. 2), в каждой из которых выполнен единообразный комплекс измерений, направленный на сбор информации об основных параметрах тектонической трещиноватости, её количественных характеристиках, локальных разрывных нарушениях, пликативных дислокациях и пр. Восстановление полей напряжений, которые определяли формирование и активизацию разломной сети и, в конечном счёте, локализацию рудных тел, осуществлялось на основании анализа основных характеристик трещинной сети в точках наблюдений, а также диаграмм массовых замеров трещин. При этом использовались методические приёмы М. В. Гзовского [9], В. Н. Даниловича [10, 12], П. Н. Николаева [25] и Д. Дельво [39]. В общей сложности за период полевых исследований задокументировано около 1000 тектонических трещин и систем трещин (с учётом массовых замеров), 120 разрывных нарушений более высокого ранга, порядка 60 малых дайковых тел.

Исследование флюидных включений (ФВ) проведено методами крио- и термометрии (микротермокамера THMSG-600 фирмы Linkam с диапазоном измерений от -196 до +600 °C). Составы газовой и твёрдых фаз включений определялись методом КР-спектроскопии (спек-

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

трометр Ramanor U-1000 фирмы JobinYvon, лазер MillenniaProS2 (532 nm), детектор HORIBA JOBIN YVON; г. Новосибирск). Общая концентрация солей в растворах флюидных включений и принадлежность их к той или иной водно-солевой системе устанавливались по данным криометрии [5, 38].

Изотопный состав $\delta^{34}S$ определялся в шести мономинеральных фракциях пирита и арсенопирита, отобранных под бинокулярной лупой с чистотой не ниже 95 %, на масс-спектрометре Finnigan MAT Delta (в режиме двойного напуска). Воспроизводимость значений $\delta^{34}S$ не ниже 0,1 ‰. Значения $\delta^{34}S$ приведены относительно стандарта CDT. Изотопный состав $\delta^{13}C$ органического вещества определялся в образце алевропесчаника с тонкой вкрапленностью пирита на масс-спектрометре Finnigan MAT-253 с приставкой Flash EA 1112 (аналитик Реутский В. Н.). Точность определения $\delta^{13}C$ составляет ±0,1 ‰. Изотопные значения $\delta^{13}C$ приводятся относительно стандарта V-PDB.

U-Pb датирование зёрен циркона было проведено методом LA-ICP-MS (аналитик Семёнова Д. В.). Цирконы отбирались вручную и методом разделения в тяжёлых жидкостях. Морфология и внутреннее строение цирконов изучались при помощи катодолюминесценции. Измерения проводились на масс-спектрометре высокого разрешения с индуктивно связанной плазмой Thermo Scientific Element XR, соединённом с системой лазерной абляции New Wave Research UP 213, на основе ультрафиолетового Nd:YAG лазера с длиной волны 213 нм. Параметры измерения масс-спектрометра оптимизировали для получения максимальной интенсивности сигнала ^{208}Pb при минимальном значении $^{248}ThO^+/^{232}Th^+$ (менее 2 %), используя стандарт NIST SRM612. Все измерения выполняли по массам ^{206}Pb, ^{207}Pb, ^{208}Pb, ^{232}Th, ^{235}U, ^{238}U. Съёмка проводилась в режиме E-scan. Детектирование сигналов проводилось в режиме счёта (counting) для всех изотопов, кроме ^{238}U и ^{232}Th (режим triple). Диаметр лазерного луча составлял 30 мкм, частота повторения импульсов 5 Гц и плотность энергии лазерного излучения 3,0–3,5 Дж/см^2. Данные масс-спектрометрических измерений обрабатывали с помощью программы Glitter (GEMOC) [41]. U-Pb изотопные отношения нормализовали на соответствующие значения изотопных отношений стандартных цирконов Plesovice [50]. Погрешности единичных анализов (отношений, возрастов) приведены на уровне 1σ. В качестве образца сравнения использовали стандартный образец циркона GJ-1 ($^{207}Pb/^{206}Pb$ возраст 608,53 ± 0,37 млн лет) [43].

$^{40}Ar/^{39}Ar$ изотопно-геохронологическое определение возраста серицита из рудных ассоциаций проводилось из мономинеральных фракций по методике ступенчатого прогрева, описанной в работе [31]. Серицитовый концентрат с примесью кварца отбирался вручную из самого образца и из дроблёной фракции, а затем обрабатывался раствором соляной кислоты (50 : 50 %) для удаления примеси карбоната.

Обработка и анализ первичной полевой информации, а также графическое оформление итоговых материалов производились в программных комплексах Micromine, RockWorks, AutoCAD, STRUCTURE, CorelDraw, Isoplot 3, QGIS. Все аналитические исследования проводились в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск).

Геолого-структурные исследования. В процессе анализа полевой геолого-структурной информации были последовательно рассмотрены особенности строения сети разрывных нарушений, тектонической трещиноватости, а также восстановлены поля тектонических напряжений.

Результаты структурного дешифрирования приведены на рис. 2. Они свидетельствуют о том, что на площади работ проявлены локальные разломы северо-западного, субширотного, субмеридионального и северо-восточного направлений. Значительная часть локальных нарушений представляет собой элементы внутреннего строения более масштабных разломных зон. Максимальные длины линеаментов, выделенные на крупномасштабных схемах и отождествляемые с мегатрещиноватостью, составляют от 0,3 до 1,0 км. Далее визуально на меньшем (от первоначального) масштабе

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

Рис. 3. Выход частного сместителя зоны Даубайского разлома на восточном фланге месторождения Южные Ашалы (участок Аномальный)

Fig. 3. Outcrop of a particular fissure of the Daubai fault on the eastern flank of the Southern Ashaly deposit (the Anomalny Site)

производилась генерализация однородных по простиранию линеаментов, выстраивающихся в единые линии.

Наиболее крупным северо-западным разломом в пределах изученной территории является Даубайский разлом. Данное нарушение является одним из элементов Горностаевско-Аркалыкско-Боконской палеозоны субдукции и прослеживается с юго-востока на северо-запад практически через всю площадь. Падение сместителя юго-западное, под углами от 60 до 85°. Ширина зоны Даубайского разлома 400–500 м. Тектониты частных сместителей разлома представлены зонами интенсивного смятия, дробления и милонитизации вмещающих пород (рис. 3). На высокую интенсивность тектонических движений по разлому за прошедшие этапы указывает наличие в его зоне узких (десятки метров шириной) протяжённых (сотни метров) тектонических пластин, представленных породами буконьской и майтюбинской свит. В зоне влияния разлома локализованы месторождения Южные Ашалы, Белая Горка и Родниковое.

Из субширотных нарушений наибольший интерес представляет зона Южного разлома, в зоне влияния которого расположены основные рудные тела месторождения Южные Ашалы (см. рис. 3). Одни исследователи относят данный разлом к системе трансрегионального Чингиз-Нарымского глубинного разлома [23, 44], другие считают его оперяющей структурой Даубайского разлома [7]. Южный разлом представляет собой зону смятия с крутым падением на юг-юго-запад (∠65–75°). Мощность зоны достигает от десятков до первой сотни метров. В зоне влияния данного разлома породы смяты в узкие линейные складки и прорваны дайками альбитофиров и диоритовых порфиритов [7].

Субмеридиональные и северо-восточные нарушения также играют существенную роль в тектоническом строении площади. Как правило, это крутопадающие зоны рассланцевания, дробления и милонитизации с мощностями до нескольких десятков метров.

Разрывные нарушения, зафиксированные при полевых наблюдениях в естественных обнажениях и горных выработках, чаще всего представляют собой структуры локального ранга в виде зон повышенной трещиноватости, дробления, рассланцевания (рис. 4), реже зон катаклаза и милонитизации. Мощности их варьируют от первых метров до десят-

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

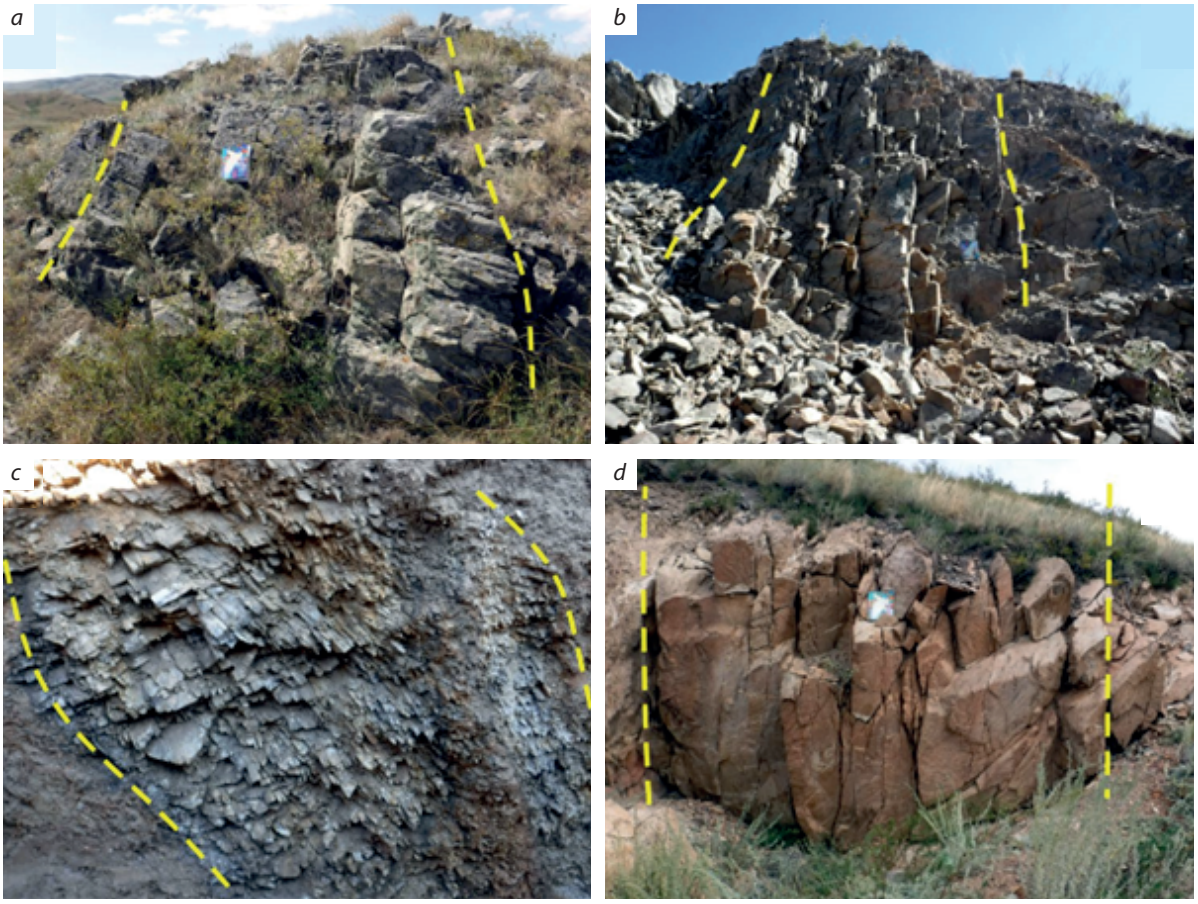


Рис. 4. Примеры локальных нарушений:
a – зона крупных сколов 110° ∠87° в коренном выходе андезитов (участок Ашалинский); *b* – зона повышенной трещиноватости 80° ∠85° в юго-восточной стенке траншеи, вскрывающей контакт песчаников и андезитов (участок Ашалинский); *c* – зона повышенной трещиноватости и дробления 180° ∠68° в северо-западной стенке канавы (участок Аномальный); *d* – зона крупных сколов 0° ∠85° в стенке подрезки (участок Тенинский)

Fig. 4. Examples of local faults:
a – zone of large shears 110° ∠87° in the primary outcrop of andesites (Ashalinsky Site); *b* – zone of increased fracturing 80° ∠85° in the south-eastern wall of a trench, exposing the contact of sandstones and andesites (Ashalinsky Site); *c* – zone of increased fracturing and crushing 180° ∠68° in the north-western wall of a trench (Anomalny Site); *d* – zone of large shears 0° ∠85° in an undercut wall (Teninsky Site)

ков метров, углы наклона от 20 до 90°. При анализе нарушения с углами 61–90° отнесены к субвертикальным, а с углами от 60° до 30° – к наклонным.

