ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 4 / 2026

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

УЧРЕДИТЕЛИ

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации

Российское геологическое общество

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:
А.И.Иванов

Е.А.Наумов (зам. главного редактора),
Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),
Т.М.Папеско (зам. главного редактора),

Е.М.Аксенов, А.Н.Барышев, А.И.Варламов,
С.С.Вартанян, В.Д.Конкин, А.А.Кременецкий,
С.Г.Кряжев, М.И.Логвинов, Г.А.Машковцев,
И.Ф.Мигачёв, А.И.Черных, А.Ю.Розанов,
Г.В.Седельникова, И.Г.Спиридонов,
В.И.Старостин, Е.Г.Фаррахов, Г.К.Хачатрян

Содержание

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Иванов А. И., Трушин С. И., Хохлов С. Г., Арсентьева И. В..
Этапность формирования золотого оруденения Албазинского месторождения и роль линейно-складчатых структур в рудолокализации 3

Серавина Т. В.
Месторождения типа VMS Алтае-Саянской металлогенической провинции (Рудноалтайская, Салаирская и Улугойская зоны), Иберийского пиритового пояса (Испания, Португалия), а также района Батерст (Канада): сравнительная характеристика 43

Зинчук Н. Н.
Особенности некоторых геолого-генетических типов алмазоносных магматитов 75

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Молчанов А. В., Беленко Е. В., Леденгский Р. А., Прохоров Е. А., Соловьев О. Л., Теш Д. Д., Хорохорина Е. И.
Перспективы рудоносности разновозрастных региональных тектонических структур восточной части Чаро-Олекминского блока Алданского щита 95

ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

Канимбуе Л. С., Тарасенко А. А., Ватрушкина Е. В., Тельнов А. Е..
Типоморфизм и геохимические особенности золото-кварцевой минерализации рудного поля Упрямое, Западная Чукотка 113

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

85-летие Леонида Павловича Антоновича 131

Памяти Данилы Алексеевича Куликова 134

Памяти Виктора Васильевича Авдонина 136

Редакция: *Т. М. Папеско, А. П. Фунтикова*
Компьютерная верстка: *В. Р. Марченко*

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования 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»
Свидетельство о регистрации в средствах массовой информации
№ 01217 от 03 июня 1992 г.
Подписано в печать 20.10.2026
Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1
Телефон: (495) 315-43-65, доб. 272. E-mail: ogeo@tsnigri.ru
Сайт: https://www.tsnigri.ru/ru/informatsionnye-resursy/izdaniya/zhurnal-otechestvennaya-geologiya.html
Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»

DOI:10.47765/0869-7175-2026-10011

УДК 553.411:553.07:551.243
© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026

Этапность формирования золотого оруденения Албазинского месторождения и роль линейно-складчатых структур в рудолокализации

Аннотация. Новые исследования на рудных зонах Албазинского месторождения и обобщение фактических данных, полученных геологами АО «Полиметалл» в процессе геологоразведочных работ, позволили уточнить структурные особенности локализации золотого оруденения и этапность геологических и рудоносных процессов. Было установлено, что золоторудные объекты Албазинского месторождения являются полигенными и полихронными. Золотонакопление связано с тремя этапами: а) осадконакопление с обогащением углеродистых пород золотом; б) линейной складчатостью, в процессе которой сформировались рудоконтролирующие зоны складчато-разрывных деформаций с проявлением процесса золотоносной бурошпатизации; в) формирование магма- и рудоконтролирующего Албазинского глубинного разлома. Выявлен один из важнейших рудолокализующих факторов – рудные зоны локализуются в замковых частях линейных складок, нарушенных синскладчатыми зонами складчато-разрывных деформаций с золотоносной бурошпатизацией, при их пересечении секущей рудоносной структурой – зоной Албазинского разлома.

Ключевые слова: Ульбанский террейн, Албазинское месторождение, рудные зоны (участки), линейно-складчатые структуры, Албазинский глубинный разлом, замковые части антиклиналей, гидротермально-метасоматические процессы, минерализованные зоны, рудные зоны с промышленным оруденением.

ИВАНОВ АНАТОЛИЙ ИННОКЕНТЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, научный руководитель, и.о. генерального директора[1], tsnigri@tsnigri.ru

ТРУШИН СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ, заместитель генерального директора по минеральным ресурсам[2], Trushin@polymetal.ru

ХОХЛОВ СЕРГЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ, главный геолог[3], HohlovSG@polymetal.ru

АРСЕНТЬЕВА ИРИНА ВИКТОРОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник[1], arsenteva@tsnigri.ru

[1] Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

[2] АО «Полиметалл», г. Санкт-Петербург

[3] ООО «Ресурсы Албазино», г. Амурск

Stages of the gold mineralization at the Albazino deposit and the role of linear fold structures in the ore localization

A. I. IVANOV[1], S. I. TRUSHIN[2], S. G. KHOKHLOV[3], I. V. ARSENT’EVA[1]

[1] Federal State Budgetary Institution “Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals” (FSBI “TSNIGRI”), Moscow

[2] Polymetal JSC, St. Petersburg

[3] Resursy Albazino LLC, Amursk

Abstract. New studies of ore zones at the Albazino gold deposit, combined with a synthesis of exploration data obtained by geologists of Polymetal JSC, have made it possible to clarify the structural controls of the gold mineralization and the succession of stages of the geological and ore-forming processes. The gold objects of the

Albazino deposits were determined to be polygenous and polychronous. The gold accumulation was associated with three stages: a) sedimentation characterized by gold enrichment of the carbonaceous rocks; b) linear folding accompanied by formation of ore-controlling zones of fold-and-fault deformations, with manifestation of the gold-bearing “brownsparization” (ankeritization) process; and c) formation of the magma-and-mineral controlling Albazino deep-seated fault. A key ore-localization factor was identified: the ore zones are localized in the hinge sections of the linear folds, disrupted by syn-folding zones of the fold-and-fault deformations with their associated gold-bearing brownsparization, where they are intersected by the cross-cutting ore-bearing structure, the Albazino fault.

Key words: Ulban terrane, Albazino deposit, ore zones (sites), linear fold structures, Albazino deep-seated fault, anticlines hinge sections, hydrothermal metasomatic processes, mineralized zones, ore zones with economic-grade mineralization.

Введение. Албазинское месторождение, расположенное в пределах административного района им. П. Осипенко Хабаровского края, является одним из крупнейших золоторудных объектов Хабаровского края и эксплуатируется более десяти лет. За этот период добыто более 90 т золота преимущественно карьерным способом на рудных зонах (участках) Анфиса, Ольга, Фарида, Екатерина. На рудной зоне Ольга продолжается добыча подземным способом.

В геологическом строении Албазинского месторождения принимают участие осадочные терригенные и вулканогенные (метабазальты) породы юрского возраста, смятые в раннемеловое время в линейные складки с северо-восточным простиранием осей и интенсивно деформированные продольными скалдчатыми разломами. В позднемеловое время линейно-складчатые комплексы подверглись новой деформации в зоне секущего субмеридионального Албазинского магмоконтролирующего глубинного разлома, представленного на уровне земной поверхности многочисленными разрывными нарушениями. Деформационные процессы в зоне глубинного разлома сопровождались внедрением интрузий эвурского комплекса (рис. 1), представленного в пределах рудных зон (участков) дайками и сложными телами дацитов, микродиоритов, гранит-порфиров.

При проведении поисковых, оценочных, разведочных и эксплуатационных работ получен обширный геологический материал по золотому оруденению [5–8], обобщение и анализ которого, прежде всего, с точки зрения закономерностей его формирования и локализации продолжается. Кроме того, в связи с тем, что на карьерах на рудных зонах Анфиса, Ольга и Фарида завершены горные работы, у геологов в «полноценном» варианте появились новые возможности по проведению специализированных исследований и сбору дополнительных материалов по золотому рудообразованию, в том числе по структурным вопросам.

Фактический материал. Специализированные полевые исследования в карьерах Анфиса, Ольга и Фарида были проведены в 2025 г. геологами АО «Полиметалл» во главе с заместителем генерального директора по минеральным ресурсам С. И. Трушиным и главным геологом ООО «Ресурсы Албазино» С. Г. Хохловым, совместно с научным руководителем ФГБУ «ЦНИГРИ» А. И. Ивановым.

Сотрудниками ФГБУ «ЦНИГРИ» (А. И. Иванов, И. В. Арсентьева, С. Г. Кряжев, С. С. Двуреченская) также в 2025–2026 гг. в целях уточнения прогнозно-поисковой модели Албазинского месторождения были обработаны материалы полевых исследований и выполнен большой объём камеральных работ: по сбору и анализу фондовых и опубликованных материалов по месторождению и по региону в целом; по изучению и анализу фотодокументации керна скважин, пробуренных на рудных зонах Анфиса, Ольга и Фарида; по проведению аналитических исследований вмещающих пород и руд; по анализу геохимических и геофизических материалов. Дополнительно были обобщены данные по ориентировке различных структурных элементов, полученные в процессе геологоразведочных работ геологами ООО «Ресурсы

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

Албазино», а также материалы по распределению золоторудной минерализации в пределах рудных зон Анфиса и Ольга в плане и разрезах.

Результаты работ. В результате этих работ получен большой фактический материал, позволивший сделать ряд выводов по этапности и особенностям золотого рудообразования на Албазинском месторождении, а также обосновать важную роль дорудных линейно-складчатых структур и связанных с их формированием зон складчато-разрывных деформаций в локализации промышленного оруденения [9]. Кроме этапа осадконакопления, когда были сформированы флишоидные (турбидитовые [10]) углеродистые терригенные отложения, по некоторым данным обогащённые золотом [7], выделены два основных этапа коллизионной эпохи [9] развития геологической структуры региона: этап линейного складкообразования и этап формирования субмеридионального Албазинского глубинного разлома. В последнем этапе выделены три подэтапа: 1) сдвиго-взбросовых деформаций, при которых в складчатом чехле сформировались зоны субмеридиональных и оперяющих разломов, в том числе вмещающих дайки дацитов («дацитовый» подэтап); 2) взбросо-сбросовых деформаций с формированием субмеридиональных зон рассланцевания, наследующих разломы предыдущего этапа, с проявлением золотоносной железо-магнезиальной карбонатизации (далее – бурошпатизации) и внедрением даек микродиоритов («микродиоритовый» подэтап); 3) взбросо-сбросовых деформаций в сингранитный этап с внедрением даек и интрузий сложной формы гранит- и гранодиорит-порфиров, активизацией деформационных структур предыдущих подэтапов, формированием субмеридиональных минерализованных зон дробления и рассланцевания с рудной кварц-сульфидной минерализацией («гранитный» подэтап).

В связи с большим объёмом информации по закономерностям формирования золотого оруденения и ограниченностью объёма публикации в настоящей статье основное внимание будет уделено этапности формирования золотого оруденения и структурным особенностям его локализации.

Линейно-складчатые структуры. В пределах Албазинского месторождения и Албазинского рудного узла в целом юрские (по некоторым данным триасово-юрские [11]) отложения смяты в линейные складки с северо-восточным простиранием осей и субгоризонтальной ориентировкой шарниров. За пределами рудного узла в линейной складчатости совместно с юрскими отложениями участвуют нижнемеловые осадочно-вулканогенные отложения, что свидетельствует о проявлении линейного складкообразования в конце раннего мела. Верхнемеловые существенно вулканогенные образования залегают на юрско-нижнемеловых отложениях со структурным несогласием.

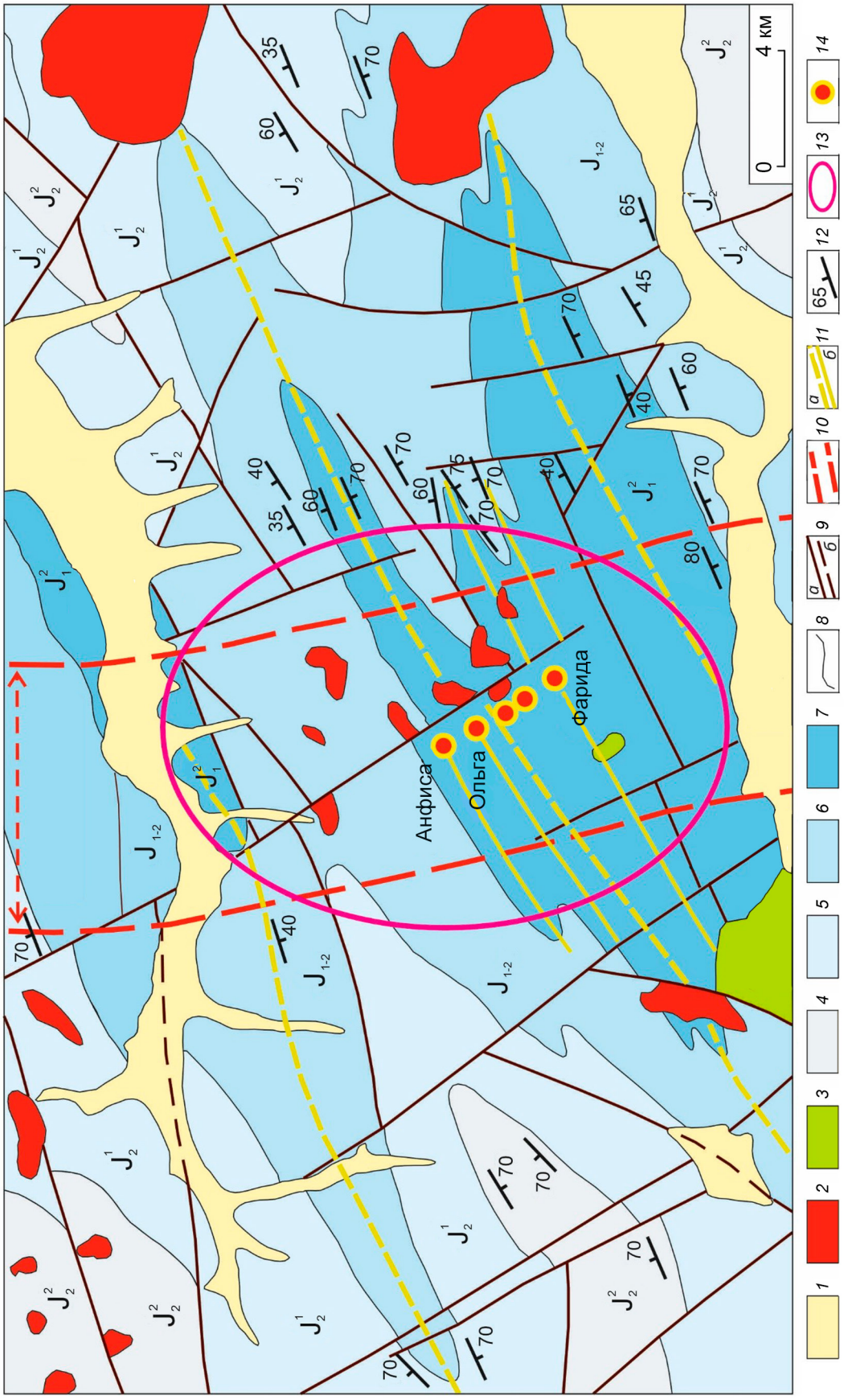
Золоторудные объекты Албазинского месторождения (рудные зоны – участки) установлены в пределах сложно построенной антиклинали первого порядка с размахом крыльев 7–8 км (см. рис. 1), осложнённой линейными складками второго порядка с размахом крыльев 0,8–2,0 км, откартированными при геологосъёмочных работах масштаба 1 : 200 000 (В. А. Шуршалина, 1973ф; И. Ю. Куделько, 2020ф). Осевые поверхности складок второго порядка, доступные для визуального наблюдения в карьерах, имеют северо-западное падение под углами 60°–70°, в связи с чем северо-западные крылья антиклиналей относительно пологие – с углами падения 30°–50°, а юго-восточные – более крутые с углами залегания вплоть до вертикальных и даже запрокинутых.

В процессе проведения полевых исследований 2025 г. в карьерах Анфиса, Ольга и Фарида было установлено, что в рудоконтролирующих зонах рассланцевания и разрывообразования северо-северо-восточного простирания (зона Албазинского магмоконтролирующего и рудоконтролирующего разлома), являющихся секущими относительно простирания осей линейных складок, рудные зоны с промышленным оруденением локализуются в ядерных частях линейных складок, являющихся, таким образом, структурными ловушками. Соответственно, в северо-восточном и юго-западном бортах карьеров наблюдаются «косые» сечения антиклинальных складок – в северных частях карьеров породы имеют северо-западное падение, а в южных частях – юго-восточное.

При этом размахи крыльев этих антиклиналей превышают продольные размеры карьеров, соответственно амплитуда превышает их глубину. То есть истинный размах крыльев превышает 700–1000 м, амплитуда превышает 400–500 м, что соответствует складкам второго порядка в общем складчатом ансамбле.

Рудная зона Анфиса. В карьере рудной зоны Анфиса, являющемся наиболее крупным по размерам (1300 × 1000 м), вскрывается ядерная часть

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026



© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

антиклинальной складки (рис. 2). Замковая часть имеет ширину около 300 м, характеризуется субгоризонтальным пологоволнистым залеганием слоистости в терригенных породах – переслаивающихся песчаниках различной зернистости, алевропесчаниках и углеродистых алевролитах (рисунки 3, 4). Углы падения пород в юго-восточном крыле антиклинали – 60°–70° (см. рис. 2), в северо-западном – 30°–45° (рис. 5). В карьере в целом очень отчётливо видно, что переслаивание пород параллельное при выдержанности мощностей слоёв на значительном расстоянии. При детальном изучении (врезки с фото керна на рисунках 3–5) устанавливается, что переслаивание этих пород имеет флишоидный характер – слоистость параллельная с элементами градационной и волнистой слоистости.

Замковая часть антиклинали интенсивно деформирована синскладчатыми продольными относительно оси линейной складки многочисленными разрывами сбросо-взбросовой природы (имеют близкое простирание и различные углы падения в обе стороны), что иллюстрируется рисунками 3 и 4. Подобные разрывы являются типичными для внутреннего строения рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций (ЗСРД) в линейно-складчатых комплексах [2, 3]. Как и во многих золотоносных районах [2–4] формирование ЗСРД сопровождалось проявлением «объёмной» метасоматической золотоносной железо-магнезиальной карбонатизации (бурошпатизации – рудноподготовительный процесс № 1), которая «проявляется» в зоне окисления побурением пород за счёт лимонитизации анкерита, наблюдаемой в верхней части карьера. Бурый шпат представлен в основном анкеритом.

Хотя эти разрывы сформированы при линейном складкообразовании, часть из них активизировались и в более поздний этап при деформациях в зоне Албазинского разлома. Так, на рис. 3 видна деформация контакта дайки дацитов, сформированной при «приоткрывании» продольного разрыва в «дацитовый» этап, и формирование новых разноранговых разрывов в дайке, продольных относительно осей линейных складок. На рис. 4 более наглядно видна активизация конкретного синскладчатого разрыва, рассекающего дайку дацитов, сформированную в разрыве сколового типа северо-северо-западного простирания.

В северном, северо-северо-восточном и северо-восточном бортах карьера Анфиса, в которых вскрывается северо-западное крыло антиклинали (см. рис. 5), по параллельно-слоистой структуре осадочной толщи наглядно видно северо-восточное простирание пород и «спокойный» характер их залегания, свойственный для подобных линейно-складчатых комплексов, образованных в коллизионных условиях [2]. Многочисленные тела дацитов секут слоистость почти без деформаций, что свидетельствует о «хрупком» характере их формирования, в том числе в системах трещин сколового типа (отчётливо видны в правом верхнем углу рис. 5).

Рудная зона Ольга. В карьере рудной зоны Ольга наиболее «высокий» борт карьера – северо-восточный, в котором наблюдается «срез» антиклинальной складки со сложно построенной замковой частью (рис. 6), относительно пологим северо-западным крылом и субвертикальным – юго-восточным. На рисунке также отчётливо видна система разрывов зоны складчато-разрывных

Рис. 1. Геологическая карта района Албазинского рудного поля, *по материалам ГСР-200 (В. А. Шуршалина, Я. И. Файн и др.)*:

1 – четвертичные отложения; *2* – позднемеловые интрузивные образования; *3* – позднемеловые вулканогенные образования среднего состава; *4–7* – юрские отложения: *4–5* – средний отдел: *4* – верхняя толща, алевролиты, песчаники, аргиллиты, линзы осадочных брекчий, кремнисто-глинистых пород, прослои эффузивов, *5* – нижняя толща, песчаники полимиктовые, пачки переслаивания песчаников и алевролитов, гравелиты, конгломераты, *6* – нижний–средний отделы, алевролиты и песчаники, туфы, туффиты, кремнисто-глинистые сланцы, яшмовидные породы с линзами эффузивов, *7* – нижний отдел, верхняя толща, песчаники полимиктовые с пачками переслаивающихся песчаников и алевролитов; *8* – геологические границы; *9* – разрывные нарушения: *а* – достоверные, *б* – перекрытые рыхлыми отложениями; *10* – зона Албазинского магмо- и рудоконтролирующего глубинного разлома (красной стрелкой показана его ширина); *11* – оси антиклиналей: *а* – первого и *б* – второго порядка; *12* – элементы залегания (линия простирания, направление и угол падения слоистости); *13* – контур Албазинского рудного поля; *14* – участки (рудные зоны) Албазинского месторождения с промышленным оруденением

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026



Рис. 2. Вид бортов карьера Анфиса: юго-западного (с контурами А, Б детальных рисунков 3, 4), северного и северо-северо-восточного (контуры В детального рисунка 5):

жёлтые сплошные линии – слоистость, по залеганию которой видна пологая замковая часть антиклинали; жёлтый пунктир – «след» в северо-западном борту карьера осреднённой осевой поверхности антиклинали; светлые породы – дайки дацитов; вмещающие породы – песчаники (относительно более светлые) с прослоями углеродистых алевролитов (тёмные); красные линии – разрывы

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026



Рис. 3. Строение зоны складчато-разрывных деформаций (ЗСРД), сформированной в ядерной части антиклинали при линейном складкообразовании. Деталь к рис. 2 (контур А):

жёлтыми линиями показана слоистость, красными – разрывы: видно близкое (северо-восточное) простирание разрывов с различными углами падения, что свидетельствует о взбросо-сбросовом характере деформаций при их формировании; светлые породы в правой части рисунка – дайки дацитов, северо-восточного простирания, сформировавшиеся в «приоткрывавшихся» при сдвиго-сбросовых деформациях синскладчатых продольных разрывов: видна деформация контактов и внутренней части дайки постдайковыми разрывами СВ простирания при активизации ЗСРД; вмещающие породы – песчаники (более светлые) с прослоями углеродистых алевролитов (тёмные); рыжим цветом выделяются участки экзогенного окисления (лимонитизации) анкерита; на врезке – флишоидный характер переслаивания песчаников (более светлые) и углеродистых алевролитов (тёмные), скважина 180-0 (вертикальная), диаметр керна 63 мм



© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

нарушений, деформирующих не только замковую часть антиклинали, но и всю ядерную часть. В замковой части (рис. 7) наблюдаются многочисленные разноранговые синскладчатые разрывы северо-восточного простирания (продольные относительно оси антиклинали), интенсивно деформирующие слоистость с проявлением будинажа и рассланцевания. Большая часть из них была активизирована в последайковый этап (дайки дацитов) – они деформируют контакты даек, локализованных как раз в таких разрывах. В этот этап в дайках формировались и новые разрывы северо-восточного простирания – то есть «первичная» зона складчато-разрывных деформаций интенсивно активизировалась в последайковый этап.

Аналогичная ситуация наблюдается в крутопадающем юго-восточном крыле антиклинали (рис. 8), где синскладчатые продольные северо-восточные разломы субсогласны слоистости либо деформируют её под острым углом.

Северо-западное крыло антиклинали (рис. 9) характеризуется «спокойным» моноклинальным характером залегания слоистости в переслаивающихся песчаниках и углеродистых алевролитах. Продольные относительно оси антиклинали разрывы, участвующие в строении общей зоны складчато-разрывных деформаций, субсогласны слоистости, контролируют формирование даек дацитов и активизировались в последайковый этап. Последайковая активизация происходила и в рудный этап, о чём свидетельствует проявление сульфидизации в таких зонах рассланцевания (рис. 10).

Рудная зона Фарида. В карьере рудной зоны Фарида также наиболее «высоким» является северо-восточный борт карьера, в котором наблюдается антиклинальная складка со «срезанной» разломом замковой частью (рис. 11), относительно пологим северо-западным крылом и субвертикальным до запрокинутого – юго-восточным. На рис. 12 (деталь к рис. 11) также отчётливо видна система разрывов северо-восточного простирания синскладчатой зоны складчато-разрывных деформаций, в большей мере локализованной в крутопадающем (запрокинутом) крыле. Ряд разрывов этой зоны также активизировались в последайковый этап. Вмещающие породы также отличаются параллельным характером переслаивания песчаников, алевропесчаников и углеродистых алевролитов.

Рис. 4. Строение зоны складчато-разрывных деформаций (ЗСРД), сформированной в ядерной части антиклинали при линейном складкообразовании. Деталь к рис. 2 (контур Б):
жёлтыми линиями показана слоистость, красными – разрывы: видно субгоризонтальное залегание слоистости – переслаивающихся песчаников (светлые) и углеродистых алевролитов (тёмные) в замковой части антиклинали; рыжим цветом выделяются участки экзогенного окисления (лимонитизации) вкрапленного анкерита: видно близкое (северо-восточное) простирание разрывов с различными углами падения, что свидетельствует о взбросо-сбросовом характере деформаций при их формировании; слоистость без деформации сечётся дайкой дацитов (светлые породы), приуроченной к сколовой трещине субмеридионального простирания: видно пересечение дайки разрывом, сформированным при линейном складкообразовании и активизированном в последайковый этап; на врезке – флишоидный характер переслаивания песчаников (более светлые) и углеродистых алевролитов (тёмные) в керне, скважина 2250 (вертикальная), диаметр керна 63 мм

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

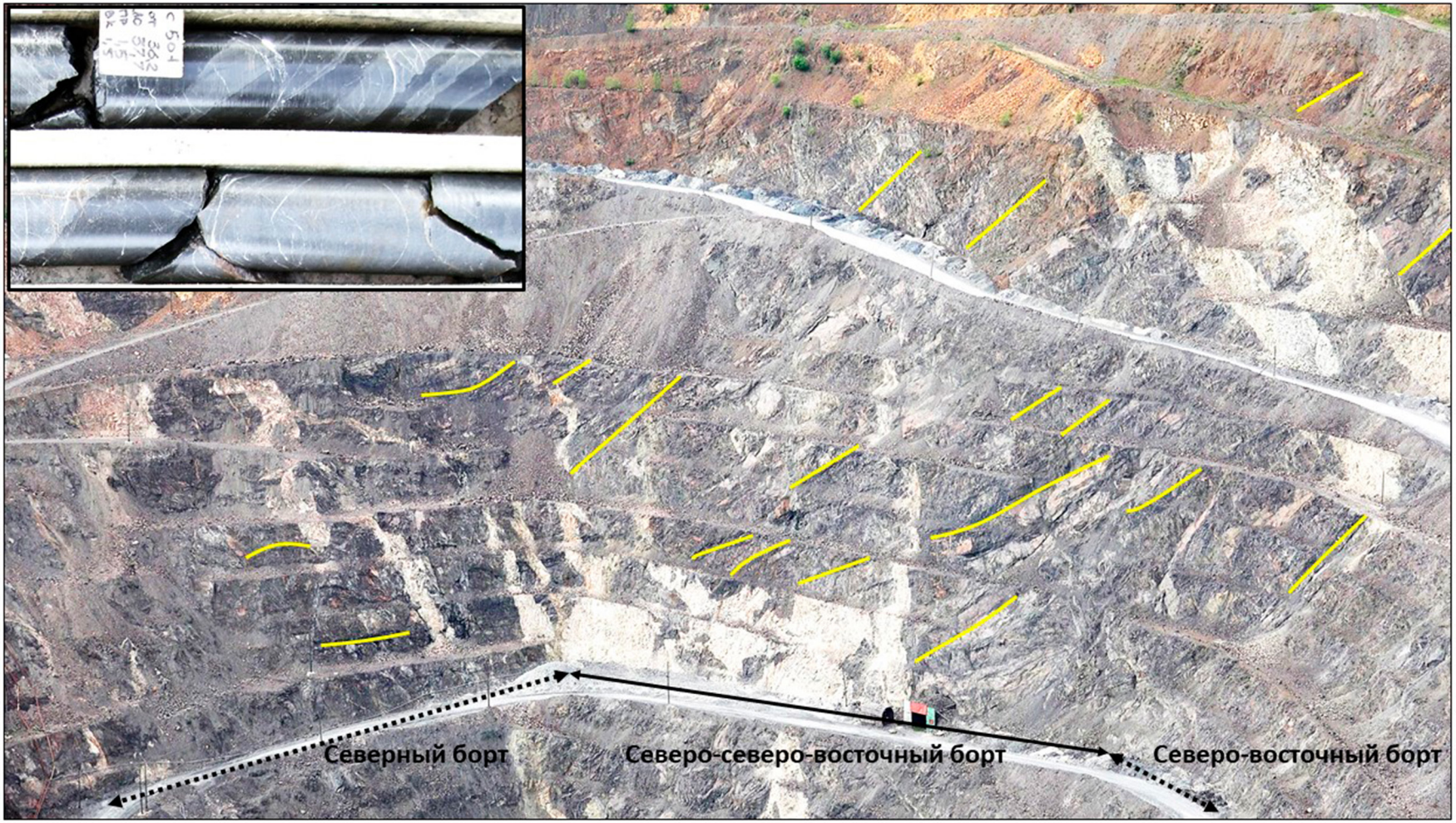


Рис. 5. Залегание слоистости (жёлтые линии) в северном, северо-северо-восточном и северо-восточном бортах карьера Анфиса (СЗ крыло антиклинали). Деталь к рис. 2 (контур В):

светлые породы – дайки дацитов, сформированные преимущественно в сколовых трещинах (плитообразная морфология даек с субпараллельными контактами); вмещающие породы – песчаники (относительно более светлые) с прослоями углеродистых алевролитов (тёмные); ориентировка северного борта субпараллельна простиранию пород, северо-северо-восточного – косо к простиранию пород, северо-восточного – вкрест простирания пород; на врезке – флишоидный характер переслаивания песчаников (более светлые) и углеродистых алевролитов (тёмные) в керне, скважина 50-1 (вертикальная), диаметр керна 63 мм

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

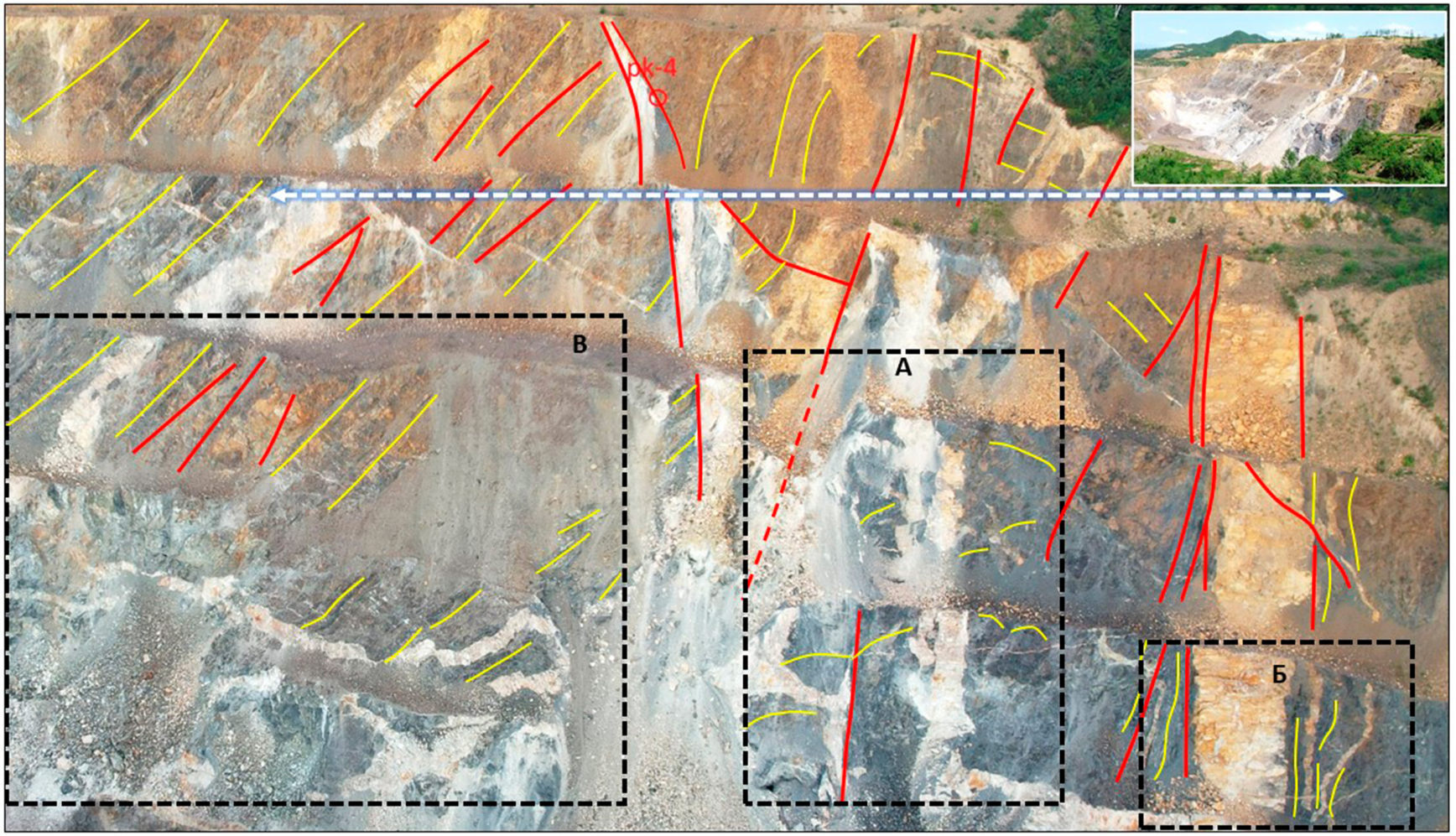


Рис. 6. Вид северо-восточного борта карьера Ольга:

светлым (до белого) цветом выделяются дайки дацитов; вмещающие породы – песчаники (более светлые) с прослоями углеродистых алевролитов (тёмные); жёлтыми линиями – слоистость, красными – разрывы; по ориентировке слоистости видна сложно построенная замковая часть антиклинали; пунктирной стрелкой белого цвета показан эпицентр зоны складчато-разрывных деформаций; чёрные пунктирные контуры – контуры детальных рисунков 7–9; рыжим цветом выделяются участки экзогенного окисления (лимонитизации) анкерита («проявление» процесса бурошпатизации пород); на врезке в верхнем правом углу – общий вид северо-восточной стенки карьера Ольга

Рис. 7. Строение зоны складчато-разрывных деформаций в замковой части антиклинали в северо-восточном борту карьера Ольга. Деталь к рис. 6 (контур А): светлым (до белого) цветом выделяются дайки дацитов; вмещающие породы – песчаники (более светлые) с прослоями углеродистых алевролитов (тёмные); жёлтыми линиями показана слоистость, красными – разрывы; разрывообразование сопровождается интенсивным рассланцеванием и будинированием песчаников: видны две системы даек дацитов: субвертикальные с северо-восточным простиранием (в левой и центральной частях фотографии) в приоткрывающихся синскладчатых системах разрывов; пологая с северо-восточным падением в отрывной системе (в нижней части фотографии); наблюдается деформация даек разрывами со смещением их контактов при активизации соскладчатых разрывов в последайковый этап

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

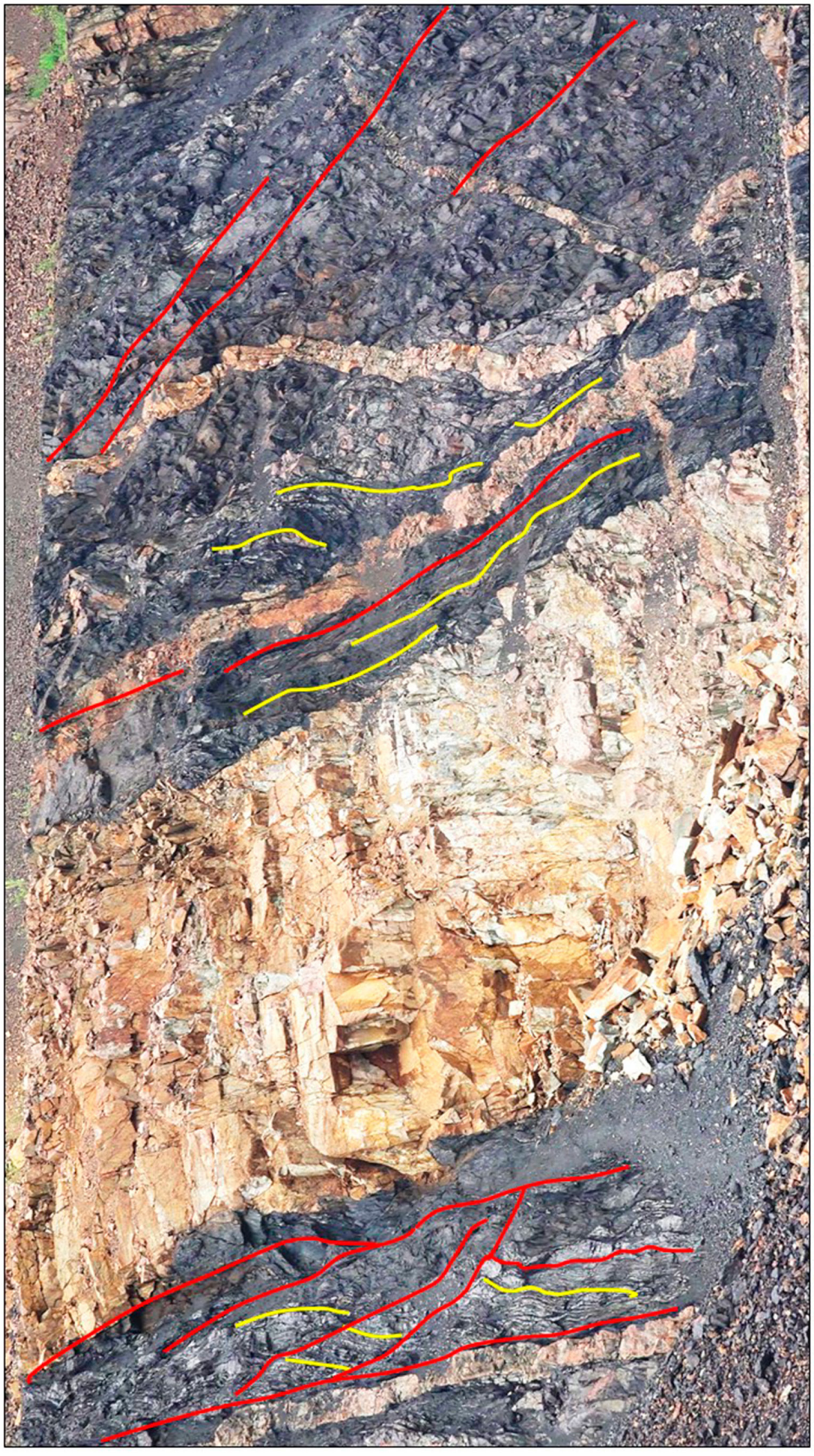


Рис. 8. Строение зоны складчато-разрывных деформаций в крутом юго-восточном крыле антиклинали в СВ борту карьера Ольга. Деталь к рис. 6 (контур Б): жёлтые линии – слоистость, красные – разрывы; разрывообразование сопровождается интенсивным рассланцеванием пород и будинированием песчаников; дайки дацитов имеют северо-восточную ориентировку – внедрялись в швы соскладчатых северо-восточных разрывов; рыжим цветом выделяются участки экзогенного окисления (лимонитизации) анкерита

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026



Рис. 9. Строение зоны складчато-разрывных деформаций в северо-западном крыле антиклинали. Деталь к рис. 6 (контур В):
жёлтые линии – слоистость (хорошо виден её параллельный характер), красные – разрывы; видны две системы даек дацитов: субвертикальные с северо-восточным простиранием (в центральной части фотографии) в приоткрывающихся синскладчатых системах разрывов, пологих с северо-восточным падением в отрывных системах (в нижней части фотографии); пунктирный контур чёрного цвета – рис. 10

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026



Рис. 10. Строение северной части зоны складчато-разрывных деформаций в северо-западном крыле антиклинали. Деталь к рис. 9:
жёлтые линии – слоистость, красные – разрывы; видны две системы даек дацитов: субвертикальные с северо-восточным простиранием (в правой части фотографии) в приоткрывающихся синскладчатых системах разрывов, пологих с северо-восточным падением в отрывных системах (в левой части фотографии): вид-на зона рассланцевания (пунктир чёрного цвета) северо-восточного простирания с проявлением сульфидизации (выделяется бурым цветом за счёт окисления сульфидов и анкерита) в дацитах и вмещающих породах

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

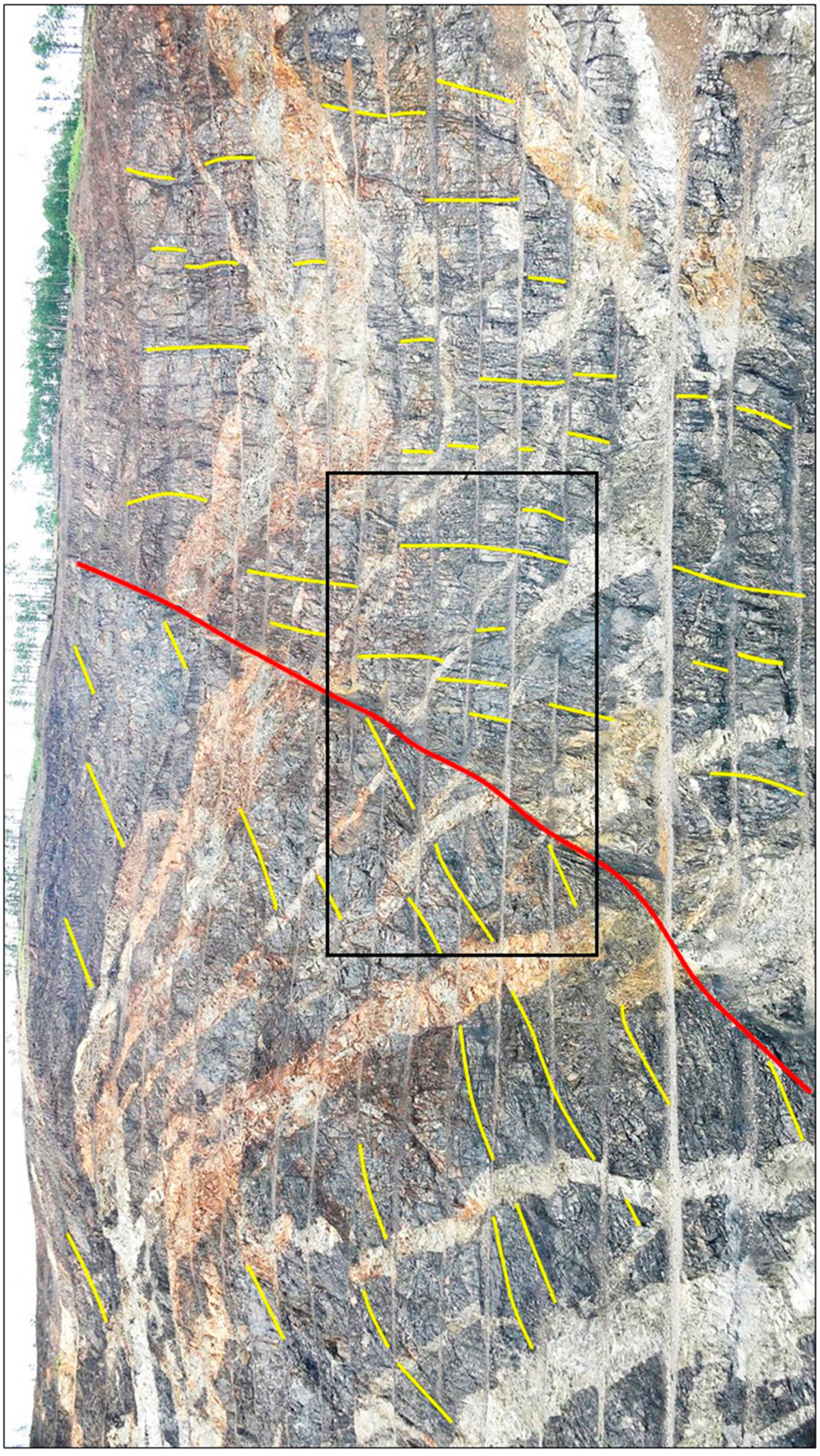


Рис. 11. Ядерная часть антиклинальной складки второго порядка в карьере Фарида:
жёлтые линии – слоистость, «рисующая» антиклиналь; красная линия – разлом, «срезающий» замок антиклинали; светлым (до белого) цветом выделяются дайки дацитов, сформированные в основном в отрывных трещинах северо-восточного простирания (оперяющих основную систему субмеридиональных разломов); вмещающие породы – песчаники (более светлые) с прослоями углеродистых алевролитов (тёмные), слоистость параллельная; чёрный контур – детальный рис. 12

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

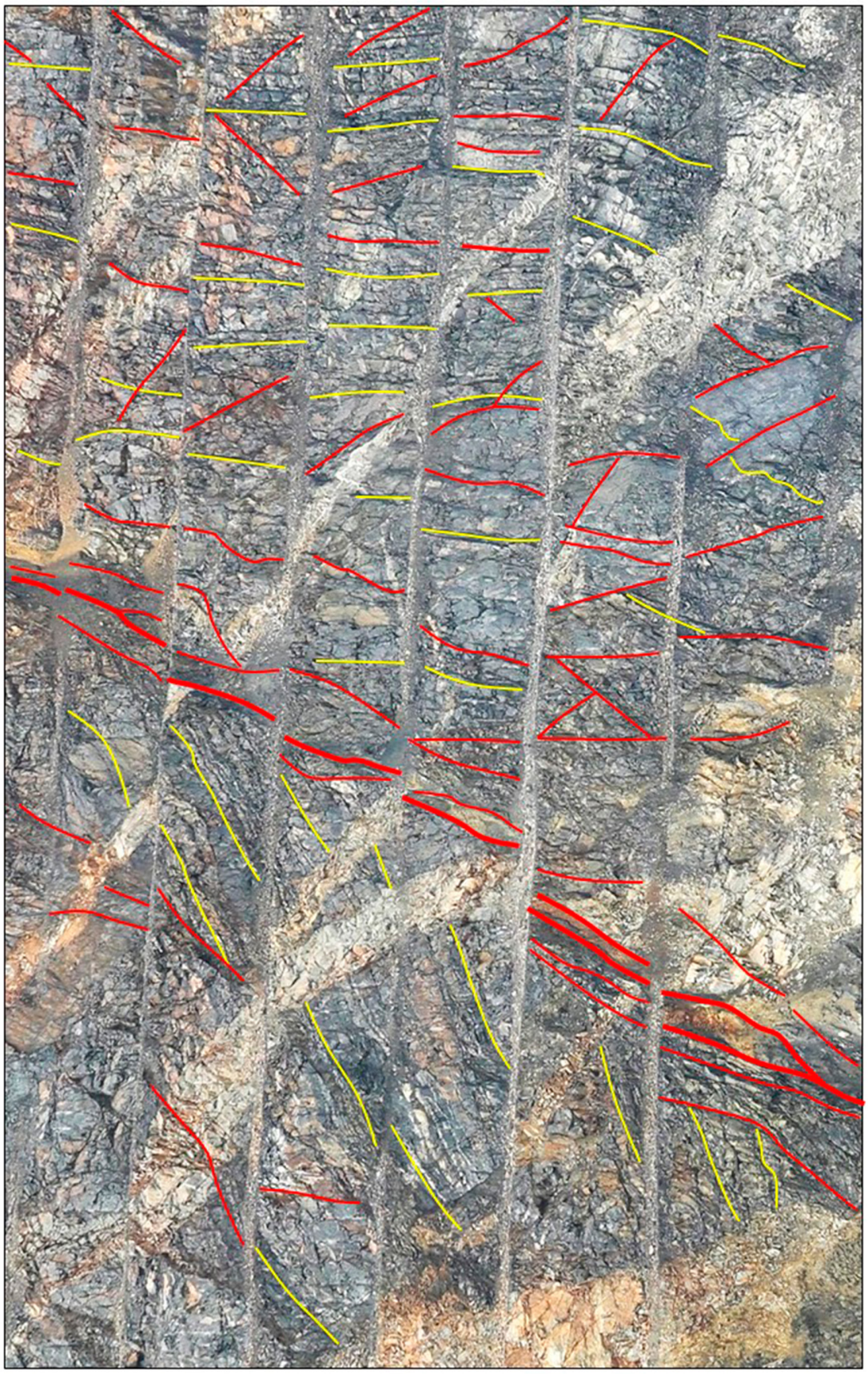


Рис. 12. Строение зоны складчато-разрывных деформаций в ядерной части антиклинальной складки в карьере Фарида. Деталь к рис. 11:
светлым (до белого) цветом выделяются дайки дацитов; вмещающие породы – песчаники (более светлые) с прослоями углеродистых алевролитов (тёмные); жёлтые линии – слоистость, хорошо видно параллельное переслаивание слоёв флишоидного типа; красные «жирные» линии – разрывы в зоне основного разлома, «срезающего» замок антиклинали; красные «тонкие» линии – разрывы зоны складчато-разрывных деформаций

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

Структуры зоны Албазинского глубинного разлома. Албазинский глубинный разлом представляет собой секущую линейные складки широкую (около 10 км) субмеридиональную разломную зону, контролирующую проявление многоактного позднемелового магматизма и гидротермально-метасоматических процессов. Он сформировался в верхнемеловое время в завершающий коллизионную эпоху этап гранитоидного магматизма как послескладчатая разломная структура в фундаменте. Зона глубинного разлома, по данным Е. А. Дудина, фиксируется в фундаменте складчатой области по геофизическим данным и входит в систему глубинных разломов региона – она представляет собой одну из субпараллельных ветвей Лимурчанского глубинного разлома, расположенного восточнее Албазинского рудного поля и ограничивающего с востока Ульбанский террейн [8].

На уровне земной поверхности он проявляется в виде широкой зоны разломных деформаций, контролирующих становление интрузий эвурского комплекса. Эта зона выделяется в том числе и по магнитным данным, в связи с тем, что большая часть даек его первой и второй фаз выделяется в магнитном поле положительными линейными аномалиями, которые имеют северо-северо-западное и субмеридиональное простирание.

Рудоконтролирующая зона Албазинского глубинного разлома в верхнемеловой этап развития региона, как уже отмечалось, эволюционировала достаточно длительное время, что фиксируется многоактным проявлением магматизма в её пределах. Выделяются три деформационно-интрузивных подэтапа.

На первом подэтапе, синхронно с проявлением в регионе интрузивно-эффузивного магматизма среднего (андезитоидного) состава, в зоне Албазинского глубинного разлома при разломных деформациях сдвиго-взбросовой кинематики сформировались многочисленные дайки дацитов («дацитовый» подэтап). Они образуют «зоны» сближенных даек, локализованных непосредственно в швах субмеридиональных разрывов сколового типа (имеют «плитообразную» морфологию и субпараллельные контакты, см. рисунки 4, 13–17). Одновременно формируются дайки в оперяющих отрывных трещинах – крутопадающих северо-восточного простирания (см. рис. 11) и пологих субмеридионального простирания (с падением на ВСВ), а также в приоткрывающихся в процессе деформации более древних синскладчатых северо-восточных разрывах (см. рисунки 7–9). Характерной особенностью дайковых тел является почти полное отсутствие экзоконтактовых преобразований (см. рисунки 7–9), что свидетельствует как о слабой водо- и газонасыщенности расплава, так и об отсутствии резкого контраста его температуры с температурой вмещающих пород.

Что касается замеров ориентировки контактов даек дацитов, то наиболее представительные данные получены геологами ООО «Ресурсы Албазино» на рудной зоне Ольга, где выполнено их значительное количество (124). Статистическая обработка данных замеров представлена на сферограммах на рис. 18. На сферограмме (см. рис. 18, А) показаны результаты статистической обработки гномопроекций [4] контактов, на которой отчётливо выделяются семь максимумов, а их граммопроекции отстроены на рис. 18, Б. Основной максимум (№ 3) фиксирует контакты северо-северо-западного простирания (344°) и их падение на северо-восток под углом 50°, что соответствует дайкам, локализованным в системе разрывов сколового типа (см. рисунки 4 и 13 на карьере Анфиса, рис. 14 в карьере Ольга, рис. 15 на карьере Фарида). Максимум № 4 соответствует системе даек, сформированных в оперяющей основную систему № 3 отрывной системе пологих трещин с северо-восточным падением, показанных на рисунках 7, 9, 10. Максимумы № 1, 2, 5 и 6 представляют систему северо-восточных даек, локализованных в синскладчатых продольных разрывах ЗСРД при проявлении сдвиговой составляющей деформаций в зоне Албазинского разлома в первый «дацитовый» подэтап (см. рисунки 7–10, а также рис. 3 на карьере Анфиса). Максимум № 7 представляет, по-видимому (в карьере Ольга дайки с такой ориентировкой не наблюдались), дайки отрывной системы, проявившейся непосредственно в «эпицентре» разломной зоны и установленные в подземных горных выработках.

На втором деформационно-интрузивном подэтапе в пределах Албазинского разлома преобладали взбросо-сбросовые деформации с активизацией субмеридиональных разломных зон и формированием зон рассланцевания (с падением на северо-восток 40°–55°) значительной мощности, деформирующих как вмещающие терригенные породы, так и дациты (см. рисунки 13–15). В этот подэтап произошло внедрение даек микро-

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

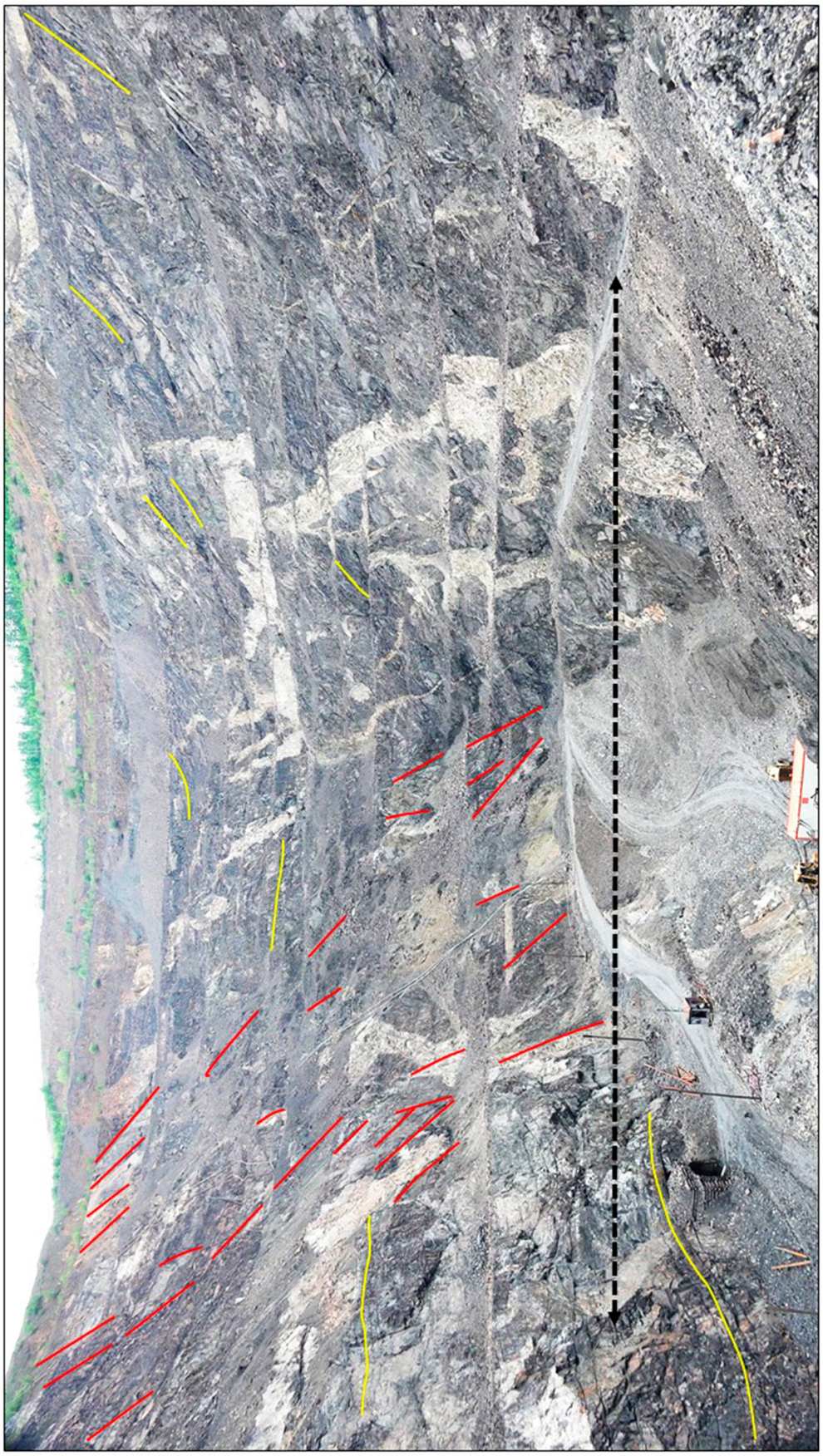


Рис. 13. Золотоносная зона рассланцевания северо-северо-западного простирания (345°) в северной стенке карьера Анфиса:

красные линии – зонки рассланцевания и разрывы; чёрной пунктирной стрелкой показана зона сближенных даек дацитов северо-северо-западного простирания, трассирующая разрывную зону (ветвь) первого («дацитового») деформационно-интрузивного подэтапа эволюции рудоконтролирующего Албазинского глубинного разлома, приуроченных в основном к разломам сколового типа; наблюдаемая зона рассланцевания является «суммированной» за счёт её активизации в последующие «микродиоритовый» и «гранитный» подэтапы

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

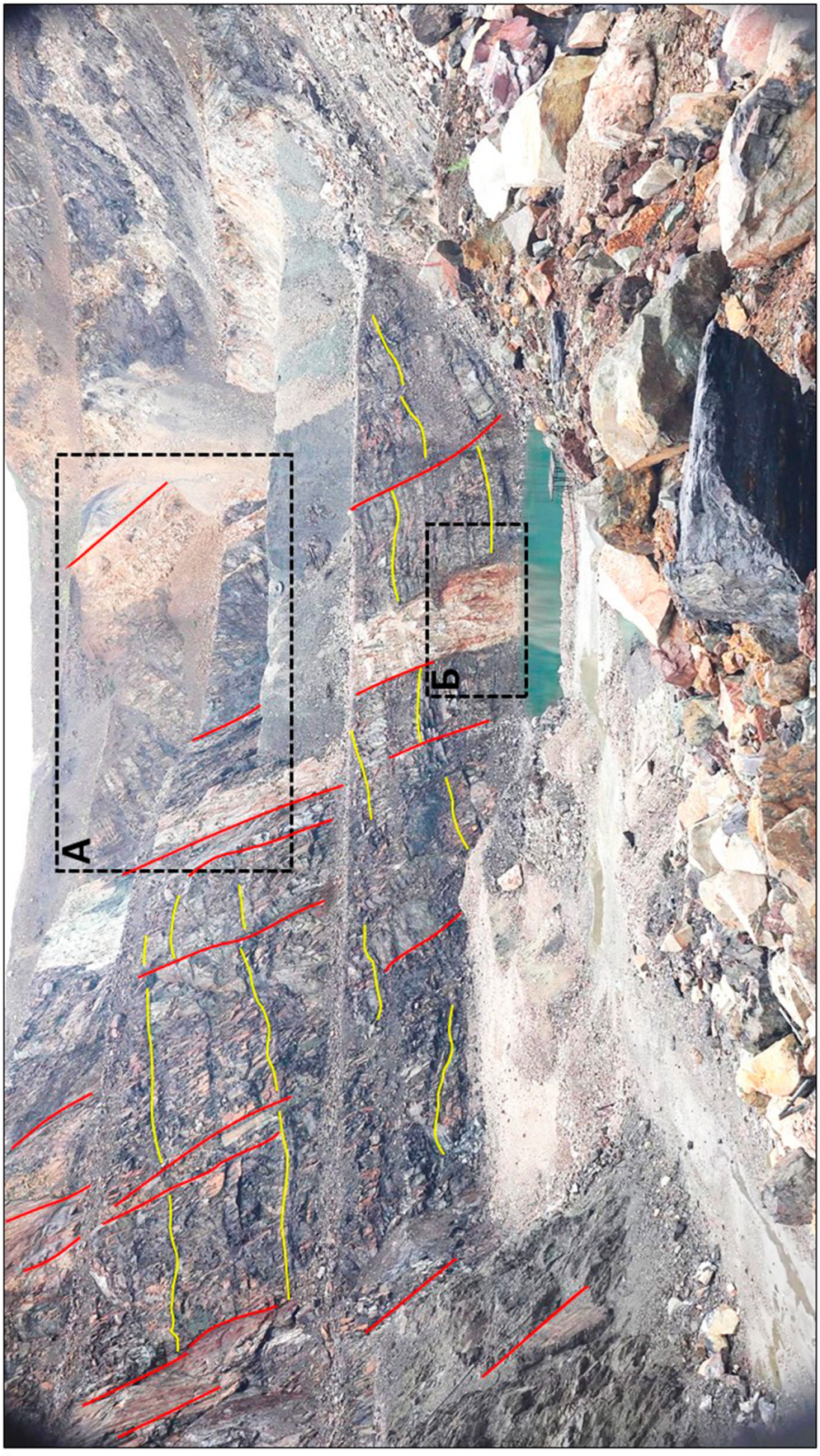


Рис. 14. Золотоносная зона рассланцевания северо-северо-западного простирания (340°) в северной стенке карьера Ольга:
дайки дацитов (светлые) приурочены к сколовым трещинам, характеризуются плитообразной морфологией и субпараллельными контактами; вмещающие породы – песчаники (более светлые) с прослоями углеродистых алевролитов (тёмные); жёлтые линии – слоистость (параллельная флишоидного типа), красные – зонки рассланцевания и разрывы; в верхней части карьера бурым цветом выделяются участки экзогенного окисления (лимонитизации) анкерита («проявление» процесса бурошпатизации пород); чёрные пунктиры – контуры детальных рисунков 16, 17

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

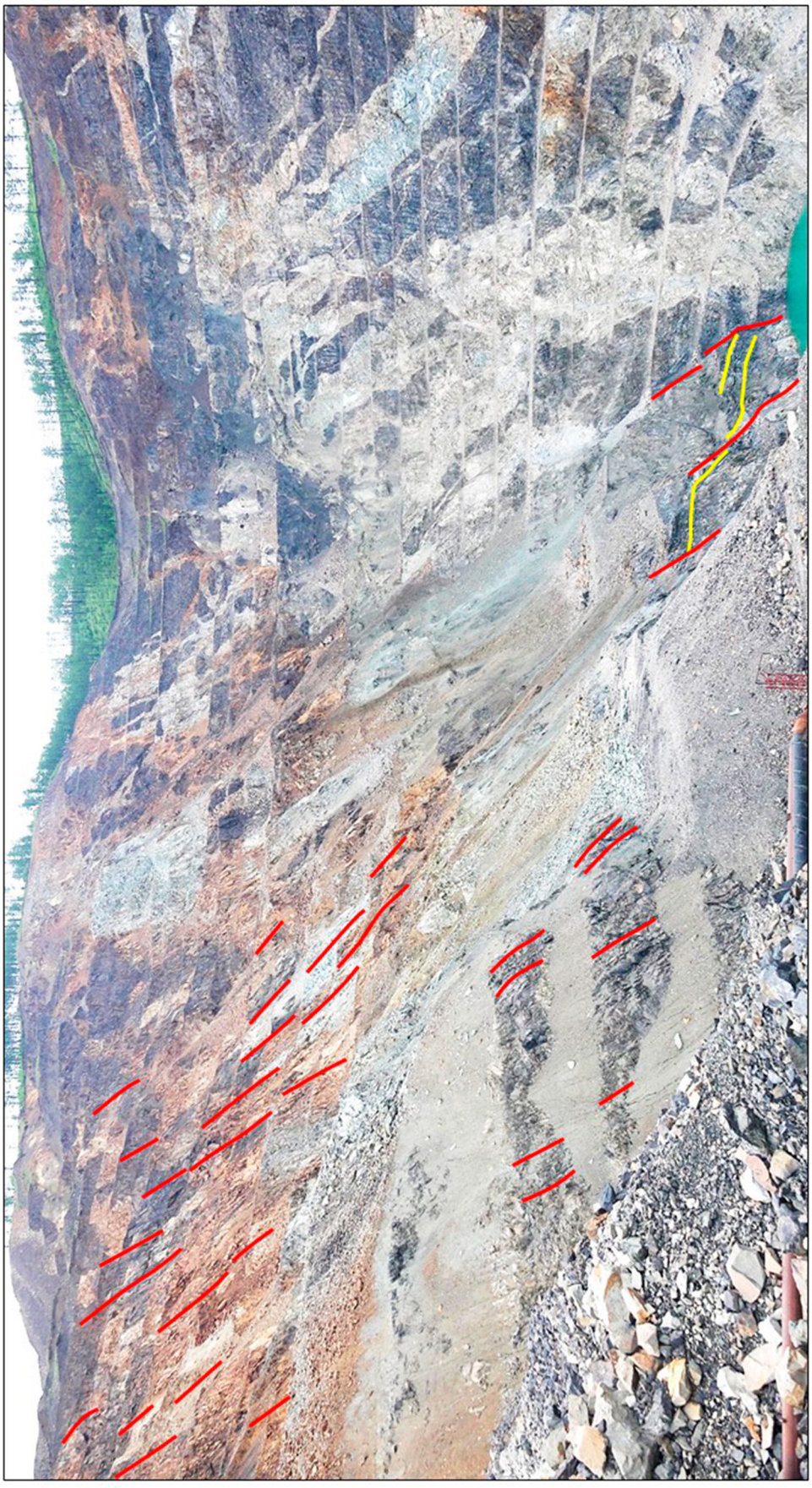


Рис. 15. Золотоносная зона рассланцевания в северной стенке карьера Фарида:
красные линии – зонки рассланцевания и разрывы; линии жёлтого цвета – слоистость: видна пластическая (флексурная) деформация слоистости сбросового типа; дайки дацитов приурочены в основном к разломам сколового типа (прямолинейные субпараллельные контакты) и фиксируют первый «дацитовый» подэтап формирования системы Албазинского глубинного разлома северо-северо-западного простирания; при активизации сланцеватости и разрывов в последующие подэтапы вмещающие терригенные породы дополнительно деформировались, поэтому наиболее ярко на фотографии проявлены крутые зоны дробления последнего рудного подэтапа; в верхней части карьера бурым цветом выделяются участки экзогенного окисления (лимонитизации) анкерита («проявление» процесса бурошпатизации пород)

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

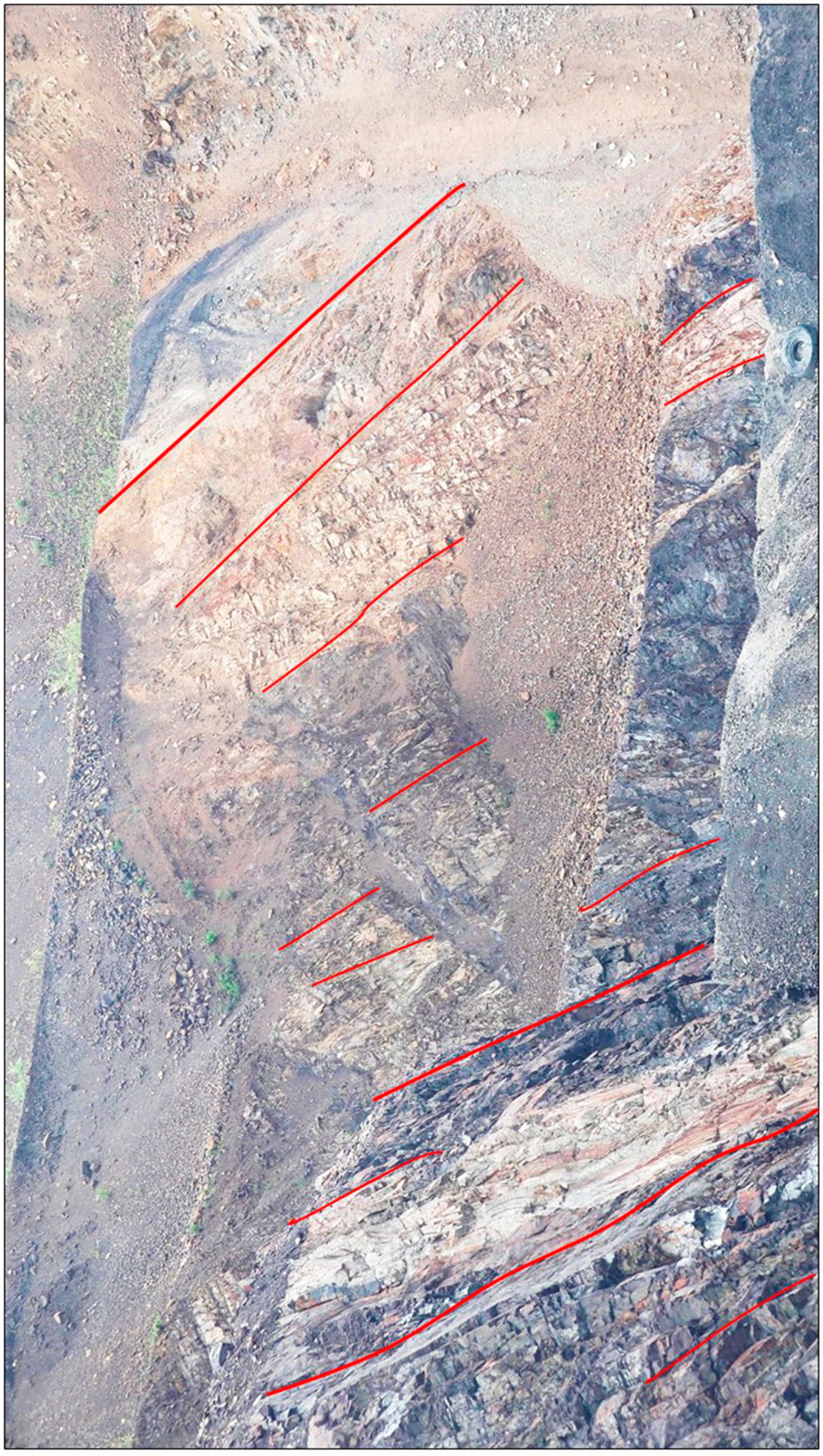


Рис. 16. Деталь к рис. 14. Видно интенсивное рассланцевание вмещающих терригенных пород и дацитов крутопадающими зонами рассланцевания (тонкие красные линии) и разломные швы (более толстые красные линии) со значительным смещением; несмотря на рассланцевание даек, видна их приуроченность к сколовым трещинам (субпараллельность контактов и плитообразная морфология)

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

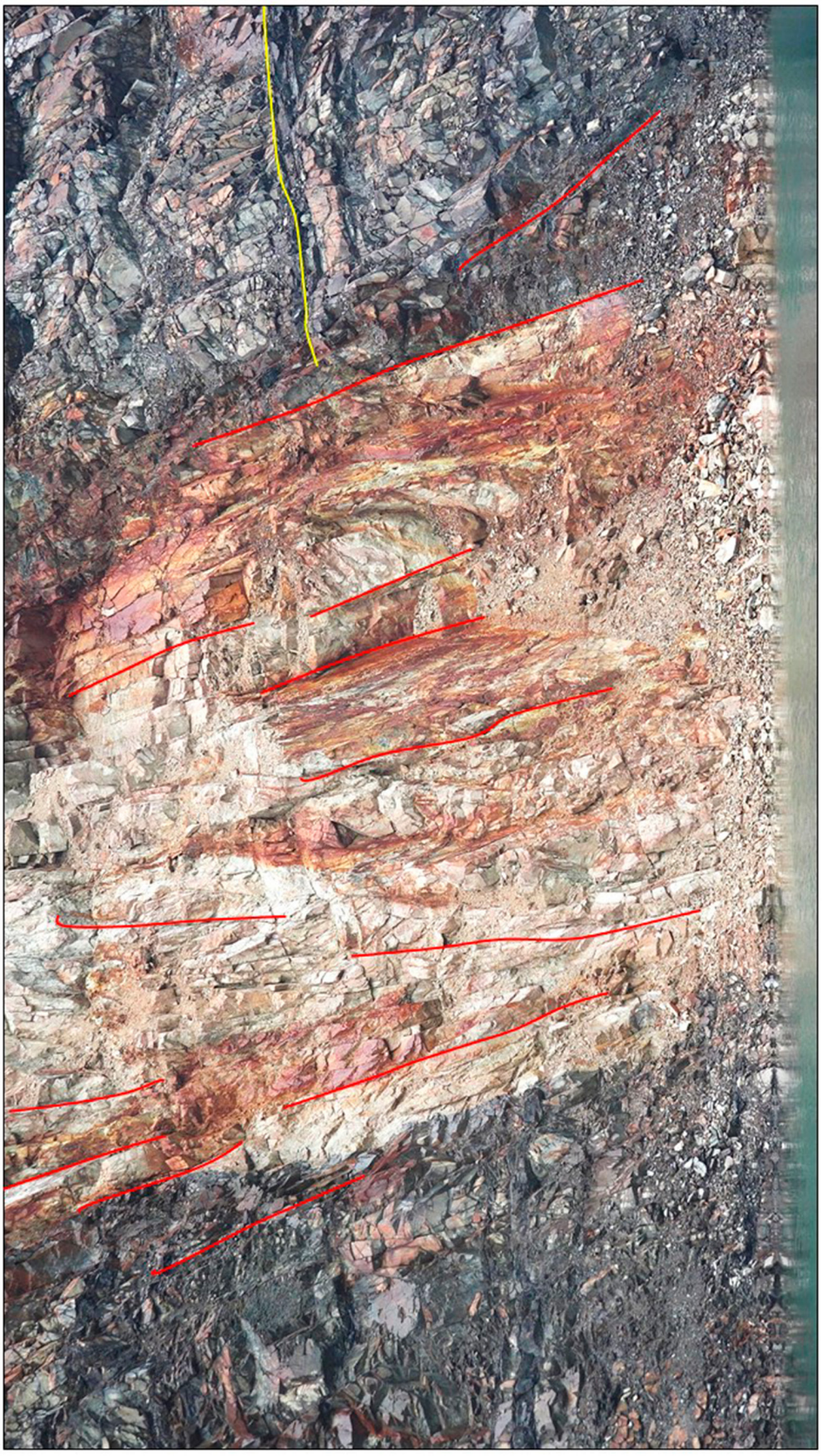
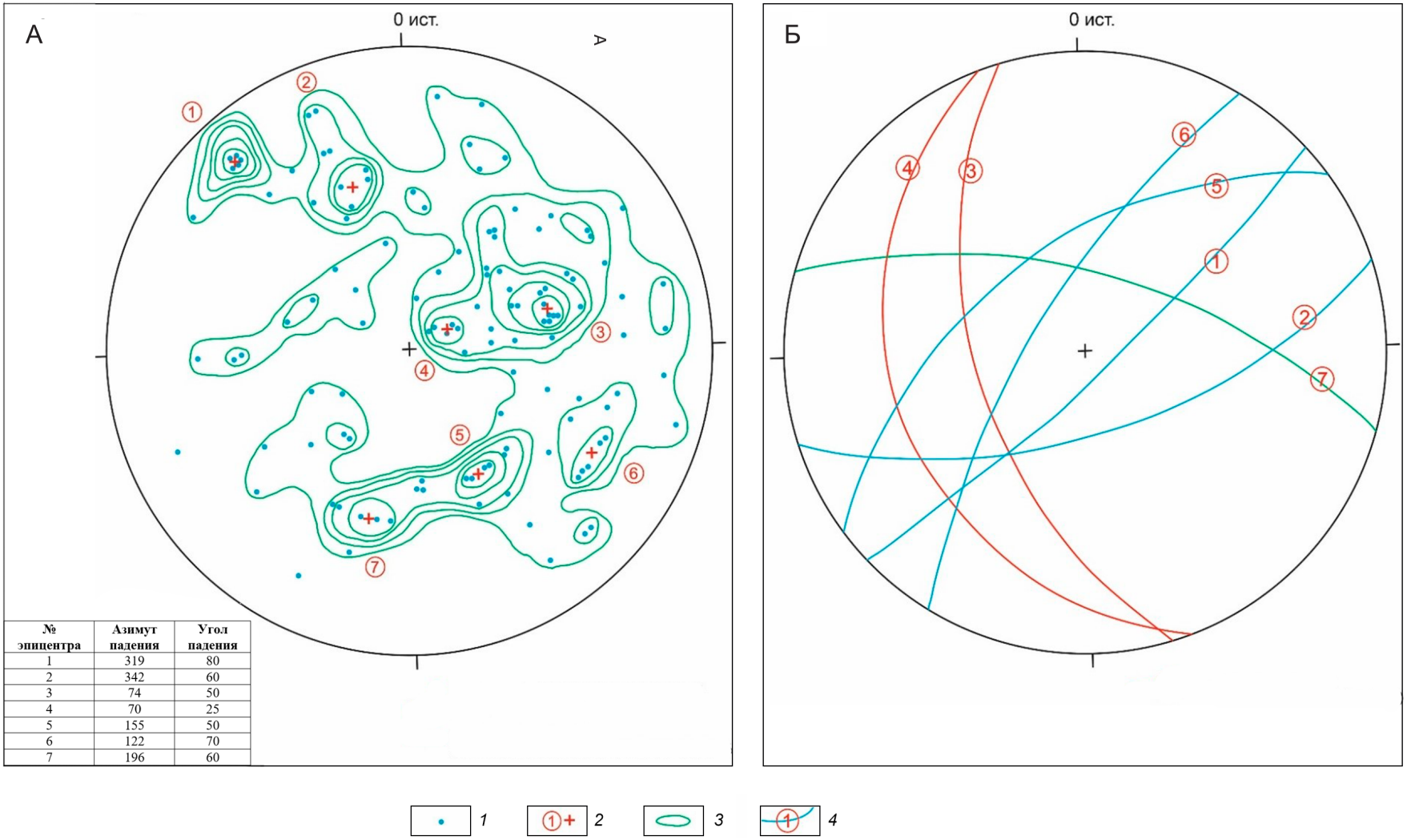


Рис. 17. Деталь к рис. 14. Видно интенсивное рассланцевание вмещающих терригенных пород и дацитов крутопадающими зонками рассланцевания (красные линии); лимонитизированными трещинами и участками (бурого цвета) в результате процессов выветривания «проявляются» зонки сульфидизации «гранитного» рудного подэтапа; жёлтые линии – слоистость (более тёмные – прослои алевролитов в песчаниках)

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026



№ эпицентра	Азимут падения	Угол падения
1	319	80
2	342	60
3	74	50
4	70	25
5	155	50
6	122	70
7	196	60

Рис. 18. Контакты даек дацитов в рудной зоне Ольга:

А – гномопроекции ориентировки контактов даек дацитов (124 замера); Б – граммопроекции эпицентров ориентировки контактов даек дацитов; *1* – гномопроекция контактов даек дацитов; *2* – эпицентры и их номера; *3* – изолинии плотности проведены через: 0,8; 1,6; 2,4; 3, 2; 4,0; 5,6 %; *4* – граммопроекция и номера эпицентров (к рис. 18, А)

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

диоритов («микродиоритовый» подэтап), закономерно приуроченных в пределах рудных зон Анфиса, Ольга и Фарида к нижним частям золотоносных зон рассланцевания (рис. 19). Они также были рассланцованы, преимущественно в экзоконтактовых частях (рис. 20). Ориентировка даек микродиоритов наиболее полно изучена геологами ООО «Ресурсы Албазино» на рудной зоне Ольга (76 замеров). На сферограмме гномопроекций (рис. 21) ориентировки контактов даек наблюдаются незначительные вариации их простирания от северо-северо-западных до субмеридиональных, обусловленных, как будет показано ниже, искривлением даек по простиранию.

Вмещающие дайки микродиоритов терригенные породы и дациты были рассланцованы (см. рисунки 16, 17), интенсивно бурошпатизированы (рисунки 22, 23), что совместно с прожилковым окварцеванием приводило к мобилизации золота и его перераспределению в рассланцованных породах, включая дациты. В результате процессов рассланцевания и окварцевания и были сформированы минерализованные золотоносные зоны (рудноподготовительный процесс № 2).

В завершающем (в пределах Албазинского месторождения) подэтапе в пределах зоны Албазинского разлома происходило внедрение дайковых и тел сложной формы гранит-порфиров («гранитный» подэтап) в условиях взбросо-сбросовых деформаций и были сформированы золоторудные объекты Албазинского месторождения при проявлении гидротермально-метасоматических преобразований пород в постмагматическую (рудную) стадию. Они выразились в железомагнезиальной карбонатизации («березитизации», по [6, 8]) всех пород (см. рисунки 3, 6, 14, 15), включая гранит-порфиры (третьей для терригенных пород), и проявлении прожилковой кварцевой и сульфидной (существенно арсенопиритовой) золотоносной минерализации. Особо интенсивно гидротермально-метасоматические процессы проявились в пределах ранее сформированных относительно пологих минерализованных золотоносных зон рассланцевания при их активизации в участках деформации более крутыми (60°–70°) зонами рассланцевания и дробления в рудную стадию синтгранитного этапа (рисунки 24, 25). Золотое оруденение связано с проявлением золотоносной прожилковой кварцевой и сульфидной минерализации как в активизировавшихся «пологих», так и в новообразованных «крутых» зонах рассланцевания, а наиболее богатые руды представлены брекчиями любых вмещающих пород с сульфидно-кварцевым золотоносным цементом. Именно сочетание «пологих» зон второго деформационно-интрузивного подэтапа и деформирующих их зон третьего синтгранитного подэтапа на «фоне» проявления золотоносных гидротермально-метасоматических процессов (окварцевание и сульфидизация) привело к новому перераспределению золота и формированию рудных зон. При этом во многих случаях золотое оруденение устанавливается в деформированных дайках микродиоритов, а в ряде случаев – и в телах гранит-порфиров вблизи ксенолитов золотоносных терригенных пород (рис. 26). Наиболее богатое оруденение определяется в участках деформации даек микродиоритов и, соответственно, минерализованных золотоносных зон в третий деформационно-интрузивный подэтап эволюции Албазинского глубинного разлома (см. рис. 19).

Зоны рассланцевания и дробления синтгранитного подэтапа в разрывах северо-северо-западного простирания (около 340°), контролировавших собственно рудный процесс (анкерит-кварц-сульфидное прожилкование и кварц-сульфидный цемент в рудных брекчиях), в той или иной степени наблюдаются и в карьерах. Но, в связи с тем, что северные и южные стенки всех трёх карьеров в значительной степени покрыты осыпями, эти зоны видны фрагментарно. Для них характерно преобладание зонок рассланцевания, имеющих ВСВ падение под углами 60°–45° (см. рисунки 13–17).

По флексуроподобной деформации слоистости, наблюдаемой в карьере Фарида (см. рис. 15), определяется, что преобладающей деформацией при формировании секущих зон рассланцевания являлась сбросовая.

Условия локализации золотого оруденения. Промышленно-рудоносные части рудных зон (участков) Анфиса, Ольга и Фарида локализованы в ядерных частях линейных антиклиналей второго порядка с северо-восточным простиранием осей в пределах соскладчатых ЗСРД.

Для анализа закономерностей распределения золотого оруденения в пределах рудных зон Анфиса и Ольга на всех горно-буровых разрезах, представленных в отчёте по составлению ТЭО кондиций Ю. А. Солопова (Солопов, 2014ф), на всех скважинах и канавах рассчитаны суммарные метрограммы по рудным зонам (на Анфисе – по

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

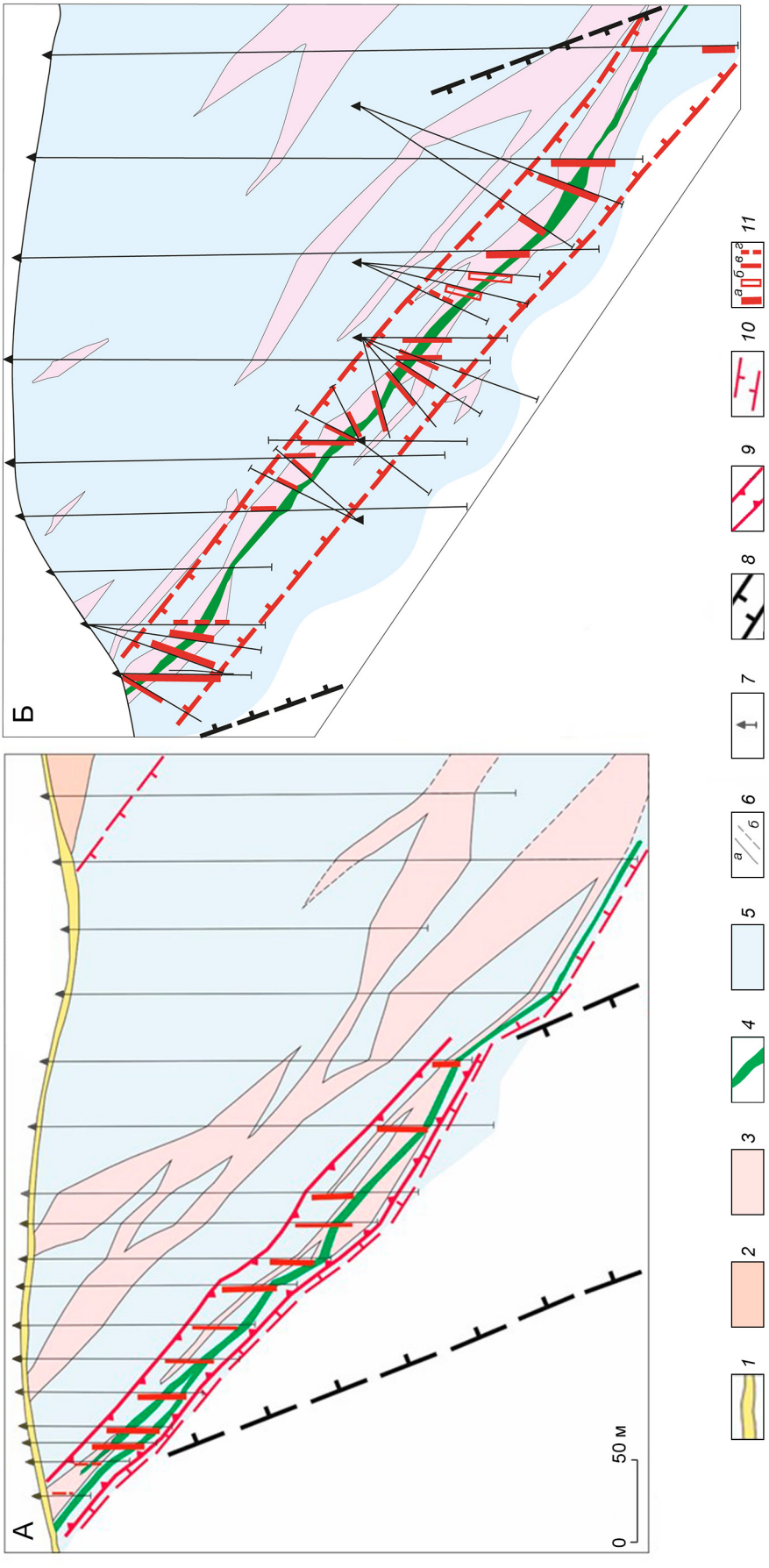


Рис. 19. Геологические разрезы рудных зон участков Анфиса, линия 140 (А) и Ольга, линия 3.2 (Б):

рудные зоны «трассируются» дайками микродиоритов и их экзоконтактовыми зонами; наиболее богатые руды (более 50–100 мг) локализуются в участках «раздува» мощности даек и их деформации в рудный этап; *1* – рыхлые отложения; *2* – гранит-порфиры; *3* – дациты; *4* – микродиориты; *5* – песчаники с прослоями углеродистых алевролитов; *6* – геологические границы: *а* – установленные, *б* – предполагаемые; *7* – скважина; *8* – зона рассланцевания и дробления рудной стадии взбросо-сбросового типа; *9* – Главная рудная зона; *10* – минерализованная зона; *11* – метрограмм в рудных интервалах скважины: *а* – более 100, *б* – 50–100, *в* – 50–100 (для А) и 20–50 (для Б), *г* – 0–50 (для А) и менее 20 (для Б)

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

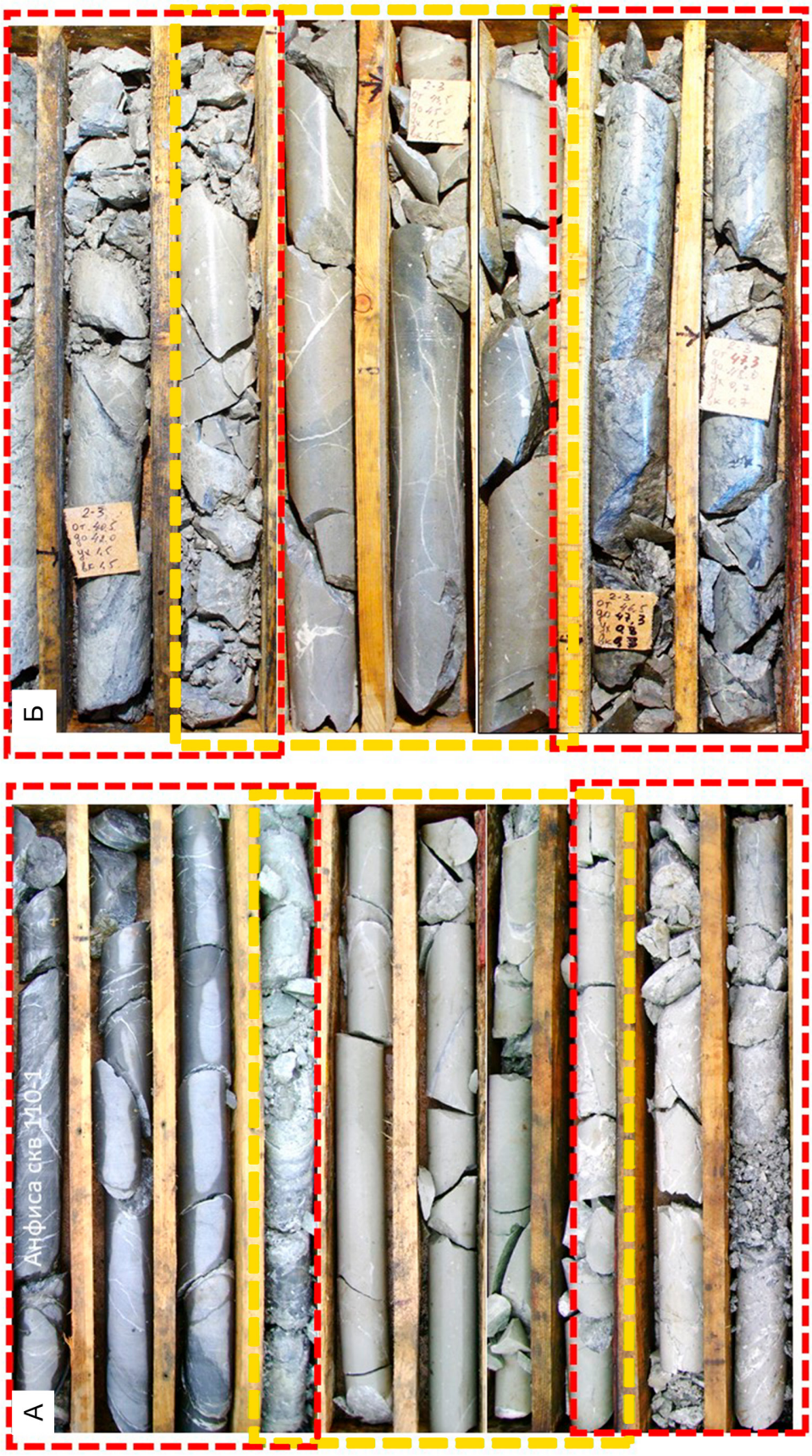
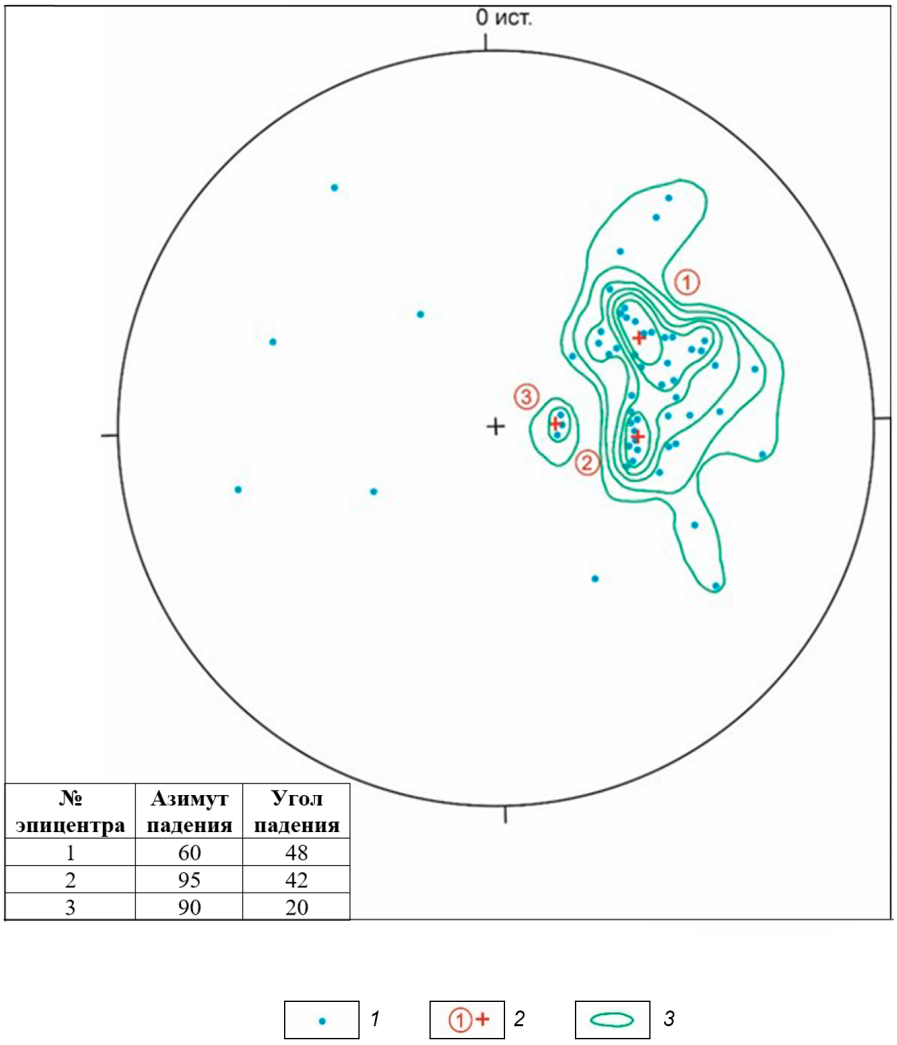


Рис. 20. Типичное положение даек микродиоритов (жёлтый пунктир) в керне вертикальных скважин в рудных зонах Анфиса (А) и Ольга (Б):

А (скв. 110-1) – микродиориты прорывают песчаники с прослоями углеродистых алевролитов (соответственно светло-серые и тёмно-серые в верхней части ящика) и дациты (светло-серые до белого – нижняя часть ящика); краевые части дайки микродиоритов рассланцованы, раздроблены с проявлением рудной прожилково-вкрапленной сульфидно-кварцевой минерализации (входят в рудные промышленные интервалы – обведены красным пунктиром); центральная часть дайки относительно слабо деформирована; Б (скв. 2-3) – дайка микродиоритов прорывает дациты (и в верхней, и в нижней частях ящика – светло-серые до белого); в верхней части ящика краевая часть дайки микродиоритов рассланцована, раздроблена с проявлением рудной прожилково-вкрапленной сульфидно-кварцевой минерализации и входит в рудный промышленный интервал; в нижней части ящика промышленное оруденение приурочено к вмещающим раздробленным и рассланцованным дацитам

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026



№ эпицентра	Азимут падения	Угол падения
1	60	48
2	95	42
3	90	20

1 *2* *3*

Рис. 21. Ориентировка контактов даек микродиоритов (гномопроекции). Рудная зона «Ольга» (56 замеров):

1 – гномопроекция контактов даек микродиоритов; *2* – эпицентры и их номера; *3* – изолинии плотности проведены через: 1,8; 3,6; 7,1; 10,8; 12,6 и 14 %

Главной рудной зоне), которые разнесены на план (проекцию на горизонтальную площадь), и отстроены изолинии их значений (рисунки 27, 28).

На эти же планы нанесены углы падения слоистости, установленные по анализу фотодокументации керна вертикальных скважин (направления падения и её простирание установлены в карьерах), по которым на проекции устанавливаются замковые части антиклиналей.

Кроме проекции изолиний метрограммов на горизонтальную плоскость, отстроены контуры (границы) балансового оруденения на вертикальную плоскость по линиям разрезов, ориентированным вдоль выходов на земную поверхность даек микродиоритов (см. рисунки 27 и 28).

На рисунках 27, А и Б в рудной зоне Анфиса в целом наглядно видно, что промышленное оруденение локализуется в пределах зоны складчато-разрывных деформаций в ядерной части антиклинали, а наиболее богатое оруденение приурочено к её замковой части. По простиранию субмеридиональной рудоконтролирующей зоны Албазинского разлома за пределами ЗСРД этапа линейной складчатости оруденение быстро

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

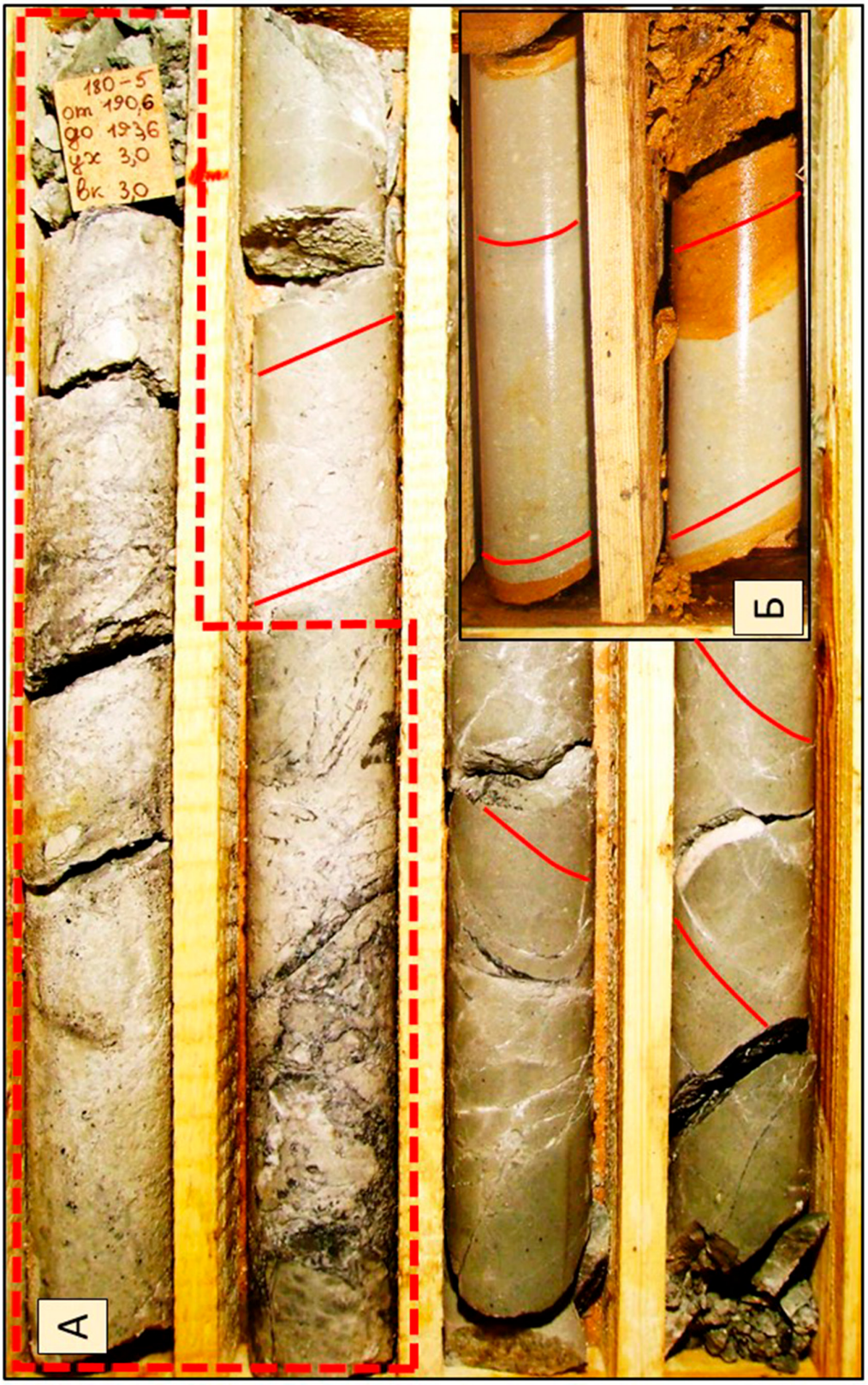


Рис. 22. Рудная зона Анфиса, керн из скважин 180-5 (А) и 2249 (Б):

А – наблюдается пологое рассланцевание (его ориентировка показана красными линиями) и прожилковое окварцевание (прожилки белого цвета) дацитов в рудноподготовительный этап (керн в нижней части ящика – нерудный интервал) и проявление прожилковой рудной кварцевой и кварц-сульфидной (тёмной) минерализации рудной стадии (богатая руда – обведена красным пунктиром) в верхней части ящика при активизации дорудного рассланцевания; Б – «проявление», в результате экзогенного окисления (лимонитизации) анкерита (рыжие участки) процесса бурошпатизации при дорудном рассланцевании (рудноподготовительный процесс № 2)

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

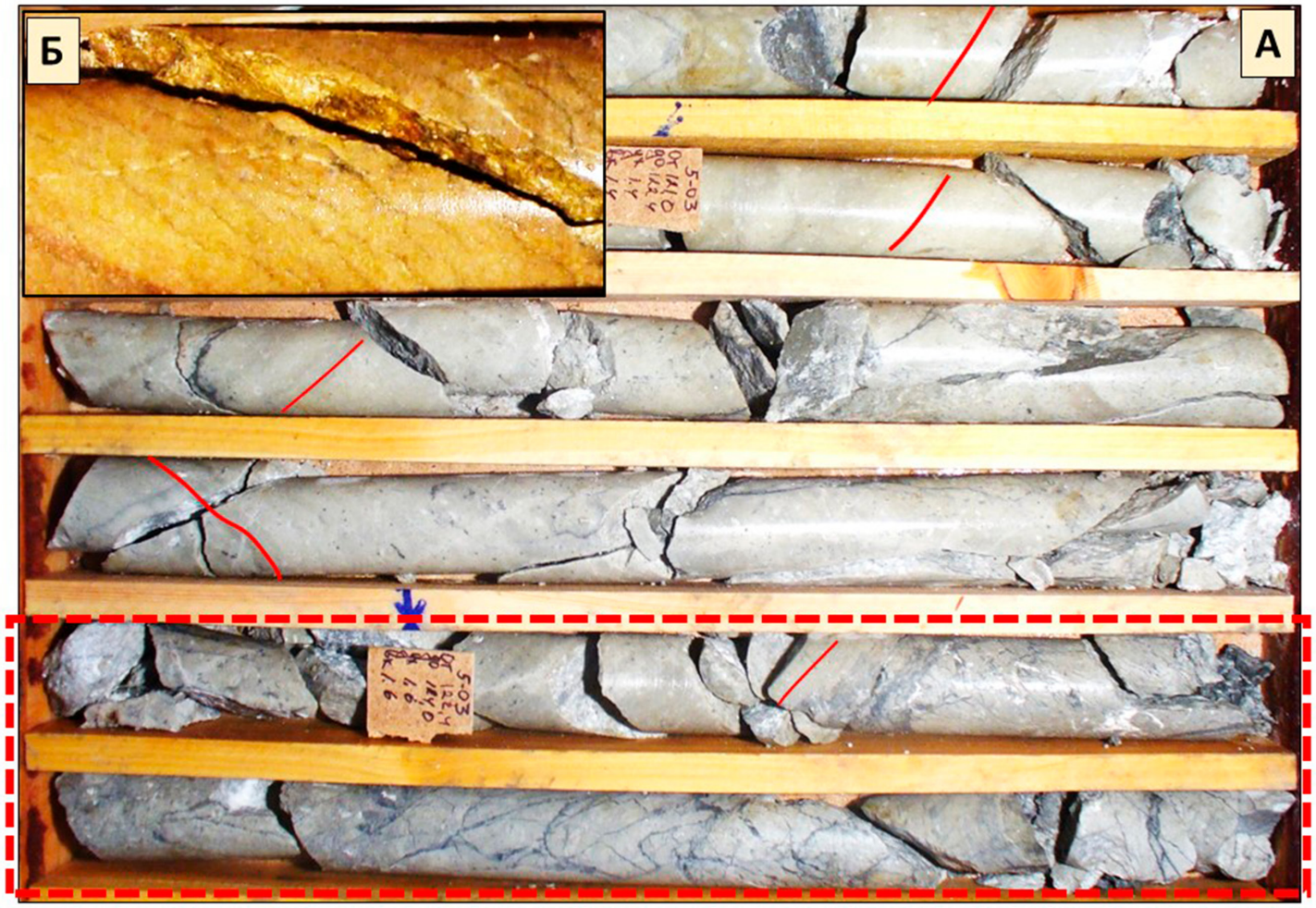


Рис. 23. Рудная зона Ольга, керн из скважин 5-03 (А) и 2-4 (Б):

А – наблюдается пологое рассланцевание (его ориентировка показана красными линиями) и прожилковое окварцевание (прожилки белого цвета) дацитов в рудноподготовительный этап № 2 (керн в верхней части ящика – нерудный интервал) и проявление прожилковой рудной кварцевой и кварц-сульфидной (тёмной) минерализации рудной стадии (рядовая руда – обведена красным пунктиром) в нижней части ящика при активизации дорудного рассланцевания и проявлении дробления; Б – «проявление» в результате экзогенного окисления (лимонитизации) анкерита (рыжий цвет) процесса бурошпатизации при дорудном рассланцевании (рудноподготовительный процесс № 2), свидетельствующее о его неравномерности в «плоскостях» сланцеватости (вариации интенсивности рыжего цвета)

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

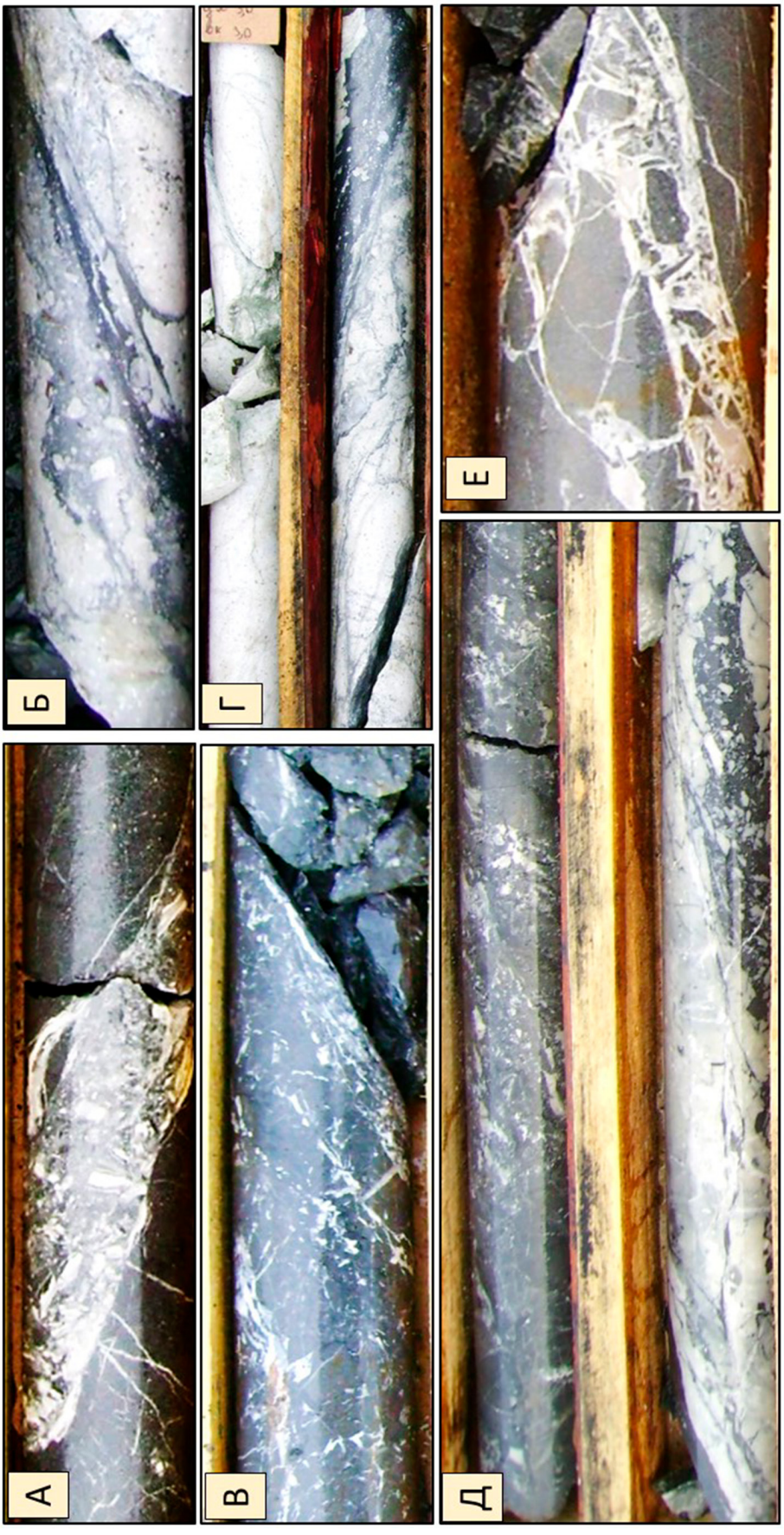


Рис. 24. Крутые рудные кварц-сульфидные зоны дробления и рассланцевания (богатая руда) в песчаниках и углеродистых алевролитах (А, В, Д, Е) и дацитах (Б, Г, Д):
участок Анфиса, вертикальные скважины № 140-2 (А) и № 110-1(Б-Е); диаметр керна 63 мм

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

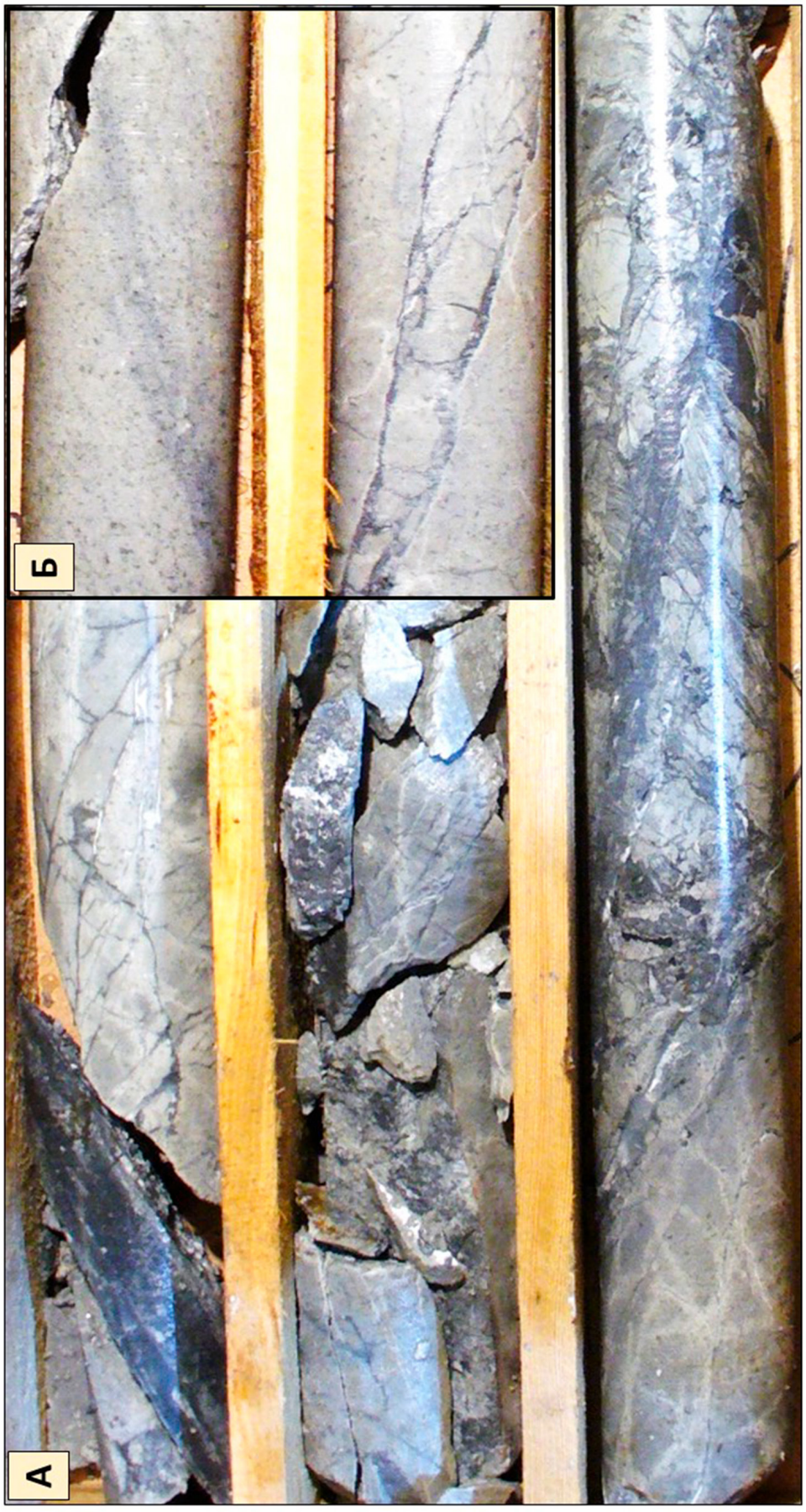


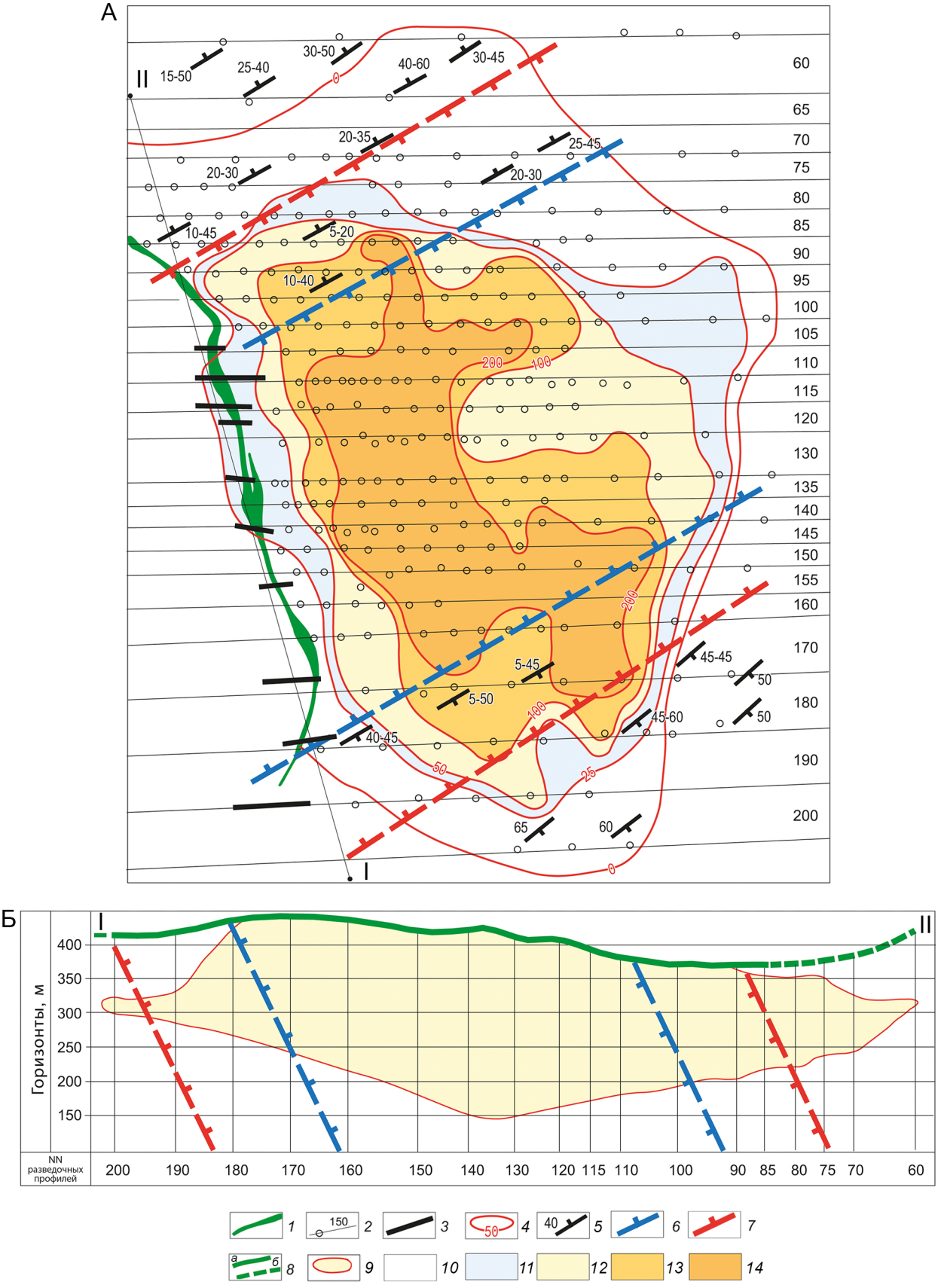
Рис. 25. Характер проявления деформационных структур рудной стадии в рудной зоне Ольга в дацитах (вертикальная скважина 2-3, рудные интервалы):
А – крутопадающие рудные зонки дробления с сульфидно-кварцевым цементом (тёмный); видно формирование рудной прожилковой минерализации между крутопадающими зонками дробления – кварцевой (прожилки белого цвета) и кварц-сульфидной (тёмные прожилки); Б – крутопадающие зонки рассланцевания и дробления с рудной сульфидной и кварц-сульфидной минерализацией (тёмный цвет); диаметр керна 63 мм

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026



Рис. 26. Золотоносные сульфидные прожилки в гранит-порфирах (бедная руда), скв. 180-5 (вертикальная). Рудная зона (участок) Анфиса

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026



© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

«угасает» в обоих крыльях, что свидетельствует о рудолокализующей роли антиклинали, ядерная часть которой является, таким образом, «структурной ловушкой». На этом же рисунке по горно-буровым разрезам отстроен выход на земную поверхность дайки микродиоритов, трассирующей лежачий бок рудной зоны. Видны изгибы дайки и изменение её мощности по простиранию, что в целом свидетельствует о наличии сдвиговой составляющей в разломной структуре при внедрении дайки. Сдвиговая составляющая, по-видимому, небольшая, так как по падению её мощность изменяется незначительно (см. рис. 19).