С целью реконструкции физико-химических условий рудообразования был проведён комплекс термобарогеохимических исследований.

Температурный режим и состав рудообразующих флюидов. Флюидные включения были изучены в кварце кварц-карбонатных жил из керна скважины № 263, относящихся к золото-малосульфидно-кварцевому этапу формирования месторождения Южные Ашалы.

Типы флюидных включений. В кварце прожилков этого этапа присутствуют вторичные, псевдовторичные и первичные флюидные включения размером обычно менее 5 мкм, реже до 10–15 мкм. Основными критериями

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

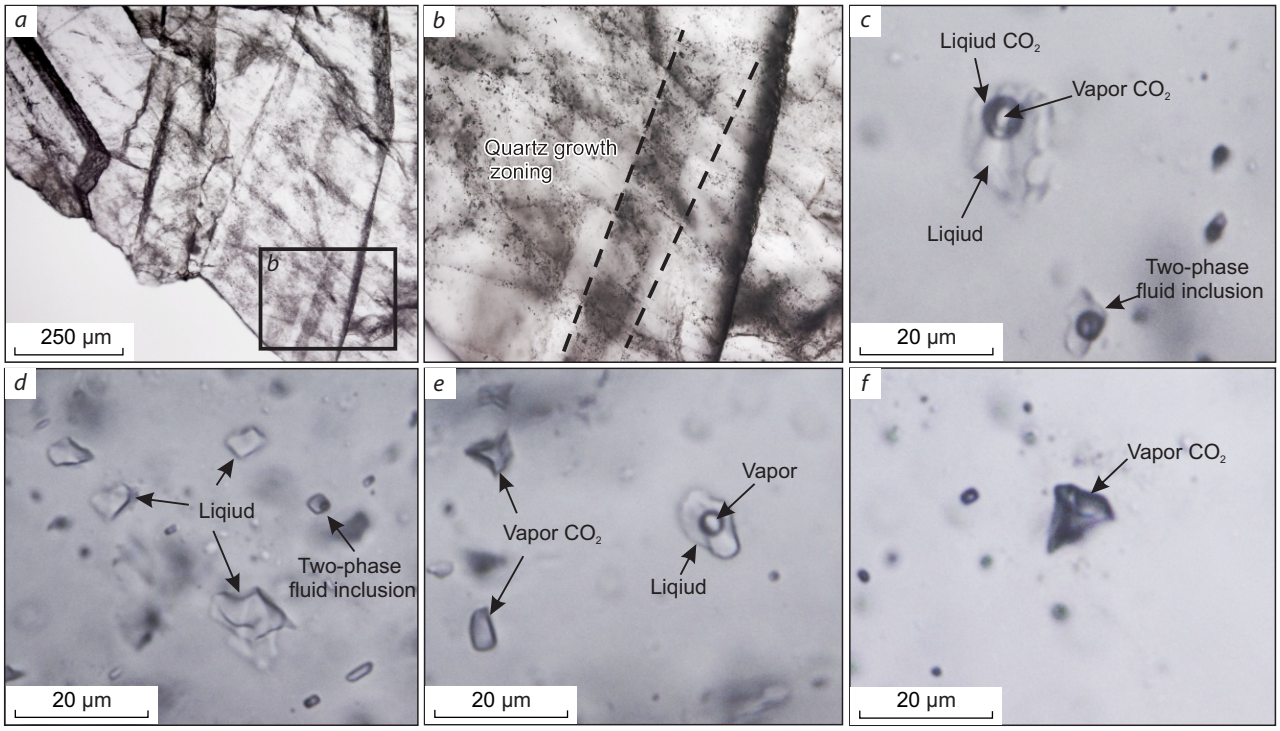


Рис. 5. Образец 263-145. Флюидные включения в кварце рудных жил месторождения Южные Ашалы: флюидные включения трассируют зоны роста в кварце II–III генерации (*a, b*); тип *L* – однофазные жидкие ФВ (*c*); однофазные газовые CO_2 ФВ (тип *V*) и двухфазное ФВ типа *L*2 (*d*); тип *L*1 – трёхфазное жидкое ФВ, обогащённое CO_2 (*e*); однофазные газовые CO_2 включения (*f*)

Fig. 5. Sample 263-145. Fluid inclusions in quartz from ore veins of the Southern Ashali deposit: fluid inclusions (FI) trace growth zones in quartz of II–III generation (*a, b*); type L – single-phase liquid FI (*c*); single-phase gaseous CO_2 FI (type V) and two-phase FI of the L2 type (*d*); type L1 – three-phase liquid FI enriched in CO_2 (*e*); single-phase gaseous CO_2 inclusions (*f*)

первичности ФВ являлись их расположение в зонах роста кварца (рис. 5, *a, b*) и их «роевидное» скопление в обособленных группах без приуроченности к системам микротрещин в кварце [15, 26]. По фазовому составу ФВ могут быть разделены на несколько типов: однофазные газовые (*V*), содержащие газовую фазу (см. рис. 5, *d, f*); вторичные однофазные жидкие (*L*) (см. рис. 5, *c*); вторичные трёхфазные (*L*1), обогащённые CO_2, содержащие водно-солевой раствор и газовую фазу (от 20 до 80 об. %) в виде жидкого и газообразного CO_2 (см. рис. 5, *e*); первичные и псевдовторичные двухфазные (*L*2) из зон роста кварца, содержащие водно-солевой раствор и пузырь газа, занимающий 10–20 об. % (см. рис. 5, *c, d, e*).

По данным КР-спектроскопического изучения, газовая фаза ФВ разных типов содержит главным образом CO_2, незначительную примесь N_2 до 21,8 мол. % и CH_4 до 3,2 мол. %. ФВ (*L*1) являются включениями комбинированного захвата жидкой и газообразной фракций рудообразующего флюида в разных пропорциях. Они содержат заметный избыток газовой фазы в виде CO_2 и при нагревании декрепитируют. ФВ (*L*1) содержат растворы солёностью от 4,9 до 3,9 мас. % в экв. NaCl. Плотность CO_2 меняется от 0,5 до 0,87 г/см^3.

Гомогенизация двухфазных ФВ (*L*2) происходит в интервале температуры от 338 до 126 °C (табл. 1). Плавление эвтектики растворов двухфазных ФВ (*L*2) происходит в интервале температуры от -25 до -20 °C, что было фиксирова-

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Таблица 1. Результаты термометрического изучения двухфазных ФВ типа *L*2 в кварце II–III генерации керна скважины № 263

Table 1. Results of thermometric study of type L2 two-phase FI in quartz of II–III generation from the core of hole No. 263

H, м	$T_{гом}$, °C	$T_{пл}$ льда, °C	$T_{пл}$ CO_2 гидрата, °C	Солёность, мас. % в экв. NaCl
77	300–260	–	9,1–4,9	9,1–1,8
	210–159	-1,6…-2,6	–	2,7–4,3
97	338–162	-3,5…-0,4	–	5,7–0,7
105,7	211–210	–	8,9–6,7	4,9–2,2
	231–170	-0,2…-2,8	–	4,6–0,3
124	250–147	–	10,0–4,8	9,3–0,3
	250–147	-1,6…-3,5	–	5,7–2,7
137,5	256–155	–	9,0–4,1	10,5–2,0
	200–161	-0,2…-4,0	–	6,4–0,3
145,9	233	–	8,8	2,4
	256–243	-4,4…-4,0	–	6,7–6,4
158,8	198–187	–	9,3–9,5	1,5–1,4
	298–146	-0,1…-3,8	–	5,9–0,2

Примечания: *H* – глубина; $T_{гом}$ – температура гомогенизации; $T_{пл}$ – температура плавления.

но только в единичных крупных (15–20 мкм) флюидных включениях. Эвтектика растворов двухфазных ФВ (*L*2) отвечает составу NaCl – H_2O и NaCl – KCl – H_2O водно-солевых систем [5]. При охлаждении двухфазных ФВ (*L*2) в некоторых из них образуется газогидрат CO_2, который плавится в интервале температуры от +9,4 до +4,1 °C. Солёность таких двухфазных ФВ (*L*2) варьирует от 9,1 до 1,4 мас. % экв. NaCl. В других ФВ (*L*2) при охлаждении образуется лёд, который плавится в интервале температуры от -4 до -0,4 °C. Солёность ФВ (*L*2) варьирует от 6,5 до 0,2 мас. % экв. NaCl.

По результатам изучения ФВ в кварце из позднего золото-малосульфидно-кварцевого типа руд установлены его температуры гомогенизации, которые варьируют в интервале от 338 до 147 °C. Солёность рудообразующих флюидов варьировала в широком интервале от 10,5 до 0,3 мас. % в экв. NaCl. Состав флюидов определяют хлориды NaCl и KCl, в газовой фазе присутствуют CO_2, N_2, CH_4.

Изотопно-геохимические и изотопно-геохронологические исследования. *Изотопный состав серы* определялся в сульфидах из рудных метасоматитов и из зоны дробления минерализованных сланцев (табл. 2).

Осадочно-диагенетический пирит из зоны дробления углеродистых сланцев имеет значения $\delta^{34}S$ = -7 ‰, что подтверждает его изначально сингенетическую природу. Отрицательное значение $\delta^{34}S$ этого пирита (Py-I), характеризующегося повышенным содержанием Au и ряда других элементов [11], может свидетельствовать об его восстановлении анаэробными бактериями из сульфат-ионов [30].

Значения $\delta^{34}S$ золотосодержащих пирита и арсенопирита из углеродистых алевропесчаников (золото-сульфидный тип руд) колеблются в интервале от 1,6 до 4,3 ‰, что соответствует изотопному составу серы всех других аналогичных золоторудных месторождений ЗКЗП, где предполагается дополнительный привнос глубинной («мантийной») серы (рис. 6).

Изотопный состав углерода, определяемый в углеродистом веществе (УВ) метаморфизованного алевропесчаника с мелкой вкрапленностью пирита и прожилками марказита (обр. Kz-8-1), имеет значение $\delta^{13}C$ = -20,77 ‰.

Для выяснения возраста формирования магматических пород и установления возможной связи рудообразования с магматизмом были проведены U-Pb и Ar/Ar изотопно-геохронологические исследования.

U-Pb изотопно-геохронологические исследования. По геологическим данным, дайки и малые тела интрузий прорывают вмещающие породы буконьской (C_2bk) и даубайской (C_2db) свит. Возраст образования нижней вулканогенной толщи андезитов и андезибазальтов, распространённых в пределах Даубай-Ашалинского рудного поля, оценивается в 311 ± 2 млн лет [35], что соответствует нижней возрастной границе для интрузивных образований.

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

Таблица 2. Изотопный состав серы сульфидов месторождения Южные Ашалы

Table 2. Isotopic composition of sulfur in sulfides of the Southern Ashaly deposit

№ образца	Минерализация	Минерал	$\delta^{34}S$, ‰
Kz-8-2	Тонковкрапленная в углеродистом алевропесчанике	Пирит-II	4,3
Kz-8-2	Тонковкрапленная в углеродистом алевропесчанике	Арсенопирит-I	3,3
Kz-6-4	Мелковкрапленная в углеродистом сланце (зона дробления)	Пирит-I	-7,0
244/14	Вкрапленная сульфидная и прожилковая кварц-сульфидная в углеродистом алевролите	Пирит-II	2,5
244/14	Вкрапленная сульфидная и прожилковая кварц-сульфидная в углеродистом алевролите	Арсенопирит-I	3,0
248/3	Тонковкрапленная в углеродистом алевролите	Пирит-II	1,6
248/3	Тонковкрапленная в углеродистом алевролите	Пирит-II	1,6

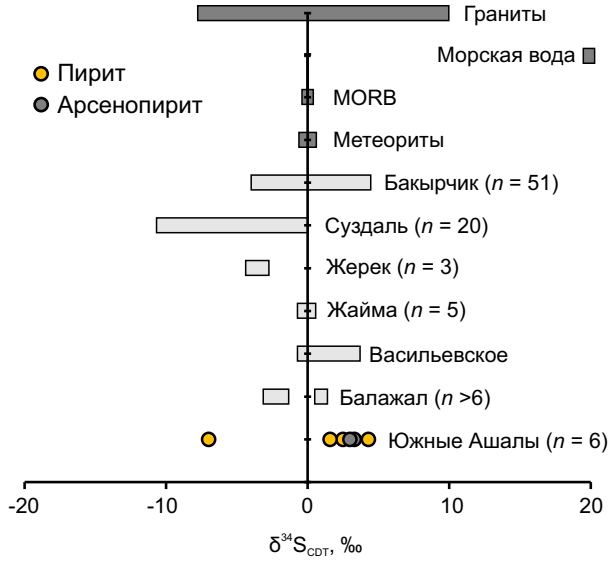


Рис. 6. Вариации изотопного состава серы золоторудных месторождений ЗКЗП:
светло-серый – месторождения Восточного Казахстана (по данным [1, 19, 20, 45, 51]); тёмно-серый – поля данных по [30]

Fig. 6. Variations in the isotopic composition of sulfur in gold deposits of the West Kalba Gold-bearing Belt:
light gray – deposits of Eastern Kazakhstan (after [1, 19, 20, 45, 51]); dark gray – data fields after [30]

Для уточнений возраста магматических пород из интрузивных массивов альбитофирсиенит-порфирового (обр. Ash-48) и гранодиорит-порфирового (обр. An-1/1) состава проведён анализ двух проб, отобранных из коренных обнажений (см. рис. 1). Образец Ash-48 представляет собой гранодиорит-порфир с вкрапленниками (30 %) серицитизированного плагиоклаза, псевдоморфозами вторичной слюды и рутила, образующими сагенитовую решётку по амфиболу (?), и редкими резорбированными зёрнами брекчированного кварца в аллотриоморфно-зернистом агрегате (рис. 7, 1, *c, d*). Основная масса представлена кварцем (45 %) и изменённым плагиоклазом (55 %). Образец An-1/1 представляет собой гранодиорит с вкрапленниками плагиоклаза в тонкозернистом кварц-плагиоклазовом фельзит-аллотриоморфно-зернистом агрегате и таблитчатыми биотитизированными и карбонатизированными псевдоморфозами по темноцветным минералам, также встречаются прожилки карбоната (рис. 7, 2, *c–d*).

В общей сложности проанализирован 41 индивидуальный кристалл циркона (41 анализ); восемь анализов исключены из рассмотрения по причине их высокой дискордант-

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

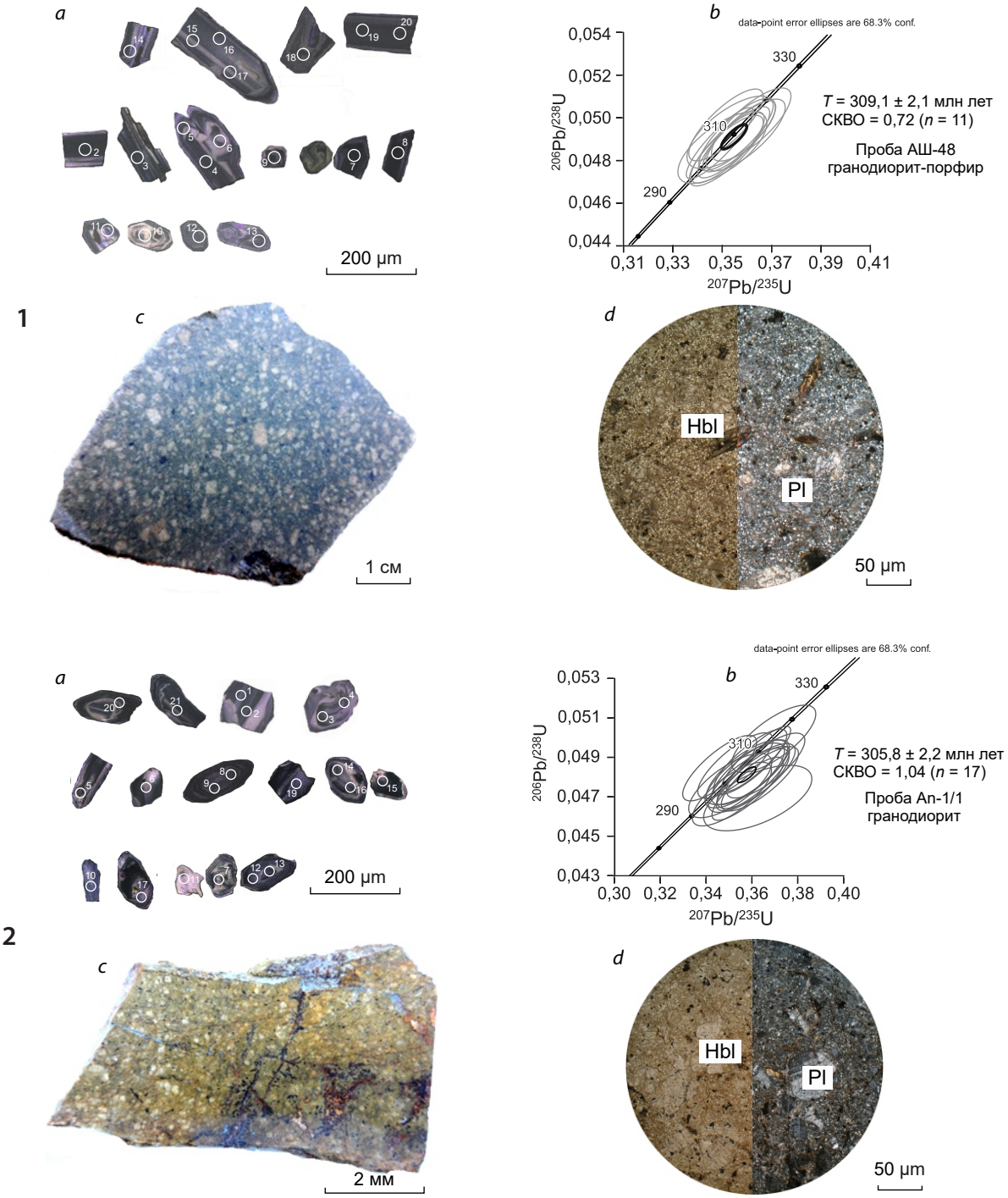


Рис. 7. Результаты U-Pb изотопного датирования цирконов (1 – проба Ash-48, 2 – проба An-1/1):
a – катодолюминесцентные изображения цирконов с точками LA-ICP-MS; *b* – возраст пробы (*n* – число экспериментальных точек); *c* – фотография образца; *d* – фотография шлифа (PPL/ PPX)

Fig. 7. Results of U-Pb isotopic dating of zircons (1 – sample Ash-48, 2 – sample An-1/1):
a – cathodoluminescence images of zircons with LA-ICP-MS points; *b* – age of the sample (*n* – number of experimental points); *c* – photograph of the sample; *d* – photograph of a thin section (PPL/PPX)

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

ности (> 5 %) и один – из-за низких содержаний U и Pb в минерале, данные с отклонением в таблицу не включены (табл. 3). На катодолюминесцентных изображениях зёрен циркона короткопризматического габитуса наблюдается концентрическая зональность (см. рис. 7, 1*a*, 2*a*). Размеры зёрен варьируют от десятков до 250 мкм. По результатам датирования возраст гранодиорит-порфира (альбитофир-сиенит-порфирового массива) составляет 309,1 ± 2,1 млн лет (см. рис. 7, 1*a*), а возраст гранодиорита (гранодиорит-порфирового массива) – 305,8 ± 2,2 млн лет (см. рис. 7, 2*a*).

Ar-Ar изотопно-геохронологические исследования. Для датирования позднего этапа рудообразования выбрано два образца (с серицитом), содержащих полисульфидную минерализацию: в метасоматически изменённом андезитовом порфирите (244/4) и кварц-серицитовом метасоматите (ЮА-3), место отбора указано на рис. 1. Образец 244/4 (скв. 244, гл. 84,5 м) представляет собой серицитизированную и прокварцованную породу с реликтовыми порфировыми вкрапленниками плагиоклаза, опацитизированными вкрапленниками темноцветных минералов, с небольшой примесью карбонатов, мелкой вкрапленностью сульфидов и тонкими (мощностью до 0,5 см) прожилками кварца-II (рис. 9, *a*). Ниже и выше по разрезу отмечаются прожилки кварца-II с обильной полисульфидной минерализацией [11]. Образец ЮА-3 (скв. 3, гл. 74,5 м) представляет собой кварц-серицитовый метасоматит с вкрапленной и прожилковой сульфидной минерализацией (см. рис. 9, *b*). По результатам датирования установлен возраст серицита из руд золото-малосульфидно-кварцевого этапа оруденения: 279,8 ± 4,3 млн лет (проба 244/3) и 279,6 ± 1,9 млн лет (проба ЮА-3).

Обсуждение. На основе проведённых авторами структурно-геологических, минералого-геохимических, изотопно-геохронологических и других видов исследований, а также данных предшествующих работ [7, 11, 16, 17, 28, 37] установлено, что месторождение Южные Ашалы в некоторых чертах аналогично объектам так называемого «орогенного» типа. Под «орогенными золоторудными месторождениями» в настоящее время понимаются объекты, происхождение которых связано с процессами орогенеза [42]. Их характерными особенности являются приуроченность к структурам сжатия и сдвига, отчётливый структурный контроль и непосредственная связь с тектоническими аккреционно-коллизионными процессами, вызывающими появление метаморфогенных растворов [48]. Золото-сульфидное оруденение месторождения Южные Ашалы локализуется в зоне влияния субширотного Южного разлома (сдвиговая зона, см. рис. 2), который является частью трансрегионального Чингиз-Нарымского глубинного разлома и полностью соответствует вышеприведённым параметрам. При этом миграция метаморфогенного флюида происходит по зонам сдвига (shear zone) и/или в зоны гидравлических разрывов в породах с низкой прочностью, испытывающих растяжение.

Полученные по геолого-структурным исследованиям результаты позволяют охарактеризовать отдельные этапы становления и активизации тектонической структуры изученной площади.

Первый структурный этап – становление и развитие глобальной Чарской зоны сжатия северо-западного простирания и формирование локальных нарушений других направлений как структур, осложняющих эту зону. Данный ансамбль структур маркирует стадию орогенеза, которая сопровождается региональным метаморфизмом и способствует образованию минерализованных зон раннего рудного этапа.

Второй структурный этап – активизация северо-западных нарушений Чарской зоны. Образование региональных разломов широтной и меридиональной ориентировок. Формирование структур локального растяжения северо-западного и меридионального направлений, вмещающих магматические интрузивные образования, а также наклонные и пологие кварцевые жилы.

Третий структурный этап – активизация существующей разломной сети и формирование региональных разломов северо-восточ-

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

ного направления. Образование структур локального растяжения субширотных направлений, вмещающих интрузивные образования, субвертикальные кварцевые жилы. (Второй и третий структурные этапы сближены во времени, они характеризуют позднеорогенную стадию развития региона.)

Четвёртый структурный этап – активизация разломной сети. Формирование структур локального растяжения северо-восточного и меридионального направлений, несущих кварц-карбонатную минерализацию на посторогенной стадии развития региона.