В рудной зоне Ольга по элементам залегания слоистости также отчётливо видна приуроченность оруденения к ядерной части антиклинали (см. рис. 28). Оруденение аналогично Анфисе «угасает» в обоих крыльях, что также свидетельствует о рудолокализующей роли антиклинали как «структурной ловушки» – в целом оруденение локализуется в ядерной части, а наиболее богатое – непосредственно в замке. Отличием от Анфисы является проявление «разгонки» оруденения по активизировавшимся в рудный этап северо-восточным синскладчатым зонам складчато-разрывных деформаций, что соответствует наблюдениям в карьере (см. рисунки 7–10) и выражается в значительном увеличении вертикального размаха промышленного оруденения (см. рис. 28, Б).

На план также вынесен выход на земную поверхность дайки микродиоритов, которая (как и на Анфисе) приурочена к лежачему боку рудной зоны, характеризуется изгибанием по простиранию, но мощность её при этом почти не меняется. Это, вероятно, свидетельствует об отсутствии сколь-либо существенной сдвиговой составляющей в разломных зонах во время внедрения дайки.

После формирования золотого оруденения в последующие этапы развития региона зона Албазинского разлома в той или иной степени активизировалась, в том числе с проявлением сдвиговых деформаций.

Выявленная таким образом этапность формирования золотого оруденения Албазинского месторождения представлена в таблице.

Выводы. Основные выводы об этапности формирования золотого оруденения Албазинского месторождения и структурных особенностях его локализации сводятся к следующему.

1. Оруденение локализуется преимущественно в терригенных, в том числе углеродистых, толщах юрского (триас-юрского?) возраста флишоидного строения, вероятно, характеризующихся седиментационным обогащением золотом.

2. В раннемеловое время в коллизионных условиях терригенные отложения смяты в разнопорядковые линейные складки с субгоризонтальными шарнирами и крутопадающими на северо-запад осевыми поверхностями, что свидетельствует об их формировании в коллизионной обстановке. Линейное складкообразование сопровождалось формированием продольных относительно осей складок зон складчато-разрывных деформаций с проявлением золотоносной бурошпатизации.

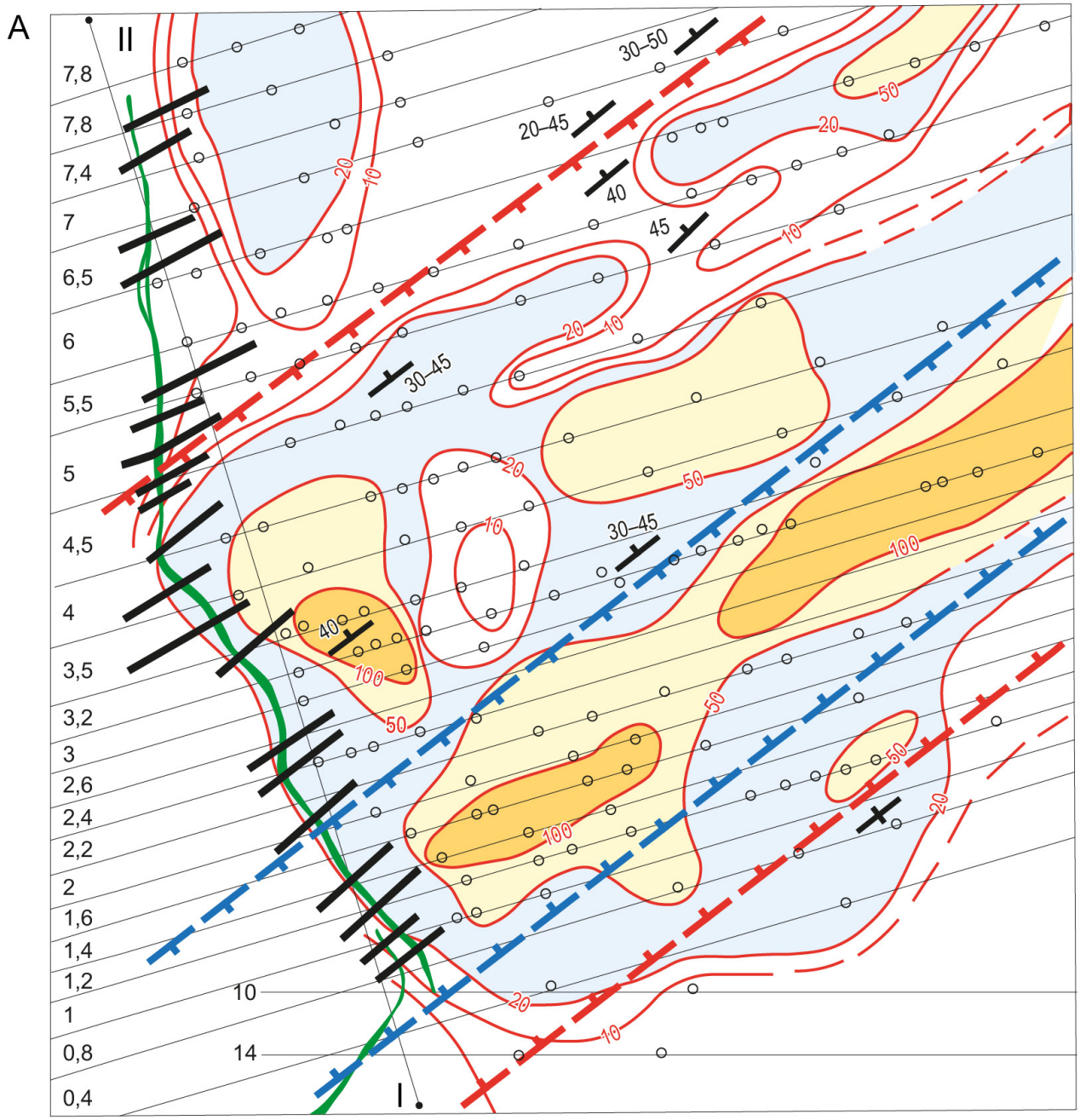
3. При верхнемеловой тектонической активизации при формировании (или активизации более древнего разлома фундамента складчатой области – «Ульбанского террейна») Албазинского магмоконтролирующего глубинного разлома северо-северо-западного–субмеридионального простирания, косо секущего линейно-складчатые комплексы, последовательно внедрились (подэтапы для этапа формирования Албазинского разлома) интрузивные тела дацитов, микродиоритов, гранитоидов (гранит- и гранодиорит-

Рис. 27. Проекция на горизонтальную плоскость изолиний значений метрограммов в Главной рудной зоне участка Анфиса по скважинам и канавам (А) и проекция на вертикальную плоскость (линия I-II) контура балансовых запасов на Главной рудной зоне Анфиса (Б):

1 – выход на земную поверхность дайки микродиоритов (для А); *2* – буровой профиль и скважины; *3* – канавы; *4* – изолинии значений метрограмм по скважинам в Главной рудной зоне (в условных единицах); *5* – элементы залегания слоистости (углы падения по керну вертикальных скважин, простирание и направления падения – по наблюдениям в карьере); границы: *6* – замковой части антиклинали и *7* – зоны складчато-разрывных деформаций; *8* – выход на земную поверхность дайки микродиоритов: *а* – установленный в канавах и *б* – экстраполированный (для Б); *9* – проекция на вертикальную плоскость контура балансового оруденения; *10–14* – значения метрограммов: *10* – 0–25, *11* – 25–50, *12* – 50–100, *13* – 100–200, *14* – более 200

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

порфиров), относимых к эвурскому комплексу. Подэтапам (для удобства описания) присвоены условные названия – «дацитовый», «микродиоритовый» и «гранитный». Каждый из них характеризовался особенностями проявления разрывных деформаций: в «дацитовый» этап – сдвиго-сбросовых, в «микродиоритовый» и «гранитный» – сбросовых (взбросо-сбросовых). В «микродиоритовый» подэтап кроме «хрупких» разрывов сформировались зоны рассланцевания с проявлением



© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

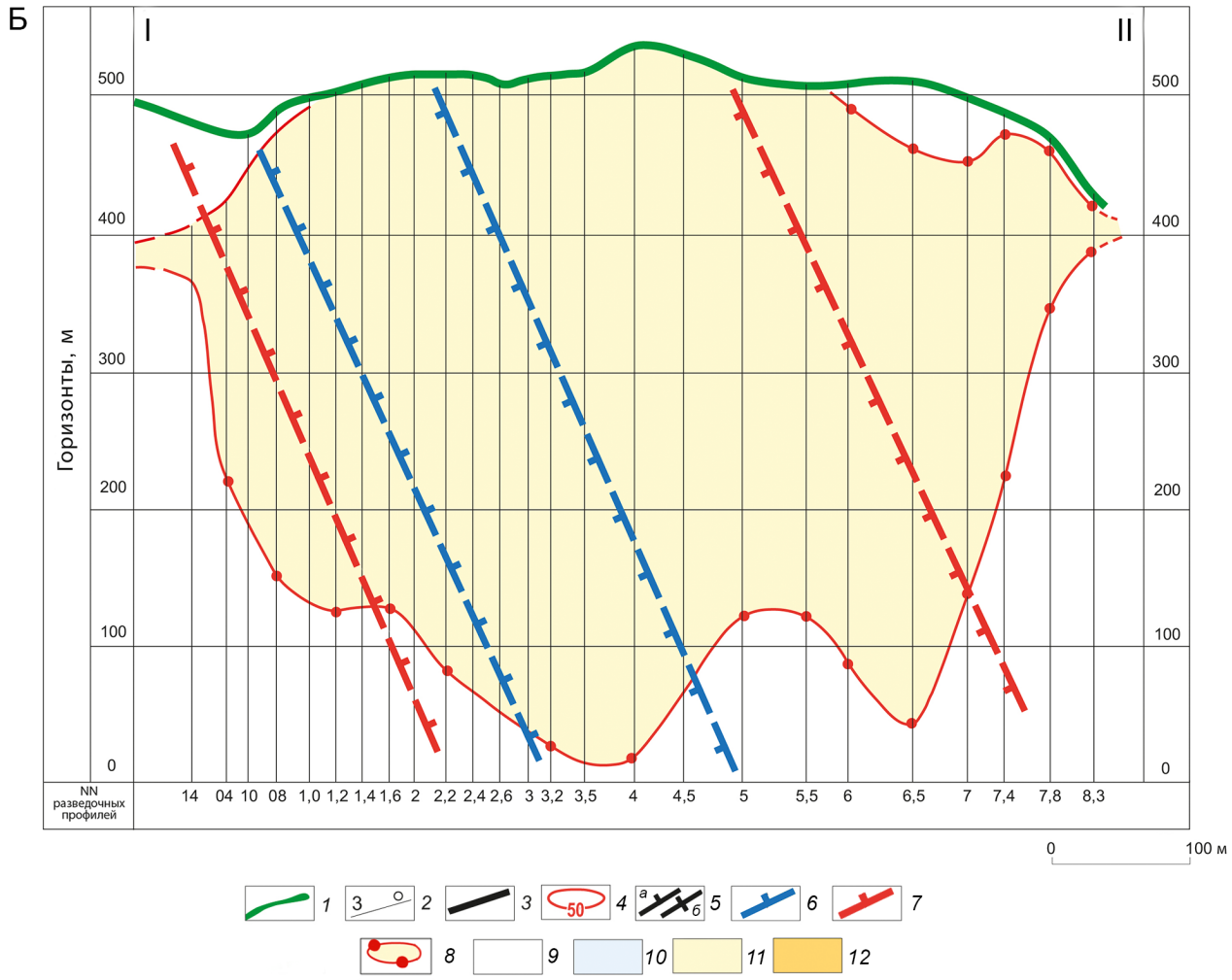


Рис. 28. Проекция на горизонтальную плоскость изолиний значений метрограммов в рудной зоне участка Ольга по скважинам и канавам (А) и проекция на вертикальную плоскость (линия I-II) контура балансовых запасов на рудной зоне участка Ольга (Б):

1 – выход на земную поверхность дайки микродиоритов; *2* – буровой профиль и скважины; *3* – канавы; *4* – изолинии значений метрограмм по скважинам в рудной зоне (в условных единицах); *5* – элементы залегания слоистости: *а* – углы падения по керну вертикальных скважин, простирание и направления падения – по наблюдениям в карьере, *б* – вертикальное залегание слоистости; границы: *6* – замковой части антиклинали и *7* – зоны складчато-разрывных деформаций; *8* – проекция на вертикальную плоскость контура балансового оруденения (красные точки – фактические данные по разрезам); *9–12* – значения метрограммов: *9* – 10–20, *10* – 20–50, *11* – 50–100, *12* – более 100

интенсивной золотоносной бурошпатизации и прожилкового окварцевания, что привело к «оформлению» золотоносных минерализованных зон. В «гранитный» подэтап активизация Албазинского разлома, в том числе с формированием более крутопадающих разрывов и зон рассланцевания, деформирующих структуры предыдущих подэтапов, связано проявление кварц-сульфидной золотоносной минерализации.

4. Локализация промышленного золотого оруденения в разломных зонах Албазинского рудоконтролирующего разлома при его пересечении линейно-складчатых комплексов происходила преимущественно в ядерных частях линейных антиклиналей, являвшихся «структурными ловушками», при активизации «первично»-золотоносных зон складчато-разрывных деформаций, образованных при линейном складкообразовании.

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

Таблица. Этапы формирования золотого оруденения Албазинского рудного узла

Этапы	Возраст	Процессы	Рудообразование
Осадконакопление	J_1–K_1	Терригенные флишоидные (турбидитовые) отложения	Седиментогенное обогащение углеродистых отложений металлами
Линейное складкообразование	K_{1-2}	Формирование зон складчато-разрывных деформаций в замковых частях антиклиналей второго порядка	Золотоносные процессы железомагнезиальной карбонатизации (бурошпатизации) – рудноподготовительный процесс № 1
Формирование Албазинского глубинного разлома	K_2	Субмеридиональные сдвиго-взбросовые деформации с формированием зон субмеридиональных и оперяющих разломов, формирование даек дацитов	Рассланцевание и дробление в субмеридиональных разломах, активизация синскладчатых СВ разломов. Формирование даек дацитов в сколовых субмеридиональных системах, в отрывных системах – в оперяющих пологих субмеридиональных и оперяющих крутопадающих СВ простирания, в приоткрывающихся СВ синскладчатых разломах
		Субмеридиональные взбросо-сбросовые деформации с формированием субмеридиональных зон рассланцевания, наследующих разломы предыдущего этапа, внедрение даек микродиоритов	Интенсивное рассланцевание, переработка золотоносных синскладчатых зон бурошпатизации, перераспределение золота (рудноподготовительный процесс № 2)
		Субмеридиональные взбросо-сбросовые деформации, внедрение интрузий гранит-порфиров, деформация и активизация ранее сформированных зон рассланцевания, формирование субмеридиональных зон дробления и рассланцевания	Постмагматическая золотоносная бурошпатизация всех пород, интенсивное прожилковое окварцевание, золотоносная сульфидизация вкрапленная, прожилковая, формирование зон дробления с золотоносным сульфидно-кварцевым цементом

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Данилович В. Н.* Метод поясов в исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями (Методическое руководство). – Иркутск : ИПИ, 1961. – 29 с.
2. *Иванов А. И.* Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М. : ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.
3. *Иванов А. И.* Прогнозно-поисковые модели полихронных и полигенных золоторудных месторождений – особенности создания и представления // Отечественная геология. – 2024. – № 5. – С. 3–37.
4. *Иванов А. И., Трушин С. И.* Полигенное и полихронное золотое оруденение Среднего Урала – этапность проявления золотоносных гидротермально-метасоматических процессов // Руды и металлы. – 2024. – № 4. – С. 38–67.

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

5. *Трушин С. И., Кириллов В. Е.* Месторождение Албазино – новый для Дальнего Востока промышленный тип золотого оруденения // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 73. – С. 60–67.
6. *Трушин С. И., Кириллов В. Е., Буханова Д. С., Чубаров В. М.* Минералогические особенности золотых руд Албазинского и Ульбанского рудных районов (Хабаровский край) // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 78. – С. 91–97.
7. *Трушин С. И., Кириллов В. Е., Иванов В. В., Ноздрачёв Е. А.* Вулканогенно-кремнистый комплекс района Албазинского золоторудного поля (Хабаровский край, Россия) // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 79. – С. 68–76.
8. *Трушин С. И., Кириллов В. Е., Иванов В. В., Полин В. Ф.* Магматогенные рудоносные системы месторождений золота Ульбанского террейна (Хабаровский край, Россия) // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 7. – С. 21–35.
9. *Трушин С. И., Иванов А. И., Хохлов С. Г.* Структурные особенности локализации золотого оруденения Албазинского месторождения // Тезисы докладов XV научно-практической конференции «Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2026. – С. 336–339.
10. *Ханчук А. И., Иванов В. В.* Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 11. – С. 1635–1645.
11. *Ханчук А. И., Кемкин И. В., Кириллов В. Е.* [и др.] Ульбанский террейн (зона) как часть юрского аккреционного комплекса Сихоте-Алинского орогенного пояса // Тихоокеанская геология. – 2024. – Т. 43, № 3. – С. 3–18.

REFERENCES

1. *Danilovich V. N.* Metod poyasov v issledovanii treshchinovatosti, svyazannoy s razryvnymi smeshcheniyami (Metodicheskoe rukovodstvo) [Method of belts in the study of fracturing associated with fault displacements (Methodological guide)], Irkutsk, IPI publ., 1961, 29 p. (In Russ.)
2. *Ivanov A. I.* Zoloto Baykalo-Patoma (geologiya, orudenenie, perspektivy) [Gold of the Baikal-Patom (geology, mineralization, prospects)], Moscow, TsNIGRI publ., 2014, 215 p. (In Russ.)
3. *Ivanov A. I.* Prognozno-poiskovye modeli polikhronnykh i poligennykh zolotorudnykh mestorozhdeniy – osobennosti sozdaniya i predstavleniya [Forecast-exploration models of polychronous and polygenic gold deposits – features of creation and presentation], Otechestvennaya geologiya, 2024, No. 5, pp. 3–37. (In Russ.)
4. *Ivanov A. I.*, *Trushin S. I.* Poligennoe i polikhronnoe zolotoe orudenenie Srednego Urala – etapnost' proyavleniya zolotonosnykh gidrotermal'no-metasomaticheskikh protsessov [Polygenic and polychronous gold mineralization of the Middle Urals – stages of manifestation of gold-bearing hydrothermal-metasomatic processes], Rudy i metally, 2024, No. 4, pp. 38–67. (In Russ.)
5. *Trushin S. I.*, *Kirillov V. E.* Mestorozhdenie Albazino – novyy dlya Dal'nego Vostoka promyshlennyy tip zolotogo orudeneniya [Albazino deposit – a new industrial type of gold mineralization for the Far East], Regional'naya geologiya i metallogeniya, 2018, No. 73, pp. 60–67. (In Russ.)
6. *Trushin S. I.*, *Kirillov V. E.*, *Bukhanova D. S.*, *Chubarov V. M.* Mineralogicheskie osobennosti zolotykh rud Albazinskogo i Ul'banskogo rudnykh rayonov (Khabarovskiy kray) [Mineralogical features of gold ores of the Albazino and Ulbansky ore dis-tricts (Khabarovsk Krai)], Regional'naya geologiya i metallogeniya, 2019, No. 78, pp. 91–97. (In Russ.)
7. *Trushin S. I.*, *Kirillov V. E.*, *Ivanov V. V.*, *Nozdrachev E. A.* Vulkanogenno-kremnistyy kompleks rayona Albazinskogo zolotorudnogo polya (Khabarovskiy kray, Rossiya) [Volcanogenic-siliceous complex of the Albazino gold ore field area (Khabarovsk Krai, Russia)], Regional'naya geologiya i metallogeniya, 2019, No. 79, pp. 68–76. (In Russ.)
8. *Trushin S. I.*, *Kirillov V. E.*, *Ivanov V. V.*, *Polin V. F.* Magmatogennye rudonosnye sistemy mestorozhdeniy zolota Ul'banskogo terreyna (Khabarovskiy kray, Rossiya) [Magmatogenic ore-bearing systems of gold deposits of the Ulbansky terrane (Khabarovsk Krai, Russia)], Razvedka i okhrana nedr, 2021, No. 7, pp. 21–35. (In Russ.)
9. *Trushin S. I.*, *Ivanov A. I.*, *Khokhlov S. G.* Strukturnye osobennosti lokalizatsii zolotogo orudeneniya Albazinskogo mestorozhdeniya [Structural features of localization of gold mineralization of the Albazino deposit], Tezisy dokladov XV nauchno-prakticheskoy konferentsii "Geologiya, prognoz, poiski i otsenka mestorozhdeniy almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov", Moscow, TsNIGRI publ., 2026, pp. 336–339. (In Russ.)
10. *Khanchuk A. I.*, *Ivanov V. V.* Mezo-kaynozoyskie geodinamicheskie obstanovki i zolotoe orudenenie Dal'nego Vostoka Rossii [Mesozoic-Cenozoic geo-

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

dynamic settings and gold mineralization of the Russian Far East], Geologiya i geofizika, 1999, V. 40, No. 11, pp. 1635–1645. (In Russ.)
11. *Khanchuk A. I.*, *Kemkin I. V.*, *Kirillov V. E.* [et al.] Ul'banskiy terreyn (zona) kak chast' yurskogo akretsionnogo kompleksa Sikhote-Alinskogo orogennogo poyasa [Ulbansky terrane (zone) as part of the Jurassic accretionary complex of the Sikhote-Alin orogenic belt], Tikhookeanskaya geologiya, 2024, V. 43, No. 3, pp. 3–18. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 21.09.26; одобрена после рецензирования 02.10.26; принята к публикации 02.10.26.
The article was submited 21.09.26; approved after reviewing 02.10.26; accepted for publication 02.10.26.

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.

© А. И. Иванов, С. И. Трушин, С. Г. Хохлов, И. В. Арсентьева, 2026
© A. I. Ivanov, S. I. Trushin, S. G. Khokhlov, I. V. Arsent'eva, 2026

DOI:10.47765/0869-7175-2026-10012

УДК 553.411.041:553.546(571.1+460.1+71)
© Т. В. Серавина, 2026

Месторождения типа VMS Алтае-Саянской металлогенической провинции (Рудноалтайская, Салаирская и Улугойская зоны), Иберийского пиритового пояса (Испания, Португалия), а также района Батерст (Канада): сравнительная характеристика

Аннотация. В работе проведён сравнительный анализ колчеданно-полиметаллических месторождений типа VMS Алтае-Саянской металлогенической провинции (Рудноалтайская, Салаирская, Улугойская зоны) с эталонными провинциями мира – Иберийским пиритовым поясом (Испания, Португалия) и рудным районом Батерст (Канада). Рассмотрены геологическое строение, литолого-фациальные особенности, минеральные типы руд, структурно-вещественные условия локализации оруденения, а также изотопный состав серы. Установлены универсальные черты VMS-рудообразования: приуроченность к бимодальным вулканогенно-осадочным комплексам рифтогенного типа, доминирование пирита, сфалерита, галенита и халькопирита, зональность от медно-колчеданных к цинково-свинцовым рудам. Выявлены региональные различия, главным образом по изотопному составу серы, отражающие разные палеообстановки (гидротермальное восстановление сульфата, бактериальная сульфатредукция в открытых или изолированных бассейнах). Результаты могут быть использованы при металлогеническом прогнозировании и поисках новых объектов типа VMS.
Ключевые слова: VMS, Алтае-Саянская металлогеническая провинция, Иберийский пиритовый пояс, район Батерст, изотопный состав серы.

СЕРАВИНА ТАТЬЯНА ВАЛЕРЬЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией, seravina@tsnigri.ru

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

The VMS type deposits of the Altai-Sayany metallogenic province (including the Rudnyi Altai, Salair, and Ulugoi zones), the Iberian Pyrite Belt in Spain and Portugal, and the Bathurst Mining Camp in Canada: The comparative characteristics

T. V. SERAVINA

Federal State Budgetary Institution “Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals” (FSBI “TSNIGRI”), Moscow

Abstract. The paper presents a comparative analysis of VMS-type massive sulfide polymetallic deposits of the Altai-Sayany metallogenic province (including the Rudny Altai, Salair, and Ulugoi zones) with the world’s reference provinces, the Iberian Pyrite Belt in Spain and Portugal and the Bathurst Mining Camp in Canada. The geological structure, lithofacies characteristics, mineral types, structural and compositional localization conditions, and sulfur isotope composition of the mineralization are considered. Established universal features of the VMS ore formation comprise the confinement to bimodal volcanosedimentary complexes of the riftogenic type; predominance of pyrite, sphalerite, galena, and chalcopyrite; and zonal transition from copper-pyrite to zinc-lead ores. Regional differences identified, mainly in the sulfur isotope composition, reflect different paleoenvironments of the ore formation (hydrothermal sulfate reduction, bacterial sulfate reduction in open or isolated basins). The results are applicable to the metallogenic forecasting and exploration of new VMS-type objects.
Key words: VMS, Altai-Sayany metallogenic province, Iberian Pyrite Belt, Bathurst Mining Camp, sulfur isotopic composition.

Введение. Колчеданно-полиметаллические месторождения типа VMS (volcanogenic massive sulfide) являются одним из главных источников меди, цинка, свинца, золота и серебра в мире. Их формирование неразрывно связано с эволюцией палеоокеанических бассейнов, субмаринным

вулканизмом и сопутствующей гидротермальной деятельностью в обстановках растяжения и рифтогенеза. Локализация рудных тел контролируется сочетанием магматических и структурных факторов. Ключевую роль играют синвулканические разломы, зоны растяжения и вулканотектонические депрессии. Субвулканические интрузии на глубинах от двух до пяти километров служат основным источником тепла, обеспечивающим длительную конвекцию и взаимодействие морской воды с породами фундамента. Морфология рудных залежей варьирует от холмообразных построек до пластообразных тел, причём последние нередко формируются в придонных бассейнах. В подводящих каналах рудоносных гидротерм развиваются зоны окварцевания и хлоритизации, сменяющиеся серицитовыми и пропилитовыми ассоциациями.

Сравнительный анализ различных металлогенических провинций и зон, вмещающих подобное оруденение, позволяет выявить как универсальные закономерности рудообразования, так и региональные особенности, обусловленные спецификой геодинамического развития, составом рудовмещающих комплексов и структурным контролем. Такие исследования имеют как фундаментальное значение для понимания рудообразующих систем, так и практическую ценность для прогнозирования и поисков новых объектов.

В настоящей работе рассмотрены ключевые характеристики колчеданно-полиметаллических объектов Алтае-Саянской провинции (Рудноалтайская, Салаирская и Улугойская металлогенические зоны), а также эталонных мировых провинций – Иберийского пиритового пояса (Испания, Португалия) и рудного района Батерст (Канада) (рис. 1).

В пределах Алтае-Саянской складчатой области (металлогенической провинции) сосредоточены многочисленные месторождения благородных, цветных и редких металлов, а также нерудных ископаемых. Однако внутреннее строение провинции, её металлогеническая зональность и геохимические особенности остаются предметом дискуссий. Для выявления общих закономерностей размещения и генезиса колчеданно-полиметаллического оруденения целесообразно сопоставить объекты Рудноалтайской, Салаирской и Улугойской металлогенической зон Алтае-Саянской провинции с двумя другими крупнейшими VMS-провинциями мира – Иберийским пиритовым поясом (ИПП) и рудным районом Батерст (Канада). Сравнение геологического строения, палеоструктурных обстановок, минерального состава и изотопно-геохимических характеристик руд позволяет проследить как универсальные черты VMS-рудообразования, так и специфику, обусловленную региональными особенностями эволюции палеобассейнов. Цели настоящей работы – на основе комплексного анализа выделить главные типы рудоконтролирующих структур, охарактеризовать минеральные ассоциации, изотопные составы серы в рудах и исходя из этого сравнить вышеперечисленные провинции, в которых выявлены месторождения типа VMS.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: проанализировано геологическое строение и литолого-фациальные особенности рудовмещающих толщ исследуемых районов; выявлены основные структурно-вещественные обстановки локализации колчеданно-полиметаллического оруденения; проведено сопоставление минеральных типов руд и изотопно-геохимических характеристик серы, а также определены сходства и различия в составе вмещающих пород, условиях рудоотложения и источниках серы.

Общие сведения. Алтае-Саянская складчатая область (металлогеническая провинция) охватывает юго-западное обрамление Сибирской платформы и представляет собой западный фрагмент Алтае-Монголо-Охотского сегмента рифейско-палеозойского Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) [7, 56]. Провинция локализована в области сочленения субмеридиональных (Уральских) и субширотных (Монголо-Охотских) структурных направлений. На северо-востоке она граничит по Главному Восточно-Саянскому разлому с Енисейско-Саянской областью, а на юго-западе по Восточно-Чингизскому разлому отделяется от палеозойских структур Казахского нагорья. Юго-восточное продолжение провинции прослеживается на территории Монголии и Северного Китая, тогда как на северо-западе её структуры погружаются под мезозойско-кайнозойский осадочный чехол Западно-Сибирской плиты. В соответствии с современными представлениями, Алтае-Саянская металлогеническая провинция является сложно построенной рифейско-палеозойской аккреционно-коллизионной системой, включающей многочисленные террейны (микроконтиненты, фрагменты островных дуг и океанических поднятий), сформировавшиеся в

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

ходе эволюции Палеоазиатского океана [7, 56]. В пределах провинции сосредоточено значительное количество месторождений благородных (золото), цветных (медь, свинец, цинк, никель, алюминий) и редких (тантал, ниобий, литий, бериллий) металлов, а также нерудных полезных ископаемых (бокситы, фосфориты, апатит, барит, тальк, магнезит, мусковит). Колчеданно-полиметаллические месторождения типа VMS локализованы в Рудноалтайской, Салаирской и Улугойской металлогенических зонах. К числу наиболее значительных объектов относятся: Риддер-Сокольное, Тишинское, Малеевское, Орловское, Ново-Лениногорское, Зыряновское, Чекмарь, Николаевское, Белоусовское (Республика Казахстан); Корбалихинское, Золотушинское, Кызыл-Таштыгское, Салаирское (Российская Федерация); Кекетале, Ашеле (Китайская Народная Республика), а также Дулаан кхар уул и Хох Адар (Монголия).

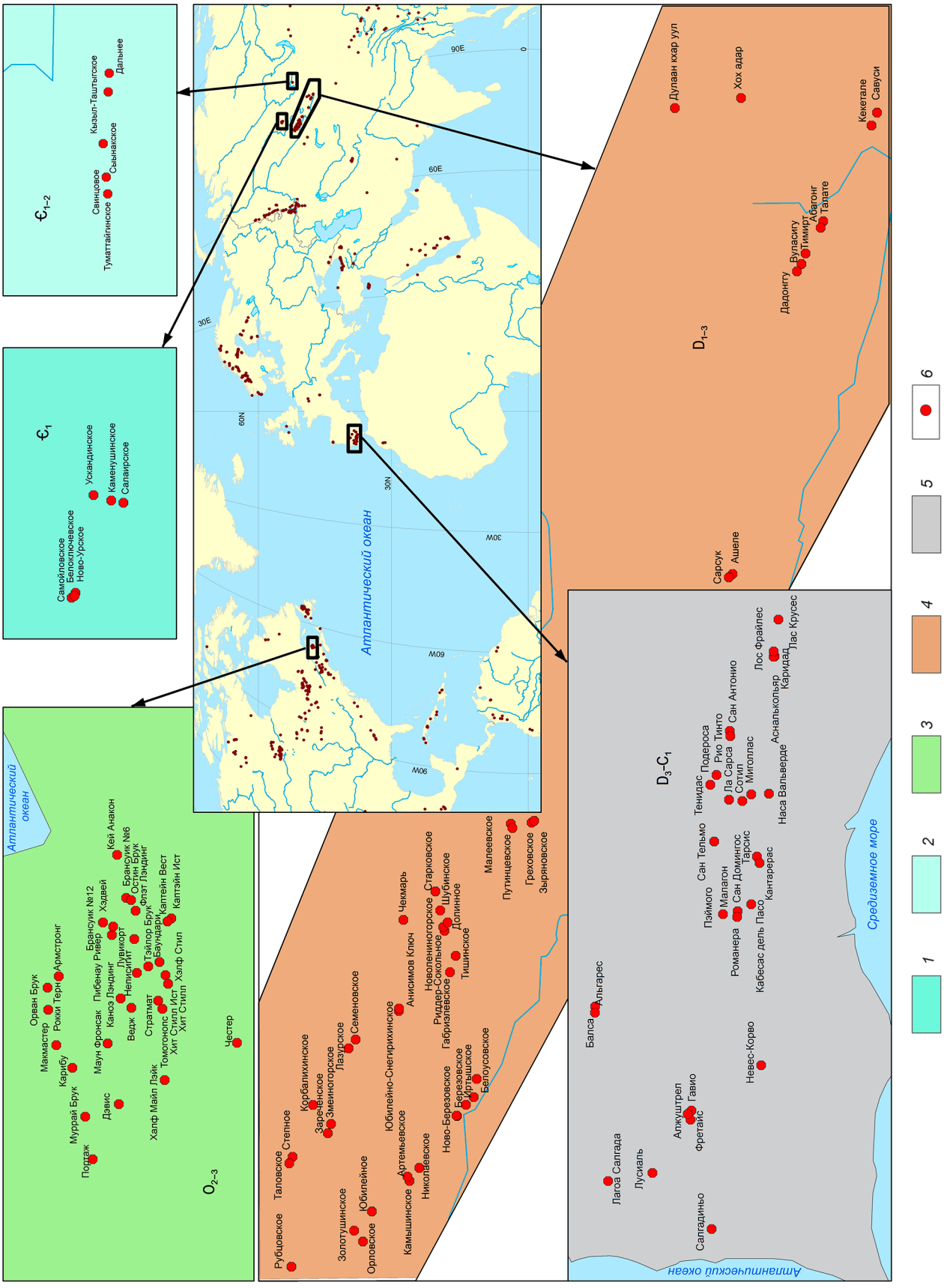
Для выявления общих закономерностей размещения и генезиса колчеданно-полиметаллического оруденения Алтае-Саянской провинции целесообразно сопоставить её с другими крупнейшими VMS-провинциями мира. К их числу относятся Иберийский пиритовый пояс (ИПП), расположенный на юго-западе Пиренейского полуострова и дугообразно простирающийся на 250 км при ширине от 25 до 70 км, и рудный район Батерст в провинции Нью-Брансуик (Канада). ИПП характеризуется колоссальными, не имеющими мировых аналогов масштабами оруденения: более восьмидесяти месторождений, в том числе гигантские Рио-Тинто, Невес-Корво, Тарсис и Ла-Сарса [45, 50]. Рудный район Батерст, в свою очередь, вмещает крупнейшие в мире колчеданно-полиметаллические объекты, среди которых эталонными являются месторождения Брансуик № 12 и № 6 [38, 39].

Рудовмещающие отложения и обстановки формирования. ***Рудноалтайская металлогеническая зона (Россия, Казахстан, Китай, Монголия).*** Месторождения Рудноалтайской металлогенической зоны (МЗ) образовались на рифтогенном этапе эволюции земной коры и ассоциированы с девонскими вулканогенно-осадочными комплексами. По составу, возрасту и соотношению вулканогенной и осадочной составляющих эти комплексы подразделяются на две формации, соответствующие двум циклам вулканической активности: нижнюю (D_1lx–pr–D_2gv_1) – последовательно дифференцированную базальтсодержащую андезит-дацит-риолитовую известково-кремнисто-терригенную и верхнюю (D_1e–D_3f_1) – контрастную базальт-риолитовую кремнисто-терригенную [26].

Палеоструктуры рудных районов (Змеиногорского, Золотушинского, Рубцовского, Лениногорского, Прииртышского, Зыряновского, Ашеле, Келан, Майзи, Хох Адар и Дулаан кхар уул) представляли собой вулкано-тектонические депрессии, осложнённые локальными структурами второго порядка. Данное положение подтверждается результатами вибросейсмических исследований, проведённых в 2010–2011 гг. в российской части зоны (рис. 2, А) [19]. Важную роль в рудообразовании играли субвулканические интрузии кислого, реже основного состава, служившие тепловыми источниками для гидротермальных конвективных систем (см. рис. 2, Б). Размещение колчеданно-полиметаллических залежей контролировалось зонами глубинных разломов, которые служили подводящими каналами для рудоносных растворов, тогда как экранирующую функцию выполняли прослои карбонатных и туфогенно-осадочных пород.

Анализ литологического состава рудных районов, вмещающих колчеданно-полиметаллические месторождения Рудноалтайской металлогенической зоны, позволяет выявить как общие закономерности, так и региональные различия в составе рудовмещающих толщ. В первую очередь, следует отметить, что все рассмотренные рудные районы характеризуются приуроченностью оруденения к вулканогенно-осадочным комплексам. Общей чертой разрезов является широкое развитие фаций кислого вулканизма, представленных риолитами, дацитами и их пирокластическими производными (автомагматические брекчии, лавобрекчии, туфы крупно-, средне- и мелкообломочные, включая смешанные разности), которые в большинстве районов переслаиваются с породами основного и среднего состава (лавы и туфы базальтов, андезитов и андезибазальтов). Не менее значимую роль в строении рудных районов играет вулканогенно-осадочная составляющая, представленная туффитами, туфопесчаниками, туфоалевролитами, а также горизонтами переслаивания терригенных пород с туфогенным материалом. Рудные тела закономерно тяготеют к определённым стратиграфическим уровням, маркированным подрудными и надрудными горизонтами, а также приурочены к пачкам с повы-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026



© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

шенным содержанием углистого и кремнистого вещества, представленным углистыми аргиллитами, алевролитами и кремнистыми сланцами, что является ключевым поисковым признаком.

Вместе с тем литолого-фациальные обстановки формирования рудных залежей имеют существенные отличия. Так, для некоторых рудных районов (в первую очередь, Рубцовского, Змеиногорского и Золотушинского в РФ, а также Прииртышского в РК) характерно доминирование в разрезе собственно вулканических пород, где объёмы кислых и основных эффузивов сопоставимы с мощностью осадочных прослоев, при этом разрез отличается латеральной неоднородностью и частой сменой фаций. Отличительной особенностью Змеиногорского района выступает наличие мощной пачки основных вулканитов (лав и лавобрекчий базальтов) в кровле разреза, которая сменяется вниз по стратиграфической колонке серией переслаивающихся кислых эффузивов и терригенных пород; при этом, в отличие от месторождений КНР, интрузивные гранитоидные тела в данном разрезе не фиксируются. В отличие от российских районов, Лениногорский и Зыряновский районы Казахстана демонстрируют заметное преобладание вулканогенно-осадочных и терригенных образований, где мощные толщи граувакковых песчаников, кремнистых и углистых алевролитов и сланцев образуют сложные ритмично построенные толщи, а роль собственно вулканических лавовых потоков несколько снижается, что свидетельствует о большей степени тектонической дифференциации и большей глубине бассейна седиментации в период рудообразования.

Наиболее контрастные отличия от казахстанско-российских аналогов демонстрируют разрезы рудных районов КНР (Ашеле, Келан, Майзи), где, помимо стандартного набора вулканогенно-осадочных пород и кислых эффузивов, весьма широко распространены карбонатные породы (органогенные и чистые известняки), а также фиксируются мощные интрузивные тела гранитоидов.

Несмотря на эту локальную специфику, неизменным элементом, объединяющим все рудные районы, остаётся наличие в продуктивных пачках углисто-кремнистых и туфогенно-осадочных горизонтов, которые выступают в качестве основной рудной литологической «ловушки» для колчеданно-полиметаллического оруденения (рис. 3).

Первичный эксплозивный вулканизм в Рудноалтайской зоне (ранний цикл) проявился в излиянии лавовых потоков и лавобрекчий риолитового состава, вероятно, из множества жерловых аппаратов. Последующий этап формирования эффузивных толщ (поздний цикл) связан с активизацией риолитового вулканизма, приуроченного к внутрибассейновым жерловым зонам. Мощность риолитовых лав варьирует в пределах 85–250 м; для них характерны сцементированные выступы и широкое развитие риолитовых гиалокластитов, что в совокупности определяет субмаринную риолитовую ассоциацию. Оба этапа вулканической активности сопровождались VMS-минерализацией, в рамках которой выделяются две основные структурно-вещественные обстановки.

Первая обстановка представлена вулкано-тектоническими депрессиями третьего порядка, приуроченными к жерловым частям вулканоаппаратов. Эти структуры отличаются сравнительно небольшими размерами (до 500 м), крутыми бортами и присутствием кластических сульфидных руд. В их пределах сформированы месторождения среднего масштаба с высокими содержаниями полезных компонентов (преимущественно свинца и цинка для раннего цикла вулканической активности и цинка с медью – для позднего). Рудовмещающие породы относятся главным образом к околожерловой и промежуточной фациям. Заполнение депрессионных структур на раннем этапе вулканизма осуществлялось терригенными отложениями с незначительным участием риолитовых, реже основных, лавовых потоков (рис. 4, А, обстановка 1А). В данной обстановке образовались месторождения Золотушинское, Новозолотушинское, Таловское, Майское, Чекмарь, Иртышское, Николаевское, Дулаан кхар и другие. Для позднего цикла, характеризовавшегося более интенсивной вулканической деятельностью, перекрывающими породами служат лавы и лавобрекчии преимущественно основного, реже кислого состава с подчинённым количеством терриген-

Рис. 1. Расположение Рудноалтайской, Салаирской, Улугойской металлогенических зон, Иберийского пиритового пояса и района Батерст:

1–2 – металлогенические зоны: *1* – Салаирская, *2* – Улугойская; *3* – район Батерст; *4* – Рудноалтайская металлогеническая зона; *5* – Иберийский пиритовый пояс; *6* – месторождения типа VMS

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

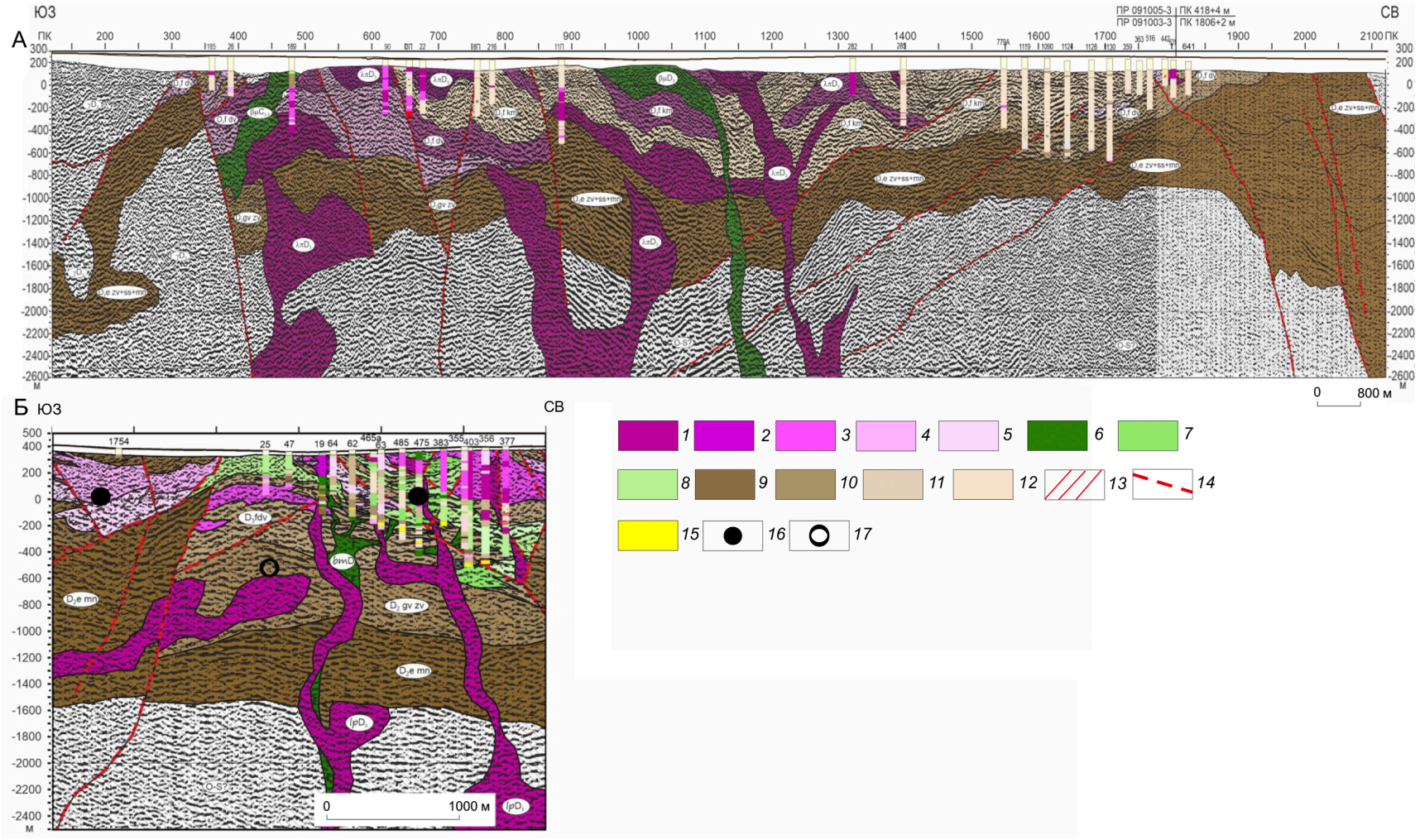


Рис. 2. Совмещённые сейсмический (МОГТ-2Д-ВРС) и литологические разрезы, *с использованием материалов [19]*:

А – Рубцовский рудный район, Б – Змеиногорский рудный район (фрагмент): *1* – риолиты, риодациты «крупновкрапленные», автомагматические брекчии риолитового состава; *2* – риодациты афировые; *3* – лавобрекчии риодацитового и риолитового состава; *4* – лавы риодацитового и риолитового состава; *5* – туфы риодацитового, риолитового и смешанного состава, мелкообломочные; *6* – габбро-долериты, габбро-диабазы; *7* – лавобрекчии андезибазальтового состава; *8* – лавы андезибазальтового состава; *9* – переслаивание туфов риолитового состава, туфопесчаников, аргиллитов, туфоалевролитов и кремнисто-глинистых сланцев; *10* – туфопесчаники; *11* – аргиллиты; *12* – алевролиты; *13* – метасоматиты; *14* – разрывные нарушения; *15* – полиметаллическая минерализация; *16* – колчеданно-полиметаллические месторождения; *17* – потенциальные колчеданно-полиметаллические месторождения

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

ных и вулканогенно-терригенных отложений (обстановка 1Б). Морфология рудных тел варьирует от линзовидной и холмообразной до штокверковой в канальных зонах экструзивных построек. К этой обстановке относятся Лазурское, Захаровское, Западно-Захаровское, Таловское, Рубцовское, Иртышское, Николаевское, Березовское, Новоберезовское, Ашеле и другие месторождения.

Вторая обстановка связана с межвулканическими депрессиями (первые километры), удалёнными от центров вулканической активности и функционировавшими как локальные бассейны осаждения (химического и механического) сульфидного материала. Хемогенные сульфиды накапливались в депрессиях преимущественно под воздействием высокоминерализованных морских вод повышенной плотности, обогащённых металлами.

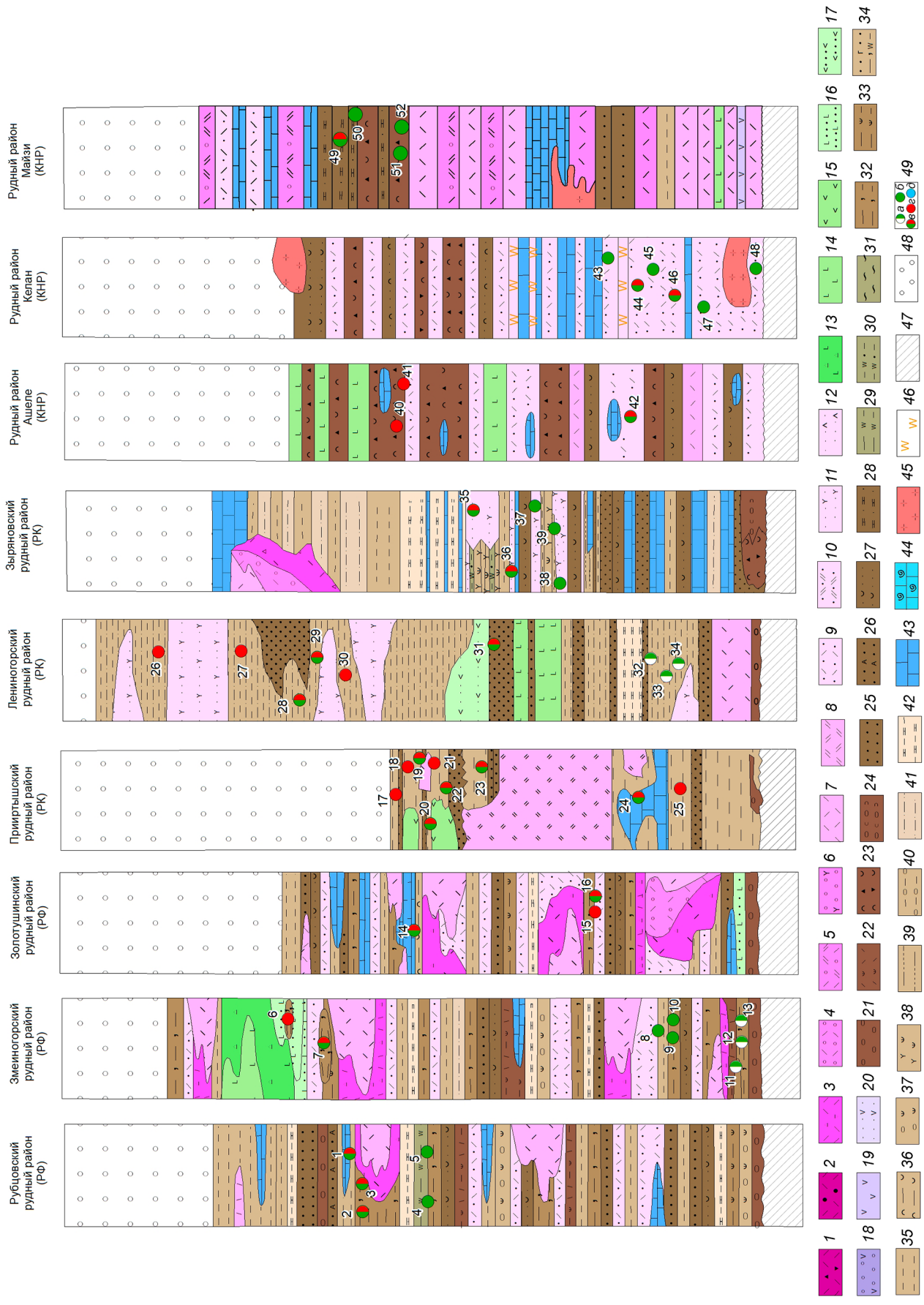
В этих же депрессиях локализованы кластические сульфиды, возникшие при разрушении сульфидонасыщенных подводящих каналов, сульфидных холмов и других построек. На многих месторождениях рудная минерализация концентрируется в алевролитах и полимиктовых слоистых песчаниках. Придонные депрессии нередко достигают значительных размеров (до нескольких километров), характеризуются пологими бортами и заполнены отложениями промежуточной и удалённой фаций относительно центров вулканической активности. В подобных структурах локализованы крупные, а иногда и гигантские месторождения. Среди них выделяются два подтипа: с чётко выраженной корневой частью подводящего канала и формированием проксимальных рудных тел линзовидной или пластообразной формы (см. рис. 4, Б, обстановка 2А) – Корбалихинское, Юбилейное, Степное, Семёновское, Риддер-Сокольное, Новолениногорское, Зыряновское, Малеевское, Артемьевское, Снегиревское и др.; без отчётливого подводящего канала – с дистальными рудными залежами пластовой и даже лентообразной морфологии (обстановка 2Б) – Орловское, Тишинское, Греховское II, Зареченское, Среднее, Кекетале, Вуласигу, Кейнбулейк, Талате, Темирт и др. Захоронение придонных депрессий, аналогично первому типу структур, на раннем этапе вулканизма происходило за счёт терригенных отложений с ограниченным участием кислых, реже основных, лавовых потоков. На втором этапе перекрывающими породами выступают лавы и лавобрекчии преимущественно основного, реже кислого состава с подчинённым количеством терригенных и вулканогенно-терригенных отложений.

Салаирская металлогеническая зона. Сходные палеотектонические и литолого-фациальные условия проявлены в Салаирской металлогенической зоне (МЗ), расположенной на территории Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края. Здесь рудовмещающими являются нижнекембрийские вулканогенно-осадочные породы (печеркинский вулканический комплекс), относящиеся к двум геологическим формациям натриевого ряда толеитовой серии: нижней – последовательно дифференцированной базальт-андезит-дацит-риолитовой и верхней – контрастной базальт-риолитовой. Отложения этих формаций соответствуют двум циклам вулканической активности в регионе [3, 16, 21, 22, 27–29, 31].

Кислые разности пород представлены преимущественно дацитами с резким преобладанием натрия в сумме щелочей и аномально высокой кремнезёмистостью; грубообломочные разности имеют ограниченное развитие. Подводный характер накопления вулканогенных отложений подчёркивается их переслаиванием с прослоями и линзами осадочных вулканогенно-терригенных, терригенно-карбонатных пород, известняков, углеродсодержащих и кремнистых сланцев (рис. 5). Породы среднего и основного состава распространены в подчинённом количестве и представлены отдельными линзами андезибазальтов и базальтов, реже их туфов существенно натриевой серии. Субвулканические и жерловые постройки формировались в линейных зонах и узлах, трассирующих глубинные разломы (Кузнецкая зона, Ариничевский блок и др.), а также в местах замыкания крупных линейных антиклинальных поднятий и купольных структур (Ангурепский блок). При этом накопление лавовых и пирокластических фаций происходило на склонах крупных вулканических аппаратов и в прилегающих впадинах. Для колчеданных месторождений и рудопроявлений характерна пространственная приуроченность к областям развития жерловых, околожерловых и промежуточных фаций риолитоидного вулканизма.

Рудные районы представляют собой крупные вулкано-тектонические депрессии, осложнённые впадинами, соответствующими рудным полям. Основные промышленные концентрации свинца, цинка, меди, серебра и золота связаны с верх-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026



© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

ними горизонтами разреза. В пределах Салаирской металлогенической зоны выделяются четыре рудных района: Огнево-Романовский, Еловско-Которовский, Салаирский и Пуштулимский.

Все известные промышленные месторождения сосредоточены в Салаирском рудном районе: Салаирское (Кварцитовая Сопка, Первомайское, Первый, Второй, Третий рудник, Спорное, Александровское, Слепое), Каменушинское, Ново-Урское, Белоключевское, Самойловское, Ускандинское, а также ряд перспективных рудопроявлений (Крестьянское, Чечулихинское и др.) [3, 16, 21, 22, 27–29, 31].