В целом орогенные золоторудные месторождения образуются в широком диапазоне физико-химических условий. В то же время многие вопросы генезиса орогенных месторождений до конца не ясны. К примеру, только на формирование рудоносных гидротермальных растворов существует несколько точек зрения: дегазация синорогенных магматических расплавов, дегидратация глубинных метаморфических пород, метеорные воды, дегидратация пород при динамометаморфизме, поступление мантийных флюидов [6, 40]. Так же обстоит дело и с источниками рудных компонентов: чаще всего предполагается их поступление непосредственно из вмещающего субстрата – пород, подверженных тектоническим деформациям и метаморфизму, за счёт выщелачивания флюидами, циркулирующими в проницаемых тектонических зонах, воздействия синколлизионных магматических тел, либо за счёт ремобилизации элементов ранних золотоносных комплексов, подвергшихся тектогенезу, поскольку связь орогенных месторождений с магматическими комплексами нередко отсутствует [52, 54, 55].

Формирование вкрапленности пирита и игольчатого золотоносного арсенопирита на раннем золото-сульфидном этапе, а также преобразование УВ в углеродистых терригенно-осадочных породах буконьской свиты происходили синхронно в условиях зеленосланцевой–цеолитовой фаций регионального метаморфизма при температуре 384…241 °C [11]. Температура гомогенизации флюидных включений в кварце позднего этапа (338…147 °C) частично перекрывается с температурой преобразования УВ в породах буконьской свиты (рис. 10). Это указывает на то, что образование минеральных ассоциаций раннего золото-сульфидного и позднего золото-малосульфидно-кварцевого этапов могло происходить в едином или одинаковом температурном поле и на близкой к поверхности глубине.

Соотношение стабильных изотопов различных элементов широко применяется для определения источника рудного вещества на месторождениях полезных ископаемых. Наиболее детально систематика изотопов серы применительно к генезису рудных месторождений рассмотрена в [49]. Обычно единичные данные нельзя интерпретировать однозначно [32]. Однако по полученным нами результатам можно сделать некоторые общие выводы.

Диагенетический пирит (Py-I) с повышенным содержанием золота и других элементов [11] имеет отрицательные значения $\delta^{34}S$ (-7 ‰), что, по-видимому, является результатом восстановления сульфатных ионов анаэробными бактериями. Изотопный состав углерода в УВ, имеющий значение $\delta^{13}C$ = -20,77 ‰, соответствует осадочному органическому углероду. Метаморфогенный пирит (Py-II), обогащённый Au, Ag (микровключения) и As [11], тем не менее имеет значения $\delta^{34}S$ от 1,6 до 4,3 ‰, близкие к глубинному источнику [30].

Зачастую месторождения, локализующиеся в углеродисто-терригенных толщах, парагенетически связаны с коллизионным (постколлизионным) магматизмом, что подтверждается геологическими и геохронологическими данными, например, месторождения Кумтор, Мурунтау и др. [21, 46]. Однако роль магматических пород в качестве возможного источника золота до сих пор дискуссионна [2, 3]. На месторождениях ЗКЗП отмечается парагенетическая связь золотого оруденения с дайками и малыми телами габбро-плагиогранитной серии, относимой по возрасту и составу к кунушскому [4, 13, 36, 53] и аргимбайскому [23] комплексам. Внедрение массивов альбитофир-сиенит-порфирового (309,1 ± 2,1 млн лет) и гранодиорит-порфирового

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Таблица 3. Результаты U-Pb изотопных исследований цирконов из гранодиорита (Ash-48) и гранодиорит-порфира (An-1/1) месторождения Южные Ашалы

Table 3. Results of U-Pb isotope studies of zircons from granodiorite (Ash-48) and granodiorite-porphyry (An-1/1) of the Southern Ashaly deposit

№ п/п	№ пробы, точки	Th/U	Концентрация, г/т			Изотопные отношения					Возраст, млн лет				
			U	^{232}Th	^{206}Pb	^{207}Pb/^{235}U	1σ	^{206}Pb/^{238}U	1σ	Rho	^{207}Pb/^{235}U	1σ	^{206}Pb/^{238}U	1σ	*D*, %
1	An-1/1,1	0,89	259,95	230,76	10,90	0,3562	0,0103	0,0480	0,0011	0,78	309,4	7,7	302,4	6,6	2,3
2	An-1/1,2	0,87	276,09	240,94	11,67	0,3417	0,0097	0,0484	0,0011	0,79	298,5	7,3	304,9	6,7	-2,1
3	An-1/1,3	0,31	284,39	87,04	12,10	0,3538	0,0096	0,0487	0,0011	0,82	307,6	7,2	306,8	6,7	0,3
5	An-1/1,6	0,51	437,24	220,82	18,66	0,3562	0,0091	0,0489	0,0011	0,88	309,4	6,8	307,7	6,7	0,6
6	An-1/1,7	0,48	223,60	106,35	11,41	0,3568	0,0142	0,0469	0,0011	0,58	309,8	10,6	295,6	6,7	4,8
7	An-1/1,8	0,34	279,52	96,02	11,69	0,3549	0,0096	0,0479	0,0011	0,83	308,4	7,2	301,7	6,6	2,2
8	An-1/1,9	0,63	235,50	148,75	9,98	0,3479	0,0099	0,0486	0,0011	0,79	303,2	7,4	305,7	6,7	-0,8
9	An-1/1,10	0,39	212,90	83,11	8,76	0,3466	0,0104	0,0471	0,0011	0,75	302,1	7,8	296,8	6,5	1,8
10	An-1/1,11	0,57	316,48	179,04	13,23	0,3577	0,0101	0,0479	0,0011	0,79	310,5	7,6	301,5	6,6	3,0
11	An-1/1,12	0,54	179,98	97,63	7,51	0,3532	0,0106	0,0478	0,0011	0,75	307,1	8,0	301,1	6,6	2,0
12	An-1/1,13	0,30	159,61	47,25	6,72	0,3526	0,0107	0,0482	0,0011	0,74	306,7	8,0	303,6	6,7	1,0
13	An-1/1,14	0,32	230,84	73,55	10,06	0,3632	0,0110	0,0499	0,0011	0,74	314,6	8,2	314,0	6,9	0,2

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Окончание таблицы 3

№ п/п	№ пробы, точки	Th/U	Концентрация, г/т			Изотопные отношения					Возраст, млн лет				
			U	^{232}Th	^{206}Pb	^{207}Pb/^{235}U	1σ	^{206}Pb/^{238}U	1σ	Rho	^{207}Pb/^{235}U	1σ	^{206}Pb/^{238}U	1σ	*D*, %
14	An-1/1,15	0,27	193,67	52,29	8,12	0,3517	0,0104	0,0481	0,0011	0,76	306,0	7,8	302,6	6,6	1,1
15	An-1/1,16	0,89	271,02	241,46	11,49	0,3600	0,0103	0,0486	0,0011	0,78	312,2	7,7	305,7	6,7	2,1
16	An-1/1,17	0,36	395,77	141,93	16,37	0,3528	0,0094	0,0474	0,0011	0,84	306,8	7,0	298,5	6,5	2,8
1	Ash-48,3	1,08	550,58	592,32	23,47	0,3513	0,0092	0,0488	0,0011	0,88	305,7	6,9	307,4	6,9	-0,6
2	Ash-48,4	1,04	359,43	372,47	15,34	0,3570	0,0098	0,0489	0,0011	0,83	310,0	7,3	307,7	6,9	0,7
3	Ash-48,5	1,04	358,10	371,18	15,20	0,3544	0,0100	0,0486	0,0011	0,82	308,0	7,5	306,1	6,9	0,6
4	Ash-48,6	0,25	228,43	56,90	9,92	0,3642	0,0108	0,0497	0,0012	0,78	315,3	8,1	312,9	7,0	0,8
5	Ash-48,9	0,59	303,30	179,38	12,83	0,3539	0,0101	0,0485	0,0011	0,80	307,6	7,6	305,2	6,8	0,8
6	Ash-48,10	0,50	119,43	59,55	5,07	0,3523	0,0121	0,0486	0,0011	0,68	306,4	9,1	306,1	7,0	0,1
7	Ash-48,12	0,22	365,95	80,21	15,71	0,3593	0,0099	0,0492	0,0011	0,82	311,7	7,4	309,4	6,9	0,7
8	Ash-48,14	0,82	343,84	282,88	14,78	0,3579	0,0101	0,0493	0,0011	0,81	310,7	7,6	309,9	6,9	0,3
9	Ash-48,15	0,43	126,22	54,89	5,44	0,3559	0,0120	0,0494	0,0011	0,68	309,2	9,0	310,6	7,0	-0,5
10	Ash-48,16	0,79	216,18	170,61	9,29	0,3619	0,0108	0,0492	0,0011	0,77	313,6	8,0	309,8	6,9	1,2
11	Ash-48,19	1,03	341,92	353,77	14,84	0,3538	0,0101	0,0497	0,0011	0,79	307,6	7,6	312,7	7,0	-1,6

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

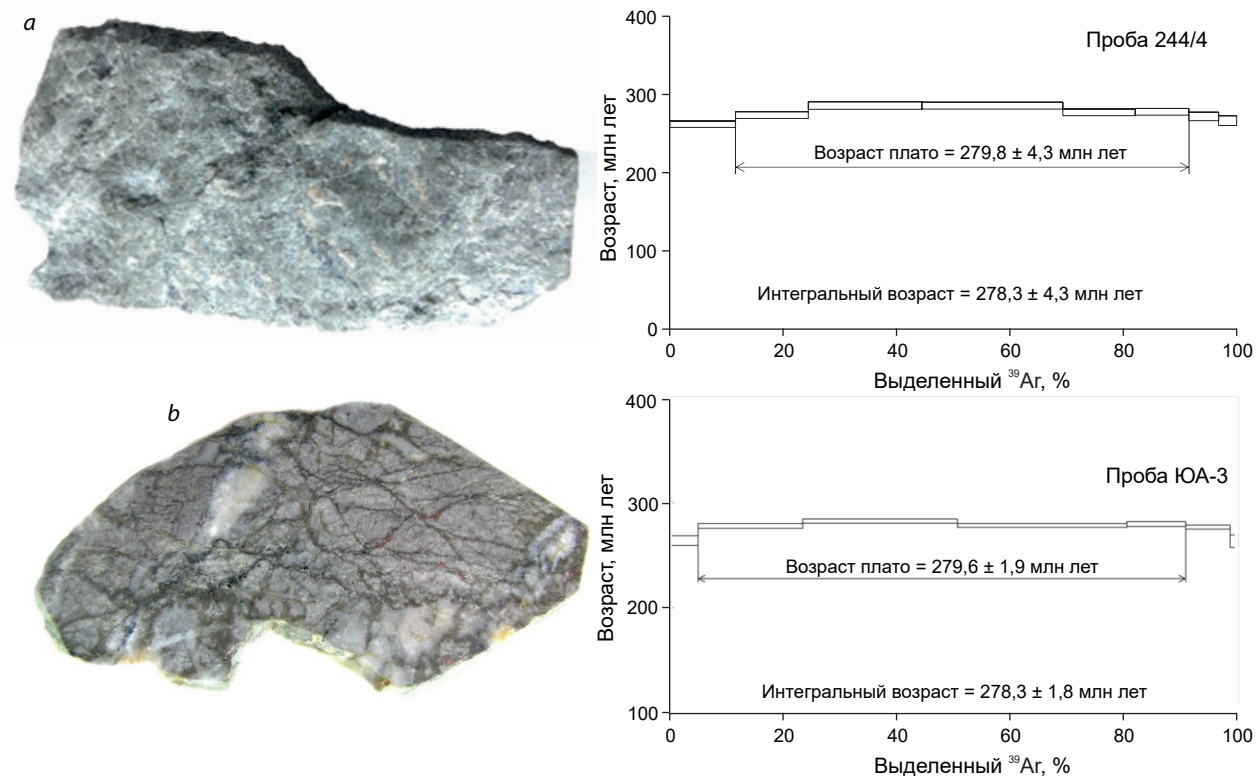


Рис. 9. Результаты $^{40}Ar/^{39}Ar$ датирования серицита из кварц-серицитовых метасоматитов с вкрапленной и прожилковой сульфидной минерализацией золото-малосульфидно-кварцевого этапа

Fig. 9. Results of the $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of sericite from quartz-sericite metasomatites with disseminated and veinlet sulfide mineralization of the gold-low-sulfide-quartz stage

(305,8 ± 2,2 млн лет) состава, вероятно, произошло за счёт процессов посторогенного растяжения литосферы, что вполне согласуется с данными С. В. Хромых [33].

Исходя из полученных геохронологических данных, можно констатировать временной отрыв (около 25 млн лет) золото-малосульфидно-кварцевого оруденения позднего этапа (279,2–278,3 млн лет) от времени становления интрузивных массивов альбитофирсиенит-порфирового (309,1 ± 2,1 млн лет) и гранодиорит-порфирового (305,8 ± 2,2 млн лет) состава. Приблизительно такой отрыв во времени наблюдается и на других месторождениях, например, Кумтор [46], Жерек [18] и других. Рудообразование на месторождениях ЗКЗП укладывается в несколько разновременных этапов [16, 18, 20, 24, 44, 45, 47], каждый из которых может быть сопоставлен по времени с определённым магматическим комплексом. Исходя из возраста серицита поздней рудной ассоциации и её геохимической Co-Ni-Cr-As специализации, можно предположить, что образование золото-малосульфидно-кварцевых руд на месторождении Южные Ашалы параллелизуется по времени с внедрением интрузий аргимбайского и/или максутского комплексов с возрастом 280–293 млн лет [34], вероятно, скрытых на глубине. Ранее [24] отмечали временную близость золото-сульфидных руд ЗКЗП с Максутским пикрит-диабазовым массивом, с которым связано Cu-Ni оруденение.

Базируясь на результатах геолого-структурных, минералогических, геохимических, изотопно-геохимических, изотопно-геохронологических и термобарогеохимических исследований, предлагается следующая структурно-вещественная модель образования месторождения Южные Ашалы, увязывающая

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

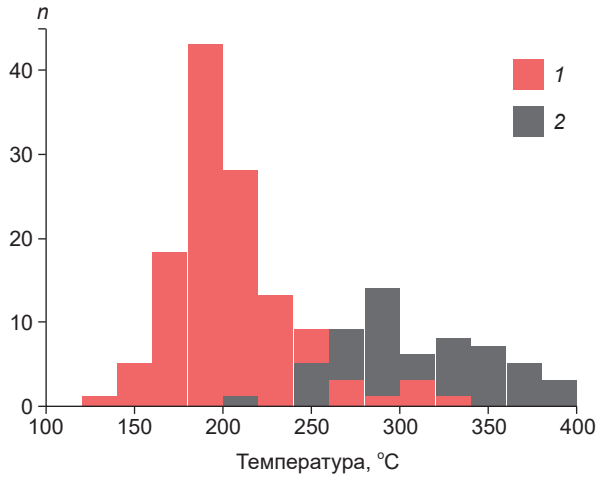


Рис. 10. Температуры гомогенизации ФВ (*L*2) в кварце II–III генераций кварц-кальцитовых прожилков позднего золото-малосульфидно-кварцевого этапа (1); температуры образования УВ в породах буконьской свиты (2)

Fig. 10. Homogenization temperatures of FI (L2) in quartz of II–III generation from quartz-calcite veinlets of the late gold-low-sulfide-quartz stage (1); temperatures of hydrocarbon formation in rocks of the Bukon Formation (2)

рудные этапы с известными геодинамическими режимами в истории региона (рис. 11).

I этап – седиментогенный (~325–320 млн лет, соответствующий раннеорогенной стадии по [33]). На ранней стадии в лагунно-континентальных условиях происходит накопление углеродистой терригенно-осадочной толщи буконьской свиты (C_2bk), при этом образуется фрамбоидальный (Py-Iа) и округлый пирит (Py-Iб), последний обогащён Au (до 10 г/т), W, Mg, Mn, Cr, Mo, Bi, Pb, Co, V, Tl, Ti и Sb (см. рис. 11, *a*). Изотопный состав серы сульфидов ($\delta^{34}S$ = -7 ‰) соответствует обстановке осадконакопления.

II этап – метаморфогенный (~320–315 млн лет, орогенная стадия по [33]). В результате позднего диагенеза и метаморфизма (зеленосланцевая фация) золотосодержащих пород буконьской свиты формируются вкрапленные золото-сульфидные руды (первый рудный этап). Образуется удлинённый пористый агрегат пирита (Py-Iв), который впоследствии обрастает эвгедральным пиритом (Py-IIа и Py-IIб) и игольчатым арсенопиритом (Apy-I). Во вкрапленных зёрнах пирита от ядер (Py-Iв) к периферии (Py-IIб) уменьшается количество микровключений золота, концентрации Pb, Bi, Co, Ag, Sb, а также увеличивается содержание As, V, Tl. Метаморфическое преобразование пород вызвано коллизионными событиями, которые сопровождаются пликативными и разрывными (Даубайский разлом) деформациями при сжатии северо-западного простирания (первый структурный этап, см. рис. 11, *b*). Предполагается, что возраст метаморфизма соответствует возрасту орогенеза, который оценивается в 330 ± 5…310 ± 5 млн лет [33].

III этап – вулканогенный (~315–310 млн лет, позднеколлизионная стадия по [33]). Образуется Сарыжал-Даубайский вулканический прогиб (см. рис. 11, *c*), нижняя часть которого представлена базальтами и андезибазальтами с возрастом 311 ± 2 млн лет [35]. Данное событие, вероятно, является индикатором коллапса орогенного сооружения [33].

IV этап – плутоногенный (~310–298 млн лет, постколлизионная стадия по [33]). Внедрение даек и малых интрузий гранитоидного состава по долгоживущим разломным структурам локального растяжения северо-западного и меридионального направлений (второй структурный этап, см. рис. 11, *d*). Здесь следует подчеркнуть, что II, III и IV этапы сближены во времени.

V этап – гидротермальный-I (~284–276 млн лет, посторогенная стадия по [33]). Подновление разломов восточного (крутопадающие) и север-северо-восточного (пологие) простирания (третий структурный этап), по которым поступают рудоносные флюиды, формирующие золото-малосульфидно-кварцевый тип руд (второй рудный этап, см. рис. 11, *e*). Непосредственный источник флюидов пока не известен.

VI этап – гидротермальный-II (~260–254 млн лет [17, 47], посторогенная стадия по [33]). Пострудная активизация разломов различных направлений, которые секут рудные жилы и интрузивные массивы (че-

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

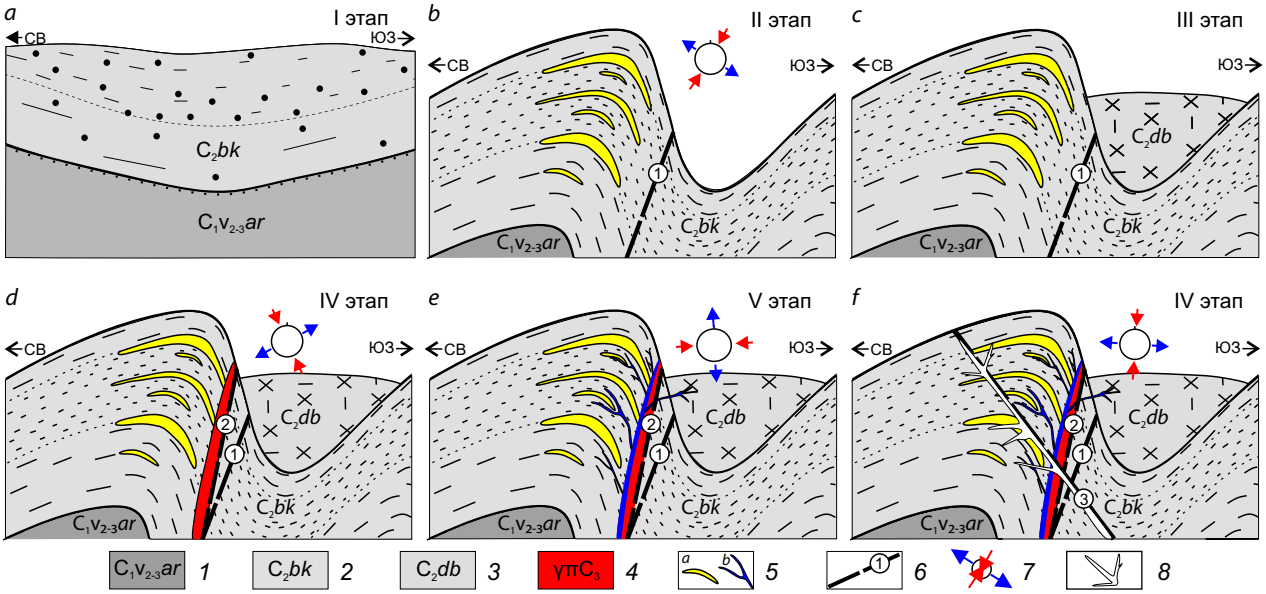


Рис. 11. Схематическая структурно-вещественная модель образования месторождения Южные Ашалы:
a – I этап. Осадконакопление и ранний диагенез; *b – II этап.* Поздний диагенез и/или метаморфизм, сопровождающийся пликативными и дизъюнктивными (Даубайский разлом) дислокациями, в результате образуются вкрапленные золото-сульфидные руды; *c – III этап.* Эффузивный магматизм; *d – IV этап.* Интрузивный магматизм, контролируемый разломами северо-восточного и широтного (Южный разлом) простираний; *e – V этап.* Гидротермальная деятельность, контролируемая в целом разломами восточного и север-северо-восточного простирания, в результате чего образуются золото-малосульфидно-кварцевые руды; *f – VI этап.* Пострудная гидротермальная деятельность (меридиональные разломы). *1–3* – вмещающие породы: *1* – аркалыкская свита ($C_1v_{2-3}ar$), не выходящая на поверхность, *2* – буконьская свита (C_2bk), *3* – даубайская свита (C_2db); *4* – гранитоиды кунушского комплекса; *5* – золотоносные типы руд: *a* – золото-сульфидные, *b* – золото-малосульфидно-кварцевые; *6* – разломы, номер в кружке: 1 – северо-западного простирания (Даубайский), 2 – северо-восточного и широтного простирания (Южный), 3 – субмеридионального простирания (отдельные трещины и пострудные жилы); *7* – направление структурных деформаций

Fig. 11. Schematic structural-compositional model of genesis of the Southern Ashaly deposit:
a – Stage I. Sedimentation and early diagenesis; *b – Stage II.* Late diagenesis and/or metamorphism, accompanied by plicative and disjunctive (Daubai fault) dislocations, resulting in formation of the disseminated gold-sulfide ores; *c – Stage III.* Effusive magmatism; *d – Stage IV.* Intrusive magmatism controlled by the faults of north-eastern and latitudinal (Southern fault) strikes; *d – Stage V.* Hydrothermal activity generally controlled by the faults of eastern and north-north-eastern strikes, resulting in formation of the gold-low-sulfide-quartz ores; *e – Stage VI.* Post-ore hydrothermal activity (meridional faults).
Legend: *1–3* – host rocks: *1* – Arkalyk Formation ($C_1v_{2-3}ar$), not outcropping at the surface, *2* – Bukon Formation (C_2bk), *3* – Daubai Formation (C_2db); *4* – granitoids of the Kunush Suite; *5* – gold-bearing ore types: *a* – gold-sulfide, *b* – gold-low-sulfide-quartz; *6* – faults (numbers in the circles): 1 – northwest-trending (Daubai), 2 – north-east and latitudinal strikes (Yuzhny), 3 – submeridional strike (individual cracks and post-ore veins); *7* – direction of structural deformations

твёртый структурный этап) и сопровождаются кварц-карбонатными прожилками (см. рис. 11, *f*).