Структурно-вещественные обстановки аналогичны описанным для Рудноалтайской зоны. Месторождения тяготеют к областям развития жерловых, околожерловых и промежуточных фаций риолитоидного вулканизма, занимая вершинные или склоновые части экструзивных куполов. Стратиформные руды пространственно и генетически связаны с вулканизмом и локализованы преимущественно в породах промежуточ-

Рис. 3. Литологические колонки рудных районов Рудноалтайской металлогенической зоны, *с использованием материалов [9, 11, 13, 19, 20, 53, 58, 59]*:

1–12 – фации вулканогенных пород кислого состава: *1* – автомагматические брекчии риолитов, *2* – риолиты крупновкрапленные, *3* – лавобрекчии риолитов, *4* – туфы риолитового состава крупнообломочные, *5* – туфы риолитового состава грубообломочные, *6* – туфы смешенного состава грубообломочные, *7* – лавы риолитов, *8* – лавы риодацитов, *9* – туфы риолитового состава мелко-, среднеобломочные, *10* – туфы риодацитового состава мелко-, среднеобломочные, *11* – туфы смешанного состава мелко-, среднеобломочные, *12* – туфы дацитового состава мелко-, среднеобломочные; *13–17* – фации вулканогенных пород основного состава: *13* – лавобрекчии базальтов, *14* – лавы базальтов, *15* – лавы андезибазальтов, *16* – туфы базальтового состава мелко-, среднеобломочные, *17* – туфы андезибазальтового состава мелко-, среднеобломочные; *18–20* – фации вулканогенных пород основного состава: *18* – туфы андезитового состава крупнообломочные, *19* – лавы андезитов, *20* – туфы андезитового состава мелко-, среднеобломочные; *21–42* – фации вулканогенно-осадочных пород: *21* – конгломераты, *22* – туффиты кислого состава, *23* – туфобрекчии, *24* – туфоконгломераты, *25* – песчаники, *26* – песчаники аркозовые, *27* – туфопесчаники, *28* – известковые песчаники, *29* – алевролиты (сланцы) углистые, *30* – аргиллиты углистые, *31* – сланцы, *32* – алевролиты кремнистые, *33* – чередование туффитов кислого состава, туфопесчаников, кремнистых и туфогенных алевролитов, *34* – граувакковые песчаники с прослоями кремнисто-углеродистых сланцев, *35* – алевролиты, *36* – туфоалевролиты, *37* – чередование туффитов основного состава, туфопесчаников, туфоалевролитов, туфогравелитов, туфоконгломератов, *38* – туффиты разного состава, *39* – алевропесчаники, *40* – чередование алевролитов, песчаников, гравелитов, конгломератов, *41* – аргиллиты, *42* – алевролиты углистые; *43* – известняки; *44* – известняки органогенные; *45* – гранитоиды; *46* – кварциты; *47* – подрудные породы; *48* – надрудные породы; *49* – колчеданно-полиметаллические месторождения (минеральный тип): *а* – галенит-сфалерит-баритовый, *б* – галенит-сфалерит-пиритсодержащий, *в* – халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый, *г* – (галенит)-халькопирит-сфалерит-пиритовый, *д* – без разделения на типы; месторождения: 1 – Рубцовское, 2 – Захаровское, 3 – Западно-Захаровское, 4 – Таловское, 5 – Степное, 6 – Лазурское, 7 – Корбалихинское, 8 – Семеновское, 9 – Среднее, 10 – Майское, 11 – Стрижковское, 12 – Зареченское, 13 – Змеиногорское, 14 – Юбилейное, 15 – Золотушинское, 16 – Ново-Золотушинское, 17 – Ново-Березовское, 18 – Иртышское, 19 – Шемонаихинское, 20 – Камышинское, 21 – Николаевское, 22 – Артемьевское, 23 – Белоусовское, 24 – Березовское, 25 – Орловское, 26 – Анисимов ключ, 27 – Юбилейно-Снегирихинское, 28 – Гусляковское, 29 – Чекмарь, 30 – Шубинское, 31 – Тишинское, 32 – Ново-Лениногорское, 33 – Долинное, 34 – Риддер-Сокольное, 35 – Малеевское, 36 – Путинцевское, 37 – Зыряновское, 38 – Снегиревское, 39 – Греховское I, II, 40 – Ашеле, 41 – Сарсук, 42 – Кейнбулейк, 43 – Дадонггу, 44 – Вуласигу, 45 – Талате, 46 – Темирт, 47 – Абагонг, 48 – Кьяксия, 49 – Савуси, 50 – Кекетале, 51 – Дацяо, 52 – Акехарен, 53 – Салаирское, 54 – Июньское, 55 – Белоключевское, 56 – Ново-Урское, 57 – Самойловское, 58 – Каменушинское, 59 – Ключевское III, 60 – Сухарный лог, 61 – Крестьянское, 62 – Ускандинское, 63 – Ключевское II, 64 – Скарновое, 65 – Свинцовое, 66 – Туматтайгинское 2, 67 – Южное, 68 – Дальнее, 69 – Сыынакское 1, 70 – Кызыл-Таштыгское, 71 – Туматтайгинское 1, 72 – Сыынакское 2, 73 – Перевальное, 74 – Рио Тинто, 75 – Ла Сарса, 76 – Консепьсьен, 77 – Агуас-Тенидас, 78 – Алжуштрел, 79 – Луиссаль, 80 – Сотил-Миголлас, 81 – Невес-Корво, 82 – Тарсис, 83 – Стратмат, 84 – Карибу, 85 – Брансуик № 12, 86 – Брансуик № 6, 87 – Халф Майл Лэйк, 88 – Хит Стилл

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

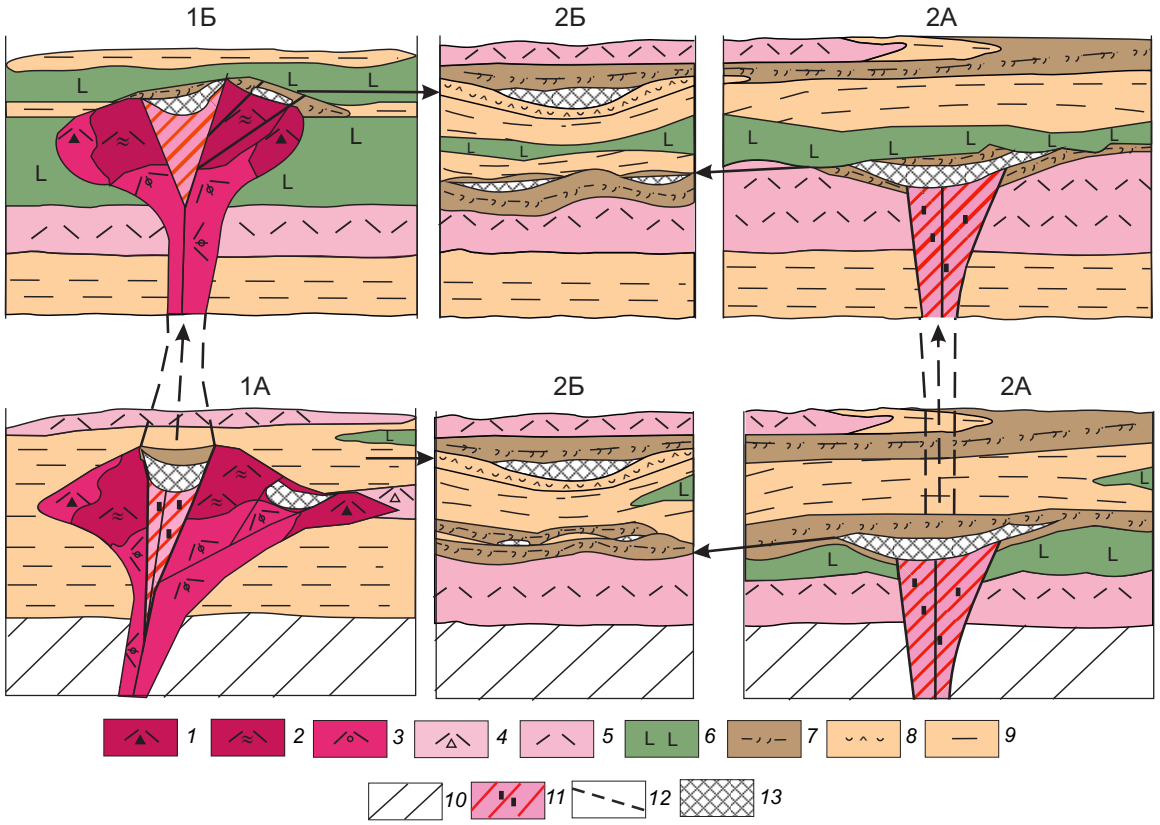


Рис. 4. Структурно-вещественные обстановки формирования колчеданно-полиметаллического оруденения:

1 – автомагматические брекчии риолитового состава; *2* – кластолавы риолитового состава; *3* – риолиты афировые; *4* – лавобрекчии риолитового состава; *5* – лавы риолитового и *6* – базальтового состава; *7* – чередование туфов риолитового состава, туффитов, туфопесчаников, алевролитов; *8* – чередование туфов и туфоалевролитов; *9* – монотонное переслаивание алевролитов и песчаников; *10* – сланцы нижнепалеозойского возраста; *11* – зона подводящего канала с сульфидной минерализацией; *12* – разрывные нарушения; *13* – колчеданно-полиметаллическая руда

ных и удалённых фаций. Основные промышленные концентрации металлов связаны с верхними горизонтами разреза.

Улугойская металлогеническая зона. Ещё одним элементом Алтае-Саянской провинции служит Улугойская металлогеническая зона (МЗ) в Республике Тыва, где промышленное колчеданно-полиметаллическое оруденение заключено в нижнекембрийском разрезе. Нижняя часть разреза сложена породами рудовмещающей контрастной риолит-базальтовой формации (туматтайгинская свита), верхняя – туфогенно-осадочными породами с подчинённым значением эффузивов (сыынакская или тапсинская свита). Разрез отложений отличается значительной латеральной и вертикальной изменчивостью и сложным набором пород. Выделяются жерловые, околожерловые и удалённые фации вулканических построек, в которых широко развиты тела (дайки, штоки, силлы) субвулканических и гипабиссальных интрузий кислого и основного состава (см. рис. 5). Оруденение установлено на различных уровнях нижнекембрийского разреза Улугойской зоны, однако промышленные скопления руд сконцентрированы в породах верхней половины разреза туматтайгинской свиты. Оруденение тяготеет к

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

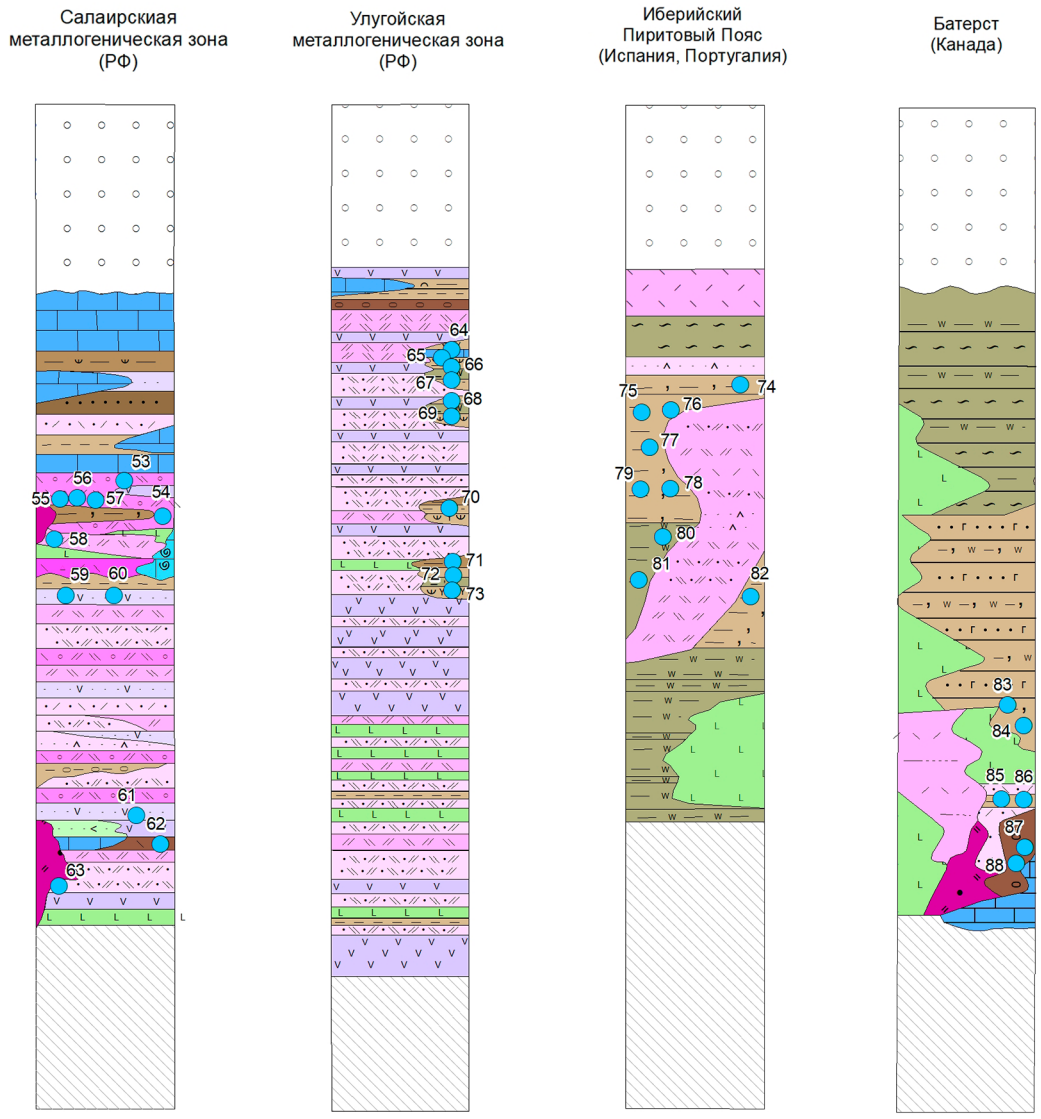


Рис. 5. Обобщённые литологические колонки Салаирской и Улугойской металлогенических зон, Иберийского пиритового пояса и района Батерст, *с использованием материалов [3–5, 10, 15, 16, 23, 27–29, 33, 35, 38, 39, 41, 45, 47, 50]*:

см. услов. обознач. к рис. 3

пачкам, обогащённым вулканомиктовым и туфогенно-осадочным материалом. Породы испытали региональный и динамометаморфизм, околорудные породы месторождений подверглись гидротермальным изменениям кварц-серицитовой формации. Вулканиты преобразованы в аргиллизиты и вторичные кварциты [4, 5, 10, 18, 23, 27, 31].

Колчеданно-полиметаллическое оруденение Улугойской зоны сконцентрировано в трёх рудных районах: Кызыл-Таштыгском, Кызыл-Ташском и Оттугайгинском. В пределах зоны выявлены полиметаллические месторождения – Кызыл-Таштыгское и Дальнее, а также ряд перспективных рудопроявлений, включая Сыынакское, Туматтайгинское, Свинцовое, Скарновое, Кызыл-Ташское, Перевальное, Ат-Чолдугское, Хоороское, Южное, Акхемское, Эржекское и другие.

Структурно-вещественные обстановки формирования колчеданно-полиметаллического оруденения аналогичны описанным для Рудноалтай-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

ской металлогенической зоны. В частности, для месторождений Кызыл-Таштыгское и Дальнее характерны комбинированные залежи, имеющие форму уплощённых воронок, Т-образных и близких к ним тел, сформировавшихся в пределах депрессионных структур в вершинных частях экструзивных куполов. Согласные с напластованием рудные тела образовались в результате гидротермально-осадочного рудоотложения в депрессионных структурах, а «бескорневые» тела возникли на некотором удалении от подводящих каналов за счёт перетекания рудообразующих рассолов в понижения морского дна.

Иберийский пиритовый пояс (ИПП) [33, 35, 36, 45, 48, 50]. За пределами Алтае-Саянской области наибольший интерес для сравнения представляют Иберийский пиритовый пояс и район Батерст. Разрез ИПП сложен породами от позднего девона до среднего карбона. Фундамент разреза представлен филлит-кварцитовой группой (PQ Group) мощностью более 2000 м, сложенной монотонной толщей сланцев, песчаников и кварцитов, а в верхней части – конгломератов и известняков. Выше залегают рудовмещающие породы вулканогенно-осадочного комплекса (VSC), прошедшего сложную эволюцию и представленного чёрными и серыми сланцами, граувакковыми песчаниками, кремнистыми и марганценосными яшмами [33, 35, 45, 50]. Вулканогенные породы имеют бимодальный характер: установлены кислые (риолиты, дациты, риодациты) и основные (базальты, долериты) разности при полном отсутствии или крайне незначительном количестве пород среднего состава (см. рис. 5). Кислые породы слагают преимущественно субвулканические купола и силлы, тогда как основные образуют потоки и дайки. Важной особенностью вулканогенно-осадочного комплекса является наличие в его верхней части регионального маркирующего горизонта – фиолетовых сланцев, часто ассоциирующих с Mn-содержащими яшмами. Завершает разрез флишевая группа Кулм (Culm Group) – турбидиты. Степень метаморфизма пород низкая (зеленосланцевая фация), с увеличением интенсивности к северу и в зонах сдвиговых деформаций, что позволило в ряде случаев сохранить первичные текстуры руд (колломорфные, сфероидальные, фрамбоидальные) [36, 48]. Гидротермальные изменения пород также имеют характерные черты. Помимо локальных ореолов, связанных с рудными телами (внутренняя хлоритовая зона, внешняя серицитовая), в породах вулканогенно-осадочного комплекса VSC проявлена региональная спилитизация.

Колчеданно-полиметаллические залежи ИПП демонстрируют вариабельность морфологии, текстур и минерального состава. Отличительной чертой месторождений является наличие двух чётко выраженных типов руд, различающихся по характеру вмещающих пород и металлогенической специализации. Первый тип (южная зона) представлен гигантскими залежами, ассоциирующими с чёрными сланцами (Невес-Корво, Тарсис, Сотил-Миголлас, Асналькольяр), и характеризуется преобладанием пирита при относительно низких содержаниях цветных металлов. Второй тип (северная зона) представлен залежами, расположенными непосредственно в кислых вулканитах (Рио Тинто, Ла Сарса, Сан-Мигель), и отличается более высокими содержаниями меди, цинка и свинца. Морфологически рудные тела представляют собой линзовидные залежи, часто тектонически расслоённые, мощностью от нескольких метров до 100–120 м.

Рудный район Батерст [38, 39, 43], напротив, обладает более древним, ордовикским, возрастом вулканогенно-осадочных комплексов, сформировавшихся при рифтогенезе. Эти отложения относятся к группе Тетагуче, которая перекрывает терригенные отложения группы Мирамичи. Нижняя часть разреза сложена преимущественно лавами и туфами риолитового состава с прослоями алевропесчаников, конгломератов и известняков. Верхняя часть разреза представлена риолитовыми потоками, куполами и гиалокластитами (см. рис. 5). Переход между этими двумя толщами маркируется горизонтом железистых кварцитов (горизонт Брансуик). Этот горизонт служит региональным стратиграфическим репером и свидетельствует о перерыве в вулканизме, совпавшем с максимальной гидротермальной активностью. Рудовмещающие породы претерпели интенсивную полифазную деформацию и гидротермальные изменения, сформировавшие зональные ореолы. Эти процессы сопровождались значительным перераспределением вещества по механизму растворения под давлением, что особенно характерно для кварц-полевошпатовых пород лежачего бока. В удалённых от рудных тел участках фиксируется слабая калиевая и натриевая метасоматическая переработка (альбитизация, адуляризация). Оруденение локализуется преимуществен-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

но на границе между основными и кислыми вулканитами, а также в подошве терригенного чехла. Наиболее значительные концентрации сульфидных руд приурочены к месторождениям Брансуик № 12 и № 6, которые демонстрируют классическую зональность проксимальных колчеданных залежей: нижняя медно-колчеданная зона (халькопирит, пирротин, пирит) сменяется вверх массивной пиритовой, а затем цинково-свинцовой зоной с тонкой полосчатой текстурой [38, 39, 43].

Минеральные типы руд. Все рассматриваемые объекты относятся к классу колчеданных или колчеданно-полиметаллических руд, формирующихся преимущественно в вулканогенно-осадочных толщах, и обнаруживают тесную пространственно-генетическую связь с гидротермально-метасоматическими процессами. Общим для перечисленных провинций является доминирование в рудах пирита, сфалерита, галенита и халькопирита при постоянном присутствии блёклых руд и минералов серебра. Благородные металлы концентрируются главным образом в виде твёрдых растворов в сульфидной матрице, а в высвобождённой форме – как самородное золото, электрум, акантит, аргентит, разнообразные теллуриды и сульфосоли.

Вместе с тем каждая зона характеризуется специфическим набором минеральных типов руд, отражающим различия в составе вмещающих пород и физико-химических параметрах рудоотложения. В Рудноалтайской зоне, где месторождения приурочены к медно-свинцово-цинково-колчеданной формации, выделяются четыре минеральных типа – от существенно баритового до халькопирит-сфалерит-пиритового, – а аномально высокая доля золота и серебра делает эти объекты практически уникальными по ценности благороднометалльной составляющей. Салаирская зона характеризуется тремя типами руд, среди которых преобладают золото-серебросодержащие колчеданно-барит-полиметаллические и медно-колчеданные разности; акцессорная минерализация включает электрум, аргентит и сульфосоли серебра. Улугойская зона отличается наибольшим разнообразием рудных типов – от серноколчеданного до барит-полиметаллического – и зональным строением залежей; среди редких минералов отмечаются теннантит, тетраэдрит, теллуровисмутит. В Иберийском пиритовом поясе минеральные типы контролируются литологией: в южной зоне преобладают существенно пиритовые руды с низкими содержаниями цветных металлов, в северной – медно-цинково-свинцовые. Главные минералы – пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, барит; локально присутствует касситерит. В районе Батерст развиты медно-колчеданные, пиритовые и цинково-свинцовые руды с отчётливой вертикальной зональностью. Главные минералы – пирит, халькопирит, пирротин, сфалерит и галенит; барит играет второстепенную роль.

Эталонные месторождения. В качестве эталонных объектов, иллюстрирующих выявленные закономерности, могут быть рассмотрены несколько месторождений.

Полиметаллическое месторождение Талате расположено в пределах Рудноалтайской металлогенической зоны в рудном районе Келан (КНР). Оно приурочено к вулканогенно-осадочным породам формации Кангбутибао раннедевонского возраста, которые представлены метатуфами, метатуфобрекчиями риолитового и дацитового составов, а также сланцами, сформировавшимися в результате преобразования вулканогенно-осадочных пород (рис. 6). Рудные залежи характеризуются пластовой, линзовидной и жильной формами. Основные типы руд – свинцово-цинковый, полиметаллический. Отмечаются повышенные содержания железа. Текстуры руд: массивные, прожилковые, вкрапленные, полосчатые, пластинчатые, рассеянные и брекчиевидные. Главные рудные минералы: пирит, сфалерит, галенит, магнетит, гематит, реже халькопирит, пирротин, арсенопирит и молибденит. Средние содержания цинка составляют 2,19, а свинца – 1,92 % [46].

В Салаирской зоне наиболее крупным в пределах Урского рудного поля (Салаирский рудный район) является месторождение Ново-Урское. Вмещающими породами являются туфы различного состава, туфопесчаники, туфоалевролиты, туфогравелиты, туфоконгломераты, а также туффиты риолитового состава, кремнистые и туфогенные алевролиты (рис. 7). Рудное тело представляет собой субсогласную линзу, прослеженную по простиранию на 630–640 м при средней мощности 12–20 м и локальных раздувах до 70 м. Резко преобладают массивные колчеданные разности с высокими концентрациями пирита (до 85–90 %), сфалерита и халькопирита; в зоне окисления фиксируются высокобаритовые золотоносные охры. В строении руд чётко выделяются три типа: сплошные, прожилковые и вкрапленные руды,

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

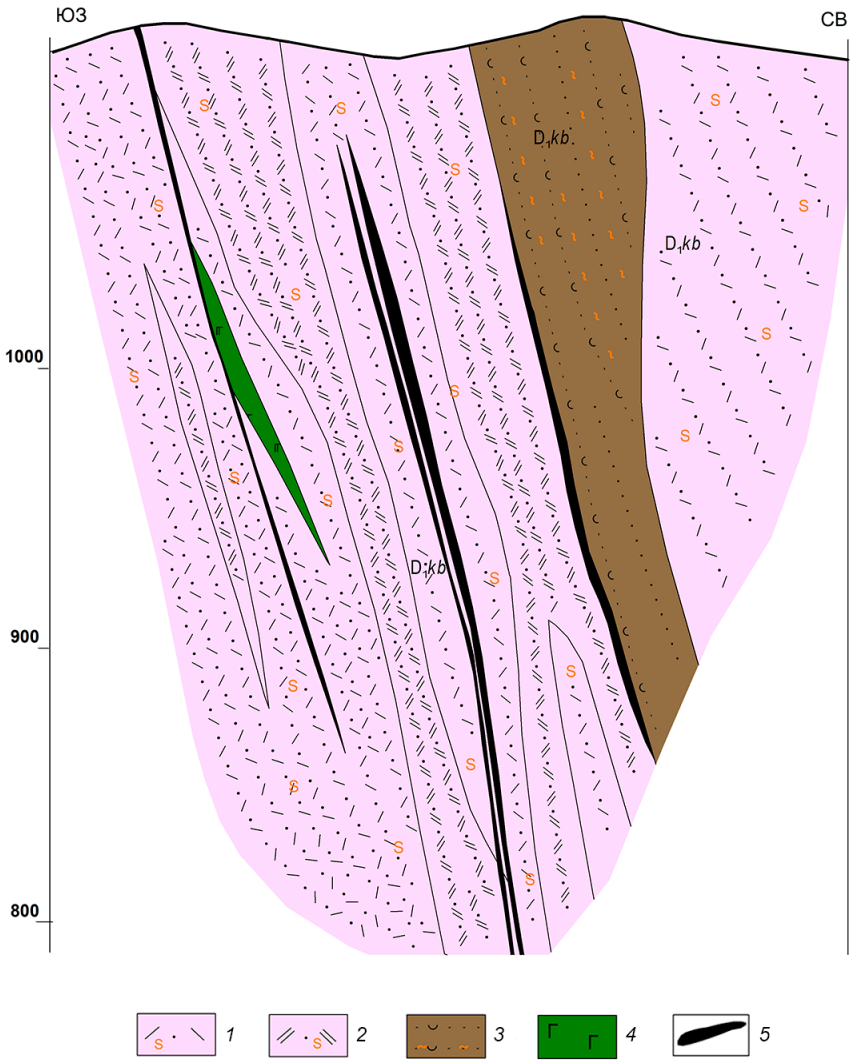


Рис. 6. Литолого-фациальный разрез месторождения Талате, *с использованием материалов [46]*:

1 – чередование метатуфов и метатуфобрекчий риолитового состава; *2* – чередование метатуфов и метатуфобрекчий дацитового состава; *3* – сланцы по вулканогенно-осадочным породам риолитового состава (туффитам, туфопесчаникам и алевролитам); *4* – габбро-долериты; *5* – полиметаллические руды (с железом)

которые формируют рудное тело. Прожилковые и вкрапленные имеют подчинённое значение и окружают сплошные руды довольно широким ореолом [3, 29].

В Улугойской зоне детально изучено Кызыл-Таштыгское месторождение, залегающее в многолетнемёрзлых породах на высотах 1600–1800 м. Разрез месторождения включает туфы, лавы различного состава, а также алевролиты. Интенсивно развиты кварц-серицитовые, хлорит-серицитовые и хлоритовые метасоматиты (рис. 8). Все рудные тела месторождения компактно размещаются в пределах узкой полосы протяжённостью 1200 м, шириной 130–250 м. Средние содержания цинка составляют 10,8, а свинца – 1,74 % сопровождаются существенными концентрациями кадмия, селена, серебра и золота. Основным промышленным типом являются медно-цинковые руды. Текстуры руд: массивные, брекчиевые, вкрапленные. Породы в пределах месторожде-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

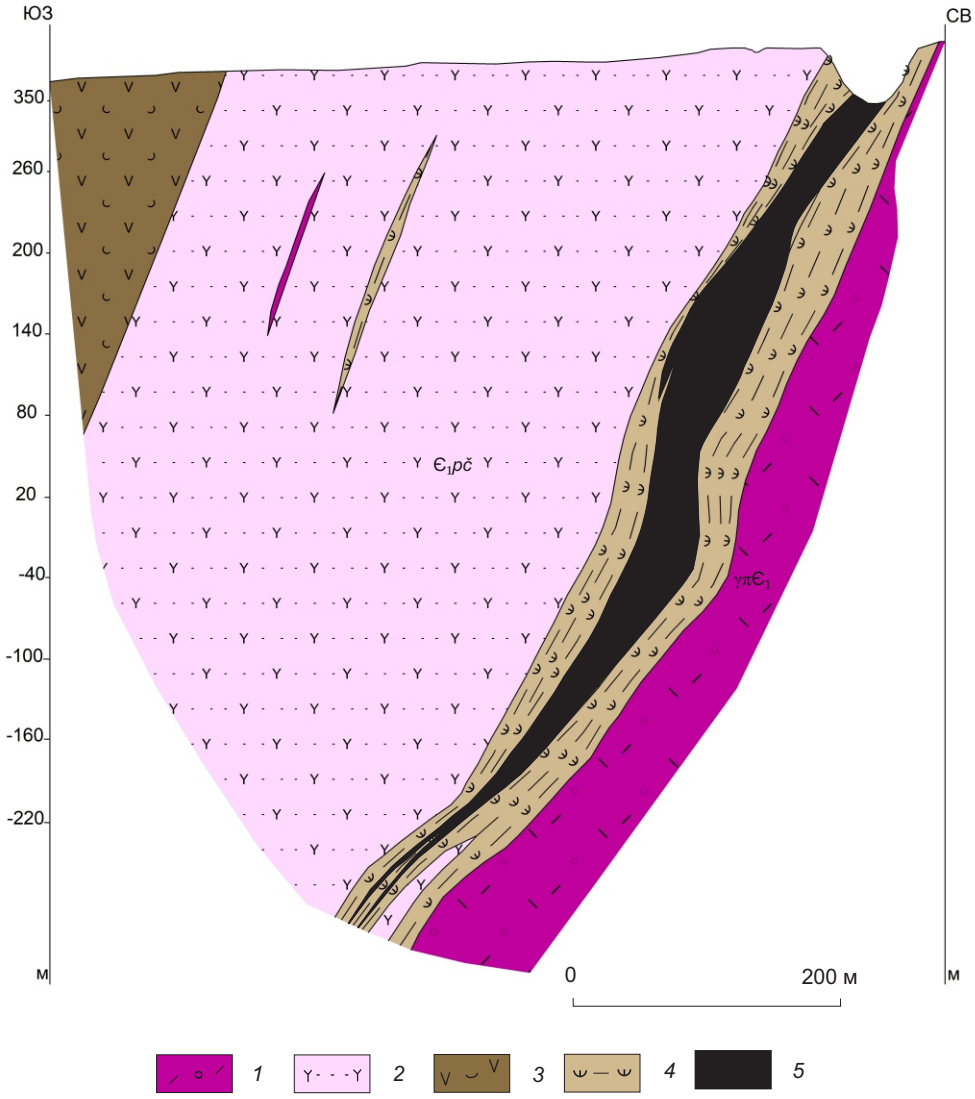


Рис. 7. Литолого-фациальный разрез месторождения Ново-Урское, *с использованием материалов [3, 29]*:

1 – риолиты, риодациты «крупновкрапленные»; *2* – туфы смешанного состава мелкообломочные; *3* – чередование туфов андезитового состава, туфопесчаников, туфоалевролитов, туфогравелитов, туфоконгломератов; *4* – чередование туффитов риолитового состава, туфопесчаников, кремнистых и туфогенных алевролитов; *5* – колчеданно-полиметаллические руды (без разделения на типы)

ния подверглись региональному метаморфизму фации зелёных сланцев, околорудные породы месторождения затронуты гидротермальными изменениями кварц-серицитовой формации [4, 5, 10, 18, 23].

Месторождение Рио Тинто находится в испанской части ИПП и приурочено к пологой синклинальной структуре, выполненной породами вулканогенно-осадочного комплекса: лавами различного состава, граувакко-сланцевыми породами, а также серыми, зелёными и фиолетовыми сланцами (рис. 9). Характерная особенность – чёткое пространственное разделение руд: в верхней части разреза залегают пластовые залежи массивных колчеданно-полиметаллических руд (Zn-Pb-Cu), а в основании – мощные (до 300 м) зоны

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

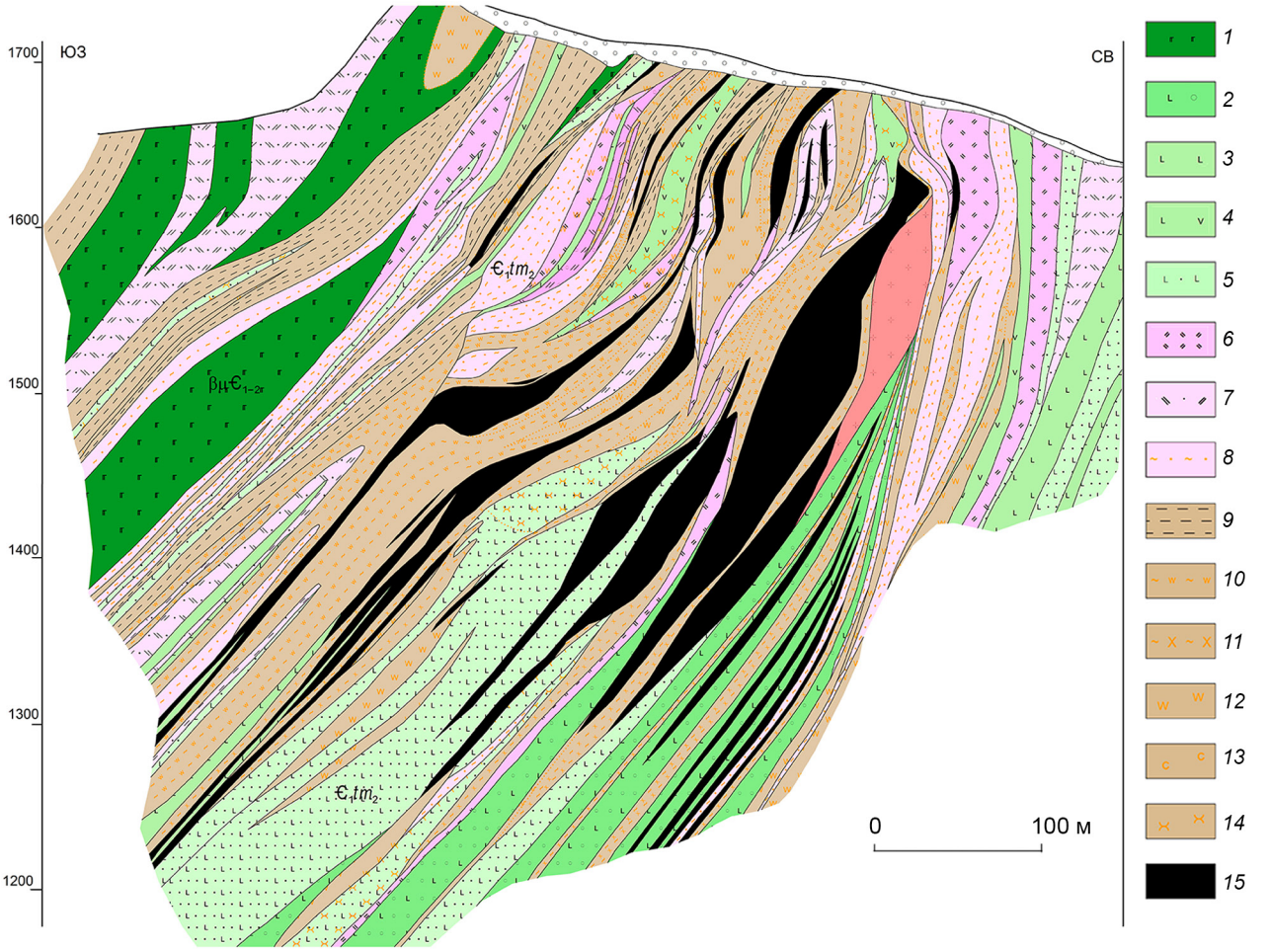


Рис. 8. Литолого-фациальный разрез месторождения Кызыл-Таштыгское, *с использованием материалов [4, 5]*:

1 – габбро-долериты; *2* – туфы грубообломочные базальтового состава; *3* – лавы базальтового и *4* – андезибазальтового состава; *5* – туфы мелкообломочные базальтового состава; *6* – лавы риолитового и риодацитового состава; *7* – туфы мелкообломочные риолитового и риодацитового состава; *8* – алевролиты; *9* – рассланцованные туфы риолитового состава; *10* – кварц-серицитовые и хлорит-серицитовые метасоматиты; *11* – хлоритовые, кварц-хлоритовые и серицит-хлоритовые метасоматиты; *12* – кварциты; *13* – серицитолиты; *14* – хлоритолиты; *15* – колчеданно-полиметаллические руды (без разделения на типы)

штокверковых медно-колчеданных руд. Месторождение отрабатывается с древних времён, основные запасы меди связаны с медно-колчеданными рудами [35, 45].

Месторождение Невес-Корво расположено в португальской части ИПП, является одним из наиболее значимых в регионе и уникально по содержанию олова. Представлено серией линзовидных рудных тел (Невес, Корво, Граса, Замбужал, Ломбадор) среди вулканогенно-осадочных пород: углеродистых, кремнистых, хлоритовых сланцев, туффитов, граувакковых песчаников, с прослоями карбонатных пород, а также лав риолитового состава (рис. 10). Характеризуется чёткой металлогенической зональностью: в штокверковой зоне и основании рудных тел развиты богатые медные руды с высокими концентрациями Au (до 95 г/т), Co, Bi и Ag. Касситерит образует как тонкие прослои в медных рудах, так и самостоятельные линзы [33, 36, 47, 48].

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

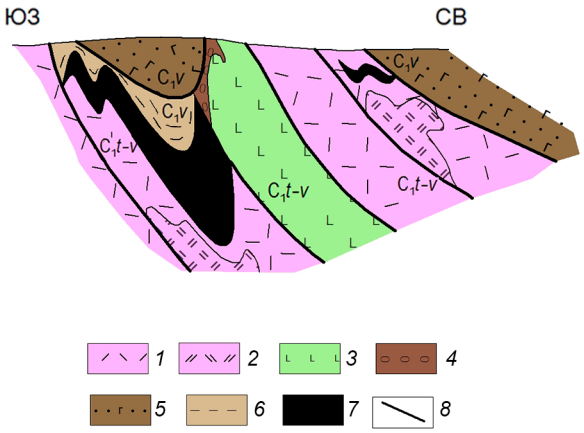


Рис. 9. Литолого-фациальный разрез месторождения Рио Тинто, *с использованием материалов [35]*:

1–3 – лавы: *1* – риолитового, *2* – риодацитового и *3* – андезибазальтового составов; *4* – конгломераты; *5* – граувакко-сланцевые породы; *6* – сланцы серые, зелёные и фиолетовые; *7* – колчеданно-полиметаллические руды (без разделения на типы); *8* – разрывные нарушения

Вмещающими оруденение породами месторождений Брансуик № 12 и № 6 (район Батерст, Канада) являются лавы, туфы, туффиты риолитового состава с прослоями алевролитов. Также в строении разреза важную роль играют лавы и туфы базальтового состава, риолиты, а также габбро-долериты (рисунки 11, 12). В их строении выделяется нижняя медно-колчеданная зона, сложенная халькопиритом, пирротином и пиритом, которая переходит в массивную пиритовую зону, а затем в цинково-свинцовую зону с тонкой полосчатой текстурой, обусловленной чередованием сфалерита, галенита и пирита. В рудах, помимо основных компонентов, установлены повышенные содержания железа, таллия, кобальта, мышьяка и сурьмы в зоне штокверка, а также тонкая вкрапленность золота и минералов висмута в сульфидной массе. Месторождение Брансуик № 6 является меньшим по масштабам аналогом Брансуик № 12: оно демонстрирует сходную вертикальную зональность, однако масштабы оруденения и мощность штокверка существенно уступают [38, 39, 41–44].

Изотопный состав серы. Изучение изотопного состава серы сульфидных и сульфатных минералов из колчеданно-полиметаллических месторождений различных металлогенических провинций мира выявляет фундаментальные различия в источниках рудного вещества, физико-химических условиях минералообразования и эволюции палеогидротермальных систем. Сравнительный анализ данных по сорока шести объектам Рудноалтайской, Салаирской и Улугойской зон Алтае-Саянской металлогенической провинции, а также по Иберийскому пиритовому поясу и рудному району Батерст (Канада) позволяет не только охарактеризовать специфику каждого региона, но и проследить общие закономерности (таблица, рис. 13).

Для Улугойской металлогенической зоны (Восточная Тува), детально охарактеризованной на примере Кызыл-Таштыгского рудного поля, свойственен устойчиво утяжелённый изотопный состав серы сульфидов при весьма низких вариациях $\delta^{34}S$. Подавляющее большинство (около 90 %) проанализированных проб гидротермальных и гидротермально-метасоматических руд укладывается в узкий интервал от +5,0 до +9,0 ‰ при среднем значении по месторождению около +6,4 ‰. При этом наблюдается отчётливая вертикальная зональность: от нижних рудоносных уровней (рудопроявление Перевальное, среднее +5,9 ‰) к верхним (месторождение Дальнее, среднее +8,8 ‰) происходит последовательное, хотя и незначительное утяжеление изотопного состава серы, что связывается с возрастанием доли экзогенной сульфатной серы морской воды в процессе рудоотложения. Сульфатная сера баритов демонстрирует экстремально тяжёлые значения от +25,0 до +38,7 ‰. Резким контрастом на этом фоне выступают слоистые руды, для пирита которых зафиксирован широчайший диапазон $\delta^{34}S$ – от -15,8 до +22,5 ‰, что указывает на активное вовлечение изотопно-лёгкой серы, вероятно, биогенного происхождения на этапах синхронного осадконакоплению рудообразования. Изотопные характеристики рудокластов колчеданных руд (устойчиво отрицательные значения) резко отличаются от таковых для рудокластов полиметаллических руд (положительные значения), что свидетельствует о принципиально различных источниках серы и подтверждает полигенность и полихронность формирования месторождений Кызыл-Таштыгского поля.

Салаирская металлогеническая зона, согласно данным по месторождению Салаирское (Пер-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

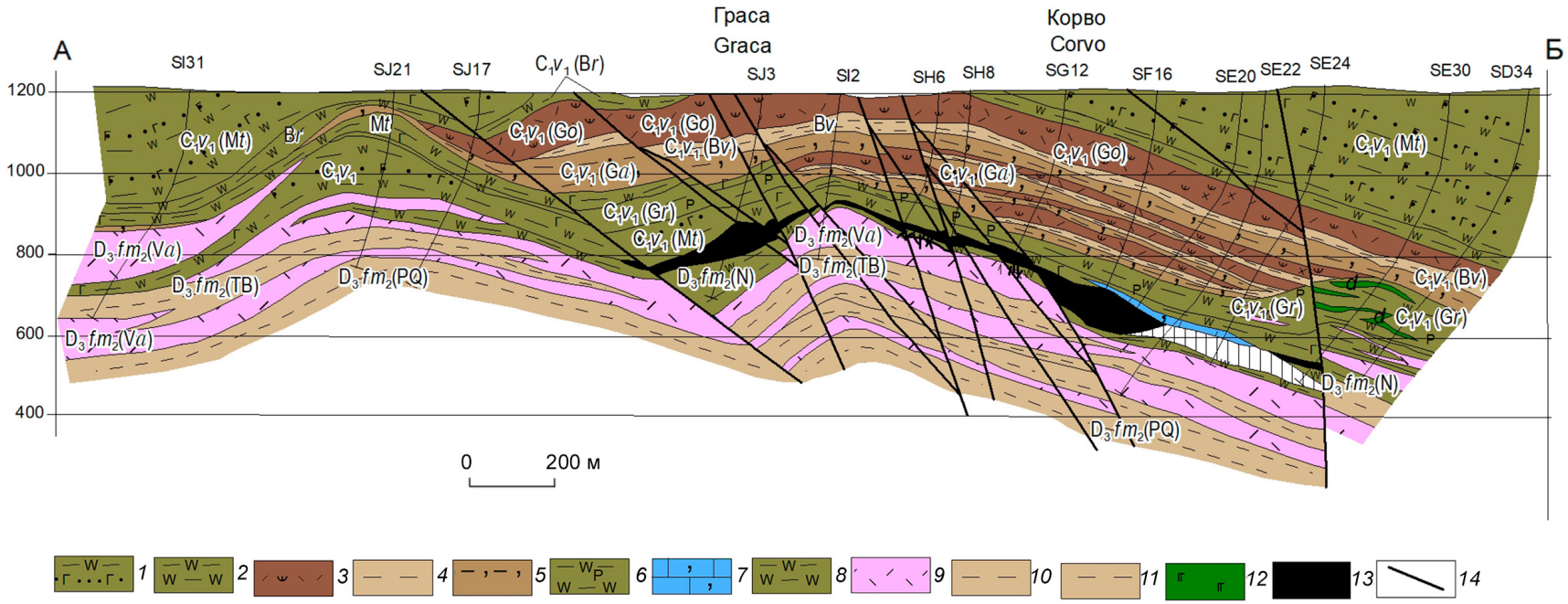


Рис. 10. Литолого-фациальный разрез месторождения Невес-Корво, *с использованием материалов [47]*:

1–7 – нижний карбон, визейский ярус, верхний подъярус: *1* – формация Мертола: граувакковые песчаники и чёрные сланцы, C_1v_2(Mt), *2* – формация Бранканес: углеродистые сланцы, C_1v_2(Br), *3* – формация Годинью: кремнистые сланцы и туффиты, C_1v_2(Go), *4* – формация Борра де Винью: зелёные и фиолетовые сланцы, C_1v_2(Bv), *5* – формация Грандасош: кремнистые сланцы с прослоями карбонатных пород, C_1v_2(Ga), *6* – формация Граса: серые и чёрные сланцы с прослоями кремнисто-фосфатных конкреций, C_1v_2, *7* – яшмы, карбонаты, хлоритовые сланцы, C_1v_2(J); *8–11* – верхний девон, фаменский ярус, верхний подъярус: *8* – формация Невес: чёрные сланцы, D_3fm_2(N), *9* – лавы риолитового состава, D_3fm_2(Va), *10* – туфобрекчии, сланцы с прослоями карбонатных и вулканогенных пород, D_3fm_2(TB), *11* – сланцы и кварциты D_3fm_2(PQ); *12* – вулканогенные породы среднего и основного состава; *13* – колчеданно-полиметаллические руды (с оловом, без разделения на типы); *14* – разрывные нарушения

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

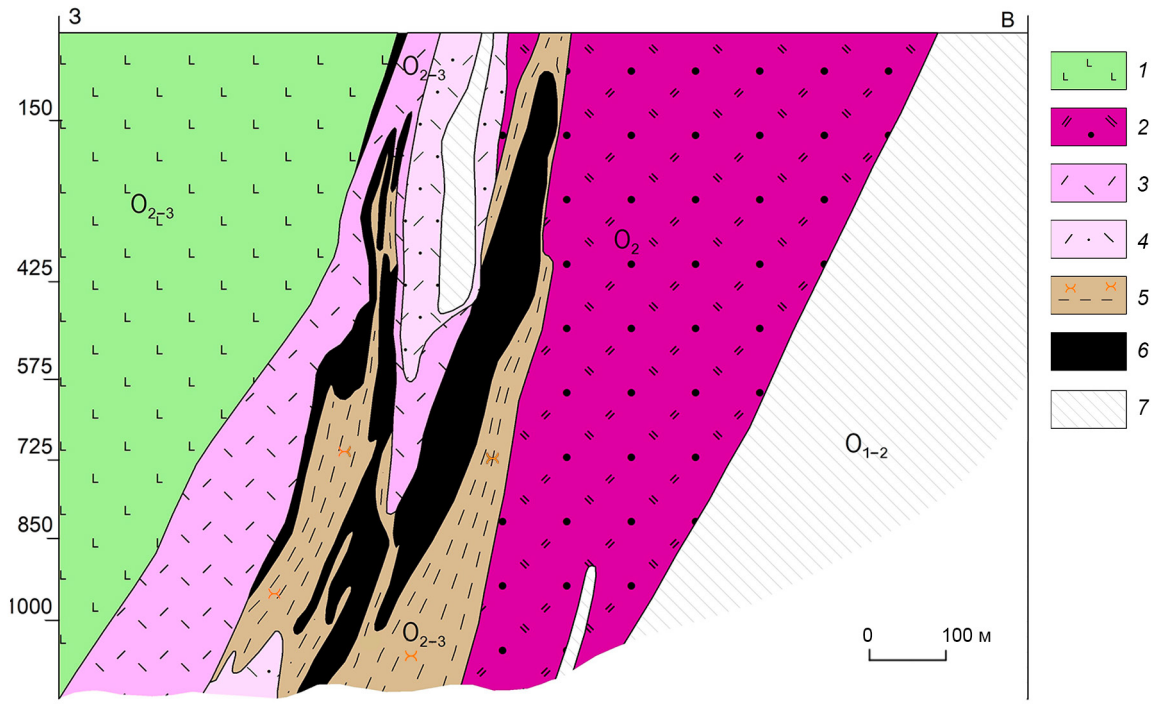


Рис. 11. Литолого-фациальный разрез месторождения Брансуик № 12, *с использованием материалов [39]*:

1 – лавы и туфы базальтового состава; *2* – риолиты афировые и крупновкрапленные; *3* – чередование лав и туфов риолитового состава; *4* – туфы и туффиты риолитового состава; *5* – алевролиты хлоритизированные; *6* – колчеданно-полиметаллические руды (с железом); *7* – нижележащие породы: сланцы, песчаники

вомайская рудная зона), демонстрирует изотопный состав сульфидной серы в диапазоне от +2,3 до +7,2 ‰. Эти значения, обогащённые тяжёлым изотопом ^{34}S, свидетельствуют о существенном участии в рудообразовании сульфата морской воды. Характер распределения $\delta^{34}S$ в разрезе месторождения служит дополнительным аргументом в пользу вулканогенно-гидротермально-осадочного генезиса сульфидных залежей Салаира и указывает на отсутствие существенного перераспределения серы при последующих метаморфических преобразованиях.

Рудноалтайская металлогеническая зона, охватывающая территории как российского, так и казахстанского и китайского Алтая, характеризуется значительно более сложной и гетерогенной картиной распределения изотопов серы, что отражает многообразие источников рудного вещества в пределах этого региона.

В российской части (Змеиногорский, Рубцовский, Золотушинский районы) наблюдается широкий диапазон значений $\delta^{34}S$ – от -12,25 до +19,5 ‰. Если месторождение Юбилейное в Золотушинском районе демонстрирует относительную гомогенность со средними значениями около +3,2 ‰ для пирита, что указывает на доминирование магматогенного источника, то такие объекты, как Корбалихинское или Зареченское, отличаются экстремальным разбросом данных. На Корбалихинском месторождении $\delta^{34}S$ варьирует от -12,25 до +7 ‰, причём пирит систематически обогащён тяжёлым изотопом относительно сфалерита и халькопирита, что может быть следствием фракционирования в ходе последовательной кристаллизации. Зареченское месторождение примечательно резким контрастом между отрицательными значениями в сульфидах (пирит до -3,8, а галенит до -7,5 ‰) и аномально высокими положительными значениями в барите (до +19,5 ‰), что является классическим индикатором смешения биогенной (лёгкой) серы сульфидов и морской (тяжёлой) серы сульфатов в гидро-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

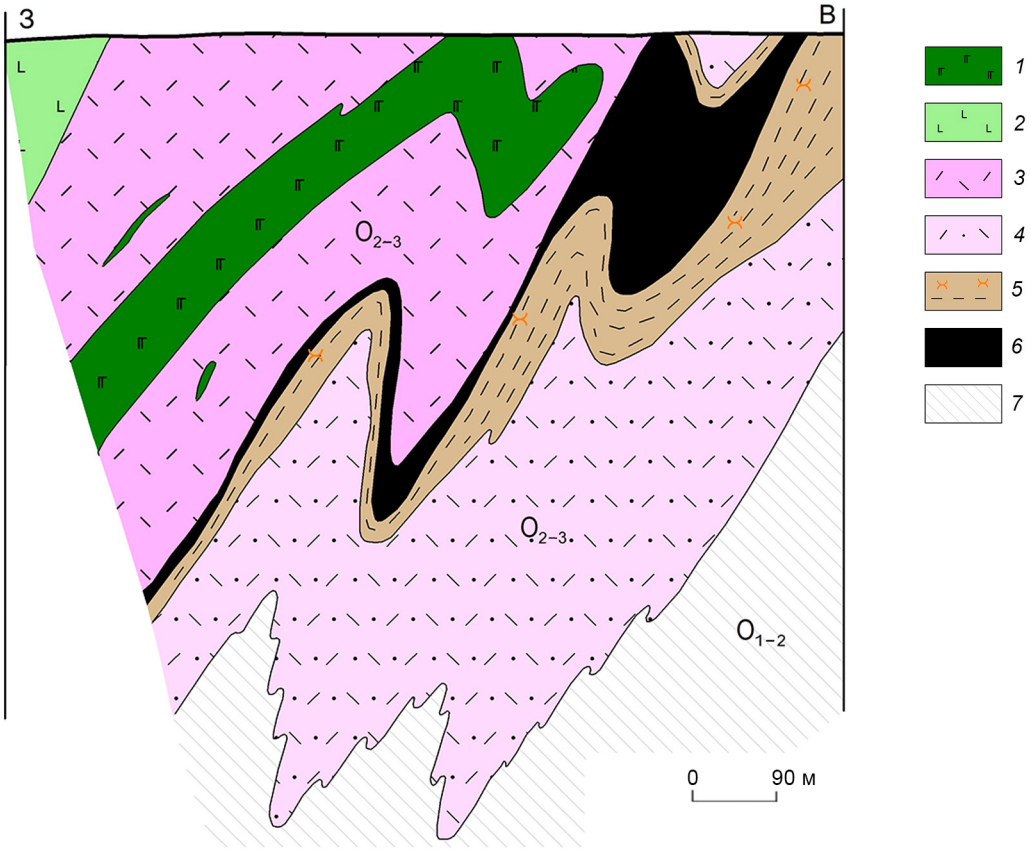


Рис. 12. Литолого-фациальный разрез месторождения Брансуик № 6, *с использованием материалов [44]*:

1 – габбро-долериты; *2* – лавы и туфы базальтового состава; *3* – риолиты афировые и крупновкрапленные; *4* – чередование риолитов, лав и туфов риолитового состава; *5* – чередование туфов и туффитов риолитового состава; *6* – алевролиты хлоритизированные; *7* – колчеданно-полиметаллические руды (с железом); *8* – нижележащие породы: сланцы, песчаники

термально-осадочной системе. Месторождения казахстанской части (Прииртышский, Лениногорский, Зыряновский районы) в целом подтверждают эту тенденцию к вариабельности: для Лениногорского района (Риддер-Сокольное, Новолениногорское) зафиксированы значения от -12,5 до +8,5 ‰ в сульфидах и до +22,25 ‰ в баритах, а для Малеевского месторождения отмечен разброс от -1,75 до +8,75 ‰ в зависимости от типа руд и геологической позиции. Особняком стоят данные по китайской части Алтая, где в районе Ашеле наблюдается диапазон от -3,7 (галенит) до +8,5 ‰ (пирит), а в районе Келан зафиксированы уникально низкие отрицательные значения до -28,17 ‰ на месторождении Темирт, что однозначно свидетельствует о масштабном влиянии процессов бактериальной сульфатредукции.

Принципиально иная, но не менее контрастная картина наблюдается на месторождениях Иберийского пиритового пояса. Здесь, в отличие от большинства колчеданных провинций мира, абсолютно доминируют отрицательные и околонулевые значения $\delta^{34}S$. Детальные исследования выявили чёткий текстурный контроль изотопного состава. Первичные диагенетические текстуры (фрамбоидальный, колломорфный пирит) характеризуются значениями от -26 до -2 ‰, что является прямым следствием бактериального восстановления сульфатов морской воды в условиях дефицита кислорода на палеодне. В то же время сульфиды прожилково-вкрапленных руд зон подводящих каналов и вторичные, более раскристаллизованные, разности демонстрируют утяжелённый состав, достигающий +10 ‰, но с медиан-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

Таблица. Изотопный состав серы сульфидных и сульфатных минералов месторождений типа VMS Алтае-Саянской металлогенической провинции (Рудноалтайская, Салаирская и Улугойская зоны), Иберийского пиритового пояса (Испания, Португалия) и Батерст (Канада)*

Минерал	Месторождение	Число анализов	Среднее значение	Минимум	Максимум
Алтае-Саянская металлогеническая провинция					
Рудноалтайская металлогеническая зона					
Сульфиды	Ашеле	210	3,5	-13,5	7,7
То же	Белоусовское	18	2,3	-5,5	5,5
«-»	Вуласигу	29	2,5	-1,9	4,2
«-»	Греховское-2	10	3,7	2,4	5,1
«-»	Зареченское	48	-2,1	-7,5	6,4
«-»	Западно-Захаровское	46	4,5	-5,8	13,4
«-»	Захаровское	20	2,5	-1,3	5,2
«-»	Змеиногорское	4	-1,12	-1,8	0
«-»	Зыряновское	50	2,6	0,1	5,5
«-»	Иртышское	11	5,1	2,5	6,5
«-»	Кекетале	86	-8,7	-15,3	4,5
«-»	Кейнбулейк	60	1,7	0,8	3,4
«-»	Корбалихинское	150	2,8	-12,3	29,5
«-»	Кьяксия	20	-5,3	-14,2	0,7
«-»	Малеевское	128	3,4	-1,8	8,3
«-»	Новолениногорское	144	1,7	-10,3	9,8
«-»	Риддер-Сокольное	170	0,1	-12,5	8,5
«-»	Снегиревское	20	4,4	2,2	5,2
«-»	Старковское	56	2,2	-5,0	5,0
«-»	Стрижковское	12	-1,6	-4,4	4,6
«-»	Талате	27	1,9	-11,7	2,4
«-»	Темирт	57	-18,9	-28,2	2,2
«-»	Тишинское	125	1,8	-1,5	5,5
«-»	Юбилейное	35	2,7	-0,6	5,6
Барит		58	18,9	4,9	24,5
Салаирская металлогеническая зона					
Сульфиды	Салаирское	5	5,3	2,3	7,2
Улугойская металлогеническая зона					
Сульфиды	Дальнее	27	10,9	4,0	22
«-»	Кызыл-Таштыгское	57	6,4	-1,0	11,0
Барит		9	33,0	25,0	38,7
Иберийский пиритовый пояс					
Сульфиды	Агуас Тенидас	16	0,3	-5,6	3,6
То же	Альджуштрел	41	-1,7	-20,4	4,0
«-»	Асналькольяр	44	-0,5	-8,1	5,6
«-»	Консепьсьен	33	4,1	-15,1	10,1
«-»	Ла Сарса	32	0,8	-7,3	7,8
«-»	Ломеро Поватос	8	2,7	-0,1	3,9
«-»	Луиссаль	15	-2,0	-8,3	5,5
«-»	Монте Ромео	11	6,6	3,3	9,0
«-»	Невес-Корво	51	1,1	-11,1	6,0
«-»	Рио Тинто	121	4,3	-14,1	12,4
«-»	Сан Мигель	13	2,1	-3,9	9,2
«-»	Сан Тельмо	14	3,0	0,5	4,9
«-»	Сотил-Миголлас	35	-4,7	-34,2	6,7
«-»	Тарсис	100	-5,0	-26,5	3,5
Барит		9	18,2	14,9	24,0

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

Окончание таблицы

Минерал	Месторождение	Число анализов	Среднее значение	Минимум	Максимум
Район Батерст					
Сульфиды	Брансуик № 12	130	15,0	11,0	21,0
То же	Брансуик № 6	12	9,0	4,5	17,5
«-»	Карибу	8	10,0	5,0	14,0
«-»	Стратмат	45	16,0	14,0	20,0
«-»	Хит Стилл	90	5,8	-1,0	12,0
Барит		40	28,6	24,5	35,0

Примечание. *использованы материалы: [1, 2, 6, 8, 9, 12, 14, 16–18, 24, 25, 30, 32, 34, 37, 38, 40, 46, 49, 51–55, 57, 59, 60–63].

ными значениями около +3...+5 ‰. Это указывает на существование второго, гидротермального источника серы, образованного путём неорганического восстановления морского сульфата в недрах конвективной системы. Таким образом, для Иберийского пояса устанавливается двойственная природа серы: бактериальная, доминирующая в стратиформных залежах, и гидротермальная, преобладающая в корневых зонах. При этом в регионе отчётливо проявлена латеральная зональность: в юго-западной части пояса (например, месторождение Тарсис, среднее -5,0 ‰) сильнее влияние биогенного источника, тогда как в северо-восточной (Консепьсьон, среднее +4,1 ‰) возрастает роль гидротермальной составляющей. Редкий барит Иберийского пояса имеет гомогенный состав около +18 ‰, соответствующий сульфату нижнекаменноугольной морской воды.

Совершенно особое положение занимают объекты в рудном районе Батерст. Изотопный состав серы руд гигантского месторождения Брансуик № 12 характеризуется аномально высокими положительными значениями $\delta^{34}S$, достигающими в среднем +15 ‰ (при общем диапазоне от +11,0 до +18,5 ‰) для пластовых руд и от +13,8 до +21,0 ‰ для пиритов из подстилающих углеродистых сланцев. Подобные величины значительно превосходят значения, типичные для современных гидротермальных систем срединно-океанических хребтов (+4...+5 ‰) и даже для многих древних аналогов. Столь сильное утяжеление серы интерпретируется как результат формирования месторождения в обстановке устойчиво стратифицированного аноксического бассейна с ограниченным водообменном.

Сравнительный анализ показывает, что, несмотря на общую принадлежность к классу колчеданно-полиметаллических месторождений, рассмотренные провинции демонстрируют контрастные изотопно-геохимические характеристики. Улугойская и Салаирская зоны, а также значительная часть месторождений Рудного Алтая тяготеют к умеренно-положительным значениям $\delta^{34}S$ (+3...+9 ‰), что типично для систем с доминирующим вкладом серы, восстановленной из морского сульфата в высокотемпературных гидротермальных ячейках при ограниченном влиянии открытых биогенных процессов. Иберийский пиритовый пояс и отчасти китайский Алтай (район Келан) выделяются широким развитием резко отрицательных значений $\delta^{34}S$, что свидетельствует о значительной роли приповерхностной бактериальной сульфатредукции в обогащении руд лёгким изотопом серы, то есть о более тесной связи с седиментогенезом. Район Батерст, напротив, уникален своим экстремально тяжёлым составом серы, обусловленным фракционированием в условиях застойного аноксического бассейна с высокой степенью восстановления сульфатного резервуара. Эти различия отражают эволюцию окислительно-восстановительной обстановки в палеобассейнах, степень их изолированности и соотношение эндогенных (гидротермальных) и экзогенных (биогенных, седиментационных) факторов в процессе формирования крупных и уникальных колчеданных месторождений палеозоя.

Обсуждение результатов. Проведённое сравнение геологических, структурно-вещественных, минералогических и изотопно-геохимических характеристик колчеданно-полиметаллических месторождений Алтае-Саянской провинции, Иберийского пиритового пояса и района Батерст позволяет выделить как универсальные черты колчеданно-полиметаллического рудообразования, так и региональные особенности. Важно подчеркнуть, что сопоставляемые провинции разновоз-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

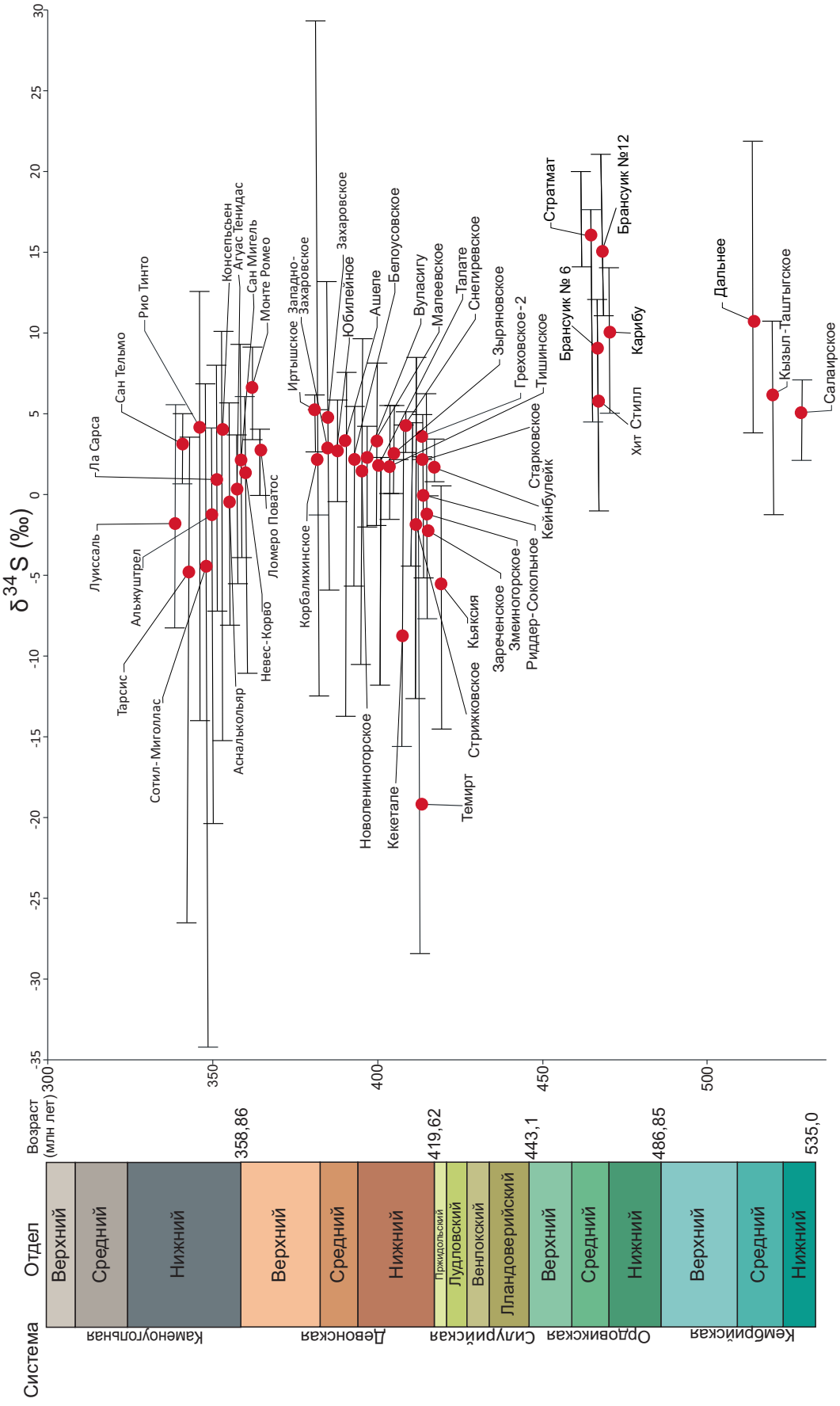


Рис. 13. Среднее значение (красный маркер) и диапазон значений изотопного состава серы сульфидных минералов месторождений типа VMS Алтае-Саянской металлогенической провинции (Рудноалтайская, Салаирская и Улугойская зоны), Иберийского пиритового пояса (Испания, Португалия) и района Батерст (Канада), *с использованием материалов [1, 2, 6, 8, 9, 12, 14, 16–18, 24, 25, 30, 32, 34, 37, 38, 40, 46, 49, 51–55, 57, 59–63]*

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

растны: Рудноалтайская зона связана с девонскими комплексами, Салаирская и Улугойская – с нижнекембрийскими, Иберийский пиритовый пояс – с отложениями от позднего девона до среднего карбона, район Батерст – с ордовикскими толщами. Сходство рудоконтролирующих обстановок при столь широком возрастном диапазоне указывает на устойчивую воспроизводимость механизмов VMS-рудообразования в палеозойских палеобассейнах.

Общими чертами являются бимодальный состав вулканогенно-осадочных комплексов с резким преобладанием кислых и основных пород при подчинённой роли средних, субмаринный характер вулканизма, широкое развитие туфов, гиалокластитов, чёрных сланцев, кремнистых и углеродистых пород, а также наличие экранирующих горизонтов. Во всех провинциях выделяются проксимальные и дистальные структурно-вещественные обстановки, определяющие морфологию и масштабы рудных залежей. Минеральные типы руд также обнаруживают значительное сходство: доминируют пирит, сфалерит, галенит и халькопирит, проявлена зональность от нижних медно-колчеданных к верхним цинково-свинцовым рудам.

Различия в литологическом составе и минеральных типах руд обусловлены региональными особенностями строения палеобассейнов. В Рудноалтайской зоне одни районы характеризуются преобладанием вулканических пород, другие – вулканогенно-осадочных и терригенных; в китайской части широко развиты карбонатные породы. Салаирская зона отличается существенно натриевыми дацитами и риолитами при подчинённой роли основных пород. Улугойская зона имеет сложный набор жерловых и удалённых фаций, а также субвулканических интрузий кислого и основного состава. В Иберийском пиритовом поясе вулканиты бимодальны при отсутствии средних разностей, а минеральные типы контролируются составом вмещающих пород. В районе Батерст разрез сложен преимущественно риолитовыми лавами, туфами и гиалокластитами с горизонтом железистых кварцитов.

Минеральные типы также варьируют: Рудноалтайская зона выделяется высокими концентрациями Au и Ag, Салаирская – золото-серебросодержащими барит-полиметаллическими и медно-колчеданными рудами, Улугойская – наибольшим разнообразием типов и редкими минералами, Иберийский пояс – существенно пиритовыми рудами южной зоны и Cu-Zn-Pb рудами северной, район Батерст – классической вертикальной зональностью.

Наиболее контрастные различия связаны с изотопным составом серы. Алтае-Саянская провинция в целом тяготеет к умеренно положительным значениям $\delta^{34}S$, что типично для систем с преобладанием гидротермального восстановления морского сульфата в закрытых конвективных ячейках; локально проявлены и отрицательные значения, указывающие на бактериальную сульфатредукцию. Иберийский пиритовый пояс отличается широким развитием отрицательных $\delta^{34}S$, что свидетельствует о доминировании бактериального восстановления сульфата в придонных аноксических условиях, при сосуществовании биогенного и гидротермального источников серы. Район Батерст занимает особое положение: экстремально тяжёлый изотопный состав серы отражает формирование руд в застойном стратифицированном аноксическом бассейне с высокой степенью восстановления сульфатного резервуара.

Таким образом, при общности вещественного состава вмещающих пород, структурного контроля и минеральных типов руд рассмотренные провинции различаются прежде всего изотопно-геохимическими характеристиками, отражающими степень изолированности палеобассейнов, окислительно-восстановительные условия и соотношение эндогенных и экзогенных факторов рудообразования. Разновозрастность провинций не нарушает общей модели: ключевыми факторами остаются бимодальный субмаринный вулканизм, гидротермальная конвекция, наличие экранирующих горизонтов и восстановительные условия в придонных частях палеобассейнов.

Заключение. 1. Рудовмещающие вулканогенно-осадочные комплексы рассмотренных VMS-провинций имеют бимодальный состав (преобладание кислых и основных пород при подчинённом значении средних) и формировались в обстановках рифтогенного типа. Структурно-вещественные обстановки едины для всех зон: выделяются проксимальные (экструзивные купола, жерловые и околожерловые фации) и дистальные (придонные депрессии, удалённые от вулканических центров) типы, что определяет масштабы, морфологию и внутреннее строение рудных залежей. Важную роль играют экранирующие горизонты (карбонатные, туфогенно-осадочные, углероди-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

стые породы), контролирующие латеральное растекание гидротерм.

2. Минеральные типы руд закономерно эволюционируют от медно-колчеданных к цинково-свинцовым. Месторождения обогащены золотом, серебром, оловом, железом, кадмием, таллием, германием, селеном, теллуром, индием, галлием и висмутом.

3. Сравнение металлогенических провинций показало, что при сходстве вулканогенно-осадочного контроля, бимодального состава вулканитов, типов гидротермальных изменений (кварц-серицитовые, хлоритовые, пропилитовые) и морфологии рудных тел ключевые различия связаны с изотопным составом серы, отражающим разные палеообстановки: гидротермальное восстановление сульфата в закрытых конвективных системах (Алтае-Саянская провинция, северная зона ИПП), бактериальная сульфатредукция в открытых бассейнах (южная зона ИПП, рудные районы Келан и Майзи Рудноалтайской зоны) или в изолированных аноксических бассейнах с высокой степенью восстановления сульфата (район Батерст). Эти различия определяются степенью изолированности палеобассейнов, интенсивностью гидротермального прогрева и ролью биогенных процессов.

4. Полученные результаты могут быть использованы при металлогеническом прогнозировании и поиске новых VMS-объектов в сходных геодинамических обстановках. Изотопный состав серы выступает в качестве инструмента для реконструкции палеообстановок (окислительно-восстановительных условий, степени замкнутости бассейна) и типизации рудных объектов, что позволяет снизить риски при оценке рудоносности перспективных площадей.

5. Дальнейшие исследования целесообразно направить на более детальное изучение изотопно-геохимических систем (S, Pb, O, H) в разных типах руд и вмещающих пород. Особого внимания заслуживает сравнительный анализ благородно-металльной минерализации (золота и серебра) в разных провинциях, который может дать ключ к пониманию условий формирования руд с высокими содержаниями полезных компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авдонин В. В.*, *Воинков Д. М.*, *Гриненко Л. Н.*, *Дёмин Ю. И.* Изотопный состав серы сульфидов различных групп месторождений Лениногорского района (Рудный Алтай) // Геология рудных месторождений. – 1972. – № 14(3). – С. 31–44.
2. *Аксенов В. С.*, *Гриненко Л. Н.*, *Гриненко В. А.* Изотопы серы и вопросы генезиса сульфидных руд полиметаллических месторождений Зыряновского района // Проблемы генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая / Под ред. Абдулина А. А. – Алма-Ата : Наука, 1977. – С. 153–158.
3. *Ан В. П.* Отчет о геологических работах Урской геологоразведочной партии на Урском рудном поле за 1957–58 гг. – Новокузнецк : 1958.
4. *Берман Б. И.* Геология и генезис полиметаллических месторождений Кызыл-Таштыгского рудного поля (Восточная Тува) : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук. – М. : 1966. – 20 с.
5. *Берман Б. И.* Геология Кызыл-Таштыгского месторождения // Труды Регионального совещания по развитию производительных сил Тувинской АО. – Новосибирск : СО АН СССР, 1960. – С. 137–146.
6. *Бестемьянова К. В.* Минеральный состав, возраст и генезис барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) : специальность 1.6.10 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Ксения Викторовна Бестемьянова. – Томск, 2025. – 255 с.
7. *Буслов М. М.* [и др.] Тектоника и геодинамика Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 10. – С. 1600–1627.
8. *Викентьев И. В.* Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. – М. : Научный мир, 2004. – 340 с.
9. *Гаськов И. В.* Колчеданно-полиметаллические месторождения северо-западной части Рудного Алтая: условия образования и закономерности размещения : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учён. степ. докт. геол.-минерал. наук / Иван Васильевич Гаськов. – Новосибирск, 2002. – 336 с.
10. *Гаськов И. В.* Кызыл-Таштыгское месторождение в Восточной Туве – эталон древнего вулканогенного образования колчеданно-полиметаллических руд // Геология и геофизика. – 2020. – Т. 61, № 2. – С. 175–193.

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

11. *Гаськов И. В.* Особенности развития колчеданных рудно-магматических систем в островодужных обстановках Рудного Алтая и Южного Урала // Литосфера. – 2015. – № 2. – С. 17–39.
12. *Гриненко В. А.*, *Гриненко Л. Н.* Геохимия изотопов серы. – М. : Наука, 1974. – 274 с.
13. *Дьячков Б. А.*, *Мизерная М. А.*, *Пяткова А. П.*, *Бисатова А. Е.*, *Мирошникова А. П.*, *Кузьмина О. Н.*, *Зимановская Н. А.*, *Ойцева Т. А.*, *Черненко З. И.* К проблеме формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Отечественная геология. – 2021. – № 5. – С. 3–16.
14. *Заири Н. М.*, *Кузнецов В. В.*, *Филатов Е. И.*, *Гурина Н. В.* Опыт использования данных по изотопному составу серы при реконструкции условий формирования руд Корбалихинского месторождения (Рудный Алтай) // Геохимия. – 1986. – № 7. – С. 997–1005.
15. *Зайков В. В.* Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин. – М. : Наука, 2006. – 426 с.
16. *Инякин А. В.* Условия локализации золото-серебро-полиметаллического оруденения Салаирско-Каменушинского рудного поля, Салаирский кряж : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал.наук / Алексей Валерьевич Инякин. – М. : 2020. – 164 с.
17. *Ковалев К. Р.*, *Гаськов И. В.*, *Перцева А. П.* Изотопный состав серы колчеданно-полиметаллических руд месторождений азиатской части России // Геология рудных месторождений. – 2000. – Т. 42, № 2. – С. 83–112.
18. *Кузебный В. С.*, *Дистанов Э. Г.*, *Макаров В. А.*, *Калеев В. А.* Изотопный состав серы колчеданно-полиметаллических руд Кызыл-Таштыгского рудного поля // Изотопные исследования процессов рудообразования. – Новосибирск : Наука, 1991. – С. 30–40.
19. *Кузнецов В. В.*, *Галямов А. Л.*, *Кудрявцева Н. Г.* Отчет по Гос. контракту № 64-Ф по объекту «Опережающие геолого-геофизические работы для обоснования переоценки перспектив полиметаллического оруденения Рудного Алтая (Алтайский край) с целью разработки основы для создания ведущего в Российской Федерации центра по добыче свинца и цинка». – М. : 2012. – 754 л.
20. *Кузнецов В. В.*, *Кудрявцева Н. Г.*, *Серавина Т. В.*, *Мурзин О. В.*, *Корчагина Д. А.*, *Кузнецова С. В.*, *Миляев С. А.* Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – 206 с.
21. *Кузнецов В. В.*, *Кузнецова Т. П.*, *Серавина Т. В.* Научно-методические основы прогноза и поисков полиметаллических месторождений Алтае-Саянской минерагенической провинции // Материалы VII научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы». – М. : ЦНИГРИ, 2017. – С. 34–35.
22. *Кузнецов В. В.*, *Серавина Т. В.*, *Корчагина Д. А.* Минерально-сырьевая база и обстановки локализации полиметаллических месторождений Сибири // Руды и металлы. – 2017. – № 1. – С. 19–32.
23. *Кузнецов В. В.*, *Серавина Т. В.*, *Кузнецова С. В.*, *Елшина С. Л.* Условия локализации колчеданно-полиметаллического оруденения Улугойской минерагенической зоны (Республика Тыва) // Отечественная геология. – 2020. – № 3. – С. 3–17.
24. *Кузнецова С. В.* Структурно-текстурные признаки гидротермально-осадочного происхождения руд колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая : специальность 1.6.10 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Светлана Владимировна Кузнецова. – М. : 2023. – 171 с.
25. *Лапухов А. С.*, *Доильницын Е. Ф.*, *Каныгин А. А.*, *Карманов В. П.*, *Кудряшов А. М.* О полигенности рудноалтайских колчеданно-полиметаллических месторождений по данным изотопного состава серы // Изотопные исследования процессов рудообразования. – Новосибирск : Наука, 1991. – С. 41–56.
26. *Серавина Т. В.* Некоторые особенности формирования колчеданно-полиметаллических месторождений типа VMS Большого Алтая // Отечественная геология. – 2025. – № 5. – С. 16–45.
27. *Серавина Т. В.* Положение колчеданно-полиметаллических месторождений Сибири в вулканогенном разрезе (на примере Рудноалтайской, Салаирской, Кызылташтыгской и Приаргунской минерагенических зон) // Материалы XXIV молодёжной научной школы «Металлогения древних и современных океанов – 2018. Вулканизм и рудообразование». – Миасс, 2018. – С. 104–108.
28. *Серавина Т. В.*, *Инякин А. В.*, *Кузнецов В. В.*, *Мурзин О. В.*, *Заятдинов М. Р.*, *Конкина А. А.*, *Кудрявцева Н. Г.* Особенности и условия накопления вулканогенно-осадочных отложений нижнего кембрия (Салаирский кряж) // Отечественная геология. – 2017. – № 2. – С. 22–30.
29. *Серавина Т. В.*, *Кудрявцева Н. Г.*, *Кузнецов В. В.* Отчет по договору № 37 от 28.09.2015 г. «Специализированные геолого-геохимические работы для оценки перспектив колчеданно-полиметаллического с золотом оруденения основных рудных районов и узлов Салаирской металлогенической зоны». – М. : ЦНИГРИ, 2017. – 216 с.
30. *Серавина Т. В.*, *Кузнецов В. В.*, *Кряжев С. Г.* Информационный геологический отчет о результа-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

тах и объёмах работ, выполненных за 2025 г. по объекту «Изучение вещественного состава рудовмещающих пород, околорудных метасоматитов, медно-свинцово-цинковой (с попутным золотом и серебром) минерализации Западно-Захаровской площади (Алтайский край)» (Договор № ВВ-2/24 от 14.06.2024 г.). – М. : 2025. – 119 с.

31. *Симонов В. А.*, *Масленников В. В.*, *Котляров А. В.* Условия минералообразующих процессов в кислых магматических системах, связанных с формированием колчеданных месторождений Урала и Алтае-Саянской области // Минералогия. – 2021. – № 7(4). – С. 5–32.
32. *Юдовская М. А.*, *Гриненко Л. Н.*, *Еремин Н. И.* Генезис Малеевского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай, Казахстан) // Геология рудных месторождений. – 1997. – Т. 39, № 2. – С. 163–182.
33. *Albardeiro L.*, *Matos J. X.*, *Mendes M.*, *Solá R.*, *Pereira Z.*, *Morais I.*, *Salgueiro R.*, *Pacheco N.*, *Araújo V.*, *Oliveira J. T.* Geological correlation of Neves-Corvo Mine and Pomarão Antiform sequences (Iberian Pyrite Belt, Portugal) // Comunicações Geológicas. – 2020. – № 107, Especial III. – P. 111–132.
34. *Bian C. J.*, *Xu J. H.*, *Chen D. P.*, *Zhang H.*, *Cheng X. H.* A fluid inclusion study of vein-type copper mineralization in the east Wulasigou Pb–Zn–Cu deposit, Altay, northwestern China // Acta Geol. Sin. (ENGL). – 2016. – № 90(5). – P. 1754–1767.
35. *Diez-Montes A.* Lithogeochemistry of volcanic rocks in the Rio-Tinto mine, Iberian Pyrite Belt (Huelva, Spain). – Madrid : Instituto Geologico y Minero de Espana, 2017. – 54 p.
36. *Gaspar O. C.* Mineralogy and sulfide mineral chemistry of Neves-Corvo ores, Portugal: insight into their genesis // The Canadian Mineralogist. – 2002. – Vol. 40. – P. 611–636.
37. *Geng X. X.*, *Yang F. Q.*, *Yang J. M.*, *Guo Z. L.*, *Guo X. J.*, *Huang C. K.*, *Liu F.*, *Chai F. M.*, *Zhang Z. X.* Stable isotope characteristics of Tiemurte Pb-Zn deposit in Altay, Xinjiang // Mineral Deposits. – 2010. – № 29. – P. 1088–1100.
38. *Goodfellow W. D.* Metallogeny of the Bathurst Mining Camp, northern New Brunswick // Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods / Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. – 2007. – Special Publication 5. – P. 449–469.
39. *Goodfellow W. D.*, *McCutcheon S. R.*, *Peter J. M.* Massive sulfide deposits of the Bathurst mining camp, New Brunswick, and northern Maine // Economic Geology Monograph. – 2003. – 930 p.
40. *Goodfellow W. D.*, *Peter J. M.* Sulphur isotope composition of the Brunswick No. 12 Massive sulphide deposit, Bathurst Mining Camp, New Brunswick: Implications for ambient environment, sulphur source, and ore genesis // Canadian Journal of Earth Sciences. – 1996. – Vol. 33. – P. 231–251.
41. *Lentz D. R.* Deformation-induced mass transfer in felsic volcanic rocks hosting the Brunswick No. 6 massive-sulfide deposit, New Brunswick: Geochemical effects and petrogenetic implications // The Canadian Mineralogist. – 1999. – Vol. 37. – P. 489–512.
42. *Lentz D. R.* Recent advances in lithogeochemical exploration for massive-sulphide deposits in volcanosedimentary environments: petrogenetic, chemostratigraphic, and alteration aspects with examples from the Bathurst Camp, New Brunswick // Current Research / New Brunswick Energy & Mines Division. – New Brunswick Department of Natural Resources, 1996. – P. 73–119.
43. *Lentz D. R.*, *Goodfellow W. D.* Mineralogy and petrology of the stringer sulphide zone in the discovery hole at Brunswick No. 12 massive sulphide deposit, Bathurst, New Brunswick // Paper 93-1E / Geological Survey of Canada. – Ottawa, 1993. – P. 248–258.
44. *Lentz D. R.*, *McCutcheon S. R.* The Brunswick No. 6 massive sulfide deposit, Bathurst Mining Camp, northern New Brunswick, Canada: a synopsis of the geology and hydrothermal alteration system // Exploration and Mining Geology. – 2006. – Vol. 15, № 3–4. – P. 123–156.
45. *Leistel J. M.*, *Marcoux E.*, *Thieblemont D.*, *Quesada C.*, *Sánchez A.*, *Almodóvar G. R.*, *Pascual E.*, *Sáez R.* The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt: review and preface to the thematic issue // Mineralium Deposita. – 1998. – Vol. 33. – P. 2–30.
46. *Li D.-F.*, *Chen H.-Y.*, *Hollings P.*, *Li Z.*, *Sun X.-M.*, *Zheng Y.*, *Xia X.-P.*, *Xiao B.*, *Wang C.-M.*, *Fang J.* Trace element geochemistry of magnetite: implications for ore genesis of the Talate skarn Pb-Zn (-Fe) deposit, Altay, NW China // Ore Geology Reviews. – 2018. – Vol. 100. – P. 471–482.
47. *Newall P.*, *Hill A.*, *Ellis R.*, *King P.*, *Holley S.* NI 43-101 Technical report for the Neves-Corvo mine, Portugal. – Lundin Mining, 2017. – 236 p.
48. *Relvas J.*, *Barriga F.*, *Ferreira A.*, *Noiva P.*, *Pacheco N.*, *Barriga F.* Hydrothermal alteration and mineralization in the Neves-Corvo volcanic hosted massive sulphide deposit, Portugal. I. Geology, mineralogy, and geochemistry // Economic Geology. – 2006. – Vol. 101. – P. 753–790.
49. *Sun C.*, *Zhang H.*, *Yang X.*, *Ji W.*, *Chen B.*, *Li Y.*, *Dong Z.*, *Faisal M.* A tale of elemental accumulation and recycling in the metamorphosed Keketale VMS-type Pb-Zn deposit, Altai Mountains // Geoscience Frontiers. – 2023. – Vol. 14, Is. 1. – P. 101481.
50. *Tornos F.*, *Locutura J.*, *Martins L.* The Iberian Pyrite Belt field trip guide. Joint SGA-IAGOD International Meeting, Field trip B4. – 1999.

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

51. *Velasco F.*, *Sánchez-España J.*, *Boyce A. J.*, *Fallick A. E.*, *Sáez R.*, *Almodóvar G. R.* A new sulphur isotopic study of some Iberian Pyrite Belt deposits: evidence of a textural control on sulphur isotope composition // Mineralium Deposita. – 1998. – Vol. 34. – P. 4–18.
52. *Wan B.*, *Zhang L. C.*, *Xiang P.* The Ashele VMS-type Cu-Zn deposit in Xinjiang, NW China formed in a rifted arc setting // Resource Geology. – 2010. – Vol. 60, № 2. – P. 150–164.
53. *Wan B.*, *Zhang L. C.*, *Xiao W. J.* Geological and geochemical characteristics and ore genesis of the Keketale VMS Pb-Zn deposit, Southern Altai Metallogenic Belt, NW China // Ore Geol. Rev. – 2010. – Vol. 37, № 2. – P. 114–126.
54. *Wang D. H.*, *Chen Y. C.*, *Mao J. W.* The Ashele deposit: a recently discovered volcanogenic massive sulfide Cu-Zn deposit in Xinjiang, China // Resource Geology. – 1998. – Vol. 48, № 1. – P. 31–42.
55. *Wang J. B.*, *Qin K. Z.*, *Wu Z. L.*, *Hu J. H.*, *Deng J. N.* Volcanic-exhalative-sedimentary lead zinc deposit in the southern margin of the Altai, Xinjiang. – Beijing : Geology Publishing House, 1998. – P. 1–210.
56. *Wilhem C.*, *Windley B. F.*, *Stampfli G. M.* The Ataids of Central Asia: a tectonic and evolutionary innovative review // Earth-Science Reviews. – 2012. – Vol. 113.
57. *Yang C. D.*, *Zhang B.*, *Yang F. Q.*, *Li Q.*, *Wang Y. Q.* Zircon U-Pb age, fluid inclusion, and H-C-O-He-Ar-S isotopic compositions as an index to the VMS type mineralization: a case study from the Wulasigou polymetallic deposit, Altay Orogenic Belt, Northwest China // J. Geochem. Explor. – 2021. – Vol. 222.
58. *Yang F.*, *Li Q.*, *Yang C. D.*, *Zhang Z.* A combined fluid inclusion and S–H–O–He–Ar isotope study of the Devonian Ashele VMS-type copper–zinc deposit in the Altay orogenic belt, northwest China // Journal of Asian Earth Sciences. – 2018. – Vol. 161. – P. 139–163.
59. *Yang J. J.*, *Yang X. K.*, *Yang C. D.*, *Li Q.*, *Yang F. Q.* Genesis of the Talate Pb-Zn (-Fe) deposit in the Altay, Xinjiang, NW China: evidence from fluid inclusions and stable isotopes // Ore Geol. Rev. – 2022. – Vol. 144.
60. *Yang Y.*, *Zhang H.*, *Yang X.*, *Sun C.*, *Ren G.*, *Li Y.*, *Chen B.*, *Jin M.*, *Zhao X.*, *Zhou N.* Evolution of the hydrothermal ore-forming system of Ashele VMS-type Cu-Zn deposit in Xinjiang, NW China: insights from mineralogy and geochemistry of sulfides // Ore Geology Reviews. – 2024. – Vol. 167.
61. *Yu P. P.*, *Zheng Y.* Pb-Zn-Cu accumulation from seafloor sedimentation to metamorphism: constraints from ore textures coupled with elemental and isotopic geochemistry of the Tiemurt in Chinese Altay Orogen, NW China // Gondwana Res. – 2019. – Vol. 72. – P. 65–82.
62. *Yuan L.*, *Liu F.* Sulfide Re-Os age and Rb-Sr age of Talate Pb-Zn-Fe polymetallic deposit in Southern Altay and their geological significance // Mineral Deposit. – 2017. – Vol. 36. – P. 1333–1351.
63. *Zhang W.*, *Zhang X.*, *Liu G.*, *Guo X.* Magmatic-seawater interaction in the Keyinbulake Zn-Cu deposit (NW China): insight from sulfide S isotope and trace elements // Ore Geol. Rev. – 2026. – Vol. 188.

REFERENCES

1. *Avdonin V. V.*, *Voinkov D. M.*, *Grinenko L. N.*, *Domin Yu. I.* Izotopnyy sostav sery sul'fidov razlichnykh grupp mestorozhdeniy Leninogorskogo rayona (Rudnyy Altay) [Isotopic composition of sulfur of sulfides of different groups of deposits in the Leninogorsk region (Rudny Altai)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1972, No. 14(3), pp. 31–44. (In Russ.)
2. *Aksenov V. S.*, *Grinenko L. N.*, *Grinenko V. A.* Izotopy sery i voprosy genezisa sul'fidnykh rud polimetallicheskikh mestorozhdeniy Zyryanovskogo rayona [Sulfur isotopes and questions of genesis of sulfide ores of polymetallic deposits of Zyryanovsky district], Problemy genezisa kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya, ed. Abdulin A. A., Alma-Ata, Nauka publ., 1977, pp. 153–158. (In Russ.)
3. *An V. P.* Otchet o geologicheskikh rabotakh Urskoy geologorazvedochnoy partii na Urskom rudnom pole za 1957–58 gg. [Report on geological works of the Ur geological exploration party on the Ur ore field for 1957–58], Novokuznetsk, 1958. (In Russ.)
4. *Berman B. I.* Geologiya i genezis polimetallicheskikh mestorozhdeniy Kyzyl-Tashtygskogo rudnogo polya (Vostochnaya Tuva) [Geology and genesis of polymetallic deposits of the Kyzyl-Tashtyg ore field (Eastern Tuva)], avtoref. dis. na soiskanie uchen. step. kand. geol.-mineral. nauk, Moscow, 1966, 20 p. (In Russ.)
5. *Berman B. I.* Geologiya Kyzyl-Tashtygskogo mestorozhdeniya [Geology of the Kyzyl-Tashtyg deposit], Trudy Regional'nogo soveshchaniya po razvitiyu proizvoditel'nykh sil Tuvinskoy AO, Novosibirsk, SO AN SSSR publ., 1960, pp. 137–146. (In Russ.)
6. *Bestem'yanova K. V.* Mineral'nyy sostav, vozrast i genezis barit-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Zmeinogorskogo rudnogo rayona (Rudnyy Altay) [Mineral composition, age and genesis of barite-polymetallic deposits of the Zmeinogorsk ore region (Rudny Altai)], Tomsk, 2025, 255 p. (In Russ.)

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

7. *Buslov M. M.* [et al.] Tektonika i geodinamika Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti [Tectonics and geodynamics of the Altai-Sayan folded region], Geologiya i geofizika, 2013, V. 54, No. 10, pp. 38–40. (In Russ.)
8. *Vikent'yev I. V.* Usloviya formirovaniya i metamorfizm kolchedannykh rud [Conditions of formation and metamorphism of pyrite ores], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2004, 340 p. (In Russ.)
9. *Gas'kov I. V.* Kolchedanno-polimetallicheskiye mestorozhdeniya severo-zapadnoy chasti Rudnogo Altaya: usloviya obrazovaniya i zakonomernosti razmeshcheniya [Pyrite-polymetallic deposits of the northwestern part of Rudny Altai: conditions of formation and patterns of placement], Novosibirsk, 2002, 336 p. (In Russ.)
10. *Gas'kov I. V.* Kyzyl-Tashtygskoye mestorozhdeniye v Vostochnoy Tuve – etalon drevnego vulkanogennogo obrazovaniya kolchedanno-polimetallicheskikh rud [Kyzyl-Tashtyg deposit in Eastern Tuva – a reference model of ancient volcanogenic formation of pyrite-polymetallic ores], Geologiya i geofizika, 2020, V. 61, No. 2, pp. 175–193. (In Russ.)
11. *Gas'kov I. V.* Osobennosti razvitiya kolchedannykh rudno-magmaticheskikh sistem v ostrovoduzhnykh obstanovkakh Rudnogo Altaya i Yuzhnogo Urala [Features of development of pyrite ore-magmatic systems in island arc settings of Rudny Altai and Southern Urals], Litosfera, 2015, No. 2, pp. 17–39. (In Russ.)
12. *Grinenko V. A.*, *Grinenko L. N.* Geokhimiya izotopov sery [Geochemistry of sulfur isotopes], Moscow, Nauka publ., 1974, 274 p. (In Russ.)
13. *Dyachkov B. A.*, *Mizernaya M. A.*, *Pyatkova A. P.*, *Bisatova A. E.*, *Miroshnikova A. P.*, *Kuz'mina O. N.*, *Zimanovskaya N. A.*, *Oytseva T. A.*, *Chernenko Z. I.* K probleme formirovaniya kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya [On the problem of formation of pyrite-polymetallic deposits of Rudny Altai], Otechestvennaya geologiya, 2021, No. 5, pp. 3–16. (In Russ.)
14. *Zairi N. M.*, *Kuznetsov V. V.*, *Filatov E. I.*, *Gurina N. V.* Opyt ispol'zovaniya dannykh po izotopnomu sostavu sery pri rekonstruktsii usloviy formirovaniya rud Korbalikhinskogo mestorozhdeniya (Rudnyy Altay) [Experience of using data on the isotopic composition of sulfur in reconstructing the conditions of ore formation at the Korbalikhinskoye deposit (Rudny Altai)], Geokhimiya, 1986, No. 7, pp. 997–1005. (In Russ.)
15. *Zaykov V. V.* Vulkanizm i sul'fidnyye kholmy paleookeanicheskikh okrain [Volcanism and sulfide mounds of paleoceanic margins], Moscow, Nauka publ., 2006, 426 p. (In Russ.)
16. *Inyakin A. V.* Usloviya lokalizatsii zoloto-serebro-polimetallicheskogo orudeneniya Salairsko-Kamenushinskogo rudnogo polya, Salairskiy kryazh [Localization conditions of gold-silver-polymetallic mineralization of the Salair-Kamenshinsky ore field, Salair Ridge], Moscow, 2020, 164 p. (In Russ.)
17. *Kovalev K. R.*, *Gas'kov I. V.*, *Pertseva A. P.* Izotopnyy sostav sery kolchedanno-polimetallicheskikh rud mestorozhdeniy aziatskoy chasti Rossii [Isotopic composition of sulfur of pyrite-polymetallic ores of deposits of the Asian part of Russia], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2000, V. 42, No. 2, pp. 83–112. (In Russ.)
18. *Kuzebnyy V. S.*, *Distanov E. G.*, *Makarov V. A.*, *Kaleev V. A.* Izotopnyy sostav sery kolchedanno-polimetallicheskikh rud Kyzyl-Tashtygskogo rudnogo polya [Isotopic composition of sulfur of pyrite-polymetallic ores of the Kyzyl-Tashtyg ore field], Izotopnyye issledovaniya protsessov rudoobrazovaniya, Novosibirsk, Nauka publ., 1991, pp. 30–40. (In Russ.)
19. *Kuznetsov V. V.*, *Galyamov A. L.*, *Kudryavtseva N. G.* Otchet po Gos. kontraktu No. 64-F po ob"yektu "Operezhayushchiye geologo-geofizicheskiye raboty dlya obosnovaniya pereotsenki perspektiv polimetallicheskogo orudeneniya Rudnogo Altaya (Altayskiy kray) s tsel'yu razrabotki osnovy dlya sozdaniya vedushchego v Rossiyskoy Federatsii tsentra po dobyche svintsa i tsinka" [Report on State contract No. 64-F on the project "Advanced geological and geophysical work to substantiate the revaluation of polymetallic mineralization prospects of Rudny Altai (Altai Territory) with the aim of developing a basis for creating the leading center in the Russian Federation for lead and zinc mining"], Moscow, 2012, 754 p. (In Russ.)
20. *Kuznetsov V. V.*, *Kudryavtseva N. G.*, *Seravina T. V.*, *Murzin O. V.*, *Korchagina D. A.*, *Kuznetsova S. V.*, *Milyayev S. A.* Osnovy prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya [Fundamentals of forecasting and prospecting for pyrite-polymetallic deposits in Rudny Altai], Moscow, TSNIGRI publ., 2019, 206 p. (In Russ.)
21. *Kuznetsov V. V.*, *Kuznetsova T. P.*, *Seravina T. V.* Nauchno-metodicheskiye osnovy prognoza i poiskov polimetallicheskikh mestorozhdeniy Altaye-Sayanskoy minerageniceskoy provintsii [Scientific and methodological foundations of forecasting and prospecting for polymetallic deposits of the Altai-Sayan mineragenic province], Materialy VII nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauchno-metodicheskiye osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov – sostoyaniye i perspektivy", Moscow, 2017, pp. 34–35. (In Russ.)
22. *Kuznetsov V. V.*, *Seravina T. V.*, *Korchagina D. A.* Mineral'no-syr'yevaya baza i obstanovki lokalizatsii polimetallicheskikh mestorozhdeniy Sibiri [Mineral resource base and localization settings of polymetallic deposits of Siberia], Rudy i metally, 2017, No. 1, pp. 19–32. (In Russ.)
23. *Kuznetsov V. V.*, *Seravina T. V.*, *Kuznetsova S. V.*, *Yelshina S. L.* Usloviya lokalizatsii kolchedanno-po-

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

limetallicheskogo orudeneniya Ulugoyskoy mineragenicheskoy zony (Respublika Tyva) [Localization conditions of pyrite-polymetallic mineralization of the Ulugoy mineragenic zone (Republic of Tuva)], Otechestvennaya geologiya, 2020, No. 3, pp. 3–17. (In Russ.)
24. *Kuznetsova S. V.* Strukturno-teksturnyye priznaki gidrotermal'no-osadochnogo proiskhozhdeniya rud kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Zmeinogorskogo i Rubtsovskogo rayonov Rudnogo Altaya [Structural and textural features of hydrothermal-sedimentary origin of ores of pyrite-polymetallic deposits of the Zmeinogorsk and Rubtsovsk regions of Rudny Altai], Moscow, 2023, 171 p. (In Russ.)
25. *Lapukhov A. S.*, *Doil'nitsyn Ye. F.*, *Kanygin A. A.*, *Karmanov V. P.*, *Kudryashov A. M.* O poligennosti rudnoaltayskikh kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy po dannym izotopnogo sostava sery [On the polygeneity of the Ore-Altai pyrite-polymetallic deposits based on the isotopic composition of sulfur], Izotopnyye issledovaniya protsessov rudoobrazovaniya, Novosibirsk, Nauka publ., 1991, pp. 41–56. (In Russ.)
26. *Seravina T. V.* Nekotoryye osobennosti formirovaniya kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy tipa VMS Bol'shogo Altaya [Some features of the formation of pyrite-polymetallic deposits of the VMS type of the Greater Altai], Otechestvennaya geologiya, 2025, No. 5, pp. 16–45. (In Russ.)
27. *Seravina T. V.* Polozheniye kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Sibiri v vulkanogennom razreze (na primere Rudnoaltayskoy, Salairskoy, Kyzyltashtygskoy i Priargunskoy mineragenicheskikh zon) [Position of pyrite-polymetallic deposits of Siberia in the volcanic section (on the example of the Rudno-Altai, Salair, Kyzyl-Tashtyg and Priargun mineragenic zones)], Materialy XXIV molodezhnoy nauchnoy shkoly "Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov – 2018. Vulkanizm i rudoobrazovaniye", Miass, 2018, pp. 104–108. (In Russ.)
28. *Seravina T. V.*, *Inyakin A. V.*, *Kuznetsov V. V.*, *Murzin O. V.*, *Zayatdinov M. R.*, *Konkina A. A.*, *Kudryavtseva N. G.* Osobennosti i usloviya nakopleniya vulkanogenno-osadochnykh otlozheniy nizhnego kembriya (Salairskiy kryazh) [Features and conditions of accumulation of volcanogenic-sedimentary deposits of the Lower Cambrian (Salair Ridge)], Otechestvennaya geologiya, 2017, No. 2, pp. 22–30. (In Russ.)
29. *Seravina T. V.*, *Kudryavtseva N. G.*, *Kuznetsov V. V.* Otchet po dogovoru No. 37 ot 28.09.2015 g. "Spetsializirovannyye geologo-geokhimicheskiye raboty dlya otsenki perspektiv kolchedanno-polimetallicheskogo s zolotom orudeneniya osnovnykh rudnykh rayonov i uzlov Salairskoy metallogenicheskoy zony" [Report under agreement No. 37 dated 28.09.2015 "Specialized geological and geochemical work to assess the prospects of pyrite-polymetallic with gold mineralization of the main ore regions and nodes of the Salair metallogenic zone"], Moscow, TSNIGRI publ., 2017, 216 p. (In Russ.)
30. *Seravina T. V.*, *Kuznetsov V. V.*, *Kryazhev S. G.* Informatsionnyy geologicheskiy otchet o rezul'tatakh i ob"yemakh rabot, vypolnennykh za 2025 g. po ob"yektu "Izucheniye veshchestvennogo sostava rudovmeshchayushchikh porod, okolorudnykh metasomatitov, medno-svintsovo-tsinkovoy (s poputnym zolotom i serebrom) mineralizatsii Zapadno-Zakharovskoy ploshchadi (Altayskiy kray)" (Dogovor No. VV-2/24 ot 14.06.2024 g.) [Information geological report on the results and volumes of work performed in 2025 on the project "Study of the material composition of ore-bearing rocks, wallrock metasomatites, copper-lead-zinc (with associated gold and silver) mineralization of the West Zakharovskaya area (Altai Territory)" (Agreement No. VV-2/24 dated 14.06.2024)], Moscow, 2025, 119 p. (In Russ.)
31. *Simonov V. A.*, *Maslennikov V. V.*, *Kotlyarov A. V.* Usloviya mineraloobrazuyushchikh protsessov v kislykh magmaticheskikh sistemakh, svyazannykh s formirovaniyem kolchedannykh mestorozhdeniy Urala i Altaye-Sayanskoy oblasti [Conditions of ore-forming processes in acidic magmatic systems associated with the formation of pyrite deposits of the Urals and Altai-Sayan region], Mineralogiya, 2021, No. 7(4), pp. 5–32. (In Russ.)
32. *Yudovskaya M. A.*, *Grinenko L. N.*, *Yeremin N. I.* Genezis Maleyevskogo kolchedanno-polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Rudnyy Altay, Kazakhstan) [Genesis of the Maleevskoye pyrite-polymetallic deposit (Rudny Altai, Kazakhstan)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1997, V. 39, No. 2, pp. 163–182. (In Russ.)
33. *Albardeiro L.*, *Matos J. X.*, *Mendes M.*, *Solá R.*, *Pereira Z.*, *Morais I.*, *Salgueiro R.*, *Pacheco N.*, *Araújo V.*, *Oliveira J. T.* Geological correlation of Neves-Corvo Mine and Pomarão Antiform sequences (Iberian Pyrite Belt, Portugal), Comunicações Geológicas, 2020, No. 107, Especial III, pp. 111–132.
34. *Bian C. J.*, *Xu J. H.*, *Chen D. P.*, *Zhang H.*, *Cheng X. H.* A fluid inclusion study of vein-type copper mineralization in the east Wulasigou Pb–Zn–Cu deposit, Altay, northwestern China, Acta Geol. Sin. (ENGL), 2016, No. 90 (5), pp. 1754–1767.
35. *Diez-Montes A.* Lithogeochemistry of volcanic rocks in the Rio-Tinto mine, Iberian Pyrite Belt (Huelva, Spain), Madrid, Instituto Geologico y Minero de Espana, 2017, 54 p.
36. *Gaspar O. C.* Mineralogy and sulfide mineral chemistry of Neves-Corvo ores, Portugal: insight into their genesis, The Canadian Mineralogist, 2002, V. 40, pp. 611–636.

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

37. *Geng X. X.*, *Yang F. Q.*, *Yang J. M.*, *Guo Z. L.*, *Guo X. J.*, *Huang C. K.*, *Liu F.*, *Chai F. M.*, *Zhang Z. X.* Stable isotope characteristics of Tiemurte Pb-Zn deposit in Altay, Xinjiang, Mineral Deposits, 2010, No. 29, pp. 1088–1100.
38. *Goodfellow W. D.* Metallogeny of the Bathurst Mining Camp, northern New Brunswick, Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 2007, Special Publication 5, pp. 449–469.
39. *Goodfellow W. D.*, *McCutcheon S. R.*, *Peter J. M.* Massive sulfide deposits of the Bathurst mining camp, New Brunswick, and northern Maine, Economic Geology Monograph, 2003, 930 p.
40. *Goodfellow W. D.*, *Peter J. M.* Sulphur isotope composition of the Brunswick No. 12 Massive sulphide deposit, Bathurst Mining Camp, New Brunswick: Implications for ambient environment, sulphur source, and ore genesis, Canadian Journal of Earth Sciences, 1996, V. 33, pp. 231–251.
41. *Lentz D. R.* Deformation-induced mass transfer in felsic volcanic rocks hosting the Brunswick No. 6 massive-sulfide deposit, New Brunswick: Geochemical effects and petrogenetic implications, The Canadian Mineralogist, 1999, V. 37, pp. 489–512.
42. *Lentz D. R.* Recent advances in lithogeochemical exploration for massive-sulphide deposits in volca-no-sedimentary environments: petrogenetic, chemo-stratigraphic, and alteration aspects with examples from the Bathurst Camp, New Brunswick, Current Research, New Brunswick Energy & Mines Division, New Brunswick Department of Natural Resources, 1996, pp. 73–119.
43. *Lentz D. R.*, *Goodfellow W. D.* Mineralogy and petrology of the stringer sulphide zone in the discovery hole at Brunswick No. 12 massive sulphide deposit, Bathurst, New Brunswick, Paper 93-1E, Geological Survey of Canada, Ottawa, 1993, pp. 248–258.
44. *Lentz D. R.*, *McCutcheon S. R.* The Brunswick No. 6 massive sulfide deposit, Bathurst Mining Camp, northern New Brunswick, Canada: a synopsis of the geology and hydrothermal alteration system, Exploration and Mining Geology, 2006, V. 15, No. 3–4, pp. 123–156.
45. *Leistel J. M.*, *Marcoux E.*, *Thieblemont D.*, *Quesada C.*, *Sánchez A.*, *Almodóvar G. R.*, *Pascual E.*, *Sáez R.* The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt: review and preface to the thematic issue, Mineralium Deposita, 1998, V. 33, pp. 2–30.
46. *Li D.-F.*, *Chen H.-Y.*, *Hollings P.*, *Li Z.*, *Sun X.-M.*, *Zheng Y.*, *Xia X.-P.*, *Xiao B.*, *Wang C.-M.*, *Fang J.* Trace element geochemistry of magnetite: implications for ore genesis of the Talate skarn Pb-Zn (-Fe) deposit, Altay, NW China, Ore Geol. Rev., 2018, V. 100, pp. 471–482.
47. *Newall P.*, *Hill A.*, *Ellis R.*, *King P.*, *Holley S.* NI 43-101 Technical report for the Neves-Corvo mine, Portugal, Lundin Mining, 2017, 236 p.
48. *Relvas J.*, *Barriga F.*, *Ferreira A.*, *Noiva P.*, *Pacheco N.*, *Barriga F.* Hydrothermal alteration and mineralization in the Neves-Corvo volcanic hosted massive sulphide deposit, Portugal. I. Geology, mineralogy, and geochemistry, Economic Geology, 2006, V. 101, pp. 753–790.
49. *Sun C.*, *Zhang H.*, *Yang X.*, *Ji W.*, *Chen B.*, *Li Y.*, *Dong Z.*, *Faisal M.* A tale of elemental accumulation and recycling in the metamorphosed Keketale VMS-type Pb-Zn deposit, Altai Mountains, Geoscience Frontiers, 2023, V. 14, Is. 1, pp. 101481.
50. *Tornos F.*, *Locutura J.*, *Martins L.* The Iberian Pyrite Belt field trip guide. Joint SGA-IAGOD International Meeting, Field trip B4, 1999.
51. *Velasco F.*, *Sánchez-España J.*, *Boyce A. J.*, *Fallick A. E.*, *Sáez R.*, *Almodóvar G. R.* A new sulphur isotopic study of some Iberian Pyrite Belt deposits: evidence of a textural control on sulphur isotope composition, Mineralium Deposita, 1998, V. 34, pp. 4–18.
52. *Wan B.*, *Zhang L. C.*, *Xiang P.* The Ashele VMS-type Cu-Zn deposit in Xinjiang, NW China formed in a rifted arc setting, Resource Geology, 2010, V. 60, No. 2, pp. 150–164.
53. *Wan B.*, *Zhang L. C.*, *Xiao W. J.* Geological and geochemical characteristics and ore genesis of the Keketale VMS Pb-Zn deposit, Southern Altai Metallogenic Belt, NW China, Ore Geol. Rev., 2010, V. 37, No. 2, pp. 114–126.
54. *Wang D. H.*, *Chen Y. C.*, *Mao J. W.* The Ashele deposit: a recently discovered volcanogenic massive sulfide Cu-Zn deposit in Xinjiang, China, Resource Geology, 1998, V. 48, No. 1, pp. 31–42.
55. *Wang J. B.*, *Qin K. Z.*, *Wu Z. L.*, *Hu J. H.*, *Deng J. N.* Volcanic-exhalative-sedimentary lead zinc deposit in the southern margin of the Altai, Xinjiang, Beijing, Geology Publishing House, 1998, pp. 1–210.
56. *Wilhem C.*, *Windley B. F.*, *Stampfli G. M.* The Altaids of Central Asia: a tectonic and evolutionary innovative review, Earth-Science Reviews, 2012, V. 113.
57. *Yang C. D.*, *Zhang B.*, *Yang F. Q.*, *Li Q.*, *Wang Y. Q.* Zircon U-Pb age, fluid inclusion, and H-C-O-He-Ar-S isotopic compositions as an index to the VMS type mineralization: a case study from the Wulasigou polymetallic deposit, Altay Orogenic Belt, Northwest China, J. Geochem. Explor., 2021, V. 222.
58. *Yang F.*, *Li Q.*, *Yang C. D.*, *Zhang Z.* A combined fluid inclusion and S–H–O–He–Ar isotope study of the Devonian Ashele VMS-type copper–zinc deposit in the Altay orogenic belt, northwest China, Journal of Asian Earth Sciences, 2018, V. 161, pp. 139–163.
59. *Yang J. J.*, *Yang X. K.*, *Yang C. D.*, *Li Q.*, *Yang F. Q.* Genesis of the Talate Pb-Zn (-Fe) deposit in the

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

Altay, Xinjiang, NW China: evidence from fluid inclusions and stable isotopes, Ore Geol. Rev., 2022, V. 144.

60. *Yang Y.*, *Zhang H.*, *Yang X.*, *Sun C.*, *Ren G.*, *Li Y.*, *Chen B.*, *Jin M.*, *Zhao X.*, *Zhou N.* Evolution of the hydrothermal ore-forming system of Ashele VMS-type Cu-Zn deposit in Xinjiang, NW China: insights from mineralogy and geochemistry of sulfides, Ore Geol. Rev., 2024, V. 167.
61. *Yu P. P.*, *Zheng Y.* Pb-Zn-Cu accumulation from seafloor sedimentation to metamorphism: constraints from ore textures coupled with elemental and isotopic geochemistry of the Tiemurt in Chinese Altay Orogen, NW China, Gondwana Res., 2019, V. 72, pp. 65–82.
62. *Yuan L.*, *Liu F.* Sulfide Re-Os age and Rb-Sr age of Talate Pb-Zn-Fe polymetallic deposit in Southern Altay and their geological significance, Mineral Deposit., 2017, V. 36, pp. 1333–1351.
63. *Zhang W.*, *Zhang X.*, *Liu G.*, *Guo X.* Magmatic-seawater interaction in the Keyinbulake Zn-Cu deposit (NW China): insight from sulfide S isotope and trace elements, Ore Geol. Rev., 2026, V. 188.

Статья поступила в редакцию 15.09.26; одобрена после рецензирования 24.09.26; принята к публикации 24.09.26.
The article was submited 15.09.26; approved after reviewing 24.09.26; accepted for publication 24.09.26.

По всем вопросам, связанным со статьями, следует обращаться в редакцию
по тел. +7 (495)315-43-65 доб. 227
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1

© Т. В. Серавина, 2026
© T. V. Seravina, 2026

DOI:10.47765/0869-7175-2026-10013

УДК 553.81:552.323.6
© Н. Н. Зинчук, 2026

Особенности некоторых геолого-генетических типов алмазоносных магматитов

Аннотация. Известные в мире типы алмазоносных магматитов в целом можно отнести к двум группам пород – мантийной и коровой. Первая из них включает кимберлиты, лампроиты, кимберлит-лампроиты, пикритовые мончилиты, лампрофиры, коматииты и гранатовые пироксениты. Коровые породы представлены породами ударно-метаморфогенного типа – импактитами. Пока нет единого мнения о генетическом типе алмазов из кристаллических пород (типа Кокчетава): одни исследователи относят их к мантийной группе, другие обосновывают механизм корового происхождения этих алмазов. Для кимберлитов, лампроитов и кимберлит-лампроитов характерной формой выделения являются диатремы, дайки, реже штокверки и силлы. Прочие типы коренных месторождений алмазов локализуются в коровых породах, залегающих в основном в виде массивов (плутонов). Первоисточником кимберлитов и лампроитов являются дезинтегрированные мантийные породы (перидотиты и эклогиты), фрагменты которых вынесены магмой в земную кору. Лампроиты отличаются от кимберлитов высокими содержаниями Ti, K, P и некоторых других элементов. Нет существенных различий между алмазами этих двух типов магматитов. Метаморфогенные алмазы из кристаллического комплекса имеют очень малые размеры (редко превышающие десятые доли миллиметра) и встречаются в виде кристаллов кубического габитуса, скелетных форм и их сростков. Образовались они в коровых условиях при *PT* параметрах, стабильных для этого минерала. Новый тип коренных месторождений алмазов, связанный с импактитами, сформировался в результате удара космических тел о поверхность Земли. Образование кристаллов в них обусловлено твердофазным переходом графита в алмаз при повышенных давлениях, возникающих в процессе удара. Алмазы из кимберлитов и лампроитов имеют как ювелирное, так и техническое значение; последнее характерно и для других типов кристаллов.

Ключевые слова: кимберлиты, лампроиты, метасоматические и импактные алмазы, трубки, дайки и жилы.

ЗИНЧУК НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, nnzinchuk@rambler.ru

Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) Академии наук Республики Саха (Якутия), г. Мирный

Specific features of particular geological-genetic types of diamond-bearing magmatites

N. N. ZINCHUK

West-Yakutian Scientific Center of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Mirnyi

Abstract. Globally recognized types of diamond-bearing magmatites can generally be classified into two groups, the mantle-derived and crustal ones. The first group comprises kimberlites, lamproites, kimberlite-lamproites, picritic monchiquites, lamprophyres, komatiites, and garnet pyroxenites. The crustal rocks are represented by impact-metamorphogenic types, or impactites. There is currently no consensus regarding the genetic type of diamonds found in crystalline rocks (of the Kokchetav type): some researchers assign them to the mantle group, while others argue for the crustal origin. Kimberlites, lamproites, and kimberlite-lamproites typically occur as diatremes and dikes, and less frequently as stockworks and sills. Other types of primary diamond deposits are hosted in crustal rocks that mainly occur as intrusive massifs (plutons). The original source of kimberlites and lamproites is represented by disintegrated mantle rocks (peridotites and eclogites), which fragments were brought into the Earth's crust by the magma. The lamproites differ from the kimberlites in their high content of Ti, K, P, and certain other elements. There are no significant differences between the diamonds found in these two types of magmatic rocks. Metamorphogenic diamonds from the crystalline complex are very small (rarely exceeding a fraction of a millimeter) and occur as crystals of cubic habit, skeletal forms, and their aggregates. They formed under crustal conditions at P-T parameters characteristic for stability of this mineral. A new type of primary diamond deposit, associated with impactites, formed as a result of an impact of cosmic bodies onto the Earth's surface. The diamond crystallization in these deposits resulted due to the solid-phase transition of graphite to diamond under high pressures generated during the impact.