Заключение. Результаты геолого-структурных исследований позволили выделить и охарактеризовать четыре этапа формирования и активизации тектонической структуры Даубай-Ашалинского рудного поля, обусловленные изменением ориентировок осей главных нормальных напряжений. Локализация раннего (золото-сульфидного) оруденения месторождения Южные Ашалы, рас-

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

положеного в зоне влияния субширотного Южного разлома (сдвиговой зоны), не противоречит метаморфогенному способу образования. Руды золото-малосульфидно-кварцевого типа образованы в посторогенный (~284–276 млн лет) гидротермальный этап, характеризующийся широким диапазоном физико-химических параметров. Непосредственный источник флюидов дискуссионен.

Изотопный состав серы пирита-I отвечает осадочному источнику ($\delta^{34}S$ = -7 ‰), а для более поздних пирита-II и арсенопирита-I определены значения $\delta^{34}S$ = 1,6–4,3 ‰, соответствующие глубинному источнику. U-Pb методом (LA-ICP-MS) определён возраст цирконов из альбитофир-сиенит-порфирового и гранодиорит-порфирового массивов, который составляет 309,1 ± 2,1 и 305,8 ± 2,2 млн лет соответственно, а возраст образования серицита из руд позднего золото-малосульфидно-кварцевого типа оруденения – 279,8 ± 4,3 и 279,6 ± 1,9 млн лет (Ar/Ar метод).

Сопоставимое по ряду признаков с типичными месторождениями «орогенного» типа месторождение Южные Ашалы имеет и некоторую специфику (перенос и переотложение рудообразующих компонентов разнообразными типами флюидов при формировании рудных залежей, значительный временной отрыв гидротермального оруденения от проявлений магматизма и др.), что позволяет относить его к метаморфогенно-гидротермальному генетическому классу.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400237-8) и ИЗК СО РАН.

Список литературы

1. *Ананьев Ю. С.* Золото-концентрирующие системы южного складчатого обрамления Западно-Сибирской плиты (на примере Западной Калбы): дисс. доктора геол.-минер. наук. – Томск : ТПУ, 2017. – 509 с.
2. *Арифулов Ч. Х.* К вопросу об условиях образования крупнообъемных черносланцевых золоторудных месторождений // Руды и металлы. – 2014. – № 2. – С. 5–19.
3. *Барышев А. Н.* Тектоника и металлогения: системный геодинамический и формационный анализ. – М. : Новый хронограф, 2013. – 112 с.
4. *Беспаев Х. А., Любецкий В. Н., Любецкая Л. Д., Мукаева А. Е.* Особенности металлогении Западно-Калбинского золоторудного пояса // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2013. – № 5 (401). – С. 13–20.
5. *Борисенко А. С.* Анализ солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. – М. : Недра, 1982. – С. 37–47.
6. *Бортников Н. С.* Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах // Геология рудных месторождений. – 2006. – Т. 48 (1). – С. 3–28.
7. *Ваулин О. В.* Восточно-Казахстанская область / Золото. Справочник. – Бишкек : РОКИЗОЛ, 2016. – С. 285–287.
8. *Геологическая* карта СССР. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Объяснительная записка. Лист М-(44), 45 – Усть-Каменогорск. – Л. : ВСЕГЕИ, 1980.
9. *Гзовский М. В.* Основы тектонофизики. – М. : Наука, 1975. – 536 с.
10. *Гладков А. С., Семинский К. Ж.* Нетрадиционный анализ поясов трещиноватости при картировании субгоризонтальных разломных зон (на примере окрестностей г. Иркутска) // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 2. – С. 213–220.
11. *Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Сердюков А. Н., Наумов Е. А., Боровиков А. А., Рагозин А. Л., Гладков А. С.* Минералого-геохимические особенности и золотоносность пирита и арсенопирита золоторудного месторождения Южные Ашалы (Восточный Казахстан) // Руды и металлы. – 2024. – № 4. – С. 5–36.
12. *Данилович В. Н.* Метод поясов в исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. – Иркутск, 1961. – 48 с.
13. *Дьячков Б. А., Айтбаева С. С., Амралинова Б. Б., Ойцева Т. А.* Особенности вещественного состава и рудоносности плагиогранитов кунушско-

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

го комплекса (Восточный Казахстан) // Вестник ВКГТУ. – 2017. – № 3. – С. 33–40.

14. *Дьячков Б. А., Кузьмина О. Н., Зимановская Н. А. и др.* Типы золоторудных месторождений Восточного Казахстана. – Усть-Каменогорск : ВКГТУ, 2015. – 204 с.
15. *Ермаков Н. П.* Геохимические системы включений в минералах. – М. : Недра, 1972. – 376 с.
16. *Калинин Ю. А., Гладков А. С., Боровиков А. А., Сухоруков В. П., Хусаинова А. Ш., Серебряков Е. В., Греку Е. Д.* Изучение минералого-геохимических особенностей руд месторождения Аномальное и структурные условия его локализации (Восточный Казахстан) // Окончательный отчет по договору № 69-21в от 27 апреля 2021 г. – Новосибирск, 2021ф. – 91 с.
17. *Калинин Ю. А., Ковалев К. Р., Гладков А. С., Сухоруков В. П., Шелепаев Р. А., Боровиков А. А., Серебряков Е. В., Хусаинова А. Ш.* Геолого-структурный контроль и особенности вещественного состава золотого оруденения Ашалинского и Даубайского рудных полей (Восточный Казахстан) // Окончательный отчет по договору № 83-18в от 11 июня 2018 г. – Новосибирск, 2019ф. – 155 с.
18. *Калинин Ю. А., Наумов Е. А., Борисенко А. С., Ковалев К. Р., Антропова А. И.* Пространственно-временные и генетические соотношения золоторудной и сурьмяной минерализации на золотосульфидных месторождениях Обь-Зайсанской складчатой зоны // Геология рудных месторождений. – 2015. – № 57 (3). – С. 179–194.
19. *Ковалев К. Р., Калинин Ю. А., Наумов Е. А., Колесникова М. К., Королюк В. Н.* Золотоносность арсенопирита золото-сульфидных месторождений Восточного Казахстана // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 2. – С. 225–242.
20. *Ковалев К. Р., Калинин Ю. А., Полынов В. И., Кыдырбеков Е. Л., Борисенко А. С., Наумов Е. А., Нетесов М. И., Клименко А. Г., Колесникова М. К.* Суздальское золото-сульфидное месторождение в черносланцевых толщах (Восточный Казахстан) // Геология рудных месторождений. – 2012. – Т. 54, № 4. – С. 305–328.
21. *Костицын Ю. А.* Rb-Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. Магматизм, метаморфизм и рудообразование // Геохимия. – 1996. – № 12. – С. 1123–1138.
22. *Кутейников Е. С.* Структурное дешифрирование при геологической съемке. Методические рекомендации / Науч. ред. Кумпан А. С., Немцович В. М. – Л. : 1981. – 25 с.
23. *Наливаев В. И.* Рудоконтролирующие структуры и принципы прогнозной оценки Акжал-Боко-Ашалинского золоторудного района (Восточный Казахстан) / Условия формирования и закономерности размещения месторождений золота Казахстана. – Алма-Ата : КазИМС, 1980. – С. 111–118.
24. *Наумов Е. А., Ковалев К. Р., Калинин Ю. А., Борисенко А. С., Сельтманн Р.* Изотопно-геохронологическая характеристика процессов рудоотложения и магматизма на месторождениях золото-сульфидных вкрапленных руд в углеродисто-терригенных толщах юга Западной Сибири и Восточного Казахстана / Материалы V Российской конференции по изотопной геохронологии. – М. : ИГЕМ РАН, 2012. – С. 250–252.
25. *Николаев П. Н.* Методика тектонодинамического анализа. – М. : Недра, 1992. –295 с.
26. *Реддер Э.* Флюидные включения в минералах. В 2 т. / Пер. с англ. Д. Н. Хитарова; Под ред. Л. С. Бородина. – М. : Мир, 1987. – 1192 с.
27. *Семинский К. Ж.* Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. – Новосибирск : ГЕО, 2003. – 243 с.
28. *Сердюков А. Н.* Южные Ашалы – новое крупнообъемное месторождение золота в Восточном Казахстане // Инновационные разработки и совершенствования технологий в горно-металлургическом производстве: Материалы 5 Международной конференции. – Усть-Каменогорск : ВНИИцветмет, 2009. – Т. 1. – С. 67–70.
29. *Сердюков А. Н., Соловьев С. А., Семилет А. В.* Отчет о проведении поисково-оценочных работ на участках Ашалы-Даубайского рудного поля в 2017–2019 гг. – ТОО «GEO.KZ», 2019ф.
30. *Скляров Е. В., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В., Иванов А. В., Летникова Е. Ф., Миронов А. Г., Бараш И. Г., Буланов В. А., Сизых А. И.* Интерпретация геохимических данных. Учебное пособие. – М. : Интермет инжиниринг, 2001. – 288 с.
31. *Травин А. В., Юдин Д. С., Владимиров А. Г., Хромых С. В., Волкова Н. И., Мехоношин А. С., Колотилина Т. Б.* Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. – 2009. – № 11. – С. 1181–1199.

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

32. *Фор Г.* Основы изотопной геологии / Пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 590 с.

33. *Хромых С. В.* Базитовый и сопряженный гранитоидный магматизм как отражение стадий развития Алтайской аккреционно-коллизионной системы (Восточный Казахстан) // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63, № 3. – С. 330–355.

34. *Хромых С. В., Владимиров А. Г., Изох А. Э., Травин А. В., Прокопьев И. Р., Азимбаев Е., Лобанов С. С.* Петрология и геохимия габброидов и пикритоидов Алтайской коллизионной системы герценид: свидетельства активности Таримского плюма // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54 (10). – С. 1648–1667.

35. *Хромых С. В., Семенова Д. В., Котлер П. Д., Гурова А. В., Мехеев Е. И., Перфилова А. А.* Орогенный вулканизм Восточного Казахстана: состав пород, возраст и геодинамическая эволюция региона // Геотектоника. – 2020. – № 4. – С. 63–83.

36. *Щерба Г. Н., Беспаев Х. А., Дьячков Б. А., Мысник А. М., Ганженко Г. Д., Сапаргалиев Е. М.* Большой Алтай (геология и металлогения). Кн. 2. Металлогения. – Алматы : РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.

37. *Baibatsha A. B., Dyussembaeva K. Sh., Kassenova A.* Microscopic studies of gold deposit Southern Ashaly in Eastern Kazakhstan // Advanced Materials Research. – 2013. – V. 828. – P. 1–10.

38. *Bodnar R. J., Vityk M. O.* Interpretation of microthermometric data for H_2O-NaCl fluid inclusions / De Vivo B., Frezzotti M. L., eds. Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications. – Blacksburg : Virginia Tech, 1994. – P. 117–130.

39. *Delvaux D., Sperner B.* Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program / New Insights into Structural Interpretation and Modelling (D. Nieuwland ed.). – Geological Society, London, Special Publications. – 2003. – V. 212. – P. 75–100.

40. *Goldfarb R. J., Groves D. I.* Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time // Lithos. – 2015. – V. 233. – P. 2–26.

41. *Griffin W. L., Powell W. J., Pearson N. J., O'Reilly S. Y.* GLITTER: Data reduction software for laser ablation ICP-MS / Sylvester, P. (ed.), Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues: Mineralogical Association of Canada, Short Course Series. – 2008. – V. 40. – P. 307–311.

42. *Groves D. I., Goldfarb R. J., Gebre-Mariam M., Hagemann S. G., Robert F.* Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types // Ore Geol. Rev. – 1998. – V. 13, № 1. – P. 7–27.