Diamonds from kimberlites and lamproites are valuable for both gem and technical applications; the technical significance is characteristic of other diamond types as well.

Key words: kimberlites, lamproites, metasomatic and impact diamonds, pipes, dykes, veins.

Практически все коренные месторождения алмазов мантийного происхождения сосредоточены [6, 25, 31, 39] в пределах древних кратонов, консолидация которых завершилась в архее. Согласно правилу Клиффорда [38, 43], кимберлиты могут располагаться в пределах протерозойских подвижных поясов, но их алмазоносность в этой позиции должна быть весьма ограниченной или эти породы не будут содержать алмазов. Действительно, в краевых зонах кратонов до недавнего времени не были известны промышленные коренные месторождения алмазов, хотя россыпи этого минерала с неустановленными коренными источниками могут быть здесь развиты довольно широко. Яркий пример этого – северо-восток Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) [5, 27, 40]. Однако в последние несколько десятилетий коренные месторождения алмазов были открыты и в периферийных частях древних кратонов. Например, в краевых частях древней Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в Архангельской алмазоносной провинции (ААП) открыты алмазоносные диатремы, а продуктивные трубки Дьянга и Малокуонапская известны в ЯАП Сибирской платформы (СП). Лампроитовая трубка Аргайл, открытая в Западной Австралии, локализована в подвижном верхнепротерозойском поясе Кинг-Леополд [28, 41]. Группа кимберлитовых трубок Венеция и диатрема Ривер Ранч расположены в подвижном протерозойском поясе Лимпопо на юге Южно-Африканской платформы (ЮАП).

Алмаз – минерал, образующийся как в условиях земных недр, так и при сверхскоростном соударении космических тел с землёй [1–4, 9–11, 26, 42]. Выделяются обычно два генетических типа коренных месторождений алмазов: мантийный и коровый. В мантийном типе уверенно определяются кимберлитовый и лампроитовый типы магматизма, заполняющие диатремы и реже дайки. В коровом типе известны [7–9, 22–24, 28–30] динамо-метаморфогенный (линейные зоны неправильной формы или линзовидные тела сложных очертаний) и ударно-метаморфогенный (метеоритные кратеры или астроблемы). Рассматривая проблему коренного алмазоносного магматизма в целом, можно отметить наличие четырёх геолого-генетических типов коренных месторождений алмазов: кимберлитового, лампроитового, метаморфогенного и импактного.

Коренные месторождения алмазов кимберлитового типа некоторые исследователи [12–15, 24, 32] разделяют на два генетических типа: эксплозивный, включающий в основном трубки взрыва, и интрузивный (гипабиссальный), объединяющий дайковые, жильные, штокверковые тела и силлы. Такие месторождения по содержанию алмазов разделяются на весьма высоко-, средне- и низкоалмазоносные. По крупности кристаллов можно выделить месторождения с крупными, среднекрупными и мелкими алмазами. Предлагаемая [8, 21, 37] типизация коренных месторождений алмазов учитывает значительное количество важных признаков, включающих геологическое строение трубок, их морфологию и размеры, индикационные свойства пород, выполняющих диатремы, содержание индикаторных минералов (ИМК) и алмазов, степень вторичных изменений, соотношение глубинных и коровых ксенолитов и др. Кимберлитовые трубки различаются между собой по многим параметрам: расположением в различных геотектонических обстановках, образованием в широком возрастном интервале, неодинаковой степенью эродированности, отличием по минералого-петрохимическим особенностям и др. Индивидуальные особенности чётко проявляются [15–17] у кимберлитов, размещающихся в различных провинциях, субпровинциях, районах и полях, а иногда даже в рядом расположенных диатремах. Среди кимберлитов выделены [5, 18–20, 27] магнезиальные и железисто-магнезиальные разности, а также обособлена кимберлит-лампроитовая группа алмазоносных пород, занимающая промежуточное положение между кимберлитами и лампроитами. Основные различия между этими группами заключаются в повышенной магнезиальности первых, низком содержании в них Fe, K, P и некоторых других элементов. Для Mg-кимберлитов типичны низкие концентрации пикроильменита, малое количество низкохромистого пиропа, а в основной массе редко встречаются

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

апатит, пикроильменит, перовскит и слюда. Магнезиальные кимберлиты в основном локализованы в центральных районах Якутской алмазоносной провинции Сибирской платформы, в то время как железисто-магнезиальные, характеризующиеся повышенным содержанием перечисленных элементов, приурочены в основном к северным районам региона. Промышленные диатремы кимберлитов сформировались в широком возрастном интервале: от протерозоя (трубка Премьер, 1750 ± ± 100 млн лет) до мезозоя (трубки района г. Кимберли, 90 млн лет). Кимберлитовые трубки Венеция и Ривер Ранч, по данным радиологических определений, имеют возраст 550 млн лет.

Коренные месторождения алмазов древних платформ мира подверглись различному *эрозионному срезу*: от минимального, когда около кратера трубки сохранился закратерный выброс (трубка Мвадуя, Танзания), до значительного, когда на земную поверхность выведены низы диатремовой части или даже подводящие каналы (трубки Шенгли и Бинхай, Китай). В целом среди изученных нами [15–19, 39] коренных месторождений алмазов преобладают среднеэродированные трубки с сохранившимся различным по величине отрезком диатремовой зоны – наиболее продуктивной части кимберлитовой и лампроитовой постройки. Эрозионный срез кимберлитовых диатрем в различных регионах неодинаковый, что связано с геолого-тектоническими особенностями эволюции различных частей платформ. Так, среди промышленно алмазоносных диатрем ЯАП установлены (рис. 1) тела с сохранившимися в верхних горизонтах кратерными фациями озёрного происхождения (трубки Юбилейная, Краснопресненская и др.), тела с частично эродированными кратерами (сохранились участки кратеров, переходящие в диатремовые зоны на трубке Айхал) и с практически полностью эродированными (рис. 2) кратерами (трубки Интернациональная, Мир, Зарница, Удачная, Заполярная, Новинка и др.). Среди продуктивных трубок наиболее интенсивно эродированы диатремы Верхнемунского алмазоносного района (ВМАР), а менее всего – тела Далдыно-Алакитского (ДААР).

Продуктивные трубки Архангельской алмазоносной провинции эродированы незначительно. В пределах основного в ААП Зимнебережного района кимберлитового и родственного ему магматизма выделяются пять полей: Золотицкое (трубки Ломоносовская, Пионерская, Карпинская-1 и -2, Архангельская, Снегурочка, Поморская, Кольцовская, Первомайская и др.), Верхотинское (Волчья, Верхотинская, Осетинская, Майская и др.), Кепинское (Шочинская, Октябрьская и др.), Мельское (известен один силл) и Полтозерское (многочисленные трубки базальтоидов). Характерно относительно однотипное внутреннее строение трубок. У слабо эродированных диатрем (рис. 3) сохранился кратер, выполненный осадочно-вулканогенными фациями, верхние горизонты которых образовались в озёрных бассейнах. Кратерные образования представлены двумя пачками: верхней вулканогенно-осадочной и нижней туфогенной. Вулканогенно-осадочная пачка сложена преимущественно красноцветными песчаниками с подчинённым количеством алевролитов, аргиллитов и осадочных брекчий. Глубже (до уровня 130–160 м) залегает туфогенная пачка, в которой отмечены переслаивания туфов и туффитов, количество прослоев которого (мощностью от 0,3 до 10 м) достигает 12.

Территория ЮАП многими исследователями считается эталонной, поскольку в её пределах месторождения мантийных алмазов (коренные и россыпные) развиты довольно широко и представлены многими типами [5, 28, 38]. Эти месторождения распространены на обширной территории Центральной и Южной Африки, группируясь [38–41] в отдельные субпровинции, районы и поля. Достоверно пока установлен только один тип мантийных алмазов – кимберлитовый, месторождения которого разрабатываются в ЮАР, Ботсване, Танзании, Заире, Зимбабве и Анголе. Подавляющее большинство кимберлитовых тел африканского региона имело выход на дневную поверхность. Самая верхняя часть раструба трубок часто напоминает шляпу гриба, края которой переходят в кольцевой вал, сформированный выбросами собственно эндогенного кимберлитового материала и пород, прорванных кимберлитовой колонной. Кольцевой вал обычно эродирован, и его реликты сохранились (рис. 4) около единичных диатрем в Танзании (Мвадуи), Мали (Касаме) и Заире (массивы A и V). Переход между кратерной частью и вертикальным каналом как постепенный, так и относительно резкий.

Особенности состава пород трубок различных алмазоносных провинций существенно отличаются. Каждая из частей диатрем (раструб, вертикальный канал и подводящий дайкоподобный канал) сложена породами, имеющими определённые

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

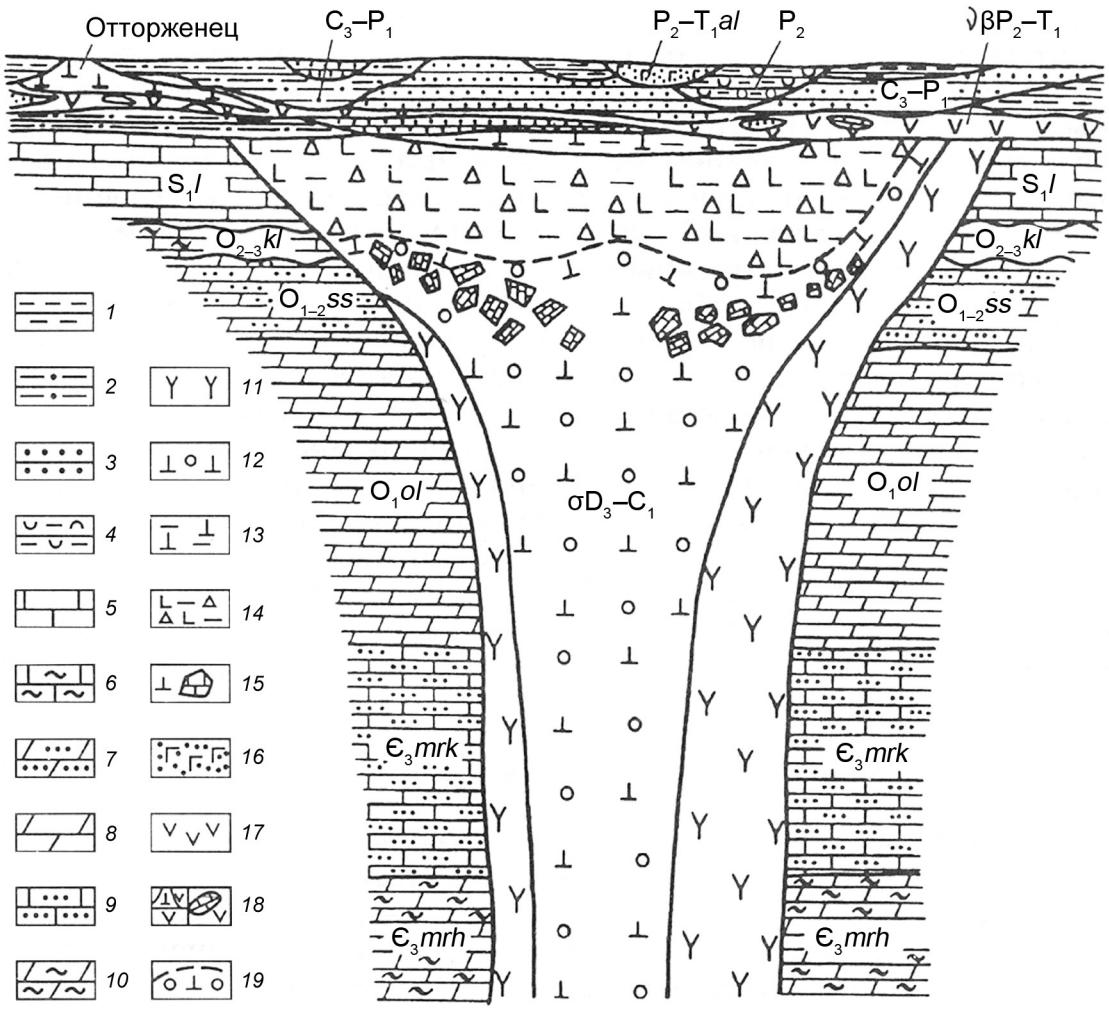


Рис. 1. Геологический разрез кимберлитовой трубки Юбилейная. *По [39]*:

1–4 – перекрывающие породы верхнего палеозоя: *1* – углистые и *2* – песчанистые алевролиты, *3* – разнозернистые песчаники, *4* – туфоалевролиты; *5–10* – вмещающие породы: *5* – известняки лландоверийского яруса меикской свиты, S_1l, *6* – мергелистые и глинистые известняки кылахской свиты, $O_{2-3}kl$, *7* – доломиты и песчанистые известняки сохсолоохской свиты, $O_{1-2}ss$, *8* – доломиты, глинистые доломиты и доломитистые известняки олдондинской свиты, O_1ol, *9* – терригенно-карбонатные породы маркокинской свиты, $Є_3mrk$, *10* – глинисто-карбонатные породы мархинской свиты, $Є_3mrh$; *11–12* – кимберлитовые породы: *11* – порфировые кимберлиты первой фазы внедрения, *12* – автолитовые брекчии второй фазы внедрения; *13–14* – стратифицированные осадочно-вулканогенные образования кратера: *13* – глинистого облика, *14* – «песчанистого» и «гравелитового» облика; *15* – ксенолиты осадочных пород в кимберлитах («ксенолитовый» пояс»); *16* – туфы основного состава; *17* – долериты; *18* – блоки кимберлитов и осадочных пород, отторгнутые и перемещённые интрузией траппов; *19* – граница пород кратерной фации

вещественные и текстурно-структурные особенности. Существенные закономерности в смене пород создают [24, 33, 44] своеобразную вертикальную зональность коренных месторождений алмазов как на Сибирской, так и на других древних платформах мира. В слабо эродированных диатремах под вулканогенно-осадочными образованиями «чаши» в пределах кратерной части залегают эксплозивно-обломочные породы (туфы и туфобрекчии) с гидрохимическим типом цемента. Вулканический канал сложен эруптивными кимберлитовыми брекчиями (ЭКБ) и туффи-

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

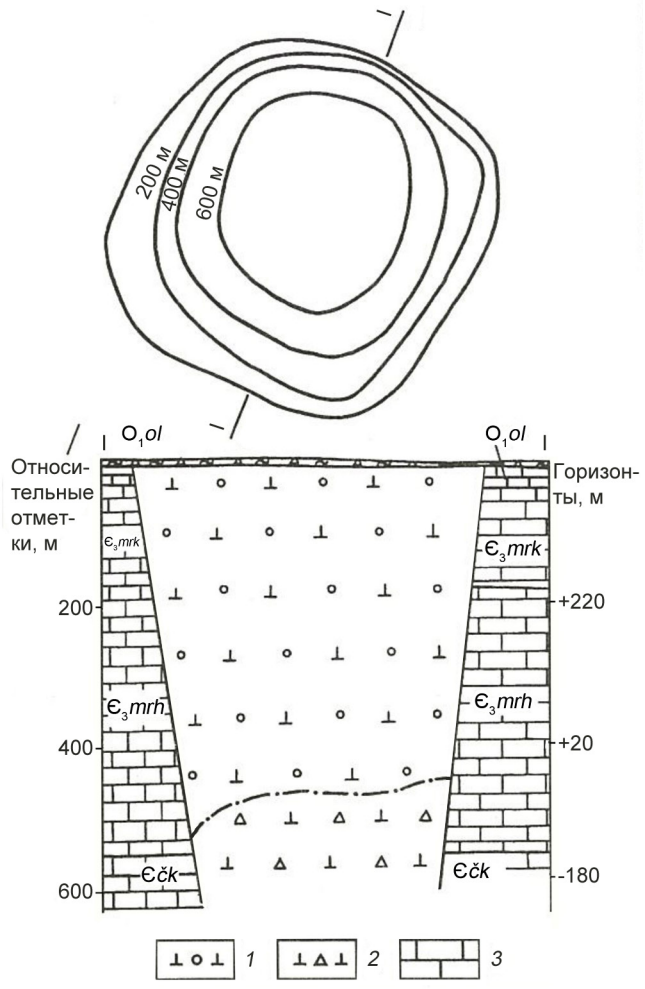


Рис. 2. Изменение морфологии с глубиной (в плане) и схематический разрез кимберлитовой трубки Зарница:

брекчия: *1* – автолитовая и *2* – с массивной текстурой цемента; *3* – вмещающие породы нижнего палеозоя

зитами. Среди них выделяются многочисленные структурно-петрографические типы и разновидности с широкими пределами колебания состава и размеров обломков вмещающих и глубинных пород и минералов. Породы подводящего канала диатрем СП представляют собой массивные (порфировые) кимберлиты. Порфировыми вкрапленниками являются оливин первой генерации, нередко подвергавшийся замещению серпентином с карбонатом, реже флогопитом. Основная масса пород кристаллически-зернистая с широкими вариациями концентрации многих минералов: оливина, флогопита, монтичеллита, реже перовскита, апатита и других минералов.

В вертикальном разрезе диатрем Архангельской алмазоносной провинции под вулканогенно-осадочными образованиями кратера отмечается чётко выраженный вертикальный канал, переходящий на глубинах в корневую зону [16–19, 34]. Текстурно-структурные особенности и петрографический состав пород, заполняющих различные морфологические элементы диатремовой структуры, существенно меняются. Породы жерла представлены вулканическими образованиями: туфобрекчиями, автолитовыми брекчиями (АБ) и порфировыми кимберлитами (ПК). Пространственное соотношение этих трёх основных типов пород подчиняется [20–26] определённым закономерностям и обусловлено в основном последовательностью их формирования. Ксенотуфобрекчии, будучи более ранними образованиями, залегают обычно в периферийных и верхних частях диатрем. Автолитовые брекчии, внедрявшиеся в следующий этап становления трубок, слагают «рудные столбы» в центральных частях тел. В нижних частях некоторых трубок вскрыты порфировидные кимберлиты – породы эффузивного облика, массивные, содержащие псевдоморфозы сапонита и серпентина по оливину и флогопит во вкрапленниках. В целом характерна значительная изменённость основной массы пород вторичными (гидротермально-гипергенными) процессами.

Вертикальный канал диатрем Африканского континента обычно выполнен туффизитовой брекчией, сложенной эндогенным материалом: лапиллями кимберлитов, дискретными зёрнами оливина и других глубинных минералов, погружёнными в мелкозернистую (нередко микролитовую) матрицу, образующуюся [13, 30, 36] из газовой фазы или конденсатов, а также гидротермальных флюидов. Сильные последующие вторичные изменения маркируют те признаки, по которым можно было бы реставрировать первичный состав породы и механизм формирования как матрицы, так и туффизитовой брекчии в целом. Характерной особенностью корневых зон Южно-Африканской платформы является наличие чётко выраженных участков, сложенных контактовыми брекчиями (КБ). Установлены три основных типа брекчий, различающихся между собой по составу, строению и генезису: эксплозивные, флюидные и интрузивные. Гипабиссальные кимберлиты корневых зон обычно формировались в результате внедрения нескольких самостоятельных интрузий и множества мелких даек. Контакты между

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

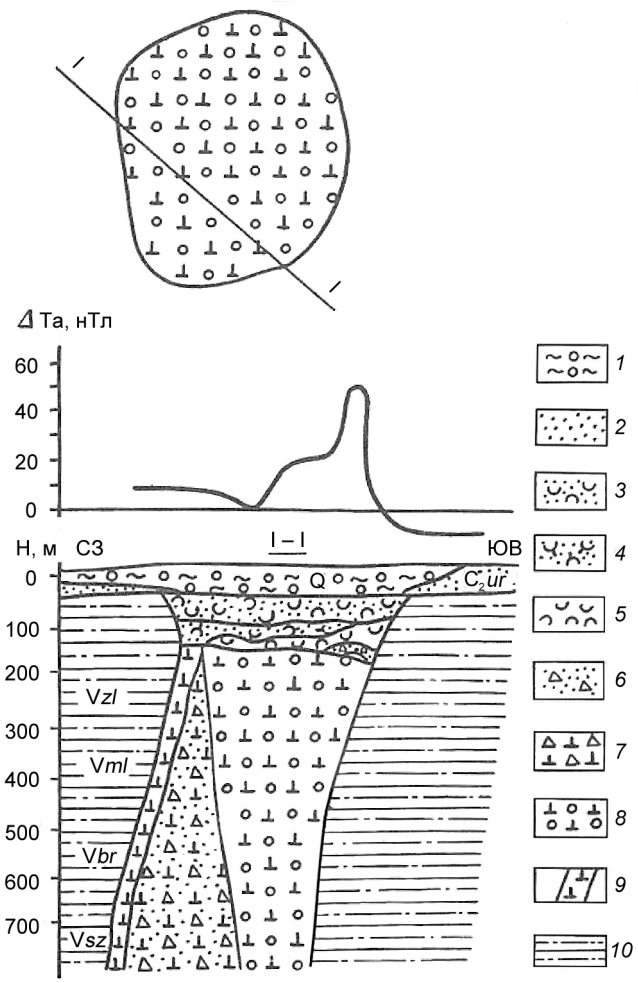


Рис. 3. Схематический план и геологический разрез кимберлитовой трубки Карпинская-1 ВЕП [40]:

1 – современные отложения; *2* – песчаники урзугской свиты среднего карбона, C_2ur; *3–6* – породы кратерной фации: *3* – песчаники с примесью кимберлитового материала, *4* – туффиты, *5* – туфопесчаники, *6* – брекчии осадочных пород; *7–9* – кимберлитовые породы: *7* – ксенотуфобрекчии, *8* – автолитовая брекчия, *9* – дайки туффизитов; *10* – глинисто-песчаные породы венда

различными интрузиями корневых зон обычно постепенные, через так называемую зону смешения, однако иногда довольно резкие. Кимберлиты различных интрузий корневых зон ЮАП отличаются между собой по петрографо-минералогическим особенностям, свидетельствующим о том, что они являются производными нормальной кимберлитовой магмы. Это магматические породы порфировой структуры, сложенные ксенозёрнами мантийных индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), порфировыми вкрапленниками оливина и основной массы полиминерального состава (оливина II группы, монтичеллита, флогопита, клинопироксена и мелилита).

Ксеногенный материал в диатремах кимберлитов Сибирской платформы делится на четыре генетические группы: 1) осадочные породы платформенного чехла, являющиеся вмещающими для трубок до глубины 2,2 км в центральной части провинции и 0,5–1,5 км в северных районах, 2) изверженные – траппы, внедрившиеся в осадочный чехол до образования диатрем, 3) метаморфические, слагающие фундамент платформы, 4) глубинные мантийного происхождения. Наибольшим распространением (от редких обломков до 90 % объёма породы) пользуются ксенолиты осадочных пород и минералы из них (кварц, плагиоклазы и другие терригенные компоненты). Обычно повышенное содержание терригенной примеси отмечается в трубках примерно на тех уровнях, где и вмещающие породы обогащены терригенным материалом. Выявлена тенденция возрастания содержаний трапповых ксенолитов на уровнях, отвечающих залеганию трапповых силлов, прорванных трубками (в Малоботуобинском алмазоносном районе это глубины 500–550 и более 1000 м). Количество ксенолитов пород фундамента Сибирской платформы в целом увеличивается с глубиной, однако в горизонтальных сечениях они распределены хаотично.

Ксенолиты кимберлитов Восточно-Европейской платформы представлены тремя генетическими типами [39–41]: 1) осадочными породами, 2) кристаллическими сланцами фундамента и 3) нодулями пород верхней мантии. Наиболее распространёнными являются осадочные ксенолиты и ксенозёрна минералов дезинтегрированных пород венда. Они играют основную роль в составе кратерных пород и весьма существенную во всех других типах и разновидностях кимберлитовой брекчии. Отличительная особенность пород кратерной фации – присутствие огромного количества зёрен кварца, в то время как обломки кварцсодержащих пород (песчаников и алевролитов) находятся в подчинённом количестве. Велика доля терригенного материала в составе ксенобрекчий и даже автолитовых брекчий. Отдельные зёрна кварца наблюдаются и внутри автолитов, свидетельствуя об образовании последних на уровне осадочного чехла. С глубиной содержание материала осадочных пород постепенно снижается

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

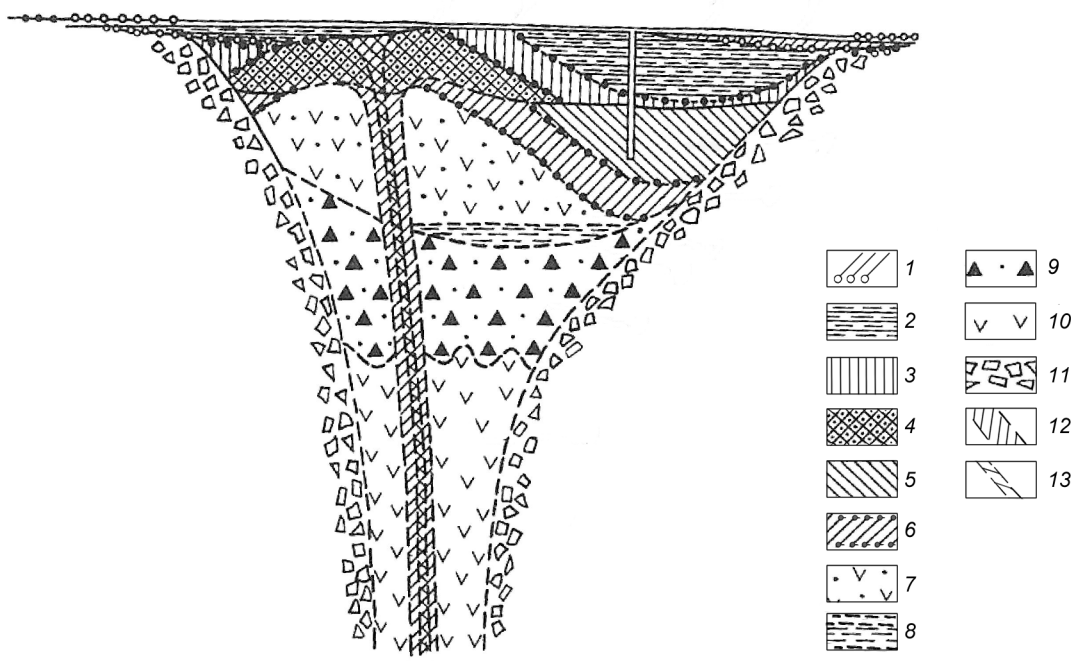


Рис. 4. Геологический разрез кимберлитовой трубки Мвадуи. *По M. Nremblay (1956)*:

1 – алмазоносные конгломераты четвертичного возраста; *2* – терригенно-туфогенные осадки озёрного типа (глины, мергели, мелкозернистый туф); *3* – жёлтые переходные туфы; *4* – туфогенные образования верхнего горизонта; *5* – серые слоистые туфогенные осадки с прослоями зелёных туфов; *6* – переходные серо-зелёные туфы; *7* – переотложенные породы зелёного цвета (агломераты и кимберлит-гранитные брекчии); *8* – переотложенные породы, подстилающие кратерные осадочно-вулканогенные отложения; *9* – жерловая брекчия; *10* – первичный кимберлит; *11* – брекчия Мак-Кьюэна; *12–13* – кимберлиты заключительных фаз внедрения

и возрастает роль ксенолитов кристаллических сланцев и гнейсов. Нодули пород верхней мантии в диатремах региона редки и размеры их не превышают первых сантиметров. Находки ксенолитов глубинных пород в основном приурочены к автолитовым брекчиям и представлены преимущественно деплетированными существенно оливиновыми породами. Здесь не обнаружены ксенолиты верлитов и катаклазированных перидотитов, широко распространённых в диатремах Сибирской и Южно-Африканской платформ.

Генетически ксеногенные породы в диатремах Африканского континента делятся на осадочные образования, изверженные породы, кристаллические сланцы архейского фундамента и нодули пород верхней мантии [39–41]. Распределение ксеногенного материала в трубках ЮАП довольно неравномерное. В слабо эродированных диатремах в кратерах скапливаются огромные массы дезинтегрированного материала тех пород, в которых залегает эта часть трубок. Так, в трубках Танзании, вмещающими породами которых на уровне кратеров являются граниты и гранитогнейсы, кратерные фации диатрем переполнены дезинтегрированным материалом гранитоидов. В кратерных образованиях трубок Ботсваны доминирует раздробленный материал долеритов. В пределах вертикального канала содержание дезинтегрированного материала вмещающих пород варьирует (в зависимости от положения в диатреме) от единичных обломков (центральные части) до многих десятков процентов (приконтактовые участки). Очень часто в кимберлитах Африканского континента встречаются ксенолиты пород эродированных формаций [30–34]. Корневые зоны диатрем Южно-Африканской платформы сложены двумя типами образований, различающихся по содержанию ксенолитов вмещающих пород: гипабис-

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

сальными кимберлитами с низким содержанием ксенолитов и несколькими генетическими типами брекчий, в которых указанные ксенолиты занимают основной объём. Для кимберлитов ЮАП характерно довольно высокое содержание нодулей глубинных пород, в целом относительно слабо изменённых вторичными процессами.

Содержание *индикаторных минералов кимберлитов (ИМК)* также существенно изменяется в диатремах сравниваемых древних платформ [38–41]. Общими можно считать низкие концентрации ИМК в верхних частях трубок, сложенных осадочно-вулканогенными образованиями. В тонкозернистых фациях стратифицированных пород зёрна первичных минералов небольших размеров и угловато-неправильной формы. Содержание ИМК на глубоких уровнях выше, чем в самых верхних частях. На Сибирской платформе по содержанию главных ИМК как алмазоносные, так и неалмазоносные высокоспутниковые трубки делятся на две группы: с высоким содержанием пикроильменита и пиропа, а также низким хромшпинелидов и с низким содержанием пикроильменита и повышенным пиропа и хромшпинелида. Промышленные коренные месторождения центральной части СП принадлежат в основном к высокоспутниковому типу. Алмазоносные высокоспутниковые кимберлиты первой группы присутствуют в Якутской алмазоносной провинции в Мирнинском (Мир, Дачная), Далдынском (Удачная, Дальняя, Зарница) и Алакитском (Сытыканская, Комсомольская) полях. Алмазы этих месторождений по морфологии варьируют от гладкогранных октаэдров (Мир) до комбинационных кристаллов (Удачная, Сытыканская). Высокоспутниковые алмазоносные кимберлиты второй группы (с низким количеством пикроильменита) распространены более широко, чем первой. В Мирнинском поле к ним относятся трубки Спутник, имени XXIII съезда КПСС, Интернациональная, в Алакит-Мархинском – Айхал и Юбилейная, в Верхнемунском – Заполярная, Поисковая, Новинка и Комсомольская-Магнитная. Все перечисленные диатремы характеризуются пониженным (вплоть до исчезновения) содержанием пикроильменита и высоким – пиропа. Высокоспутниковые слабоалмазоносные кимберлиты относительно широко распространены в центральных зонах алмазоносных провинций и также делятся на две группы: с высокими (Амакинская, Ленинградская, Геофизическая, Долгожданная, Украинская и др.) и низкими (лампрофиры Чомполинского поля, пикриты Чадобецкого поднятия и др.) содержаниями пикроильменита.

В целом продуктивные кимберлиты Архангельской алмазоносной провинции принадлежат к низкоспутниковому типу. Минимальные концентрации ИМК установлены в кратерных породах, несколько повышено их количество в автолитовых брекчиях. По морфологии и физическим свойствам алмазы ААП разделяются [39–41] на две группы: 1) крупнее 2 мм, представленные в основном додекаэдроидами (округлый тип), и 2) меньше одного мм, имеющие форму плоскогранных октаэдров с тригональной и дитригональной формой граней. Наиболее широко распространены бесцветные кристаллы, но встречаются и окрашенные в зеленовато-жёлтый и жёлтый цвета. Отмечено [13–18] повышенное количество включений минералов эклогитового парагенезиса в алмазах из кимберлитов региона. Содержание пиропов в кимберлитовых брекчиях Архангельской алмазоносной провинции исключительно низкое (обычно не превышающее первых граммов на одну тонну породы) и представлены они зёрнами менее одного миллиметра округлой или овальной формы, окружённые изменённой келифитовой каймой. Преобладают высокохромистые (> Cr_2O_3) разности минерала, что подчёркивает приуроченность его к алмазной ассоциации и генезис из дунит-гарцбургитовых пород. Содержание хромшпинелида в кимберлитовых породах провинции, как и других ИМК, низкое (10,5–91,8 г/т). Преобладают высокохромистые (Cr_2O_3 52–60 %) и высокотитанистые (TiO_2 1–4 %) разновидности минерала, содержащие повышенную концентрацию Fe_2O_3 и пониженную Al_2O_3. Пикроильменит для алмазоносных трубок региона не характерен, а содержание хромдиопсида очень низкое. Низкоспутниковые неалмазоносные (слабоалмазоносные) магматиты (мелилититы, пикриты и лампрофиры) по составу ИМК существенно отличаются от аналогичных промышленно алмазоносных.

Подавляющее большинство кимберлитов Южно-Африканской платформы с промышленными содержаниями алмазов принадлежит к высокоспутниковому типу [28, 39–41]. Низкое содержание ИМК типично только для группы трубок Венеция, расположенной в пределах подвижного пояса Лимпопо на границе ЮАР и Зимбабве. Наибольшие различия по сравнению с Сибирской и

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

Восточно-Европейской платформами отмечены для пиропа, характеризующегося более низким содержанием Cr_2O_3 и меньшей дифференцированностью по ассоциациям состава, в которых преобладают относительно низкохромистые разности лерцолитового и вебстеритового парагенезисов, при практическом отсутствии гранатов верлитового ряда и малом количестве выделений дунит-гарцбургитового состава и алмазной ассоциации. Практически во всех изученных пробах присутствовал пикроильменит, который в более крупных выделениях обогащён марганцевистым компонентом. Хромшпинелид характеризуется повышенной ролью хромистого компонента.

Вторичные минералы являются доминирующими компонентами кимберлитов сравниваемых платформ и особенно верхних частей слабо эродированных трубок, в кратерных частях которых отмечено высокое содержание карбонатного материала [13, 35]. Эти части диатрем часто содержат новообразования в виде жил, жеод и гнёзд различной крупности и протяжённости. В туфах и верхних горизонтах брекчий Сибирской платформы встречаются скопления крупных друз и прожилков кварца (или аметиста), кальцита и магнетита. С глубиной масштабы минерализации данного типа постепенно уменьшаются, и в эруптивной брекчии более глубоких горизонтов сохраняются лишь маломощные жилы и прожилки гидротермальных минералов. Степень карбонатизации кимберлитов с глубиной проявляет тенденцию к снижению и только в отдельных случаях (восточное тело трубки Удачная и др.) на глубоких горизонтах располагаются блоки практически несерпентинизированного кимберлита с высоким содержанием карбонатного вещества. Для верхних горизонтов диатрем (до глубин 150–200 м) отмечается снижение концентрации флогопита и увеличение хлорита. На больших глубинах диатрем зафиксированы повышенные концентрации пироаурита и амакинита. Большое значение на масштабы вторичного минералообразования оказывают вмещающие терригенно-карбонатные породы. Несмотря на локализацию всех кимберлитовых полей СП в пределах терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя, состав последних всё же существенно изменяется как по вертикали, так и по латерали. В Малоботуобинском алмазоносном районе в районах трубок Мир и Интернациональная до глубины 380–450 м распространена терригенно-карбонатная толща осадков нижнего палеозоя с большим количеством кластогенного материала. Глубже залегают галогенно-карбонатные породы с ограниченным количеством терригенного материала, содержащие пласты гипса и ангидрита. В ДААР и АМАР в нижней части разреза пород нижнего палеозоя нет столь мощных соленосных толщ, а верхняя часть содержит меньше терригенного материала.

Вторичные изменения кимберлитов Архангельской алмазоносной провинции довольно интенсивны и принципиально отличаются от описанных выше для Сибирской платформы. Ведущим породообразующим минералом для большинства типов и разновидностей кимберлитовых пород этого региона является сапонит, составляющий в среднем более 50 % объёма породы. Особенно много сапонита отмечается в верхних горизонтах диатрем региона, где заметную роль играет терригенный материал. Под воздействием постмагматических растворов сапонитизации подвергаются не только оливин и другие компоненты кимберлитов, а также зёрна кварца и полевых шпатов. В автолитовых брекчиях, кроме сапонита, широко развиты тальк и серпентин, роль которых увеличивается в изменённых кимберлитах нижних частей диатрем. Карбонатные минералы (кальцит и доломит), характерные для кимберлитовых трубок Сибирской и Южно-Африканской платформ, редко встречаются в Архангельской алмазоносной провинции или вовсе отсутствуют. Здесь слабо развита и гидротермальная минерализация, однако в отдельных диатремах видны прожилки кальцита, доломита и кварца.

В кимберлитовых диатремах Южно-Африканской платформы отмечена неравномерность изменения пород с глубиной [39–41]. Первые исследователи африканских кимберлитов выделяли в разрезе трубок «жёлтую землю» (верхний горизонт, представляющий собой кору выветривания – КВ) и «синий горизонт» (более глубокие уровни частично изменённой породы). Ниже залегали плотные неизменённые породы. Позже выяснилось, что мощность выветрелых кимберлитов небольшая и существенно отличается в различных диатремах. В трубках и дайках неглубоко от современной поверхности залегают плотные слабоизменённые кимберлиты, нередко с сохранившейся хорошо раскристаллизованной основной массой. Относительно слабая изменённость кимберлитов Африканского континента (за исключением гипергенно-изменённых пород верх-

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

них горизонтов) обусловлена в основном тем, что здесь (в отличие от СП и ВЕП) во вмещающих диатремы породах отсутствуют большие скопления захороненных вод, а сами породы рамы представлены хорошо литифицированными осадочными отложениями или образованиями изверженного комплекса. Эти обстоятельства предопределяют степень изменённости кимберлитов и состав вторичных минералов. В верхних изменённых образованиях КВ идентифицированы монтмориллонит (нонтронит), каолинит и гидрослюды. Вторичные минералы более глубоких горизонтов диатрем представлены серпентином и хлоритом. В более гидротермально изменённых породах диагностированы сапонит, вермикулит и брусит. В прожилковых выделениях отмечены цеолиты, афвиллит, бултфонтейнит и другие редко встречаемые новообразования.

Петрохимические и геохимические особенности кимберлитов существенно различны на сравниваемых древних платформах, что во многом определяется составом вмещающих диатремы пород, поставляющих обломочный материал в формировавшиеся диатремовые образования. На Сибирской платформе осадочно-вулканогенные образования верхних частей диатрем имеют высокие содержания CaO и CO_2 за счёт значительного объёма обломков вмещающих карбонатных и терригенно-карбонатных пород, что приводит к сравнительно пониженной роли TiO_2, K_2O, P_2O_5, ∑Fe. В основании раструба и в вертикальном канале трубок, где распространены преимущественно эруптивные брекчии и массивные (порфировые) кимберлиты, постепенно уменьшается роль обломочного материала вмещающих пород, что приводит к уменьшению CaO и CO_2, а также возрастанию роли SiO_2, MgO и H_2O^+. Увеличение с глубиной K_2O в отдельных диатремах концентрации связано с уменьшением в этом направлении степени хлоритизации флогопита. С воздействием на кимберлиты окружающей среды связаны колебания Na_2O, Cl и SO_3 в тех трубках, где вмещающими породами на глубоких горизонтах являются галогенные и гипсоносные толщи. Увеличение на глубоких горизонтах окиси железа вызвано развитием здесь пироаурита или повышающейся роли амакинита, иногда сильно окисленного.

Главной петрохимической особенностью продуктивных кимберлитов Архангельской алмазоносной провинции являются высокие содержания SiO_2, Al_2O_3 и низкие TiO_2, MgO, CaO, K_2O, P_2O_5. По петрохимическим особенностям они принадлежат к ультраосновным кимберлитам. Источником значительной части SiO_2, Al_2O_3 и K_2O в этих породах служит терригенная примесь вмещающих образований венда, захваченная при внедрении кимберлитового расплава. С увеличением глубины в кимберлитах уменьшается примесь терригенного компонента, что приводит к некоторому снижению SiO_2 и увеличению MgO. Однако и на больших глубинах в автолитовых брекчиях, и в порфировых кимберлитах зафиксировано повышенное количество кремнезёма, что связано с повсеместной сапонизацией компонентов диатрем. Даже автолиты содержат минерала значительно больше (~ 42 %), чем аналогичные образования Сибирской и Южно-Африканской платформ, что обусловлено присутствием отдельных ксенозёрен кварца и развитием сапонита. В геохимическом отношении кимберлиты Архангельской алмазоносной провинции отличаются от аналогичных пород других регионов низким содержанием некогерентных элементов (Ti, P, Rb, Sr, Zr и др.), концентрация которых существенно понижается в кратерных образованиях.

Химический состав кимберлитов Южно-Африканской платформы считается эталонным, поскольку порода получила своё название по образованиям вблизи г. Кимберли. Исследователи обычно разделяют на две группы кимберлиты этой платформы, различающиеся между собой по содержанию K_2O, TiO_2, P_2O_5 и изотопному составу. В вертикальном разрезе слабо эродированных трубок с сохранившимися кратерными фациями существенное влияние на состав кимберлитов оказывает содержание материала вмещающих пород. Кратерные породы, в которых значительный объём занимает дезинтегрированный материал гранитоидов (Мвадуи), имеют высокое содержание SiO_2 и Al_2O_3. В случае обогащённости кратера трапповым материалом (Орапа) повышается роль SiO_2, Na_2O и CaO. Очень малое количество в кимберлитах карбонатной составляющей делает их менее обогащёнными (по сравнению с СП) CaO и CO_2.

Лампроиты (наряду с кимберлитами) отнесены [7–10, 31–34, 39–41] к глубинным магматическим породам и наиболее детально описаны в Западной Австралии (рис. 5). На территории Сибирской платформы аналогичные породы описаны в различных частях древних кристаллических

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

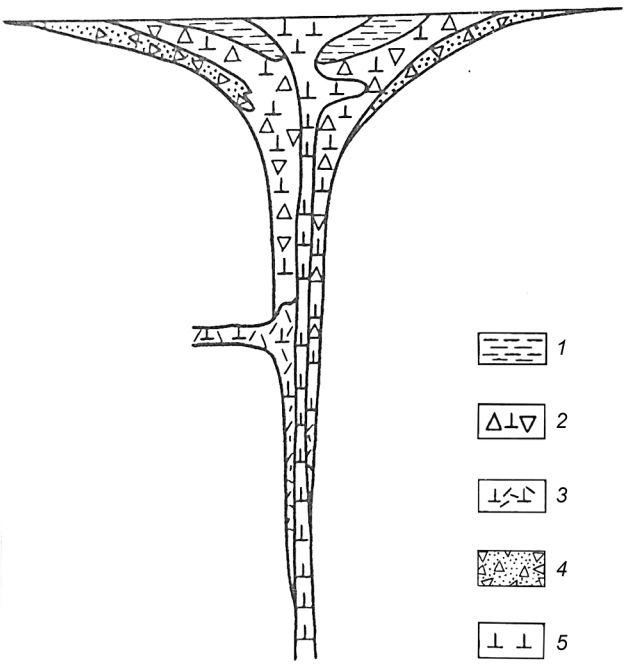


Рис. 5. Модель лампроитовой трубки Австралии. *По [39]*: туфы: *1* – переотложенный слоистый; *2–3* – «непесчаный» лампроитовый; *4* – «песчаный»; *5* – магматический лампроит

щитов (Анабарского и Алданского), однако полная аналогия по составу и условиям локализации их с австралийскими не отмечена. В лампроитах (как и в кимберлитах) обнаружены промышленные скопления алмазов, а в настоящее время лампроитовое месторождение Аргайл даёт около 40 % мировой добычи этого драгоценного камня. За последние несколько десятков лет в Западной Австралии была открыта крупная алмазоносная лампроитовая провинция, включающая четыре района локализации лампроитов (иногда вместе с кимберлитами). Три района этой провинции расположены в краевой зоне кратона Кимберли или в пределах двух древних консолидированных в протерозое подвижных поясов (Холс-Крик и Кинг-Леополд), обрамляющих кратон с юго-востока и юго-запада; четвёртый район находится значительно южнее. Лампроитовая трубка Аргайл представляет собой дайкоподобное тело длиной 2 км и шириной от 150 до 500 м, занимающее площадь 50 га и ориентированное в северо-восточном направлении. На контакте трубки с вмещающими породами расположена зона глыбовой брекчии, цементом которой служит богатый кварцем лапиллиево-туфовый материал. В пределах верхних горизонтов трубки выделяются две разновидности туфов – песчаные и непесчаные. Первые слагают большую часть диатремы, а вторые локализуются в пределах северо-восточного расширения, образуя чашеподобное тело мощностью до 200 м при размерах на поверхности 200 × 100 м. В завершающую стадию формирования трубки песчаные туфы были прорваны дайками оливин-флогопитовых лампроитов, которые местами переходят в лавовые потоки. Обычно дайки имеют мощность меньше одного метра и небольшую протяжённость. Лампроиты даек сложены фенокристаллами изменённого оливина, находящегося в мелкозернистой флогопитовой основной массе, содержащей также изменённые зёрна оливина II генерации, тетраферрифлогопит, титанистый магнезиохромит, апатит, прайдерит, тальк, серпентин и карбонаты. Главным породообразующим минералом трубки Аргайл является оливин, образующий две совокупности: более крупные (от 2 до 5 мм) ксеноморфные зёрна с резорбированными и изрезанными краями и мелкие (< 1 мм) зёрна, имеющие гипидиоморфную и идиоморфную форму. Флогопит входит в состав ювенильных обломков и основной массы лампроитов. Наиболее крупные выделения минерала зональны: бледно-оранжевое ядро окружено красновато-коричневой богатой железом и титаном каёмкой. В подавляющем большинстве ювенильных обломков флогопит образует мелкие чешуйки, обычно окружающие псевдоморфозы по оливину. По химическому составу флогопит трубки Аргайл принадлежит к высокотитанистой и низкоалюминиевой разновидности с некоторым увеличением (до 14 %) содержания FeO. Хромшпинелид в лампроитах трубки Аргайл образует две генетические группы: ксенозёрна – продукт дезинтеграции пород верхней мантии и микрозёрна основной массы. Пироп, клинопироксен (хромдиопсид) и ортопироксен – довольно редкие для лампроитов минералы. Ультракалиевая природа пород трубки Аргайл подтверждается высокими значениями K_2O/Na_2O (обычно > 25) и K_2O/Al_2O_3. Выветрелым и окисленным образцам свойственны низкие значения отношений K_2O/Na_2O, а для песчаных туфов последние отношения достигают очень высоких значений. Качество алмазов из лампроитов опи-

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

сываемой трубки низкое: к ювелирным камням высокого качества относятся лишь 5 %, к ювелирным низкого качества – 40 %, остальные – к техническим сортам. Преобладают алмазы округло-додекаэдрической формы. Изотопный анализ алмазов с включениями других минералов показал, что большинство значений $\delta^{13}C$ для алмазов эклогитового типа парагенезиса попадает в аномально облегчённую область вне зависимости от типов лампроитовых туфов, из которых извлечены алмазы.

На основании проведённых комплексных исследований [38–41] выделена *кимберлит-лампроитовая группа*, к которой из промышленно алмазоносных магматитов отнесена порода единственной в Индии трубки Маджгаван. Указанная диатрема является одной из немногих «древних» трубок мира, докембрийский (940 млн лет) возраст которой доказан Sm-Nd и K-Ar изотопией. Трубчатое тело Маджгаван имеет в плане грушевидную форму. Она сверху перекрыта толщей (4–30 м) аллювиальных образований. Диатрема прорывает докембрийские кварциты и песчаники Каймур. В верхней части залегают сильно выветрелые рыхлые комковатые глинистые образования кремового и бурого цвета, участками пронизанные многочисленными тонкими (0,5–20 мм) прожилками молочно-белого кальцита. В составе выветрелой породы преобладают кальцит, монтмориллонит, кварц и в различной степени изменённые слюдистые выделения. Ниже сильно выветрелой толщи КВ залегает неизменённая порода тёмно-серого с зелёным оттенком цвета, порфировой структуры. Ксенолиты вмещающих пород в ней встречаются редко, среди них преобладают кварциты, роговики и чёрные фосфоровидные сланцы. Характерными особенностями диатремы являются её относительно простое строение и доминирование в ней пород одной фазы внедрения. Порода этой диатремы отличается от типичных кимберлитов повышенным количеством в основной массе флогопита, апатита и анатаза, низким содержанием ксенозёрен пиропа, пикроильменита и хромита. По сравнению с лампроитами такие образования характеризуются пониженным содержанием калия, а также отсутствием в основной массе клинопироксена и К-амфибола. В этих породах пока не найдены такие редкие минералы, как прайдерит и вэйдит. Отличительным признаком породы трубки Маджгаван является почти полное отсутствие в слабо изменённых породах карбонатной составляющей, как правило, характерной для кимберлитов других платформ мира. Небольшая примесь вторичного карбоната отмечена только в верхней части диатремы, изменённой гипергенными процессами. В классических лампроитах Австралии алмазоносными являются в основном магнезиальные разности этих пород, не содержащие лейцита. Алмазы диатремы представлены додекаэдроидами коричневой окраски разной интенсивности с тонкой шагренью и полосами пластической деформации, придающими кристаллам шелковистый блеск. На поверхности многих кристаллов развиты глубокие шрамы. В большинстве кристаллов наблюдались лейсты и розетки тёмных включений, представленных графитом и сульфидами. Результаты исследования кристаллических включений, изотопного состава углерода и некоторых физических свойств алмазов свидетельствуют [29–34] о преимущественном распространении ультраосновного парагенезиса этого минерала, являющегося типичным для большинства алмазов их кимберлитов.

В средине 1960-х гг. А. А. Заячковским и Ю. А. Полкановым были опубликованы сведения об открытии нового генетического типа микроалмазов в месторождении Кумдыколь, приуроченного к кристаллическим породам ***метаморфического комплекса***, локализованного в пределах Кокчетавской глыбы Северного Кавказа. Генезис этих алмазов в метаморфогенных породах до сих пор остаётся дискуссионным [38–40]. Одна группа исследователей [15, 31, 43], опираясь на морфологическое сходство между микроалмазами Кумдыкольского месторождения и алмазами кимберлитов [14–17, 27, 38], а также на находки микровключений коэсита в цирконах и на другие признаки, считают, что кристаллизация алмазов здесь происходила в условиях верхней мантии при *PT* параметрах его стабильности. В результате субдукции блоки пород земной коры были перемещены в верхнюю мантию на глубину порядка 150 км, где осуществлялась кристаллизация микроалмазов. Затем при эксгумации участки мантийных пород были перемещены в земную кору, где они подверглись метаморфизму и более позднему метасоматозу. Относя алмазы кристаллических пород Казахстана к мантийным образованиям, исследователи [29, 37, 44] считают их источниками перидотитовые и эклогитовые магмы, породы которых позднее (после кристаллизации) были преобразованы метасоматическими

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

процессами. В этом отношении кокчетавские алмазы следует относить [39] к мантийной группе. Альтернативной мантийной гипотезой другая группа исследователей обосновывает [5, 41] механизм корового происхождения алмазов метаморфических пород Кокчетава. По их мнению, кристаллизация алмазов происходила в метастабильных условиях в процессе метасоматоза кристаллических пород зерендинской серии. Некоторые исследователи считают, что кристаллизация алмазов осуществлялась в зонах контакта метаморфических углеродсодержащих пород с интрузиями, где допускается возникновение ультравысоких давлений, соответствующих *PT* условиям равновесия роста алмаза. При таком решении проблемы метаморфические алмазы следует считать коровыми.

В последнее время отдельными исследователями на основе анализа геологических, петрографических, кристаллографических и геохимических данных по алмазоносным породам месторождения Кумдыколь в Северном Казахстане утверждается его импактно-космогенно-метасоматический генезис. В отдельных публикациях постоянно появляются данные о находках алмазов в различных типах изверженных пород – базальтах, пикритах, ультрабазитах и др. Хотя часть этих сведений требует дополнительной проверки, следует уделить пристальное внимание отдельным находкам таких мелких алмазов на некоторых древних кристаллических щитах и в первую очередь на Украинском кристаллическом щите (УКЩ), где подобные кристаллы описаны на многих перспективных территориях.

В 1972 г. В. Л. Масайтис и М. А. Гневушев опубликовали сведения об обнаружении *промышленных скоплений алмазов в импактитах*, сформировавшихся в результате удара космических тел о поверхность Земли, с образованием ударно-метаморфогенного типа месторождений. В настоящее время импактные алмазы установлены во многих метеоритных кратерах (астроблемах) России и зарубежных стран. На Сибирской платформе ярким представителем таких алмазов, относимых по классификации Ю. Л. Орлова к XI разновидности [36], является Попигайская астроблема [30, 42, 44]. К этой разновидности относятся поликристаллические и синтетические алмазы, содержащие в структуре три известные модификации углерода: алмаз, лонсдейлит и графит. Поскольку условия их образования являются следствием динамических нагрузок, сопровождающихся соответствующим разогревом, эти поликристаллические алмазы характеризуются [2–4, 37] определёнными структурными признаками, связанными с условиями их роста и присутствием лонсдейлита. Иногда эти лонсдейлитсодержащие поликристаллические алмазы ещё называются ориентированными карбонадо, чем подчеркиваются как небольшие размеры слагающих кристаллитов, так и сочетание в их структуре углеродных фаз, сопровождающихся присутствием определённых выделенных направлений – осей структуры, вокруг которых формируются кристаллиты в приблизительно параллельной ориентации. В природе алмазы XI разновидности встречаются в метеоритных кратерах и метеоритах, где они представляют собой очень мелкие и поликристаллические образования средним размером ~ 0,1 мм. В некоторых россыпях северо-востока Сибирской платформы обнаружены более крупные поликристаллы размером свыше одного миллиметра, названные якутитом. Аналогичные поликристаллические агрегаты были встречены в аллювиальных отложениях УКЩ, но их коренные источники пока не установлены. Эти образования, как правило, характерны для аллювиальных отложений современного и позднечетвертичного возраста Анабарского алмазоносного района Сибирской платформы. Сделан важный вывод о близости таких алмазов к импактным алмазам Попигайской структуры, а также об их отличии от типичных бразильских карбонадо. В ассоциации с якутитом отмечены лимонит, сидерит, альмандин, ильменит, пироксены, циркон, дистен и рутил, а также округлые алмазы уральского (бразильского) типа, графитизированные сростки ряда октаэдр–ромбододекаэдр V разновидности и додекаэдры VII разновидности [1, 30, 44].

Таким образом, проведёнными исследованиями отмечено, что между типичными кимберлитами и лампроитами существуют постепенные переходы, хотя промежуточные разновидности этих пород встречаются сравнительно редко. Эрозионный срез кимберлитовых и лампроитовых тел определяется прежде всего историей развития территории их локализации. Несмотря на то, что более древние диатремы протерозойского возраста (Премьер и Аргайл) эродированы более интенсивно, чем относительно молодые, прямой связи между возрастом трубки и масштабами её эрозии нет. Это наглядно иллюстрируется на

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

примере целого ряда трубок многих регионов. Так, молодые (~ 90 млн лет) кимберлитовые породы Капваальского кратона эродированы более чем на 1000 м, в то время как трубка Мвадуи, возраст которой определён в 189,3 млн лет, фактически не подверглась эрозии.

Подтверждены сделанные ранее (в том числе и нами) закономерности распределения глубинных нодулей пород: 1) концентрация глубинных ксенолитов возрастает в кимберлитах более поздних фаз внедрения и 2) с глубиной содержание нодулей пород мантии в одних трубках возрастает (Мир), в других убывает (Удачная). Установлена зависимость содержания ИМК от формы кимберлитовых тел (независимо от места отбора в вертикальном разрезе). В подавляющем большинстве дайковых тел этих первичных минералов больше, чем в трубчатых; больше и размеры их в дайках, а также повышена роль пикроильменита и малохромистых пиропов. Эти общие закономерности проявлены в кимберлитах как Сибирской платформы, так и Лесото.

Анализируя распределение геолого-генетических типов кимберлитов в вертикальном разрезе диатрем, можно сделать следующие выводы:

1. С глубиной происходит сужение трубчатых тел и постепенный переход их в дайковые – подводящие каналы.

2. При перемещении кимберлитового расплава (флюида) через труднопреодолимые породы, происходит изменение морфологии тел.

3. С глубиной кимберлиты постепенно «очищаются» от примеси терригенно-карбонатного материала и, наоборот, увеличивается роль ксенолитов глубинных пород.

4. Масштабы вторичных изменений кимберлитов с глубиной диатрем постепенно уменьшаются и снижается влияние на них гипергенных процессов, хотя интенсивность постмагматических изменений и на глубинах (особенно небольших по размерам диатрем) достаточно велико.

5. Чётко выраженных (направленных) изменений петрохимических параметров кимберлитов не выявлено, а отмеченные преобразования обусловлены неравномерным распределением в вертикальном разрезе трубок контаминированного материала вмещающих пород.

6. Алмазоносность кимберлитовых тел, морфология и физические свойства алмазов одних и тех же фаз внедрения до перехода в подводящий канал существенно не меняются.

Наиболее интенсивное вторичное минералообразование отмечено в районах влияния на кимберлиты высокоминерализованных растворов и сероводорода, приведшее к широкому развитию в ряде центральных алмазоносных районов Сибирской платформы галита, екатеринита, ферроссейбеллита и датолита. На уровне соленосных горизонтов широко развиты амакинит и пироаурит, а вторичная переработка кимберлитов здесь особенно интенсивна, причём масштабы её проявления не уменьшаются до глубины одного километра и более. Упомянутая минерализация не отмечена в алмазоносных районах, где на глубинах нет влияния высокоминерализованных растворов и сероводорода.

Алмазоносность самых верхних частей диатрем (где они сохранились), выполненных осадочно-вулканогенными образованиями, в 2–3 раза (в Анголе даже в 6–30 раз) ниже, чем более глубоких частей. В залегающих ниже породах раструба, представленных кимберлитовыми туфами и эруптивными кимберлитовыми брекчиями, содержание алмазов повышено и зависит от общего количества терригенного материала. В приконтактовых зонах диатрем концентрации алмазов обычно понижены. По мере снижения доли терригенной примеси возрастает количество алмазов, достигая максимума в автолитовых брекчиях. Последние чаще всего приурочены к центральным участкам трубок, сменяясь к периферии ксенотуфобрекчий. Поэтому в горизонтальных сечениях максимальные содержания алмазов тяготеют к центральным зонам кимберлитовых диатрем. Закономерных изменений морфологии и физических свойств алмазов в трубках не выявлено, за исключением того, что в кратерных фациях размер алмазов минимальный, а количество обломков кристаллов максимально. Среди коренных месторождений алмазов Южно-Африканской платформы доминируют алмазы с включениями эклогитового компонента. Существенную роль играют также алмазы из ультрабазитов, среди которых встречаются зёрна алмазной ассоциации.

Из трёх основных типов пород, выполняющих лампроитовые диатремы, наиболее высокой алмазоносностью характеризуются песчаные туфы, наиболее низкой – магматические лампроиты заключительной фазы вулканизма. Непесчаные туфы занимают промежуточное положение. Низкая алмазоносность магматического лампроита

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

заключительной фазы может быть обусловлена окислением алмазов под воздействием температуры лампроитового расплава в условиях земной коры при низком давлении и высоком потенциале кислорода. Распределение алмазов в плане и на глубину трубок лампроитов зависит от объёма и местоположения каждого из выделенных трёх типов пород. Поскольку песчаные туфы располагаются обычно в верхних частях диатрем и слагают приконтактовые зоны, есть основание предполагать, что на глубоких горизонтах трубок лампроитов количество алмазов может снижаться. Качество алмазов из лампроитовых диатрем связано обратной зависимостью с их концентрациями в конкретных трубках.

Изучение вещественного состава алмазоносных пород трубки Маджгаван (Индия) показало, что эти образования по ряду признаков существенно отличаются от типичных кимберлитов. Наиболее важными из них являются: практически полное отсутствие CaO и CO_2, высокое содержание TiO_2 и P_2O_5, присутствие высокотитанистого флогопита и низкое содержание ИМК – пиропа, хромита, особенно пикроильменита. По этим показателям порода трубки Маджгаван близка к алмазоносным лампроитам Австралии (прежде всего к оливиновым лампроитам). Однако породы исследуемой трубки отличаются от лампроитов тем, что в ней содержится относительно мало K_2O (0,46–1,79 %), не обнаружены клинопироксены, калиевый рихтерит и некоторые другие минералы в основной массе породы, характерные для лампроитов. Порода трубки Маджгаван занимает как бы промежуточное положение между кимберлитами и лампроитами (кимберлит-лампроиты), что следует учитывать при систематике алмазоносных пород платформенных областей.

Несмотря на то, что якутиты из аллювиальных отложений северо-востока Сибирской платформы имеют аналогичный облик с ударно-метаморфическими кристаллами Попигайской астроблемы, конкретные источники их, судя по изотопному составу углерода и некоторым особенностям морфологии и структуры, могут быть индивидуальными. Не исключена также множественность первоисточников якутитов, встречающихся в аллювиальных отложениях северо-востока Сибирской платформы. Учитывая особенности генезиса якутитов, возникает проблема поисков астроблем и других некимберлитовых источников, с которыми могут быть связаны богатые месторождения таких алмазов. При поисковых работах необходимо проводить тщательный анализ геолого-геофизических материалов в районах находок этих алмазов в россыпях, обращая особое внимание на кольцевые структуры, с которыми могут быть связаны взрывные метеорные кратеры, на геологические образования, несущие углерод, который мог быть использован для кристаллизации алмазов (графит, уголь, битумы и др.).

Многообразие разновидностей алмаза в коренных месторождениях находит объяснение с позиций полигенеза и типоморфизма этого минерала, его происхождения в ультраосновных породах различного возраста, генезиса и дезинтеграции при внедрении магматических образований. Полигенез и типоморфизм алмаза различного происхождения вполне очевидны и объясняются с точки зрения его генетической связи с различными по составу мантийными, коровыми и метасоматическими породами. Эпигенетические процессы при катаклазе этих пород подвергают пластической деформации и механическому дроблению содержащиеся в них алмазы, большинство из которых выносятся магматическими расплавами в виде освобождённых кристаллов или в ксенолитах глубинных пород. Ультраосновная магма обогащена CO_2 и другими активными по алмазу компонентами, которые вызывают медленное окислительное растворение алмазов на глубине в условиях высоких температур. В этом процессе первичные формы роста преобразуются, и на поверхностях граней появляются фигуры травления, а также происходит образование кривогранных поверхностей с характерными скульптурами. Нередко процесс растворения вызывает существенное преобразование форм роста, приводящее к развитию типичных кривогранных форм растворения алмаза – ромбододекаэдроидов и додекаэдроидов по октаэдрам, тетрагексаэдроидов и додекаэдроидов по кубам. Разнообразие характера алмазов в каждом геолого-генетическом типе и отличие их при сравнении разных месторождений обусловливается особенностями количественного соотношения разновидностей кристаллов и поликристаллических образований и неодинаковой степенью воздействия на них эпигенетических процессов. Последние могут происходить и в приповерхностных частях тел, содержащих алмазы, в условиях повышенной фугитивности

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

кислорода и в присутствии воды в процессе автометаморфизма и метасоматоза пород при их серпентинизации с выделением магнетита, вызывающего образование каверн на кристаллах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. П., Елисеев А. П., Надолинный В. А., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Рылов Г. М., Томиленко А. А., Горяйнов С. В., Юрьева О. П., Сонин В. М., Чепуров А. И.* Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов V и VII разновидностей (по классификации Ю. Л. Орлова) // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2000. – № 5. – С. 79–97.
2. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н.* Минерагения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. – 1987. – № 1. – С. 90–96.
3. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н.* Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41, № 3. – С. 281–288.
4. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Харькив А. Д., Соколов В. Н.* Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитовых пород // Минерагения зоны гипергенеза. – М. : ИГЕМ АН СССР, 1980. – С. 45–54.
5. *Ваганов В. И.* Алмазные месторождения России и Мира (основы прогнозирования). – М. : Геоинформарк, 2000. – 371 с.
6. *Горшков А. И., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д.* [и др.] Новый упорядоченный смешанослойный минерал лизардит-сапонит из кимберлитов Южной Африки // Доклады РАН. – 2002. – Т. 382, № 3. – С. 374–378.
7. *Зинчук Н. Н.* Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
8. *Зинчук Н. Н.* Основные черты гипергенного изменения пород различного состава // Вестник Пермского университета. Геология. – 2014. – № 3 (24). – С. 19–29.
9. *Зинчук Н. Н.* Особенности алмазоносности разных фаз внедрения кимберлитов // Отечественная геология. – 2017. – № 1. – С. 105–111.
10. *Зинчук Н. Н.* Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмаза на Сибирской платформе // Отечественная геология. – 2021. – № 2. – С. 41–56.
11. *Зинчук Н. Н.* Геологические исследования при поисках алмазных месторождений // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2021. – № 4. – С. 35–52.
12. *Зинчук Н. Н.* Роль петролого-минералогических и геохимических исследований в оценке потенциальной алмазоносности кимберлитов // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 36–47.
13. *Зинчук Н. Н.* Особенности петрографического изучения кимберлитовых пород // Отечественная геология. – 2022. – № 4. – С. 34–49.
14. *Зинчук Н. Н.* Особенности гидротермального и гипергенного изменения слюдистых кимберлитов // Вестник Пермского университета. Геология. – 2023. – Т. 22, № 1. – С. 32–50.
15. *Зинчук Н. Н.* О геолого-поисковых типах кимберлитовых трубок // Известия Коми НЦ УрО РАН. Науки о Земле. – 2023. –№ 2 (60). – С. 43–56.
16. *Зинчук Н. Н.* Литолого-минералогические исследования при поисках месторождений алмазов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. – Вып. 28. – Пермь : ПГНИУ, 2025. – С. 17–48.
17. *Зинчук Н. Н.* Методические основы использования нетрадиционных индикаторных минералов кимберлитов при шлихо-минералогических поисках месторождений алмазов // Отечественная геология. – 2025. – № 6. – С. 68–87.
18. *Зинчук Н. Н., Афанасьев В. П.* Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1998. – № 2. – С. 66–71.
19. *Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д.* О специфике изучения алмаза при прогнозно-поисковых работах (на примере Сибирской платформы) // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С. 59–75.
20. *Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д.* Алмазы из низкопродуктивных кимберлитов // Руды и металлы. – 2022. – № 1. – С. 77–93.
21. *Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д.* Алмазы из полупромышленных кимберлитов // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2022. – № 2. – С. 32–45.
22. *Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н.* О некоторых вещественных особенностях продуктивности кимбер-

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

литовых пород // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. – Вып. 28. – Пермь : ПГНИУ, 2025. – С. 49–69.
23. *Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н., Котельников Д. Д., Шлыков В. Г., Жухлистов А. П.* Структурно-кристаллохимические преобразования слоистых минералов на разных стадиях гипергенного изменения кимберлитов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2002. – № 1. – С. 47–60.
24. *Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Борис Е. И., Липашова А. Н.* Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // Руды и металлы. – 1999. – № 3. – С. 18–31.
25. *Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Горшков А. И.* Идентификация и генезис лизардит-сапонитового смешанослойного образования в кимберлитах одной из трубок Южной Африки // Литология и полезные ископаемые. – 2003. – № 1. – С. 87–96.
26. *Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Соколов В. Н.* Изменение минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания // Геология и геофизика. – 1982. – № 2. – С. 42–53.
27. *Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырев Л. Т.* Тектоника и алмазоносный магматизм. – Воронеж : ВГУ, 2004. – 282 с.
28. *Зуев В. М., Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Маккенда А.* Слабоэродированные кимберлитовые трубки Анголы // Геология и геофизика. – 1988. – № 3. – С. 56–62.
29. *Игнатов П. А., Бушков К. Ю., Штейн Я. И.* [и др.] Геологические и минералого-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии // Руды и металлы. – 2006. – № 4. – С. 59–67.
30. *Коптиль В. И.* Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений : специальность 04.00.20 «Минералогия, кристаллография» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Василий Иванович Коптиль. – Новосибирск : ИГМ СО РАН, 1994. – 25 с.
31. *Котельников Д. Д., Домбровская Ж. В., Зинчук Н. Н.* Основные закономерности выветривания силикатных пород различного химического и минералогического типа // Литология и полезные ископаемые. – 1995. – № 6. – С. 594–601.
32. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н.* Геологическая интерпретация результатов изучения глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2001. – № 12. – С. 45–51.
33. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н.* Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2001. – Т. 76, № 1. – С. 45–53.
34. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н.* Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия геология. – 2003. – № 2. – С. 57–68.
35. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н., Кузьмин В. А.* Морфогенетические разновидности каолинита в корах выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья 1. Механизм образования каолинита в корах выветривания различных петрохимических типов пород // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2006. – № 5. – С. 19–25.
36. *Орлов Ю. Л.* Минералогия алмаза. – М. : Наука, 1984. – 264 с.
37. *Савко А.Д., Зинчук Н. Н., Шевырёв Л. Т.* [и др.] Алмазоносность Воронежской антеклизы // Труды НИИГ Воронежского университета. – 2003. – Т. 17. – 121 с.
38. *Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д., Зуев В. М.* Космические методы при прогнозировании и поисках месторождений алмазов. – М. : Недра, 2001. – 198 с.
39. *Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И.* Коренные месторождения алмазов мира. – М. : Недра, 1998. – 555 с.
40. *Харькив А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н., Крючков А. И., Уханов А. В., Богатых М. М.* Петрохимия кимберлитов. – М. : Недра, 1991. – 304 с.
41. *Харькив А. Д., Квасница В. Н., Сафронов А. Ф., Зинчук Н. Н.* Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из кимберлитов. – Киев : Наукова думка, 1989. – 183 с.
42. *Afanasev V. P., Zinchuk N. N., Griffin V. L.* [et al.] Diamond prospects in the Southwestern plankt of the Tungusk Sineklise // Geology of ore Deposits. – 2005. – V. 47, № 1. – P. 45–62.
43. *Clifford T. N.* A structural framework of Africa // African Magmatism and tectonics. – Endinburgh : Oliwer and Boyd, 1970. – P. 1–26.
44. *Rosen O. M., Serenko V. P., Spetsius Z. V.* [et al.] Yakutian kimberlite province: Position in the Siberian craton and composition of the upper and lower crust // Geologiya and Geofizika. – 2002. – V. 43, № 1. – P. 3–26.

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

REFERENCES

1. *Afanasyev V. P., Eliseev A. P., Nadolinny V. A., Zinchuk N. N., Koptil V. I., Rylov G. M., Tomilenko A. A., Goryainov S. V., Yuryeva O. P., Sonin V. M., Chepurov A. I.* Mineralogiya i nekotoryye voprosy genezisa almazov V i VII raznovidnostey (po klassifikatsii Yu. L. Orlova) [Mineralogy and some questions of the genesis of diamonds of types V and VII (according to the classification of Yu. L. Orlov)], Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya, 2000, No. 5, pp. 79–97. (In Russ.)
2. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N.* Minerageniya drevnikh rossypey almazov vostochnogo borta Tungusskoy sineklizy [Minerageny of ancient diamond placers on the eastern side of the Tunguska syneclise], Geology and geophysics, 1987, No. 1, pp. 90–96. (In Russ.)
3. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N.* Osnovnyye litodinamicheskiye tipy oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov i obstanovki ikh formirovaniya [Main lithodynamic types of halos of indicator minerals in kimberlites and their formation environments], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1999, V. 41, No. 3, pp. 281–288. (In Russ.)
4. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Kharkiv A. D., Sokolov V. N.* Zakonomernosti izmeneniya mantiynykh mineralov v kore vyvetrivaniya kimberlitovykh porod [Regularities of changes in mantle minerals in the weathering crust of kimberlite rocks], Minerageniya zony gipergeneza, Moscow, IGEM AN SSSR publ., 1980, pp. 45–54. (In Russ.)
5. *Vaganov V. I.* Almaznyye mestorozhdeniya Rossii i Mira (osnovy prognozirovaniya) [Diamond deposits of Russia and the World (forecasting principles)], Moscow, Geoinformark publ., 371 p. (In Russ.)
6. *Gorshkov A. I., Zinchuk N. N., Kotel'nikov D. D.* [et al.] Novyy uporyadochennyy smeshanosloynyy mineral lizardit-saponit iz kimberlitov Yuzhnoy Afriki [New ordered mixed-layer mineral lizardite-saponite from kimberlites of South Africa], Doklady RAN, 2002, V. 382, No. 3, pp. 374–378. (In Russ.)
7. *Zinchuk N. N.* Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoy i Vostochno-Yevropeyskoy platform [Comparative characteristics of the material composition of the weathering crust of kimberlite rocks of the Siberian and East European platforms], Geologiya i geofizika, 1992, No. 7, pp. 99–109. (In Russ.)
8. *Zinchuk N. N.* Osnovnyye cherty gipergennogo izmeneniya porod razlichnogo sostava porod razlichnogo soctava [Main features of hypergene alteration of rocks of different composition], Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2014, No. 3 (24), pp. 19–29. (In Russ.)
9. *Zinchuk N. N.* Osobennosti almazonosnosti raznykh faz vnedreniya kimberlitov [Features of diamond-bearing capacity of different phases of kimberlite intrusion], Otechestvennaya geologiya, 2017, No. 1, pp. 105–111. (In Russ.)
10. *Zinchuk N. N.* Tipomorfnyye svoystva indikatornykh mineralov kimberlitov i ikh ispolzovaniye pri prognozirovanii mestorozhdeniy almaza na Sibirskoy platforme [Typomorphic properties of indicator minerals of kimberlites and their use in predicting diamond deposits on the Siberian platform], Otechestvennaya geologiya], 2021, No. 2, pp. 41–56. (In Russ.)
11. *Zinchuk N. N.* Geologicheskiye issledovaniya pri poiskakh almaznykh mestorozhdeniy [Geological research in the search for diamond deposits], Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya, 2021, No. 4, pp. 35–52. (In Russ.)
12. *Zinchuk N. N.* Rol petrologo-mineralogicheskikh i geokhimicheskikh issledovaniy v otsenke potentsialnoy almazonosnosti kimberlitov [The role of petrological-mineralogical and geochemical studies in assessing the potential diamond content of kimberlites], Otechestvennaya geologiya], 2022, No. 1, pp. 36–47. (In Russ.)
13. *Zinchuk N. N.* Osobennosti petrograficheskogo izucheniya kimberlitovykh porod [Features of petrographic study of kimberlite rocks], Otechestvennaya geologiya Otechestvennaya geologiya], 2022, No. 4, pp. 34–49. (In Russ.)
14. *Zinchuk N. N.* Osobennosti gidrotermalnogo i gipergennogo izmeneniya slyudistykh kimberlitov [Features of hydrothermal and supergene alteration of mica kimberlites], Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2023, V. 22, No. 1, pp. 32–50. (In Russ.)
15. *Zinchuk N. N.* O geologo-poiskovykh tipakh kimberlitovykh trubok [On geological exploration types of kimberlite pipes], Izvestiya Komi NTS UrO RAN. Nauki o Zemle, 2023, No. 2 (60), pp. 43–56. (In Russ.)
16. *Zinchuk N. N.* Litologo-mineralogicheskiye issledovaniya pri poiskakh mestorozhdeniy almazov [Lithological and mineralogical studies in the search for diamond deposits], Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnyye chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo, Is. 28, Perm, PGNIU publ., 2025, pp. 17–48. (In Russ.)
17. *Zinchuk N. N.* Metodicheskiye osnovy ispol'zovaniya netraditsionnykh indikatornykh mineralov kimberlitov pri shlikho-mineralogicheskikh poiskakh mestorozhdeniy almazov [Methodological principles of using non-traditional indicator minerals of kimberlites in panning and mineralogical prospecting for diamond deposits], Otechestvennaya geologiya, 2025, No. 6, pp. 68–87. (In Russ.)
18. *Zinchuk N. N., Afanasyev V. P.* Geneticheskiye tipy i osnovnyye zakonomernosti formirovaniya almazonosnykh rossypey [Genetic types and basic patterns

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

of formation of diamond-bearing placers], Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka, 1998, No. 2, pp. 66–71. (In Russ.)
19. *Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D.* O spetsifike izucheniya almaza pri prognozno-poiskovykh rabotakh (na primere Sibirskoy platformy) [On the specifics of studying diamond during forecasting and prospecting work (using the example of the Siberian platform)], Rudy i metally [Ores and metals], 2021, No. 3, pp. 59–75. (In Russ.)
20. *Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D.* Almazy iz nizkoproduktivnykh kimberlitov [Diamonds from low-productivity kimberlites], Rudy i metally [Ores and metals], 2022, No. 1, pp. 77–93. (In Russ.)
21. *Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D.* Almazy iz polupromyshlennykh kimberlitov [Diamonds from semi-industrial kimberlites], Vestnik Voronezhskogo un-ta. Geologiya, 2022, No. 2, pp. 32–45. (In Russ.)
22. *Zinchuk N. N., Zinchuk M. N.* O nekotorykh veshchestvennykh osobennostyakh produktivnosti kimberlitovykh porod [On some material features of the productivity of kimberlite rocks], Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnyye chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo, Is. 28, Perm, PGNIU publ., 2025, pp. 49–69. (In Russ.)
23. *Zinchuk N. N., Zinchuk M. N., Kotelnikov D. D., Shlykov V. G., Zhukhlistov A. P.* Strukturno-kristallokhimicheskiye preobrazovaniya sloistykh mineralov na raznykh stadiyakh gipergennogo izmeneniya kimberlitov [Structural and crystallochemical transformations of layered minerals at different stages of hypergene alteration of kimberlites], Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka, 2002, No. 1, pp. 47–60. (In Russ.)
24. *Zinchuk N. N., Koptil V. I., Boris Ye. I., Lipashova A. N.* Tipomorfizm almazov iz rossypey Sibirskoy platformy kak osnova poiskov almaznykh mestorozhdeniy [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as a basis for searching for diamond deposits], Rudy i metally, 1999, No. 3, pp. 18–31. (In Russ.)
25. *Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Gorshkov A. I.* Identifikatsiya i genezis lizardit-saponitovogo smeshanosloynogo obrazovaniya v kimberlitakh odnoy iz trubok Yuzhnoy Afriki [Identification and genesis of a lizardite-saponite mixed-layer formation in kimberlites of one of the pipes of South Africa], Litologiya i poleznyye iskopayemyye, 2003, No. 1, pp. 87–96. (In Russ.)
26. *Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Sokolov V. N.* Izmeneniye mineralnogo sostava i strukturnykh osobennostey kimberlitov Yakutii v protsesse vyvetrivaniya [Changes in the mineral composition and structural features of Yakutia kimberlites during weathering], Geologiya i geofizika, 1982, No. 2, pp. 42–53. (In Russ.)
27. *Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T.* Tektonika i almazonosnyy magmatism [Tectonics and diamond-bearing magmatism], Voronezh, VGU publ., 2004, 282 p. (In Russ.)
28. *Zuyev V. M., Khar'kiv A. D., Zinchuk N. N., Makkenda A.* Slaboerodirovannyye kimberlitovyye trubki Angoly [Slaboerodirovannyye kimberlitovyye trubki Angoly], Geologiya i geofizika, 1988, No. 3, pp. 56–62. (In Russ.)
29. *Ignatov P. A., Bushkov K. Yu., Shteyn Ya. I.* [et al.] Geologicheskiye i mineralogo-geokhimicheskiye priznaki struktur, kontroliruyushchikh almazonosnyye kimberlity Nakynskogo polya Yakutii [Geological and mineralogical-geochemical features of structures controlling diamond-bearing kimberlites of the Nakyn field of Yakutia], Rudy i metally, 2006, No. 4, pp. 59–67. (In Russ.)
30. *Koptil V. I.* Tipomorfizm almazov severo-vostoka Sibirskoy platformy v svyazi s problemoy prognozirovaniya i poiskov almaznykh mestorozhdeniy [Typo-morphism of diamonds of the north-eastern Siberian platform in connection with the problem of forecasting and prospecting for diamond deposits], Novosibirsk, IGM SO RAN publ., 1994, 25 p. (In Russ.)
31. *Kotelnikov D. D., Dombrovskaya Zh. V., Zinchuk N. N.* Osnovnyye zakonomernosti vyvetrivaniya silikatnykh porod razlichnogo khimicheskogo i mineralogicheskogo tipa [Main patterns of weathering of silicate rocks of different chemical and mineralogical types], Litologiya i poleznyye iskopayemyye, 1995, No. 6, pp. 594–601. (In Russ.)
32. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Geologicheskaya interpretatsiya rezul'tatov izucheniya glinistykh mineralov v osadochnom chekhle zemnoy kory [Geological interpretation of the results of the study of clay minerals in the sedimentary cover of the earth's crust], Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya, 2001, No. 12, pp. 45–51. (In Russ.)
33. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v osadochnom chekhle zemnoy kory [Conditions of accumulation and postsedimentary transformation of clay minerals in the sedimentary cover of the earths crust], Byulleten MOIP. Otdel geologicheskiy, 2001, V. 76, No. 1, pp. 45–53. (In Russ.)
34. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Ob anomalii obshchey skhemy preobrazovaniya razbukhayushchikh glinistykh mineralov pri pogruzhenii soderzhashchikh ikh otlozheniy v stratisferu [On the anomaly of the general scheme of transformation of swelling clay minerals during the immersion of sediments containing them into the stratisphere], Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Seriya geologiya, 2003, No. 2, pp. 57–68. (In Russ.)

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

35. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N., Kuzmin V. A.* Morfogeneticheskiye raznovidnosti kaolinita v korakh vyvetrivaniya i osadochnom chekhle zemnoy kory. Statya 1. Mekhanizm obrazovaniya kaolinita v korakh vyvetrivaniya razlichnykh petrokhimicheskikh tipov porod [Morphogenetic varieties of kaolinite in weathering crusts and sedimentary cover of the earths crust. Article 1. Mechanism of kaolinite formation in weathering crusts of various petrochemical rock types], Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka, 2006, No. 5, pp. 19–25. (In Russ.)
36. *Orlov Yu. L.* Mineralogiya almaza [Mineralogy of diamond], Moscow, Nauka publ., 1984, 264 p. (In Russ.)
37. *Savko A. D., Zinchuk N. N., Shevyrov L. T.* [et al.] Almazonosnost Voronezhskoy anteklizy [Diamond potential of the Voronezh anteclise], Trudy NIIG Voronezhskogo un-ta, 2003, V. 17, 121 p. (In Russ.)
38. *Serokurov YU. N., Kalmykov V. D., Zuyev V. M.* Kosmicheskiye metody pri prognozirovanii i poiskakh mestorozhdeniy almazov [Space methods in forecasting and searching for diamond deposits], Moscow, Nedra publ., 2001, 198 p. (In Russ.)
39. *Kharkiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I.* Korennyye mestorozh-deniya almazov mira [Primary diamond deposits of the world], Moscow, Nedra publ., 1998, 555 p. (In Russ.)
40. *Kharkiv A. D., Zuyenko V. V., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I., Ukhanov A. V., Bogatykh M. M.* Petrokhimiya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites], Moscow, Nedra publ., 1991, 304 p. (In Russ.)
41. *Kharkiv A. D., Kvasnitsa V. N., Safronov A. F., Zinchuk N. N.* Tipomorfizm almaza i yego mineralovsputnikov iz kimberlitov [Typomorphism of diamond and its associated minerals from kimberlites], Kyiv, Naukova Dumka publ., 1989, 183 p. (In Russ.)
42. *Afanasev V. P., Zinchuk N. N., Griffin V. L.* [et al.] Diamond prospects in the Southwestern plankt of the Tungusk Sineklise, Geology of ore Deposits, 2005, V. 47, No. 1, pp. 45–62.
43. *Clifford T. N.* A structural framework of Africa, African Magmatism and tectonics, Endinburgh, Oliwer and Boyd, 1970, pp. 1–26.
44. *Rosen O. M., Serenko V. P., Spetsius Z. V.* [et al.] Yakutian kimberlite province: Position in the Siberian craton and composition of the upper and lower crust, Geologiya and Geofizika, 2002, V.43, No. 1, pp. 3–26.

Статья поступила в редакцию 19.06.26; одобрена после рецензирования 08.07.26; принята к публикации 08.07.26.
The article was submitted 19.06.26; approved after reviewing 08.07.26; accepted for publication 08.07.26.

© Н. Н. Зинчук, 2026
© N. N. Zinchuk, 2026

DOI:10.47765/0869-7175-2026-10014

УДК 553.04:551.24(925.13)
© Коллектив авторов, 2026

Перспективы рудоносности разновозрастных региональных тектонических структур восточной части Чаро-Олекминского блока Алданского щита

Аннотация. Рассматриваются перспективы рудоносности разновозрастных региональных тектонических структур восточной части Чаро-Олекминского блока Алданского щита – Тяньско-Темулякитского зеленокаменного пояса, Олдонгсинской и Угуйской грабен-синклиналей, зоны предрифейского структурно-стратиграфического несогласия и Соктокутского горста. Важным представляется тезис о возможности выявления золотого и(или) уранового оруденения мезозойского возраста в предрифейской зоне структурно-стратиграфического несогласия, а также золотого оруденения в пределах Соктокутского горста. Уточнено металлогеническое районирование региона. Выделены Соктокутский потенциальный ураново-золоторудный узел с ожидаемым золото-молибден-урановым (эльконский тип) и золото-медно-порфировым типами оруденения и Оннорох-Олонгиитский потенциальный медно-золоторудный узел. Рассмотрены особенности металлогенических эпох, проявленных в пределах восточной части Чаро-Олекминского блока Алданского щита.

Ключевые слова: рудоносность, региональные тектонические структуры, металлогенические эпохи, металлогеническое районирование, прогноз, Чаро-Олекминский блок, Алданский щит.

МОЛЧАНОВ АНАТОЛИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, заведующий отделом, Anatoly_Molchanov@karpinskyinstitute.ru

БЕЛЕНКО ЕЛЕНА ВЛАДИСЛАВОВНА, ведущий инженер, Elena_Belenko@karpinskyinstitute.ru

ЛЕДЕНГСКИЙ РОМАН АНДРЕЕВИЧ, главный геофизик, Норильский филиал ФГБУ «Институт Карпинского», Roman_Ledengskiy@karpinskyinstitute.ru

ПРОХОРОВ ЕГОР АНДРЕЕВИЧ, аспирант, геолог, Egor_Prohorov@karpinskyinstitute.ru

СОЛОВЬЕВ ОЛЕГ ЛЕОНИДОВИЧ, ведущий геолог, Oleg_Soloviev@karpinskyinstitute.ru

ТЕШ ДАНИИЛ ДМИТРИЕВИЧ, геолог, Daniil_Tesh@karpinskyinstitute.ru

ХОРОХОРИНА ЕЛЕНА ИВАНОВНА, ведущий геолог, Elena_Horohorina@karpinskyinstitute.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского» (ФГБУ «Институт Карпинского»), г. Санкт-Петербург

Ore-bearing potential of different in age regional tectonic structures in the eastern Chara-Olyokma block of the Aldan Shield

A. V. MOLCHANOV, E. V. BELENKO, R. A. LEDENGSKY, E. A. PROKHOROV, O. L. SOLOVIEV, D. D. TESH, E. I. KHOROKHORINA

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (FSBI "Karpinsky Institute"), St. Petersburg

Abstract. The paper considers prospects for the ore-bearing potential of regional-scale tectonic structures of different ages in the eastern portion of the Chara-Olyokma block of the Aldan Shield, including the Tyania-Temulyakit greenstone belt, Oldongsin and Ugui graben-synclines, pre-Riphean structural-stratigraphic unconformity zone, and Soktokut horst. The statement seems important on the possibility to reveal Mesozoic gold and/or uranium mineralization within the pre-Riphean zone of structural-stratigraphic unconformity, as well as of gold mineralization within the Soktokut horst. The metallogenic regionalization of the territory was clarified.

The Soktokut potential uranium-gold ore cluster with the expected gold-molybdenum-uranium (Elkon type) and gold-copper porphyry types of mineralization and the Onnorokh-Olongiit potential copper-gold ore cluster were outlined. Specific features of the metallogenic epochs manifested within the eastern Chara-Olyokma block of the Aldan Shield are considered.

Key words: ore-bearing potential, regional tectonic structures, metallogenic epochs, metallogenic regionalization, forecasting, Chara-Olyokma block, Aldan Shield.

Представленные материалы получены в разные годы авторами настоящей статьи при проведении полевых и камеральных работ по созданию комплектов государственных геологических карт, включая карты полезных ископаемых и карты закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых масштаба 1 : 1 000 000 (листы O-51, O-50), карт закономерностей размещения и прогноза месторождений полезных ископаемых масштаба 1 : 200 000 (лист O-51-XIII[1], O-51-XIX), а также прогнозно-металлогенических исследований масштаба 1 : 1 000 000, 1 : 200 000 с составлением прогнозно-металлогенических карт на уран Чаро-Олекминского блока Алданского щита.

В прогностическом аспекте Чаро-Олекминский блок Алданского щита (рис. 1) чрезвычайно интересен, поскольку характеризуется длительной и сложной историей геологического развития, во временных рамках которой закладывались и развивались региональные разновозрастные тектонические, а по сути, рудоносные структуры (горсты, грабен-синклинали, зеленокаменные пояса, зоны региональных разрывных нарушений, зоны древних структурно-стратиграфических несогласий), характеризующиеся проявленностью в их пределах разновозрастных рудоподготовительных и рудоформирующих процессов, приведших к формированию разноранговых месторождений различных типов твёрдых полезных ископаемых, включая золото, железо, медь, уран, редкие и редкоземельные металлы, мусковит.

Каждый временной этап в истории геологического развития блока характеризуется свойственными только ему тектоническим режимом, особенностями осадконакопления, метаморфизма, магматизма, гидротермально-метасоматической деятельности, *совокупный результат которых определил металлогеническую специализацию данных этапов и позволил выделить ряд металлогенических эпох, а также потенциальных рудных районов и узлов.*

Для ***архейской металлогенической эпохи*** ключевыми петрогенетическими процессами в пределах Чаро-Олекминского блока являлись *метаморфизм и ультраметаморфизм*, приведшие к формированию комплексов пород, метаморфизованных в условиях гранулитовой и амфиболитовой фаций, высокотемпературных кремнещелочных метасоматитов, характеризующихся металлогенической специализацией на радиоактивные и редкоземельные элементы. Во временных рамках эпохи сформированы пункты радиоактивной, радиоактивно-редкоземельной минерализации и радиометрические аномалии различной интенсивности и природы радиоактивности, генетически связанные с высокотемпературными кремнещелочными (кварц-плагиоклазовыми, кварц-плагиоклаз-ортоклазовыми, кварц-альбит-микроклиновыми) метасоматитами.

В позднем архее сформированы Тяньско-Темулякитский, Тас-Миэлинский, Токкинский, Ималыкский и другие зеленокаменные пояса. Они сложены гнейсами и кристаллическими сланцами темулякитской свиты борсалинской серии, метаморфизованными в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций, которые составляют джеспилит-сланцевую формацию, а также многочисленными телами метагабброидов габбро-пироксенит-долеритовой формации северо-северо-западного простирания. Базиты данной формации соответствуют смешанной литохалькосидерофильной геохимической ассоциации и характеризуются вышекларковыми содержаниями Co, Ge, P, Mo, V, Cr, Y, Zr. Иногда отмечаются аномально высокие содержания Cu (до 0,2 %), Au (до 0,1 г/т), Pt (до 0,3 г/т), Ir (до 0,7 г/т), Pd (до 0,07 %). По материалам [15], основанным на интерпретации геофизических и геохимических данных, предполагается наличие ещё одной, не выходящей на современную дневную поверхность, зеленокаменной структуры, которая перекрывается терригенно-осадочными отложениями раннепротерозойского возраста, слагающими

[1] Работы по данному листу сотрудники отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ФГБУ «Институт Карпинского» выполняют в рамках программы «Геология: возрождение легенды» (ГВЛ-2).

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

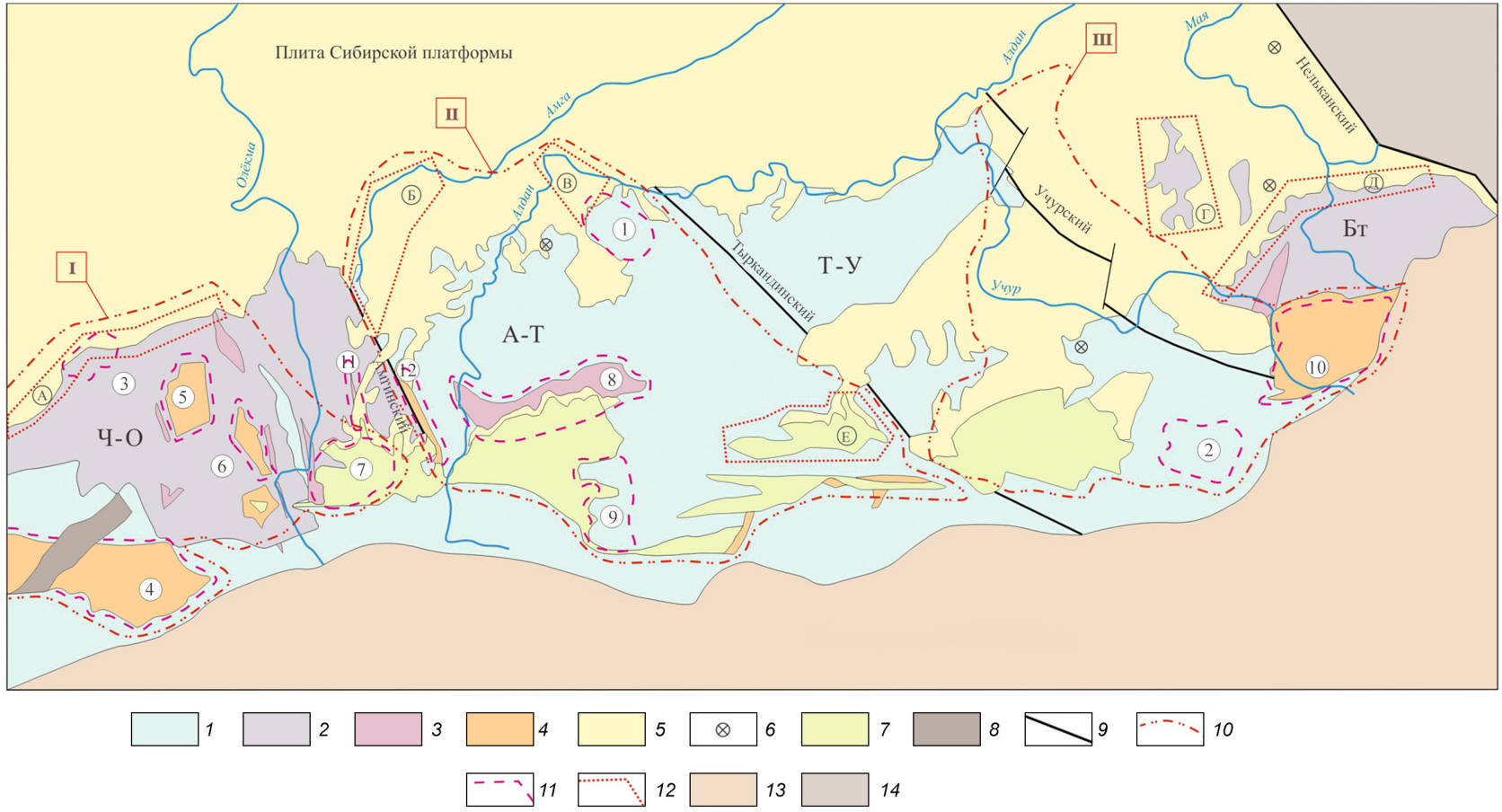


Рис. 1. Положение Чаро-Олекминского блока в структурах Алданского щита с элементами металлогенического по урану районирования, масштаб 1 : 5 000 000 [13]:

блоки: Ч-О – Чаро-Олекминский, А-Т – Алдано-Тимптонский, Т-У – Тимптоно-Учурский, Бт – Батомгский; *1–2* – протократонный СФК: *1* – раннеархейский, *2* – позднеархейский; *3–4* – СФК: *3* – зеленокаменных поясов, *4* – раннепротерозойской тектоно-магматической активизации; *5* – платформенный СФК; *6* – массивы щёлочно-ультраосновных пород; *7–8* – СФК: *7* – мезозойской тектоно-магматической активизации, *8* – современных рифтов; *9* – региональные межблоковые зоны разломов; Алданская урановорудная провинция: *10* – металлогенические области: I – Чаро-Олекминская урановорудная, II – Центрально-Алданская урановорудная и III – Улкано-Учурская потенциально урановорудная; *11* – урановорудные и потенциально урановорудные районы и зоны (числа в кружках): 1 – Эльконский, 2 – Тырканский, 3 – Торгойский, 4 – Удоканский, 5 – Угуйский, 6 – Олдонгсинский, 7 – Усмунский, 8 – Унгра-Тимптонский, 9 – Горбылях-Тимптонский, 10 – Улканский, 11 – Субганская, 12 – Ярогинская; *12* – минерализованные площади, перспективные на обнаружение месторождений урана, в том числе вблизи зон древних структурно-стратиграфических несогласий (буквы в кружках): А – Чаро-Токкинская, Б – Амгинская, В – Северо-Эльконская, Г – Омнинская, Д – Северо-Батомгская, Е – Ытымджинская; *13* – Становая плутоногенная область; *14* – Юдомо-Майскай прогиб; СФК – структурно-формационный комплекс

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

Угуйскую грабен-синклиналь. Базиты основания данной структуры рассматриваются авторами как один из возможных источников Cu, Cr, Co, Ag, платиноидов, пункты минерализации которых известны в пределах указанной структуры и её ближайшем обрамлении.

Тяньско-Темулякитский зеленокаменный пояс отчётливо прослеживается в магнито- и гравиметрических полях (рис. 2). Границы пояса в вещественном выражении представлены зонами катаклаза, милонитизации и диафтореза. При этом существенная доля запасов золота дальнего зарубежья сосредоточена именно в зеленокаменных поясах [1]. Так, почти две трети добываемого золота в Австралии обеспечивается месторождениями золото-сульфидных руд архейских зеленокаменных поясов – Калгурли, Санрайз-Дам и др. В Канаде более половины добычи золота связано с его месторождениями, располагающимися в архейских зеленокаменных поясах [8]. Значимая доля добычи золота на Африканском континенте также приходится на зеленокаменные структуры, в частности пояса Зимбабве, Боромо-Горунси и др.

К сожалению, на территории Российской Федерации значимые золоторудные объекты подобного типа до сих пор не выявлены. В то же время предпосылки и признаки возможного обнаружения подобных объектов в пределах России имеются на Балтийском и Алданском щитах. В связи с этим авторы статьи рекомендуют провести геолого-минерагеническое картирование, в частности, на территории восточной части Чаро-Олекминского блока, в пределах Олондинского, Токинского, Тас-Миэлинского, Тяньско-Темулякитского зеленокаменных поясов в целях выделения локальных участков под поиски рудного золота.

Ранее работами Г. В. Бирюлькина, А. С. Княжева и др. (материалы не опубликованы) на площади Тяньско-Темулякитского зеленокаменного пояса были выявлены многочисленные вторичные геохимические аномалии (площадные и потоковые) золота, серебра, молибдена, а также шлиховые потоки и точечные аномалии золота и вольфрама. На западном фланге пояса, в пределах делювиальных развалов диафторированных, окварцованных и сульфидизированных метагабброидов, известен пункт минерализации с содержанием золота 3,0 г/т. Кроме того, на северной оконечности Тяньско-Темулякитского пояса предшественниками выделен Верхнетяньский потенциальный мусковит-вольфрам-золоторудный узел, заслуживающий постановки специализированных исследований, нацеленных на поиск золото-сульфидно-кварцевого оруденения.

Гидротермально-метасоматические новообразования, развитые в пределах зеленокаменного пояса, представлены высокотемпературными кварц-полевошпатовыми (кварц-альбит-микроклиновыми) метасоматитами, в меньшей степени пропилитами. К кварц-полевошпатовым метасоматитам приурочены многочисленные проявления мусковитовой минерализации, входящие в состав рудных полей с прогнозными ресурсами категории P_2, которые составляют Тасмиэлинскую вольфрам-молибден-золото-мусковитовую рудную зону.

В разрезе метаморфических комплексов позднего архея расположены крупные месторождения железистых (магнетитовых) кварцитов (Тарынахское, Ималыкское, Горкитское и др.), выявленные ещё во второй половине прошлого столетия. Среднее содержание железа на месторождениях составляет 28,32–28,50 %.

Металлогеническая значимость позднеархейского этапа определяется в настоящее время месторождениями железа, рудопроявлениями мусковита. В то же время при выполнении крупномасштабных и прогнозно-поисковых работ в регионе следует обратить особое внимание на его возможную золотоносность по аналогии с зеленокаменными поясами Канадского, Африканского щитов и западного фланга Балтийского щита (территория Финляндии), где известны крупные по запасам месторождения золота.

В ходе комплексной аэромагнитной съёмки северной части листа O-51-XIII (Соктокутская площадь) в районе слияния ручьёв Угрюмый и Быстрый была выявлена магнитная аномалия трубочного типа (рис. 3), которая требует наземной заверки, для выяснения целесообразности постановки в её пределах поисковых работ.

В ***раннепротерозойскую металлогеническую эпоху*** в пределах восточной части Чаро-Олекминского блока формировались *Угуйская и Олдонгсинская грабен-синклинали*, в которых накапливались терригенные, карбонатно-терригенные отложения[2], представленные конгломератами,

[2] Уровень метаморфизма терригенно-осадочных отложений раннего протерозоя низкий и не превышает зеленосланцевой фации.

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

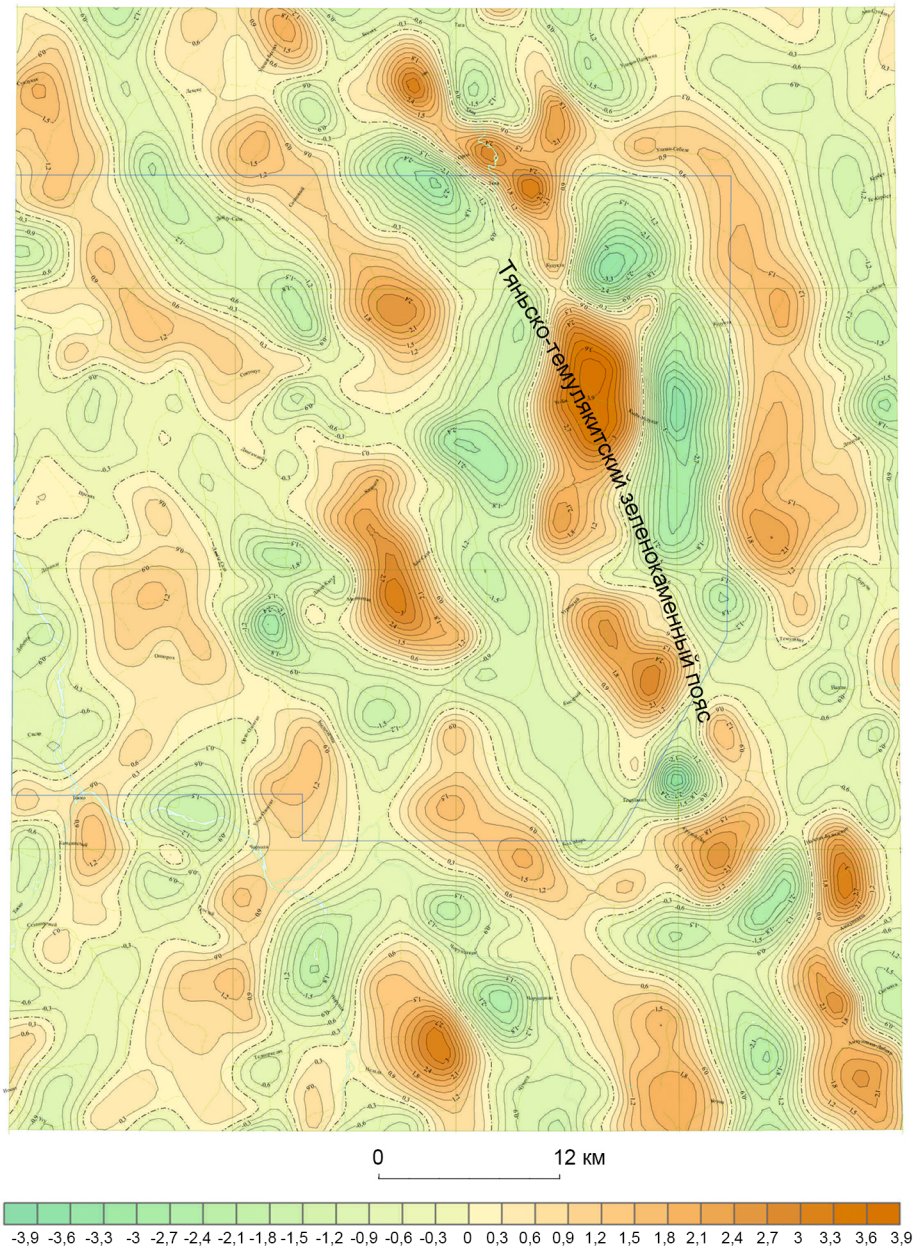


Рис. 2. Проявленность Тяньско-Темулякитского зеленокаменного пояса на карте изолиний локальной составляющей поля силы тяжести. *Значения поля приведены в условных единицах*

разнозернистыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами, включая их черносланцевые разности, а также доломитами и силицитами. Терригенно-осадочные отложения, слагающие указанные грабен-синклинали, с резким структурно-стратиграфическим несогласием (ССН) и базальными конгломератами в основании налегают на интенсивно выветрелые метаморфиты и ультраметаморфогенные образования архейской металлогенической эпохи. По данным [16], формирование отложений раннего протерозоя происходило в условиях прогиба орогенного типа на пенепленизированном, сильно выветрелом архейском основании. В осадках присутствует значительное количество кремнистого и железистого материала, а также псаммитовые обломки эффузивов

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

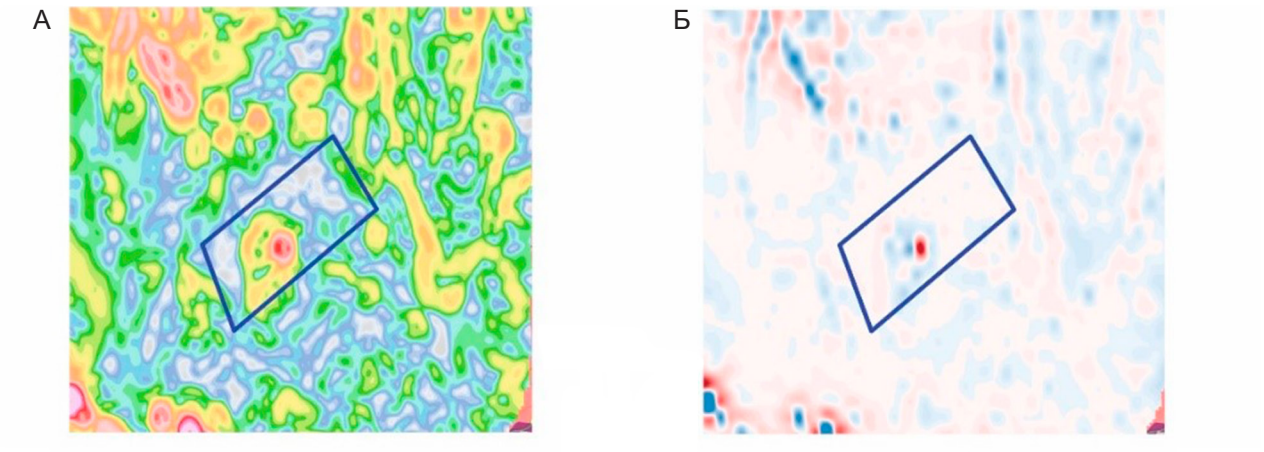


Рис. 3. Положение локальной магнитной аномалии трубочного типа на картах магнитного поля участка Угрюмый; фрагменты карты горизонтальной (А) и вертикальной (Б) составляющих магнитного поля. *По данным АГСМ-съёмки*:

выделенный контур – участок Угрюмый

среднего и кислого состава, хотя вулканические образования установлены лишь вблизи зон долгоживущих разрывных нарушений.

В *Олдонгсинской грабен-синклинали* и *по восточному флангу Угуйской структуры* на современную дневную поверхность выходят терригенные, карбонатно-терригенные и черносланцевые отложения в объёме чародоканской, намсалинской и ханинской свит, *заключающих в себе многочисленные разноранговые рудные объекты меди, золота, урана, реже хрома (волконскоит), серебра и платиноидов*. Базальный горизонт терригенно-осадочных отложений Олдонгсинской грабен-синклинали в объёме чародоканской свиты достигает мощности 15 м и сложен мелкогалечными конгломератами с линзами гравелитов и полимиктовых песчаников. В Угуйской грабен-синклинали базальный горизонт представлен красноцветными гравелитами, мелкогалечными конгломератами и дресвяниками. Мощность его в южной части структуры – 15 м, а в северной варьирует от 0,2 до 0,5 м. Выше по разрезу залегают доломиты, переслаивающиеся с кремнистыми породами, а также песчанистые алевролиты и глинистые мелкозернистые песчаники. На севере Угуйской грабен-синклинали в разрезе существенную роль играют интенсивно гематитизированные алевролиты и песчаники (рис. 4).

Геологами ГО «Якутскгеология», проводившими во второй половине XX в. исследования Угуйской грабен-синклинали, выявлены многочисленные меднорудные объекты по её восточному и северо-восточному флангам, относимые к типу «медистых песчаников». При этом руды комплексные. Помимо меди, содержание которой составляет 0,5–0,7 % (до 1,6 %), в рудах имеется серебро со средним содержанием 30 г/т и молибден 14 г/т. Основная рудоносная формация – сероцветная молассоидная меденосная (в объёме ханинской свиты) формировалась в условиях лагунно-дельтовой фации. Кроме того, рудопроявления меди известны в красноцветной молассоидной формации в объёме кебектинской свиты и олигомиктовой псаммитовой формации (верхи чародоканской свиты). Согласно работам Г. В. Бирюлькина (не опубликованы), прогнозные «запасы» меди отвечают здесь крупному месторождению. Следует отметить, что месторождения указанного типа[3], исходя из [8], являются значимыми концентраторами меди и занимают 19,6 % балансовых её запасов Российской Федерации, уступая лишь сульфидным медно-никелевым (33,8 % балансовых запасов) и медно-порфировым (24,1 %) месторождениям.

В черносланцевых разностях терригенных пород (углеродсодержащие разнозернистые метаосадки), слагающих ханинскую свиту (углерод-

[3] Стратиформные месторождения меди типа «медистых песчаников».

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026



Рис. 4. Брекчии с обломками песчаников, силицитов, кремнистых пород с гематитовым цементом

содержащая аргиллит-песчаниковая формация), широко представленных в разрезе Олдонгсинской грабен-синклинали, известны проявления радиоактивно-редкоземельно-редкометалльной минерализации и многочисленные радиометрические аномалии урановой и уран-ториевой природы радиоактивности. В Угуйской структуре имеются лишь маломощные горизонты песчаников с углистым веществом. В аргиллитах встречается графитизированное органическое вещество и вкрапленность пирита.

В структурном отношении проявления радиоактивной минерализации тяготеют к зонам брекчирования и рассланцевания, претерпевшим воздействие низкотемпературных гидротермально-метасоматических процессов, вещественно зафиксированных ореолами гумбеитизации. При этом в зоне гипергенеза сульфиды псевдоморфно замещены лимонитом (рис. 5).

На южном фланге Олдонгсинской грабен-синклинали, в бассейне р. Дюринг-Юрях, авторами статьи были выявлены тела гранитных брекчий с гематитовым цементом (рис. 6), напоминающие брекчии типа «Олимпик-Дэм», заслуживающие всестороннего изучения [4].

Верхние части разреза грабен-синклиналей, сложенные красноцветными терригенными отложениями кебектинской свиты, наиболее широко развиты в пределах Угуйской грабен-синклинали, где в её южной части, в зоне влияния Кондинской зоны разломов, локализованы крупные по запасам месторождения золота (Гросс, Таборное), сформированные на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации региона. Месторождения отчётливо тяготеют к ореолам интенсивной гумбеитизации (адуляр, кварц, в том числе морион, карбонаты, сульфиды и гематит).

В 1980-х гг. в пределах Угуйской грабен-синклинали сотрудниками ПГО «Якутскгеология» проводились поисковые работы на комплекс полезных ископаемых. В том числе, по неопубликованным материалам Г. В. Бирюлькина, на северо-восточном фланге Угуйской грабен-синклинали были локализованы площади, перспективные на выявление разноранговых рудных объектов меди, серебра и молибдена. В 1990-х гг. одним из авторов настоящей статьи совместно с сотрудниками ВИРГ-Рудгеофизики[4] с использованием магнито- и гравиметрических полей были выполнены прогнозные исследования на комплекс твёрдых полезных ископаемых на площади Угуйской грабен-синклинали. Выбор данных полей обусловлен, в частности, тем, что морфология и

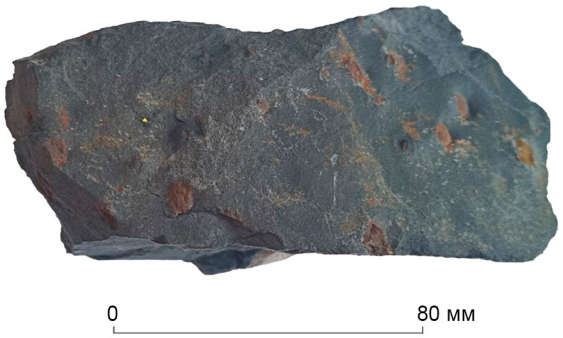


Рис. 5. Рудоносный углеродсодержащий алевроаргиллит с псевдоморфозами лимонита по пириту. Олдонгсинская грабен-синклиналь

[4] В. Н. Скосырев, В. Е. Голомолзин

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

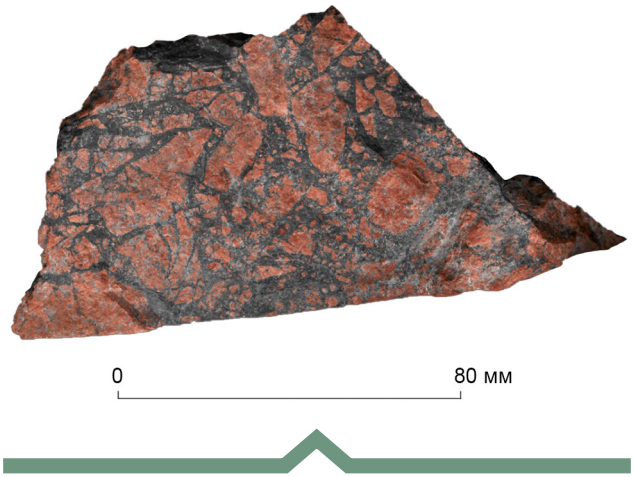


Рис. 6. Гранитная брекчия с гематитовым цементом. Южный фланг Олдонгсинской грабен-синклинали

уровень локальных (остаточных) аномалий Δg и ΔTa связаны с составом горных пород и степенью неоднородности геологического строения исследуемых площадей. В районах, открытых или слабо перекрытых осадочным чехлом кристаллического фундамента, сложность морфологии локальных аномалий потенциальных полей обусловлена главным образом комплексом магматических и наложенных гидротермально-метасоматических процессов этапов тектоно-магматической активизации. Результирующим документом нашего прогнозирования по физико-математическим моделям являлись композиционные карты геофизических признаков, благоприятных геологических условий локализации медного, золотого и уранового оруденения (рис. 7, А, Б, В).

Композиционные карты, по своей сути, являются картами сложнопроявленных (суммарных) геофизических аномалий (СА), наблюдающихся на участках развития интересующих нас геологических процессов. В отличие от геофизических аномалий в обычном понимании, при выделении СА наряду с уровнем поля учитывались его частотно-морфологические характеристики, которые выявляются по значениям трансформант поля, выполненных с фиксированным радиусом палетки и играющих роль характеристических функций. Интервалы значений исходных полей и их характеристических функций, с которыми устанавливается на площади пространственная связь эталонных объектов с вероятностью 0,96, принимаются как геофизические признаки и при построении композиционной карты формализуются, то есть каждой точке карты присваиваются значения: 0 – там, где признак отсутствует, или 1 – там, где он присутствует. Композиционная карта получается простым сложением формализованных значений геофизических признаков в точках сети, по которой заданы исходные данные. При этом способе коррелируемость используемых признаков играет только положительную роль, так как позволяет точнее локализовать положение максимумов СА.

Сложнопроявленные аномалии, отражённые на композиционных картах, носят вероятностный характер и обладают свойством обычных геофизических аномалий, то есть *чем выше значение СА, тем большие геохимические «запасы» интересующих нас минеральных образований можно ожидать на соответствующем участке.*

В результате были локализованы площади, перспективные для постановки поисковых работ на медь (см. рис. 7, А), золото (см. рис. 7, Б) и уран (см. рис. 7, В), во многом совпадающие с прогнозом предшественников, в том числе и Г. В. Бирюлькина.

В настоящее время на северо-восточном продолжении Угуйской структуры (северо-восточный борт р. Чаруода) нами выделен *Оннорох-Олонгиитский потенциальный медно-серебро-золоторудный узел* (рис. 8) с авторскими прогнозными ресурсами категории P_3. В структурно-тектоническом отношении узел приурочен к одноимённой грабеновой структуре.