43. *Jackson S. E., Pearson N. J., Griffin W. L., Belousova E. A.* The application of laser ablation-inductively coupled plasma mass-spectrometry to in-situ U-Pb zircon geochronology // Chemical Geology. – 2004. – V. 211. – P. 47–69.

44. *Kalinin Yu. A., Kovalev K. R., Serdyukov A. N., Gladkov A. S., Sukhorukov V. P., Naumov E. A., Travin A. V., Semenova D. V., Serebryakov E. V., Greku E. D.* Age constraints and metallogenic prediction of gold deposits in the Akzhal-Boko-Ashalin ore zone (Altai accretion-collision system) // Geodynamics & Tectonophysics. – 2021. – V. 12 (2). – P. 392–408.

45. *Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Naumov E. A., Pirajno F., Borisenko A. S.* A mineralogical study of the Suzdal sediment-hosted gold deposit, Kazakhstan: implications for ore genesis // Ore Geology Reviews. – 2009. – V. 35, № 2. – P. 186–206.

46. *Mao J., Konopelko D., Seltmann R., Lehmann B., Chen W., Wang Y., Eklund O., Usubaliev T.* Postcollisional Age of the Kumtor Gold Deposit and Timing of Hercynian Events in the Tien Shan, Kyrgyzstan // Economic Geology. – 2004. – V. 99, № 8. – P. 1771–1780.

47. *Naumov E., Borisenko A., Kovalev K., Kalinin Yu., Fedoseev G., Travin A.* Age of gold mineralization in Western Siberia and Eastern Kazakhstan / Society of Economic Geologists 2010 Conference. – Keystone, 2010. – P. A–41.

48. *Phillips G. N., Powell R.* Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model // Journal of Metamorphic Geology. – 2010. – № 28. – P. 689–718.

49. *Rye R. O., Ohmoto H.* Sulfur and carbon isotopes and ore genesis: a review // Economic Geology. – 1974. – V. 69, № 6. – P. 826–842.

50. *Sláma J., Košler J., Condon D. J., Crowley J. L., Gerdes A., Hanchar J. M., Whitehouse M. J.* Plešovice zircon – a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis // Chemical Geology. – 2008. – № 249 (1–2). – P. 1–35.

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

51. *Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Trushin S. I.* The large Bakyrchik orogenic gold deposit, Eastern Kazakhstan: Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics // Ore Geology Reviews. – 2020. – V. 127. – 103863.
52. *Vielreicher N. M., Ridley J. R., Groves D. I.* Marymia: an Archean, amphibolite facies-hosted, orogenic lode-gold deposit overprinted by Palaeoproterozoic orogenesis and base metal mineralisation, Western Australia // Mineralium Deposita. – 2002. – V. 37. – P. 737–764.
53. *Vladimirov A. G., Kruk N. N., Khromykh S. V., Polyansky O. P., Chervov V. V., Vladimirov V. G., Travin A. V., Babin G. A., Kuibida M. L., Khomyakov V. D.* Permian magmatism and lithospheric deformation in the Altai caused by crustal and mantle thermal processes // Russian Geology and Geophysics. – 2008. – V. 49. – P. 468–479.
54. *Zoheir B. A.* Characteristics and genesis of shear zone-related gold mineralization in Egypt: a case study from the Um El Tuyor mine, south Eastern Desert // Ore Geology Reviews. – 2008. – V. 34, № 3. – P. 445–470.
55. *Zoheir B. A.* Lode-gold mineralization in convergent wrench structures: Examples from South Eastern Desert, Egypt // Journal of Geochemical Exploration. – 2012. – V. 114. – P. 82–97.

References

1. Anan'ev Yu. S. Zoloto-koncentriruyushchie sistemy yuzhnogo skladchatogo obramleniya Zapadno-Sibirskoi plity (na primere Zapadnoi Kalby): diss. doktora geol.-miner. nauk [Gold-concentrating systems of the southern folded frame of the West Siberian Plate (on the example of Western Kalba): doctoral diss. of geol.-miner. sciences], Tomsk, TPU Publ., 2017, 509 p.
2. Arifulov Ch. Kh. K voprosu ob usloviyakh obrazovaniya krupnoob"emnykh chernoslantsevykh zolotorudnykh mestorozhdenii [On the formation conditions of large-volume black shale gold deposits], *Rudy i metally* [*Ores and Metals*], 2014, No 2, pp. 5–19. (In Russ.)
3. Baryshev A. N. Tektonika i metallogeniya: sistemnyi geodinamicheskii i formatsionnyi analiz [Tectonics and metallogeny: systems geodynamic and formation analysis], Moscow, Novyy khronograf Publ., 2013, 112 p.
4. Bespayev Kh. A., Lyubetskii V. N., Lyubetskaya L. D., Mukaeva A. E. Osobennosti metallogenii Zapadno-Kalbinskogo zolotorudnogo poyasa [Features of the metallogeny of the West Kalbinsky gold ore belt], *Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk* [*Bulletin of the Kazakhstan Academy of Sciences, Series of geology and technical sciences*], 2013, No 5 (401), pp. 13–20. (In Russ.)
5. Borisenko A. S. Analiz solevogo sostava rastvorov gazovo-zhidkikh vkliuchenii v mineralakh metodom kriometrii [Analysis of the salt composition of solutions of gas-liquid inclusions in minerals by the cryometry method], *Ispol'zovanie metodov termobarogeokhimii pri poiskakh i izuchenii rudnykh mestorozhdenii* [*Use of thermobarogeochemistry methods in prospecting and studying of ore deposits*], Moscow, Nedra Publ., 1982, pp. 37–47.
6. Bortnikov N. S. Geokhimiya i proiskhozhdenie rudoobrazuyushchikh flyuidov v gidrotermalno-magmaticheskikh sistemakh v tektonicheski aktivnykh zonakh [Geochemistry and origin of ore-forming fluids in hydrothermal-magmatic systems in tectonically active zones], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [*Geology of Ore Deposits*], 2006, V. 48 (1), pp. 3–28. (In Russ.)
7. Vaulin O. V. Vostochno-Kazakhstanskaya oblast [East Kazakhstan oblast], Zoloto. Spravochnik [Gold. Handbook], Bishkek, ROKIZOL Publ., 2016, pp. 285–287.
8. Geologicheskaya karta SSSR, masshtab 1 : 1 000 000 (novaya seriya). Ob''yasnitel'naya zapiska. List M-(44), 45 – Ust-Kamenogorsk. [Geological map of the USSR. Scale 1 : 1 000 000 (new series). Explanatory note. Sheet M-(44), 45 – Ust-Kamenogorsk], Leningrad, VSEGEI Publ., 1980.
9. Gzovskii M. V. Osnovy tektonofiziki [Fundamentals of tectonophysics], Moscow, Nauka Publ., 1975, 536 p.
10. Gladkov A. S., Seminskii K. Zh. Netraditsionnyi analiz poyasov treshchinovatosti pri kartirovanii subgorizontalnykh razlomnykh zon (na primere okrestnostei g. Irkutska) [Unconventional analysis of fracture belts when mapping subhorizontal fault

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

zones (using the example of the environs of Irkutsk)], *Geologiya i geofizika* [*Geology and Geophysics*], 1999, V. 40, No 2, pp. 213–220. (In Russ.)

11. Greku E. D., Kalinin Yu. A., Serdyukov A. N., Naumov E. A., Borovikov A. A., Ragozin A. L., Gladkov A. S. Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti i zolotonosnost' pirita i arsenopirita zolotorudnogo mestorozhdeniya Yuzhnye Ashaly (Vostochnyi Kazakhstan) [Mineralogical and geochemical peculiarities and gold content of pyrite and arsenopyrite of the Southern Ashaly gold deposit (East Kazakhstan)], *Rudy i metally* [*Ores and Metals*], 2024, No 4, pp. 5–36. (In Russ.)
12. Danilovich V. N. Metod poyasov v issledovanii treshchinovatosti, svyazannoi s razryvnymi smeshcheniyami [Method of belts in the study of fracturing associated with rupture displacements], Irkutsk, 1961, 48 p.
13. D'yachkov B. A., Aitbaeva S. S., Amralinova B. B., Oitseva T. A. Osobennosti veshchestvennogo sostava i rudonosnosti plagiogranitov kunushskogo kompleksa (Vostochnyi Kazakhstan) [Features of the material composition and ore content of plagiogranites of the Kunush complex (Eastern Kazakhstan)], *Vestnik VKGTU* [*Bulletin of EKSTU*], 2017, No 3, pp. 33–40. (In Russ.)
14. D'achkov B. A., Kuz'mina O. N., Zimanovskaya N. A. et al. Tipy zolotorudnykh mestorozhdenii Vostochnogo Kazakhstana [Types of gold ore deposits in Eastern Kazakhstan], Ust-Kamenogorsk, East Kazakhstan State Technical University Publ., 2015, 204 p.
15. Ermakov N. P. Geokhimicheskie sistemy vkliuchenii v mineralakh [Geochemical systems of inclusions in minerals], Moscow, Nedra Publ., 1972, 376 p.
16. Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Borovikov A. A., Sukhorukov V. P., Khusainova A. Sh., Serebryakov E. V., Greku E. D. Izuchenie mineralogo-geokhimicheskikh osobennostei rud mestorozhdeniya Anomal'noe i strukturnye usloviya ego lokalizatsii (Vostochnyi Kazakhstan) [Study of the mineralogical and geochemical features of the ores of the Anomalnoye deposit and the structural conditions of its localization (Eastern Kazakhstan)], Okonchatel'nyi otchet po dogovoru № 69-21v ot 27 aprelya 2021 g. [Final report under contract No 69-21v dated April 27, 2021], Novosibirsk, 2021f, 91 p.
17. Kalinin Yu. A., Kovalev K. R., Gladkov A. S., Sukhorukov V. P., Shelepayev R. A., Borovikov A. A., Serebryakov E. V., Khusainova A. Sh. Geologo-strukturnyi kontrol' i osobennosti veshchestvennogo sostava zolotogo orudeneniya Ashalinskogo i Daubayskogo rudnykh polei (Vostochnyi Kazakhstan) [Geological and structural control and features of the material composition of gold mineralization of the Ashalinsky and Daubaisky ore fields (Eastern Kazakhstan)], Okonchatel'nyi otchet po dogovoru No 83-18v ot 11 iyunya 2018 g. [Final report on contract No 83-18v dated June 11, 2018], Novosibirsk, 2019f, 155 p.
18. Kalinin Yu. A., Naumov E. A., Borisenko A. S., Kovalev K. R., Antropova A. I. Prostranstvenno-vremennye i geneticheskie sootnosheniya zolotorudnoi i sur'myanoi mineralizatsii na zolotosul'fidnykh mestorozhdeniyakh Ob'-Zaisanskoi skladchatoi zony [Spatio-temporal and genetic relationships of gold ore and antimony mineralization at gold-sulfide deposits of the Ob-Zaisan folded zone], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [*Geology of Ore Deposits*], 2015, No 57 (3). (In Russ.)
19. Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Naumov E. A., Kolesnikova M. K., Korolyuk V. N. Zolotonosnost' arsenopirita zoloto-sul'fidnykh mestorozhdenii Vostochnogo Kazakhstana [Gold content of arsenopyrite at gold-sulfide deposits of Eastern Kazakhstan], *Geologiya i geofizika* [*Geology and Geophysics*], 2011, V. 52, No 2, pp. 225–242. (In Russ.)
20. Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Polynov V. I., Kydyrbekov E. L., Borisenko A. S., Naumov E. A., Netesov M. I., Klimenko A. G., Kolesnikova M. K. Suzdal'skoye zoloto-sul'fidnoe mestorozhdenie v chernoslantsevykh tolshchakh (Vostochnyi Kazakhstan) [Suzdal gold-sulfide deposit in black shale strata (Eastern Kazakhstan)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [*Geology of Ore Deposits*], 2012, V. 54, No 4, pp. 305–328. (In Russ.)
21. Kostitsyn Yu. A. Rb-Sr izotopnye issledovaniya mestorozhdeniya Muruntau. Magmatizm, metamorfizm i rudoobrazovanie [Rb-Sr isotope studies of the Muruntau deposit. Magmatism, metamorphism and ore formation], *Geokhimiya* [*Geochemistry*], 1996, No 12, pp. 1123–1138. (In Russ.)
22. Kuteinikov E. S. Strukturnoe deshifrirovanie pri geologicheskoi s''emke. Metodicheskie rekomendatsii [Structural interpretation during geological survey. Methodological recommendations], Leningrad, 1981, 25 p.

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

23. Nalivaev V. I. Rudokontroliruyushchie struktury i printsipy prognoznoi otsenki Akzhal-Boko-Ashalinskogo zolotorudnogo rayona (Vostochnyi Kazakhstan) [Ore-controlling structures and principles of predictive assessment of the Akzhal-Boko-Ashalinsky gold ore region (Eastern Kazakhstan)], Usloviya formirovaniya i zakonomernosti razmeshcheniya mestorozhdenii zolota Kazakhstana [Conditions of formation and patterns of location of gold deposits in Kazakhstan], Alma-Ata, KazIMS Publ., 1980, pp. 111–118.
24. Naumov E. A., Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Borisenko A. S., Seltmann R. Izotopno-geokhronologicheskaya kharakteristika protsessov rudootlozheniya i magmatizma na mestorozhdeniyakh zoloto-sul'fidnykh vkraplennykh rud v uglerodisto-terrigennykh tolshchakh yuga Zapadnoi Sibiri i Vostochnogo Kazakhstana [Isotope-geochronological characteristics of ore deposition and magmatism processes at deposits of gold-sulfide disseminated ores in carbonaceous-terrigenous strata of the south of Western Siberia and Eastern Kazakhstan], *Materialy V Rossiiskoi konferentsii po izotopnoi geokhronologii.* [*Proceedings of the V Russian Conference on Isotope Geochronology.*], Moscow, IGEM RAS., 2012, pp. 250–252.
25. Nikolaev P. N. Metodika tektonodinamicheskogo analiza [Methodology of tectonodynamic analysis], Moscow, Nedra Publ., 1992, 295 p.
26. Roedder E. W. Flyuidnye vklyucheniya v mineralakh [Fluid inclusions in minerals], Moscow, Mir Publ., 1987, 1192 p.
27. Seminskii K. Zh. Vnutrennyaya struktura kontinental'nykh razlomnykh zon. Tektonofizicheskii aspekt [Internal structure of continental fault zones. Tectonophysical aspect], Novosibirsk, GEO Publ. 2003, 243 p.
28. Serdyukov A. N. Yuzhnye Ashaly – novoye krupnoob"emnoe mestorozhdenie zolota v Vostochnom Kazakhstane [Southern Ashali – a new large-volume gold deposit in Eastern Kazakhstan], Innovatsionnye razrabotki i sovershenstvovaniya tekhnologii v gorno-metallurgicheskom proizvodstve: Materialy 5 Mezhdunarodnoi konferentsii [Innovative developments and improvements in technologies in mining and metallurgical production: Proceedings of the 5th International Conference], Ust-Kamenogorsk, VNIITsvetmet, 2009, V. 1, pp. 67–70.
29. Serdyukov A. N., Solov'ev S. A., Semilet A. V. Otchet o provedenii poiskovo-otsenochnykh rabot na uchastkakh Ashaly-Daubayskogo rudnogo polya v 2017–2019 gg. [Report on prospecting and assessment work in areas of the Ashali-Daubay ore field in 2017–2019], GEO.KZ LLP, 2019.
30. Sklyarov E. V., Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Ivanov A. V., Lyetnikova E. F., Mironov A. G., Barash I. G., Bulanov V. A., Sizykh A. I. Interpretatsiya geokhimicheskikh dannykh [Interpretation of geochemical data], Moscow, Intermet Engineering Publ., 2001, 288 p.
31. Travin A. V., Yudin D. S., Vladimirov A. G., Khromykh S. V., Volkova N. I., Mekhonoshin A. S., Kolotilina T. B. Termokhronologiya Chernorudskoi granulitovoi zony (Olkhonskii region, Zapadnoe Pribaykal'e) [Thermochronology of the Chernorud granulite zone (Olkhon region, Western Baikal region)], *Geokhimia* [*Geochemistry*], 2009, No 11, pp. 1181–1199. (In Russ.)
32. Faure G. Osnovy izotopnoi geologii [Fundamentals of isotope geology], Moscow, Mir Publ., 1989, 590 p.
33. Khromykh S. V. Bazitovyi i sopryazhennyi granitoidnyi magmatizm kak otrazhenie stadii razvitiya Altayskoy akkretsionno-kollizionnoi sistemy (Vostochnyi Kazakhstan) [Basic and conjugate granitoid magmatism as a reflection of the stages of development of the Altay accretion-collision system (Eastern Kazakhstan)], *Geologiya i geofizika* [*Geology and Geophysics*], 2022, V. 63, No 3, pp. 330–355. (In Russ.)
34. Khromykh S. V., Vladimirov A. G., Izokh A. E., Travin A. V., Prokop'ev I. R., Azimbaev E., Lobanov S. S. Petrologiya i geokhimiya gabbroidov i pikritoidov Altayskoi kollizionnoi sistemy gertsenid: svidetelstva aktivnosti Tarimskogo plyuma [Petrology and geochemistry of gabbroids and picritoids of the Altai collisional system of the Herzenides: evidence of the Tarim plume activity], *Geologiya i geofizika* [*Geology and Geophysics*], 2013, V. 54 (10), pp. 1648–1667. (In Russ.)
35. Khromykh S. V., Semenova D. V., Kotler P. D., Gurova A. V., Mekheev E. I., Perfilova A. A. Orogennyi vulkanizm Vostochnogo Kazakhstana: sostav porod, vozrast i geodinamicheskaya evolyutsiya regiona [Orogenic volcanism of Eastern Kazakhstan: rock composition, age and geodynamic

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

evolution of the region], *Geotektonika* [*Geotectonics*], 2020, No 4, pp. 63–83. (In Russ.)

36. Shcherba G. N., Bespaev Kh. A., D'yachkov B. A., Mysnik A. M., Ganzhenko G. D., Sapargaliev E. M. Bol'shoi Altai (geologiya i metallogeniya). Kniga 2. Metallogeniya [Great Altai (geology and metallogeny). Book 2: Metallogeny], Almaty, Quality Assurance in Education Committee of the Republic of Kazakhstan Publ., 2000, 400 p.
37. Baibatsha A. B., Dyussembaeva K. Sh., Kassenova A. Microscopic studies of gold deposit Southern Ashaly in Eastern Kazakhstan, *Advanced Materials Research*, 2013, V. 828, pp. 1–10.
38. Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H_2O-NaCl fluid inclusions, Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications, Blacksburg, Virginia Tech Publ., 1994, pp. 117–130.
39. Delvaux D., Sperner B. Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program, New Insights into Structural Interpretation and Modelling (D. Nieuwland ed.), Geological Society, London, Special Publ., 2003, V. 212, pp. 75–100.
40. Goldfarb R. J., Groves D. I. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time, *Lithos*, 2015, V. 233. pp. 2–26.
41. Griffin W. L., Powell W. J., Pearson N. J., O'Reilly S. Y. GLITTER: Data reduction software for laser ablation ICP-MS / Sylvester, P. (ed.), Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues: Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, 2008, V. 40, pp. 307–311.
42. Groves D. I., Goldfarb R. J., Gebre-Mariam M., Hagemann S. G., Robert F. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types, *Ore Geology Reviews*, 1998, V. 13, No 1, pp. 7–27.
43. Jackson S. E., Pearson N. J., Griffin W. L., Belousova E. A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma mass-spectrometry to in-situ U-Pb zircon geochronology, *Chemical Geology*, 2004, V. 211, pp. 47–69.
44. Kalinin Yu. A., Kovalev K. R., Serdyukov A. N., Gladkov A. S., Sukhorukov V. P., Naumov E. A., Travin A. V., Semenova D. V., Serebryakov E. V., Greku E. D. Age constraints and metallogenic prediction of gold deposits in the Akzhal-Boko-Ashalin ore zone (Altai accretion-collision system), *Geodynamics & Tectonophysics*, 2021, V. 12 (2), pp. 392–408.
45. Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Naumov E. A., Pirajno F., Borisenko A. S. A mineralogical study of the Suzdal sediment-hosted gold deposit, Kazakhstan: implications for ore genesis, *Ore Geol. Reviews*, 2009, V. 35, No 2, pp. 186–206.
46. Mao J., Konopelko D., Seltmann R., Lehmann B., Chen W., Wang Y., Eklund O., Usubaliev T. Postcollisional Age of the Kumtor Gold Deposit and Timing of Hercynian Events in the Tien Shan, Kyrgyzstan, *Economic Geology*, 2004, V. 99, No 8, pp. 1771–1780.
47. Naumov E., Borisenko A., Kovalev K., Kalinin Yu., Fedoseev G., Travin A. Age of gold mineralization in Western Siberia and Eastern Kazakhstan, Society of Economic Geologists 2010 Conference, Keystone Resort, Colorado, 2010.
48. Phillips G. N., Powell R. Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model, *Journal of Metamorphic Geology*, 2010, No 28, pp. 689–718.
49. Rye R. O., Ohmoto H. Sulfur and carbon isotopes and ore genesis: a review, *Economic Geology*, 1974, V. 69, No 6, pp. 826–842.
50. Sláma J., Košler J., Condon D. J., Crowley J. L., Gerdes A., Hanchar J. M., Whitehouse M. J. Plešovice zircon – a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis, *Chemical Geology*, 2008, No 249 (1–2), pp. 1–35.
51. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Trushin S. I. The large Bakyrchik orogenic gold deposit, Eastern Kazakhstan: Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics, Ore Geol. Reviews., 2020, V. 127.
52. Vielreicher N. M., Ridley J. R., Groves D. I. Marymia: an Archean, amphibolite facies-hosted, orogenic lode-gold deposit overprinted by Palaeoproterozoic orogenesis and base metal mineralisation, Western Australia, *Mineralium Deposita*, 2002, V. 37, pp. 737–764.
53. Vladimirov A. G., Kruk N. N., Khromykh S. V., Polyansky O. P., Chervov V. V., Vladimirov V. G.,

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025

Руды и металлы № 1/2025, с. 57–82 / Ores and metals № 1/2025, p. 57–82
DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004

Travin A. V., Babin G. A., Kuibida M. L., Khomyakov V. D. Permian magmatism and lithospheric deformation in the Altai caused by crustal and mantle thermal processes, *Russian Geology and Geophysics*, 2008, V. 49, pp. 468–479.

54. Zoheir B. A. Characteristics and genesis of shear zone-related gold mineralization in Egypt: a case study from the Um El Tuyor mine, south Eastern Desert, *Ore Geol. Reviews.*, 2008, V. 34, No 3, pp. 445–470.

55. Zoheir B. A. Lode-gold mineralization in convergent wrench structures: Examples from South Eastern Desert, Egypt, *Journal of Geochemical Exploration*, 2012, V. 114, pp. 82–97.

Греку Евгений Дмитриевич (grekued@igm.nsc.ru)
младший научный сотрудник [1]

Калинин Юрий Александрович
доктор геолого-минералогических наук, доцент, главный научный сотрудник [1]

Гладков Андрей Станиславович
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник [2]

Наумов Евгений Анатольевич
кандидат геолого-минералогических наук, первый заместитель генерального директора [3]

Сердюков Александр Николаевич
ведущий геолог [4]

Боровиков Андрей Александрович
кандидат геолого-минералогических наук

[1] Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия;

[2] Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия;

[3] ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», г. Москва, Россия;

[4] ТОО «К-ПЛЕЙСЕР», г. Семей, Республика Казахстан

© Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А., 2025
© Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A., 2025