Магматические процессы раннепротерозойской металлогенической эпохи зафиксированы метабазитами куранахского и гранитоидами крестяхского комплексов. Причём первым отводится рудогенерирующая роль для проявлений меди и железа, а со вторыми генетически связаны проявления торий-редкоземельно-редкометалльной минерализации в шлировых и линзовых телах кремнещелочных метасоматитов.

Во временных рамках раннепротерозойской металлогенической эпохи интенсивно проявлялись гидротермально-метасоматические процессы, вещественные производные которых составляют орогенный формационно-генетический ряд, представленный формациями: кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов → пропилитов (калиевых) → эйситов. При этом на современном эрозионном срезе наиболее масштабно представлен только высокотемпературный член ряда – формация кварц-альбит-микроклиновых метасо-

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

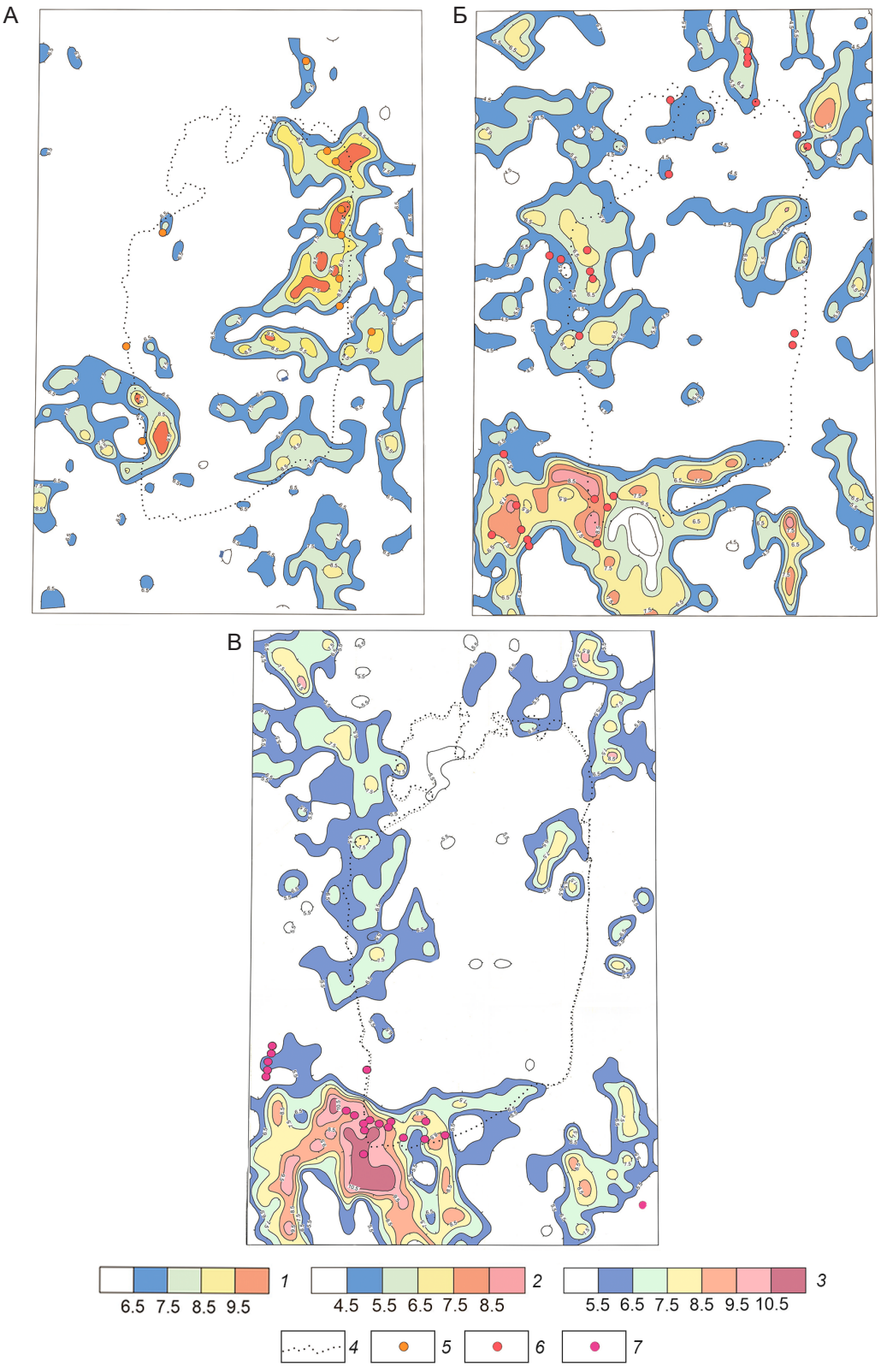


Рис. 7. Композиционная карта: А – меденосности, Б – золотоносности и В – урановосности Угуйской грабен-синклинали. *По геофизическим данным*:

1–3 – изолинии сложнопроявленных (композиционных) аномалий геофизических признаков: *1* – меденосности (А), *2* – золотоносности (Б), *3* – урановосности (В); *4* – контур Угуйской грабен-синклинали; *5–7* – известные объекты: *5* – меднорудные (А), *6* – золоторудные (Б), *5* – урановорудные (В)

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

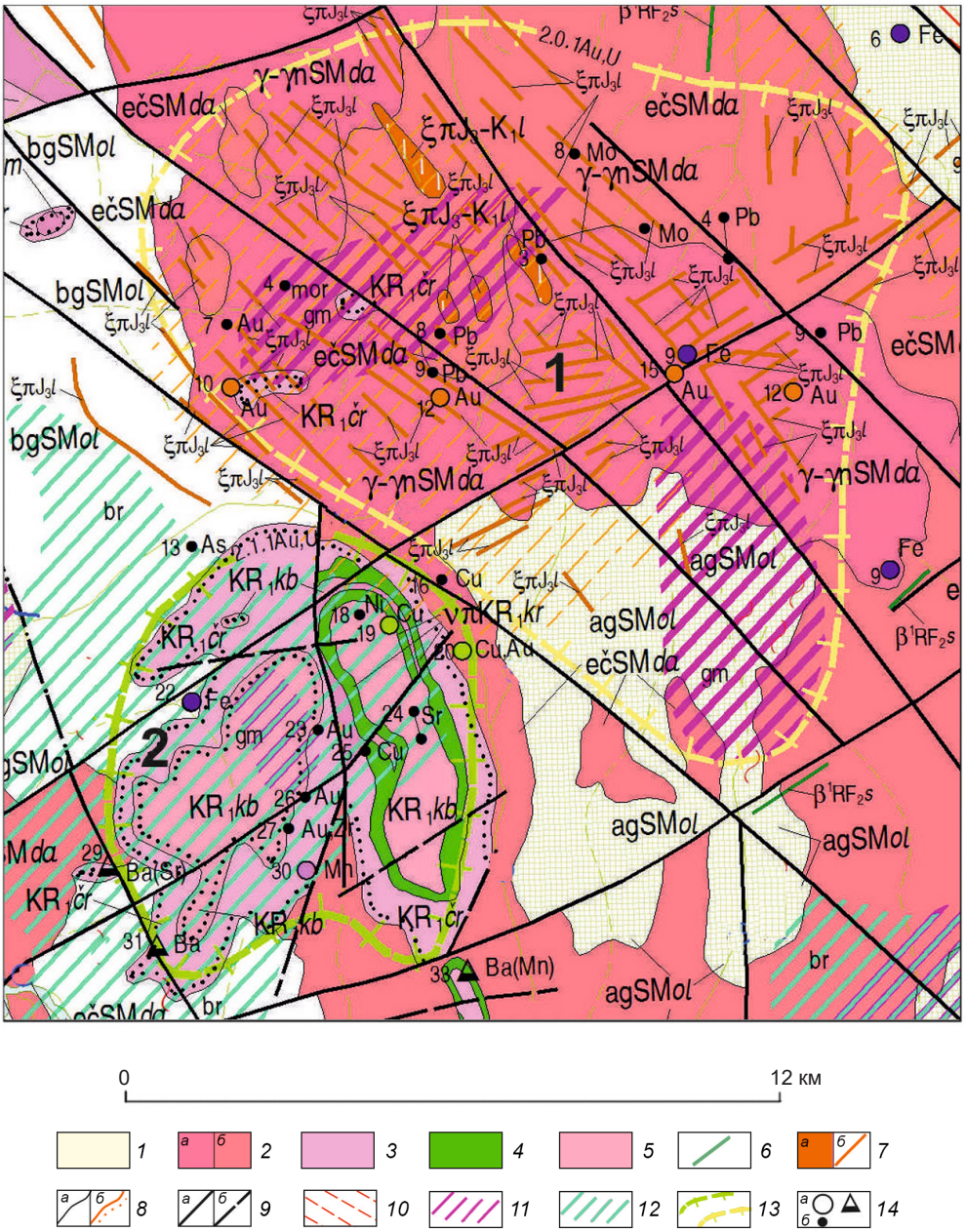


Рис. 8. Соктокутский (1) потенциальный урановo-золоторудный и Оннорох-Олонгитский (2) потенциальный медно-золоторудный узлы и особенности их геологического строения (лист O-51-XIII):

1 – олекминский комплекс амфиболит-гнейсовый метаморфический, agSM*ol*; *2* – древнеалданский комплекс мигматит-чарнокитовый: *а* – гнейсограниты, γ-γnSM*da*, *б* – эндербиты, чарнокиты, ečSM*da*; *3* – чародоканская свита: метапесчаники кварцевые, аркозовые, метаконгломераты, $KR_1čr$; *4* – куранахский гипабиссальный комплекс метатрахидолеритовый, $νπKR_1kr$; *5* – кебектинская свита: пестроцветные песчаники, алевролиты, аргиллиты, гравелиты, конгломераты, KR_1kb; *6* – сиваглинский гипабиссальный комплекс долеритовый, $βRF_2s$; *7* – лебединский плутонический комплекс монцонит-сиенит-гранитовый, $ξπ J_3–K_1l$; *8* – геологические границы: *а* – стратиграфически согласные и *б* – стратиграфически несогласные; *9* – разрывные нарушения: *а* – достоверные и *б* – предполагаемые; *10* – милониты; *11* – ореолы гумбеитизации, gm; *12* – ореолы березитизации, br; *13* – рудные узлы: 1 – Соктокутский потенциальный урановo-золоторудный, 2 – Оннорох-Олонгитский потенциальный медно-золоторудный; *14* – рудные объекты: *а* – рудопроявления и *б* – пункты минерализации

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

матитов, в геохимическом и металлогеническом отношении специализированная на радиоактивные и редкоземельные металлы.

Металлогеническая специализация рассматриваемой эпохи определяется: прежде всего, месторождениями и рудопроявлениями меди, пространственно тяготеющими к разрезу раннепротерозойских отложений Угуйской грабен-синклинали, проявлениями радиоактивно-редкоземельно-редкометалльной минерализации; точечными аномально высокими содержаниями элементов платиновой группы в отложениях ханинской свиты олдонгсинского грабена.

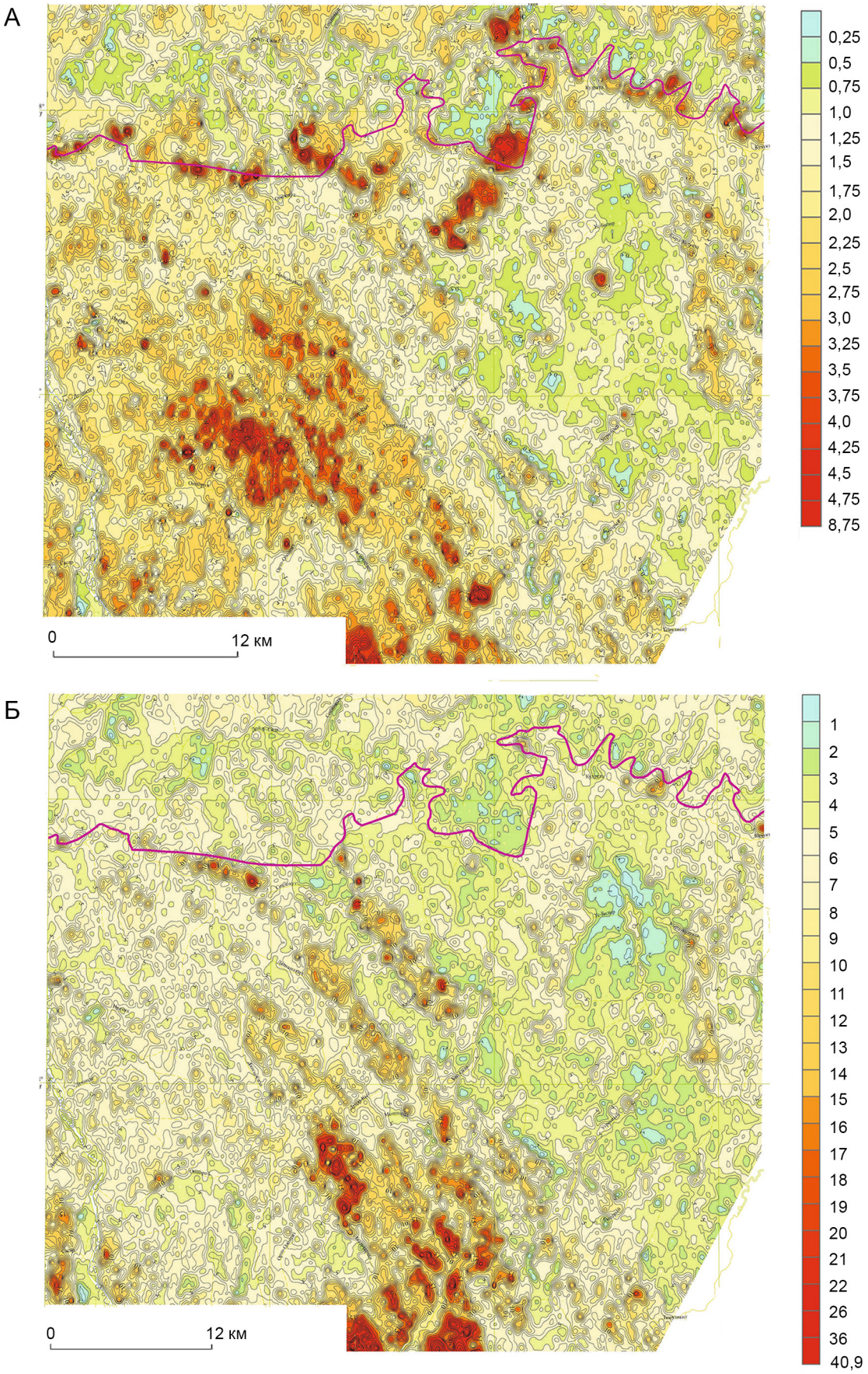
Рифейская металлогеническая эпоха соответствует платформенному этапу развития Чаро-Олекминского блока. По его северному флангу с резким структурно-стратиграфическим несогласием (ССН) на дорифейских метаморфических и плутоно-магматических комплексах, а также зонах региональных разрывных нарушений залегают неметаморфизованные, красноцветные толщи терригенно-осадочных пород рифейского возраста, в составе ималыкской, токкинской и торгинской свит, а также карбонатных отложений усть-юдомской свиты венд-кембрийского возраста, относимых к плитному комплексу Сибирской платформы. При этом на карте аномального магнитного поля Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000 [9] видно, что линейные региональные тектонические структуры, в том числе потенциально рудоносные, показанные на комплекте Госгеокарт листа О-51 [7] и карте закономерностей размещения и прогноза месторождений полезных ископаемых листа О-51-XIII в пределах Чаро-Олекминского блока, прослеживаются в меридиональном направлении далеко под плитным комплексом. По сути, севернее границы зоны ССН, картируемой по северному флангу Чаро-Олекминского блока Алданского щита, терригенными отложениями плитного комплекса Сибирской платформы перекрыты региональные потенциально рудоносные структуры, в той или иной степени специализированные на халькофильно-благороднометалльные и радиоактивные элементы. В металлогеническом плане данная ситуация аналогична зоне предрифейского структурно-стратиграфического несогласия впадины Атабаска Канадского щита, к которой в пространственной и генетической связи приурочены многочисленные крупные и уникальные по запасам месторождения урана (Мак-Артур, Сигар-Лейк, Ки-Лейк, Кри-Лейки др.) и сопутствующих ему элементов, в том числе никеля, меди, кобальта и др. [12, 14]. Исходя из вышеизложенного, в зоне предрифейского ССН имеется вероятность выявления комплексных месторождений «типа несогласия» канадского подтипа[5] [12]. Следует отметить, что ранее, при создании комплекта Госгеолкарт листа О-50 [2, 3, 6], была выделена Атбастах-Торгойская урановорудная зона, перспективная на обнаружение урановых месторождений. Вблизи данной структуры известны проявления радиоактивной минерализации, древние (предрифейские) метаморфизованные коры выветривания (реголиты), а также низкотемпературные гидротермально-метасоматические образования уровня аргиллизитов, гидрослюдистых березитов и гумбеитов.

Кроме того, в поле развития рифейских отложений, по северному флангу щита, давно известны ареалы щелочных магматических массивов мезозойского возраста, в геохимическом и металлогеническом отношении специализированных на уран и золото, что будет отмечено ниже. С данными массивами на рассматриваемой территории ожидается выявление месторождений золота и урана «мурунского» типа, сформированных на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации. Также *собственно в зоне структурно-стратиграфического несогласия предрифейского возраста не исключается выявление месторождений урана и золота мезозойского возраста.*

По результатам АГСМ-съёмки масштаба 1 : 50 000, выполненной в 2025 г. сотрудниками Норильского филиала ФГБУ «Институт Карпинского» в северной части листа О-51-XIII, зона предрифейского ССН трассируется аномально высокими содержаниями калия, урана и тория (рис. 9, А, Б, В). Следует отметить, что аномально высокие значения калия (см. рис. 9, А), имеющие округлую или изометричную форму, на дневной поверхности соответствуют массивам щелочных пород, сформированным на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации. Аномальные и повышенные же значения урана и тория в

[5] В настоящее время на территории Российской Федерации достоверно известно лишь одно месторождение урана, относимое к «типу несогласия» – Карху, расположенное в пределах Балтийского щита, на восточном берегу Ладожского озера.

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026



© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

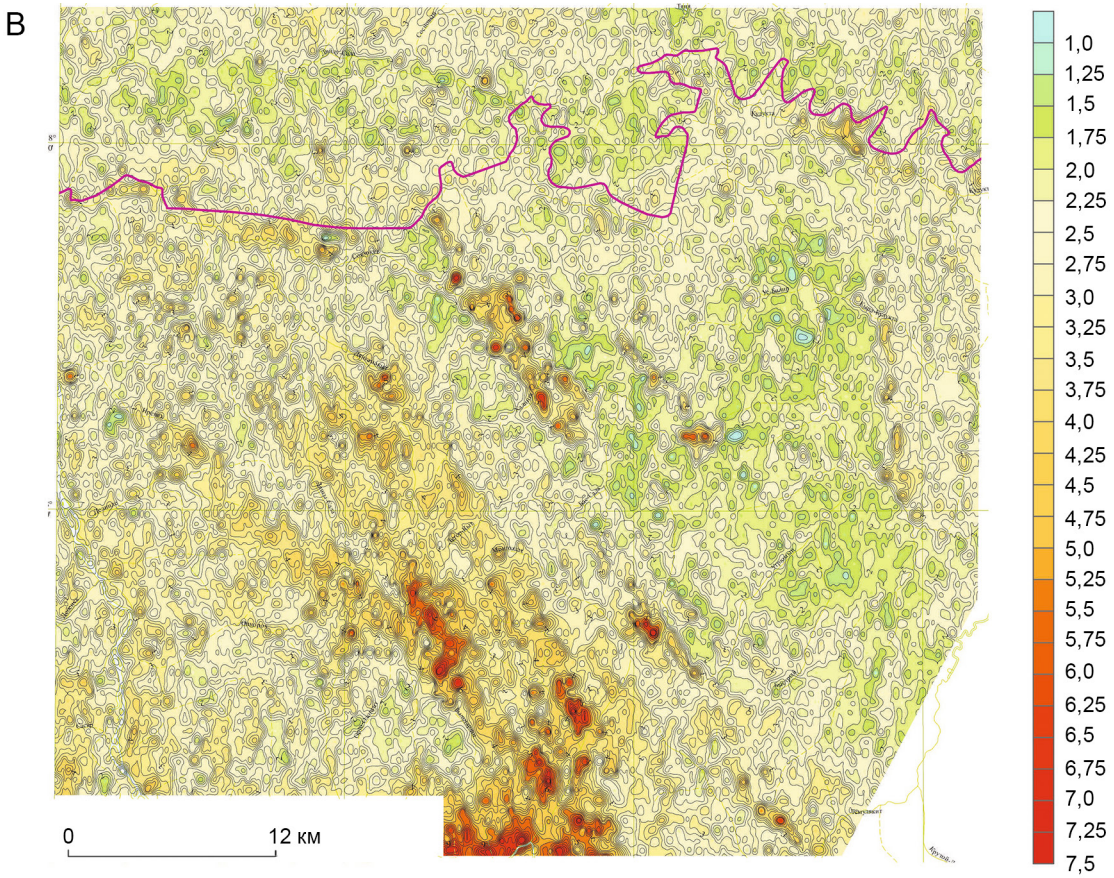


Рис. 9. Карта содержаний: А – калия, Б – тория и В – урана на северной части листа О-51-XIII. *По данным АГСМ-съёмки НФ ФГБУ «Институт Карпинского», значения приведены в условных единицах*:
границы зоны структурно-стратиграфического несогласия показаны красной линией

меньшей степени связаны с положением массивов щелочных пород, а больше собственно с зоной ССН (см. рис. 9, Б, В), что, по мнению авторов статьи, указывает на проявление рудоформирующих, рудопреобразующих процессов собственно в зоне предрифейского ССН.

Из приведённых карт также видна отчётливая специализация региональных разрывных нарушений северо-западного простирания на радиоактивные элементы

Мезозойская металлогеническая эпоха определяет металлогенический профиль Алданского щита в целом (золото, уран, редкие и редкоземельные металлы, платиноиды, уголь и др.) и характеризуемого блока в частности. Основными рудоформирующими процессами эпохи выступают магматизм, гидротермально-метасоматическая деятельность, тектоника, осадконакопление.

В пределах восточной части Чаро-Олекминского блока, во временных рамках рассматриваемой металлогенической эпохи, происходило подновление древних региональных зон разрывных нарушений, характеризующихся северо-западным и близмеридиональным простиранием, заложение новых зон разломов, включая мощные зоны трещиноватости, дробления и рассланцевания. Формировались горстовые поднятия (Соктокутский, Мурунский), характеризующиеся проявленностью на их площадях многочисленных магматических тел (дайки, малые тела близизометричной или вытянутой формы). По составу и структурно-текстурным особенностям магматиты представлены сиенитами, сиенит-порфирами, эгириновыми гранo-сиенит-порфирами, сельвсбергитами, бостонитами, вогезитами, нордмаркитами, шонкинитами и др. На фоне развития собственно магмати-

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

ческих процессов и в генетической связи с ними, широко и с высокой степенью проработки исходного субстрата, проявлялись гидротермально-метасоматические процессы, вещественно зафиксированные в виде фенитов, пропилитов, гумбеитов и березитов. Как правило, магматические тела и гидротермально-метасоматические образования рассматриваемой эпохи приурочены к «ослабленным» зонам земной коры (зоны трещиноватости, рассланцевания, катаклаза, милонитизации и др.), формируя так называемые тектоно-метасоматические или тектоно-флюидитные зоны [12]. При этом в ареалах развития гумбеитов и березитов располагаются месторождения и рудопроявления золота, урана, молибдена, полиметаллов, меди, а также многочисленные радиометрические аномалии урановой, ториевой и смешанной уран-ториевой природы радиоактивности.

В пределах мурунского поднятия, сложенного одноимённым щелочным массивом (листы O-50-XVII, O-50-XVIII), известны урановорудные месторождения Иннокентьевское, Серединское [10], а также множество рудопроявлений, относимых к (ториево)-урановорудной формации в слюдисто-карбонатных метасоматитах зон дробления щелочных пород[6]. Сиенитоиды характеризуются повышенным средним содержанием урана (4,4 г/т) при умеренно дифференцированном его распределении (коэффициент вариации – 53 %) и низком торий-урановом отношении (2,8). Также, как в пределах собственно массива, так и в терригенных, терригенно-карбонатных отложениях плитного комплекса известны рудопроявления и пункты минерализации золота и урана в ореолах развития низкотемпературных метасоматитов. По данным Т. В. Билибиной, процесс гидротермального рудообразования здесь завершился отложением минералов пострудной кварц-флюорит-барит-кальцитовой минерализации.

По сути, при подходящих условиях урановая и золотая минерализация могла сформировать промышленно значимые рудные тела и собственно в зоне предрифейского ССН как благоприятной, с точки зрения наличия здесь гидродинамического и геохимического барьера, для рудоотложения. В связи с этим возникает необходимость проведения по северному флангу Чаро-Олекминского блока Алданского щита специализированных на уран и золото работ[7] вблизи зоны предрифейского ССН. На перспективность данной зоны ССН указывают и материалы АГСМ-съёмки северного фланга листа O-51-XIII (см. рис. 9).

На данном листе также имеется структура – Соктокутский горст, – схожая по особенностям геологического развития с Эльконским, Амгинским горстами (Алдано-Тимптонский блок) и Мурунским поднятием (Чаро-Олекминский блок), в пределах которых известны месторождения урана и золота, в том числе крупные и уникальные по запасам (Эльконский горст) [2, 3, 5, 6]. Предполагается, что и Соктокутский горст перспективен на выявления подобных месторождений, поскольку в его пределах проявлены прогнозные критерии золотого и уранового оруденения – магматические, гидротермально-метасоматические, геохимические, тектонические, металлогенические. На основании чего авторы статьи выделяют *Соктокутский потенциальный золото-урановорудный узел* с авторскими прогнозными ресурсами золота и урана категории P_3 (см. рис. 8). Исходя из особенностей геологического строения, истории развития рудоносных тектонических структур, проявленности рудоподготавливающих (метаморфизм, магматизм) и рудоформирующих (гидротермально-метасоматические образования) процессов, тектоники, геохимии, за *рудоносный аналог Соктокутского потенциального золото-урановорудного узла* принимается Эльконский золото-урановорудный узел.

В геологическом строении Соктокутского горста участвуют породы кристаллического фундамента, прорванные разнонаправленными дайками и штоками позднеюрских сиенит-порфиров, создающих структуру «битой тарелки». Также здесь масштабно проявлена дизъюнктивная тектоника, вещественно зафиксированная разрывными нарушениями диагональной, в меньшей степени ортогональной ориентировки, характеризующимися взбросо-сдвиговой кинематикой.

В пределах горста масштабно и с высокой степенью проработки субстрата проявились низкотемпературные гидротермально-метасоматические процессы, вещественно зафиксированные ореолами гумбеитов (адуляр-кварц-карбонат-сульфидных метасоматитов), что подтверждается и материалами АГСМ-съёмки, так как в пределах

[6] «Мурунский» тип уранового оруденения.

[7] Геолого-минерагеническое картирование масштаба 1 : 50 000.

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

горста зафиксирована обширная площадная калиевая аномалия с четырёхкратным превышением фоновых значений. Также здесь имеются аномалии ториевой и урановой природы, но менее интенсивные и более локальные.

Рудоносные разрывные нарушения в пределах горста фиксируются, помимо проявлений процессов гумбеитизации и дайками щелочных пород мезозойского возраста, также зонами брекчирования, цементом которых служит жильный чёрный кварц – морион (рис. 10), с ярко выраженной кристаллографической индивидуальностью.

Рудоформирующие процессы мезозойской металлогенической эпохи в пределах восточной части Чаро-Олекминского блока также широко проявлены в Угуйской и Олдонгсинской грабен-синклиналях, где закартированы обширные ореолы гумбеитов и березитов. В пределах ореолов располагаются месторождения золота, урана, рудопроявления и пункты минерализации меди, молибдена и серебра.

Так, в пределах Угуйской грабен-синклинали и её ближайшего обрамления ореолы развития гумбеитов и березитов в структурном отношении тяготеют к Токкинской, Кондинской и Чаруодинской зонам разрывных нарушений, обрамляющим соответственно с запада, юга и востока грабен-синклиналь. В ореоле гумбеитизации на юго-западном фланге Угуйской грабен-синклинали имеется рудопроявление урана Светлое, выявленное в 1980-х гг. геологами Приленской экспедиции. В ореолах гумбеитизации Токкинской и Кондинской тектоно-метасоматических зон расположены месторождения золота – Гросс, Таборное, Токкинское.

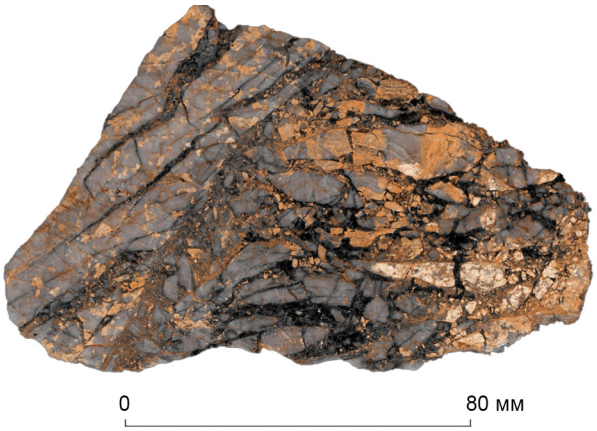


Рис. 10. Тектоническая брекчия региональных зон разломов северо-западного простирания, Соктокутский горст. Цемент представлен новообразованиями мориона

Рудоносные зоны брекчирования имеют протяжённость до 30 км при ширине до одного километра, характеризуются высокими средними содержаниями урана – 39,7 г/т, резкой его дифференциацией (коэффициент вариации 160 %) и низким (1,2) торий-урановым отношением. Данные зоны рассматриваются нами как зоны интенсивного перераспределения и привноса, помимо золота, также и урана. При этом уверенным привносом урана характеризуется процесс гумбеитизации. Рудоносные зоны гумбеитизации закартированы нами в западной и юго-западной частях Угуйской и центральной части Олдонгсинской грабен-синклиналей. В пределах последней структуры с гумбеитами связаны урановорудные объекты – месторождение Дюринг-Юрях и множество рудопроявлений. Не исключена возможность выявления в пределах Олдонгсинской грабен-синклинали месторождений золота в связи с гумбеитами по черносланцевым толщам ханинской свиты.

Для определения количественных показателей щёлочно-кислотных параметров гумбеитов Угуйской грабен-синклинали нами ранее был использован метод А. Л. Маракушева [10], на основе которого установлено *наличие собственно щелочной и субкислотной фациальных разновидностей гумбеитов*, развитых в данной структуре. К первой из них принадлежат практически бескварцевые, а ко второй – кварцсодержащие их разновидности. Установлено, что *по мере усиления кислотного параметра* в гумбеитах Угуйской структуры происходит *увеличение, вплоть до рудных концентраций, содержания золота.*

Кроме того, установлено, что явной тенденцией к накоплению в процессе гумбеитизации обладают: золото, уран, серебро, кобальт, висмут, мышьяк, свинец, молибден, медь. При этом *месторождения золота, урана, серебра, сформированные в мезозойскую металлогеническую эпоху, следует ожидать в трёх структурно-тектонических обстановках: в зонах древних ССН предрифейского и предраннепротерозойского возраста; в толще углеродсодержащих терригенных пород ханинской свиты Олдонгсинской и Угуйской грабен-синклиналей; в пределах горстовых структур, в частности Соктокутского горста и Му-*

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

рунского поднятия, отчётливо фиксируемых в АГСМ-полях, прежде всего, по аномальным содержаниям калия, а также урана и тория.

Возвращаясь к композиционной карте золотоносности (см. рис. 7, Б) следует подчеркнуть, что, когда проводились работы по её созданию (1980–1990-е гг.), ещё не было известно о месторождениях золота Гросс, Таборное, Токкинское, а имелись только рудопроявления и аномалии. Однако на композиционной карте золотоносности Угуйской грабен-синклинали (см. рис. 7, Б) обозначились сложнопроявленные (композиционные) аномалии геофизических признаков золотоносности в районах указанных месторождений. В то же время *восточнее месторождения Гросс имеется композиционная аномалия золотоносности (лист О-51-XIX), по интенсивности близкая к аномалиям месторождений Гросс, Таборное и Токкинское, требующая проведения поисковых работ на рудное золото типа месторождения Гросс.* Причём ранее уже предлагалось проведение здесь крупномасштабных работ [4], в пределах Кондинского потенциального золоторудного узла, восточнее месторождения Гросс.

Заслуживает внимания и композиционная карта урановосности Угуйской грабен-синклинали, поскольку на её юго-западном фланге, в узле пересечения Кондинской и Токкинской зон разрывных нарушений имеется обширная, достаточно интенсивная композиционная аномалия урана (по типу рудопроявления Светлое).

Таким образом, представленные материалы указывают на необходимость проведения в пределах восточной части Чаро-Олекминского блока Алданского щита специализированных работ – геолого-минерагеническое картирование, прогнозно-поисковые работы масштаба 1 : 50 000 в целях локализации площадей под поиски месторождений золота, урана, меди, молибдена, серебра. Основными рудоперспективными региональными тектоническими структурами здесь выступают: зеленокаменные пояса, зона структурно-стратиграфического несогласия предрифейского возраста, Соктокутский горст и Мурунское поднятие, а также Угуйская и Олдонгсинская грабен-синклинали, далеко не исчерпавшие к настоящему времени свой рудный потенциал благородных и стратегических металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горячев Н. А.* Рудные месторождения в истории Земли : Тектоно-металлогенический очерк. – Владивосток, 2021. – 206 с.
2. *Государственная* геологическая карта масштаба 1 : 1 000 000, листы О-(50),51. Объяснительная записка. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1998.
3. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации (новая серия). Карта полезных ископаемых. Масштаб 1 : 1 000 000, листы О-(50),51 / Миронюк Е. П., Власов В. М., Молчанов А. В., Тимашков А. Н. [и др.] – СПб. : ВСЕГЕИ, 1998.
4. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Алданская. Лист О-51-XIX (оз. Мунг-Кюель). Объяснительная записка / Кукушкин К. А., Беленко Е. В., Молчанов А. В. [и др.] – СПб. : Картфабрика ВСЕГЕИ, 2021. – 156 с.
5. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации, масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Карта закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых. Алдано-Забайкальская серия. Лист О-52 (Томмот) / Радьков А. В., Молчанов А. В., Беленко Е. В. [и др.]. – 2016. – 274 с.
6. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Карта закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых. Алдано-Забайкальская серия. Лист О-50 (Бодайбо) / Макарьев Л. Б. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007.
7. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист О-51 (Алдан). Объяснительная записка / Радьков А. В., Молчанов А. В., Беленко Е. В. [и др.] – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 365 с.
8. *Государственный* доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2023 г. / Гл. ред. Тетенькин Д. Д., Казанов О. В. – М., 2024. – 716 с.
9. *Карта* аномального магнитного поля России и прилегающих акваторий (актуализированная вер-

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

сия) Масштаб 1 : 2 500 000 / Гл. ред. Литвинова Т. П. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2024.
10. *Маракушев А. А., Фролова Т. И., Кузнецов И. Е.* [и др.] Петрография. Часть 1. – М. : Издательство МГУ, 1976. – 384 с.
11. *Машковцев Г. А., Константинов А. К., Мигута А. К., Шумилин М. В., Щеточкин В. Н.* Уран Российских недр. – М. : ВИМС, 2010. – 850 с.
12. *Молчанов А. В.* Металлогения урана Алданского и Анабарского щита : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук / Молчанов Анатолий Васильевич. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2004. – 42 с.
13. *Молчанов А. В.* Металлогения урана щитов Сибирской // Региональная геология и металлогения. – 2001. – № 13–14. – С. 118–137.
14. *Молчанов А. В., Толстов А. В.* Урановый рудогенез на щитах Сибирской платформы (в связи с прогнозированием высокорентабельных месторождений) // Южно-Якутская комплексная экспедиция: 50 лет поисков и открытий. – Нерюнгри : 2001. – С. 130–137.
15. *Пуринг В. В., Молчанов А. В.* Геолого-геофизическая модель Чаро-Олекминского блока. – Тихоокеанская геология. – 1995. – Т. 14, № 3. – С. 118–120.
16. *Феоктистов В. П.* Меденосность докембрийских отложений Угуйской зоны // Геология рудных месторождений. – 1986. – № 1. – С. 65–72.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Goryachev N. A.* Rudnyye mestorozhdeniya v istorii Zemli, Tektono-metallogenicheskiy ocherk [Ore deposits in the history of the Earth, Tectonic-metallogenic essay], Vladivostok, 2021, 206 p. (In Russ.)
2. *Gosudarstvennaya* geologicheskaya karta masshtaba 1 : 1 000 000, listy O-(50),51. Ob"yasnitel'naya zapiska [State Geological Map, scale 1:1,000,000, sheets O-(50),51. Explanatory note], St. Petersburg, VSEGEI publ., 1998. (In Russ.)
3. *Gosudarstvennaya* geologicheskaya karta Rossiyskoy federatsii (novaya seriya). Karta poleznykh iskopayemykh. Masshtab 1 : 1 000 000, listy O-(50),51 [State Geological Map of the Russian Federation (new series). Map of useful minerals. Scale 1:1,000,000, sheets O-(50),51], Mironyuk Ye. P., Vlasov V. M., Molchanov A. V., Timashkov A. N. [et al.], St. Petersburg, VSEGEI publ., 1998. (In Russ.)
4. *Gosudarstvennaya* geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1 : 200 000. Izdaniye vtoroye. Seriya Aldanskaya. List O-51-XIX (oz. Mung-Kyuyel'). Ob"yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:200,000. Second edition. Aldan Series. Sheet O-51-XIX (Lake Mung-Kyuel). Explanatory Note], Kukushkin K. A., Belenko Ye. V., Molchanov A. V. [et al.], St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI publ., 2021, 156 p. (In Russ.)
5. *Gosudarstvennaya* geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii, masshtab 1:1000 000 (tret'ye pokoleniye). Karta zakonomernostey razmeshcheniya i prognoza poleznykh iskopayemykh. Aldano-Zabaykal'skaya seriya. List O-52 (Tommot) [State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1,000,000 (third generation). Map of mineral resource distribution patterns and forecasts. Aldan-Transbaikal series. Sheet O-52 (Tommot)], Rad'kov A. V., Molchanov A. V., Belenko Ye. V. [et al.], 2016, 274 p. (In Russ.)
6. *Gosudarstvennaya* geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'ye pokoleniye). Karta zakonomernostey razmeshcheniya i prognoza poleznykh iskopayemykh. Aldano-Zabaykal'skaya seriya. List O-50 (Bodaybo) [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Map of mineral resource distribution patterns and forecasts. Aldan-Transbaikal series. Sheet O-50 (Bodaibo)], Makar'yev L. B, St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI publ., 2007. (In Russ.)
7. *Gosudarstvennaya* geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'ye pokoleniye). Seriya Aldano-Zabaykal'skaya. List O-51 (Aldan). Ob"yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Aldan-Transbaikal Series. Sheet O-51 (Aldan). Explanatory Note], Rad'kov A. V., Molchanov A. V., Belenko Ye. V. [et al.], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI publ., 2015, 365 p. (In Russ.)
8. *Gosudarstvennyy* doklad o sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'yevykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2023 g. [State report on the sta-te and use of mineral resources of the Russian Federation in 2023], ed. Teten'kin D. D., Kazanov O. V., Moscow, 2024, 716 p. (In Russ.)
9. *Karta* anomal'nogo magnitnogo polya Rossii i prilegayushchikh akvatoriy (aktualizirovannaya versiya) Masshtab 1 : 2 500 000 [Map of the anomalous magnetic field of Russia and adjacent waters (updated version) Scale 1:2,500,000], ed. Litvinova T. P., St. Petersburg, VSEGEI publ., 2024 (In Russ.)

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

10. *Marakushev A. A., Frolova T. I., Kuznetsov I. Ye.* [et al.] Petrografiya. Chast' 1 [Petrography. Part 1], Moscow, MGU publ., 1976, 384 p. (In Russ.)
11. *Mashkovtsev G. A., Konstantinov A. K., Miguta A. K., Shumilin M. V., Shchetochkin V. N.* Uran Rossiyskikh nedr [Uranium of Russian Subsoil], Moscow, VIMS publ., 2010, 850 p. (In Russ.)
12. *Molchanov A. V.* Metallogeniya urana Aldanskogo i Anabarskogo shchita [Metallogeniya urana Aldanskogo i Anabarskogo shchita], St. Petersburg, VSEGEI publ., 2004, 42 p. (In Russ.)
13. *Molchanov A. V.* Metallogeniya urana shchitov Sibirskoy [Metallogeny of uranium in the Siberian shields], Regional'naya geologiya i metallogeniya, 2001, No. 13–14, pp. 118–137. (In Russ.)
14. *Molchanov A. V., Tolstov A. V.* Uranovyy rudogenez na shchitakh Sibirskoy platformy (v svyazi s prognozirovaniyem vysokorentabel'nykh mestorozhdeniy) [Uranium ore genesis on the shields of the Siberian platform (in connection with the forecasting of highly profitable deposits)], Neryungri, 2001. (In Russ.)
15. *Puring V. V., Molchanov A. V.* Geologo-geofizicheskaya model' Charo-Olekminskogo bloka [Geological and geophysical model of the Charo-Olekminsky block, Pacific Geology], Tikhookeanskaya geologiya, 1995, V. 14, No. 3, pp. 118–120. (In Russ.)
16. *Feoktistov V. P.* Medenosnost' dokembriyskikh otlozheniy Uguyskoy zony [Copper content of Precambrian deposits of the Uguy zone], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1986, No. 1, pp. 65–72. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 10.08.26; одобрена после рецензирования 10.09.26; принята к публикации 21.09.26.
The article was submited 10.08.26; approved after reviewing 10.09.26; accepted for publication 21.09.26.

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.

© А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Р. А. Леденгский, Е. А. Прохоров, О. Л. Соловьев, Д. Д. Теш, Е. И. Хорохорина, 2026
© A. V. Molchanov, E. V. Belenko, R. A. Ledengsky, E. A. Prokhorov, O. L. Soloviev, D. D. Tesh, E. I. Khorokhorina, 2026

DOI:10.47765/0869-7175-2026-10015 УДК 549.3:553.2:553.411.071
© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026

Типоморфизм и геохимические особенности золото-кварцевой минерализации рудного поля Упрямое, Западная Чукотка

Аннотация. Методами оптической, сканирующей электронной микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерным пробоотбором (ЛА-ИСП-МС) детально исследован состав и типоморфные свойства самородного золота и золотоносных сульфидов упорных руд золоторудного поля Упрямое, Западная Чукотка. Установлены три формы нахождения золота: а) золото в виде тонких и тонкодисперсных включений в пирите и арсенопирите; б) свободное золото, цементирующее обломки сульфидных минералов; в) структурно связанное «невидимое» золото в пирите и арсенопирите. «Невидимым» золотом наиболее обогащены пирит-III (до 55 г/т) и арсенопирит-II (до 204 г/т), образовавшиеся на ранней гидротермальной стадии. Выявлены различия в геохимических особенностях разных генераций сульфидов. На основании содержания Se в пирите определены температуры его кристаллизации (173–376 °С). Рассчитанный температурный диапазон образования арсенопирита составил 348–400 °С. Новые данные о макро- и микроэлементном составе сульфидов свидетельствуют о формировании золото-кварцевой минерализации из расплава смешанного генезиса в условиях средних и низких температур. Изученный характер распределения золота имеет ключевое значение в разработке комплексных схем обогащения руд.

Ключевые слова: Чукотка, орогенные месторождения, «невидимое» золото, сульфиды, LA-ICP-MS.

КАНИМБУЕ ЛЮДМИЛА САЛЕТЕ, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник[1], ludmilacanhimbue@yandex.ru

ТАРАСЕНКО АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, главный геолог[2], andtarasenk0@yandex.ru

ВАТРУШКИНА ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией[1], evat_095@mail.ru

ТЕЛЬНОВ АФАНАСИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ, младший научный сотрудник[1], afanasy.telnov@yandex.ru

[1] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ФГБУН ГИН РАН), г. Москва
[2] Акционерное общество «Росгеология», г. Магадан

Typomorphism and geochemical features of gold-quartz mineralization of the Upryamoye ore field, Western Chukotka

L. S. CANHIMBUE[1], A. A. TARASENKO[2], E. V. VATRUSHKINA[1], A. E. TELNOV[1]

[1] Geological Institute RAS Research Organization of the Russian Academy of Sciences (GIN RAS), Moscow
[2] Joint-Stock Company «Rosgeologia», Magadan

Abstract. The composition and typomorphic properties of native gold and gold-bearing sulfides of the Upryamoye gold field (Western Chukotka) were studied in detail using optical, scanning electron microscopy, electron probe microanalysis (EPMA), and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS). Gold occurs in three identified forms: a) gold in the form of fine and finely dispersed inclusions in pyrite and arsenopyrite; b) free gold cementing fragments of sulfide minerals; c) structurally bound «invisible» gold in pyrite and arsenopyrite. Pyrite-III and arsenopyrite-II, formed at the early hydrothermal stage, are the most enriched in the «invisible» gold (up to 55 ppm and 204 ppm, respectively). Distinctions in the geochemical features of different sulfide generations were revealed. Based on the Se content of pyrite, its crystallization temperatures were determined (173–376 °C). The calculated temperature range of the arsenopyrite formation was 348–400 °C. The new data on the macro- and microelement composition of the sulfides indicate the formation of gold-quartz mineralization from solutions of

mixed genesis at medium and low temperatures. The established distribution pattern of gold is of critical importance for the development of integrated ore beneficiation schemes.

Key words: Chukotka, orogenic ore deposits, "invisible" gold, sulfides, LA-ICP-MS.

Введение. Анализ современного состояния минерально-сырьевой базы золотосодержащих руд России демонстрирует стремительный рост спроса на упорные руды, в которых заключено до 30 % всех запасов [8, 9]. Такие руды характеризуются низкими содержаниями полезных компонентов, сложным вещественным составом, тонкой дисперсностью и требуют комплексной технологической схемы обогащения. Опыт разработки таких крупных золоторудных объектов, как Павлик, Наталкинское (Магаданская область), Олимпиадинское (Енисейский кряж), Нежданинское (Якутия), Майское (Чукотка), Албазинское (Хабаровский край), показал, что добыча золота из упорных руд может достигать до 15 % от общего объёма добычи золота на месторождении [1, 5, 11, 15]. В текущих условиях изучение минералого-геохимических свойств таких руд актуально как для понимания генезиса золоторудных месторождений, так и для оптимизации технологий извлечения благородных металлов.

Рудное поле Упрямое Нетпнейвеемского рудного района Чукотского металлогенического пояса выделено В. А. Жуковым и Ю. Л. Пинегиным в 1968–1969 гг. при проведении крупномасштабных поисковых работ в бассейне р. Гремучая. В результате дальнейших геолого-съёмочных, геохимических и геофизических работ, проведённых А. И. Григорьевым, И. В. Депарма, Г. Ф. Журавлевым, Ю. М. Телегиным и др., были обнаружены рудопроявления золото-кварцевой формации со свободным золотом. Предшественниками было выделено несколько стадий гидротермальных образований, среди которых наиболее рудоносными признаны средне-низкотемпературные карбонат-кварцевые жилы с содержанием золота до 164,8 г/т. Прогнозная оценка рудного поля по категории P_2 составляет 5,5 т золота [2].

В 2021–2024 гг. АО «Росгеология» в пределах рудного поля Упрямое выполнило комплекс поисковых работ, включавших проходку канав и колонковое бурение. В результате работ выявлено более десяти рудоносных зон, локализующихся в южной части рудного поля [16]. Их контроль определяется, во-первых, размещением гидротермально-метасоматических образований, во-вторых, наличием тектонически ослабленных зон. Наиболее перспективные рудоносные зоны приурочены, как правило, к зонам пересечения гидротермально-метасоматических образований с тектонически ослабленными зонами, в частности «со складчатыми» разрывными нарушениями.

По данным ранее проведённых минералогических исследований [19] выделены шесть последовательных минеральных ассоциаций, среди которых наиболее продуктивной является гидротермальная золото-пирит-арсенопиритовая с вкраплениями самородного золота. Образцы с поздней сульфидно-полиметаллической ассоциацией также характеризуются повышенными содержаниями золота, однако видимые включения в них не обнаружены. На основании данных наблюдений было сделано предположение о присутствии «невидимого» золота в сульфидах рудоносных жил.

В данной работе впервые представлены результаты исследования концентраций микропримесей в сульфидах рудного поля Упрямое методом ЛА-ИСП-МС, а также изучены формы нахождения золота в них.

Геологическая характеристика рудного поля. В минерагеническом плане рудное поле Упрямое расположено в центральной части Гремучинского золоторудного узла Нетпнейвеемского олово-вольфрамово-золоторудного района Чукотского металлогенического пояса золото-кварцевых жильных месторождений. Участок исследований находится примерно в 110 км к северо-востоку от г. Билибино, охватывает площадь 12,1 км^2, линейно вытянут в северо-восточном направлении на 3,5 км при ширине до 1,5 км. В структурном плане рудное поле приурочено к Перистой антиклинали, осложняющей строение Коневаамского синклинория Раучуанской складчатой зоны [2]. С севера и юга ограничено разрывными нарушениями близширотной ориентировки (Гремучинская система разрывных нарушений), а на западе и востоке – разломами близмеридионального и северо-восточного направления [16].

На территории рудного поля Упрямое развиты позднеюрско-раннемеловые песчаники и алевролиты, в меньшей степени туфогравелиты, туфопесчаники нетпнейвеемской и погынденской

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

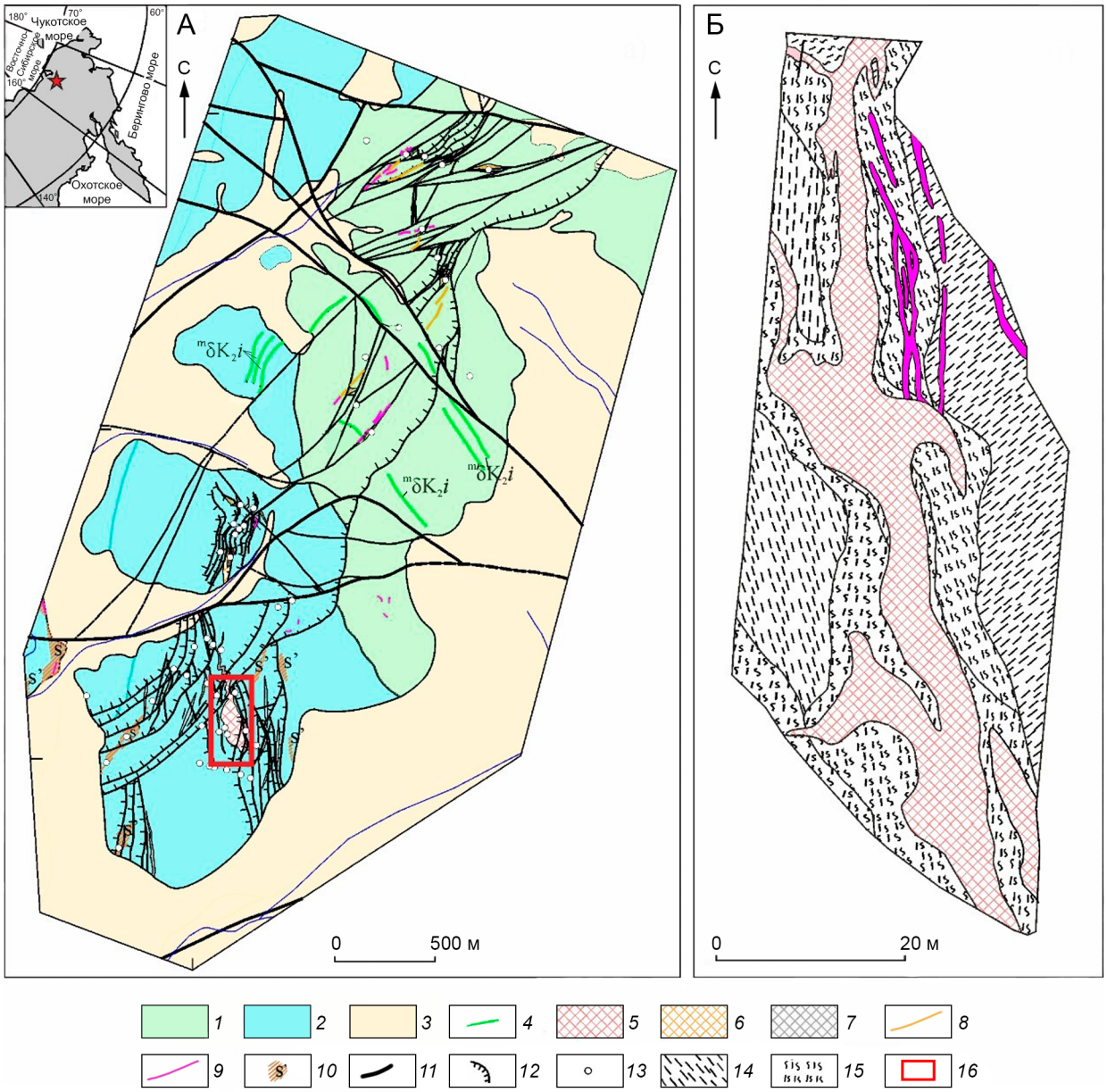


Рис. 1. Схематическая геологическая карта рудного поля Упрямое, по [2] с дополнениями (А), строение одной из рудных зон (Б):

1 – кайнозойский осадочный чехол; *2* – валанжинские терригенные отложения погынденской свиты; *3* – волжские вулканогенно-терригенные отложения нетпнейвеемской свиты; *4* – позднемеловой ичувеемский комплекс микродиоритовых даек $^{m}\delta K_2 i$; *5–7* – зоны жил: *5* – сульфидно-карбонат-кварцевых, *6* – карбонат-кварцевых, *7* – пострудных кварцевых; *8* – гидротермальные брекчии; *9* – карбонат-кварцевые жилы; *10* – зоны сульфидизации; *11* – разломы; *12* – надвиги; *13* – точки отбора образцов; *14* – сланцеватость; *15* – зоны милонитизации, *16* – участок на рис. 1, Б

свит (рис. 1). Их литологическая, геохимическая и возрастная характеристики подробно приведены в работах [3, 19]. Породы претерпели интенсивные деформации и изменены в условиях регионального метаморфизма зеленосланцевой фации. Вторичные преобразования представлены карбонатизацией, серицитизацией, каолинитизацией, сульфидизацией и окварцеванием. Осадоч-

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

ные образования прорваны единичными дайками микродиоритов позднемелового ичувеемского комплекса в центральной части рудного поля [2].

В пределах рудного поля Упрямое выявлены одиннадцать рудоносных зон, приуроченных к складчатым структурам и зонам надвигов [16]. Рудные тела, локализованные в замках и крыльях складок, представлены «седловидными» жильно-прожилковыми образованиями карбонат-кварцевого и сульфидно-карбонат-кварцевого состава. Их протяжённость достигает первых сотен метров, а мощность варьирует от 2,4 до 2,9 м. Рудные тела в зонах милонитов с интенсивно тектонизированным жильно-прожилковым гидротермальным материалом и минерализованные зоны дробления имеют протяжённость первые сотни метров, реже около одного километра, а их мощность находится в пределах от 1,7 до 7,9 м.

Строение карбонат-кварцевых образований сложное и многообразное, характеризуется развитием массивных, крустификационных, полосчатых, брекчиевых разностей. Среди жильных минералов преобладают молочно-белый кварц (до 85 %), Mg-Fe карбонаты жёлтого, нюдового цвета (магнезиосидерит, анкерит в сумме до 15 %), реже встречаются полевые шпаты и серицит. В качестве акцессориев отмечены титанистые минералы (ильменит, рутил), фосфаты (апатит, монацит), а также шеелит.

Рудная минерализация в среднем составляет 1–3 % и характеризуется прожилковыми, прожилково-вкрапленными и гнездовидными текстурами. Главные рудные минералы продуктивных гидротермальных образований представлены пиритом и арсенопиритом, второстепенными являются галенит, сфалерит, халькопирит, блёклые руды, бурнонит, пирротин (рис. 2). Самородное золото распределено крайне неравномерно, образует как самостоятельные выделения размером от 25 до 150 μm, так и тонкие и тонкодисперсные выделения в решётке арсенопирита и пирита, что позволяет отнести руды к категории упорных и труднообогатимых [7]. Гипергенная минерализация в основном представлена гидроксидами железа, в подчинённом количестве отмечаются симплезит, скородит, ковеллин, плюмбоярозит, пироморфит.

В контактовых зонах кварцевых жил и прожилков установлено развитие березитовой ассоциации метасоматитов, преимущественно по песчаникам. Степень интенсивности метасоматического изменения варьирует в диапазоне от 60 до 80 %. Среди новообразованных минералов преобладает карбонат, менее развиты серицит, мусковит, кварц, пирит и халькопирит. В контактах карбонат-кварцевых жильно-прожилковых образований наблюдаются незначительные изменения, представленные слабой сульфидизацией и серицитизацией.

Минерализация рудного поля Упрямое является типичной для орогенного типа месторождений малосульфидной золото-кварцевой формации [6, 13, 26]. В результате предыдущих работ [7, 19] выделены три этапа минералообразования, характеризующиеся различными структурно-текстурными характеристиками и минеральными парагенезисами. К метаморфогенному этапу отнесены пиритовая, халькопирит-сфалерит-пиритовая и сфалерит-халькопирит-галенит-пиритовая ассоциации, развитые в терригенных отложениях. На гидротермально-метасоматическом этапе сформировались золото-пирит-арсенопиритовая, золото-пирит-сульфосольно-арсенопиритовая и пирит-полиметаллическая ассоциации, приуроченные к внедрению карбонат-кварцевых и сульфидно-карбонат-кварцевых жил. Завершающий этап связан с образованием вторичных минералов в условиях гипергенеза. Вышеперечисленные ассоциации соответствуют семи последовательным стадиям минералообразования.

Возраст оруденения, определённый U-Th/He методом по золотосодержащему пириту, составляет 123 ± 4 млн лет [19], что свидетельствует о формировании оруденения в аптское время при смене транспрессионного режима на транстенсионный после коллизионных событий в Чукотском регионе.

Фактический материал и методы исследования. В основу исследования положен материал, собранный в период выполнения поисковых работ в рудном поле Упрямое (АО «Росгеология»). Морфологические особенности рудной минерализации изучены в 52 аншлифах методом оптической микроскопии с применением поляризационного микроскопа ПЛМ–215, оборудованного камерой и системой захвата изображений MCView. На сканирующем электронном микроскопе Phenom XL G2 (Thermo Fisher Scientific, Нидерланды), оснащённом энергодисперсионным спектрометром, проведена диагностика сульфидов и самородного золота, а также изучены внутренняя структура и взаимоотношения золотин с

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

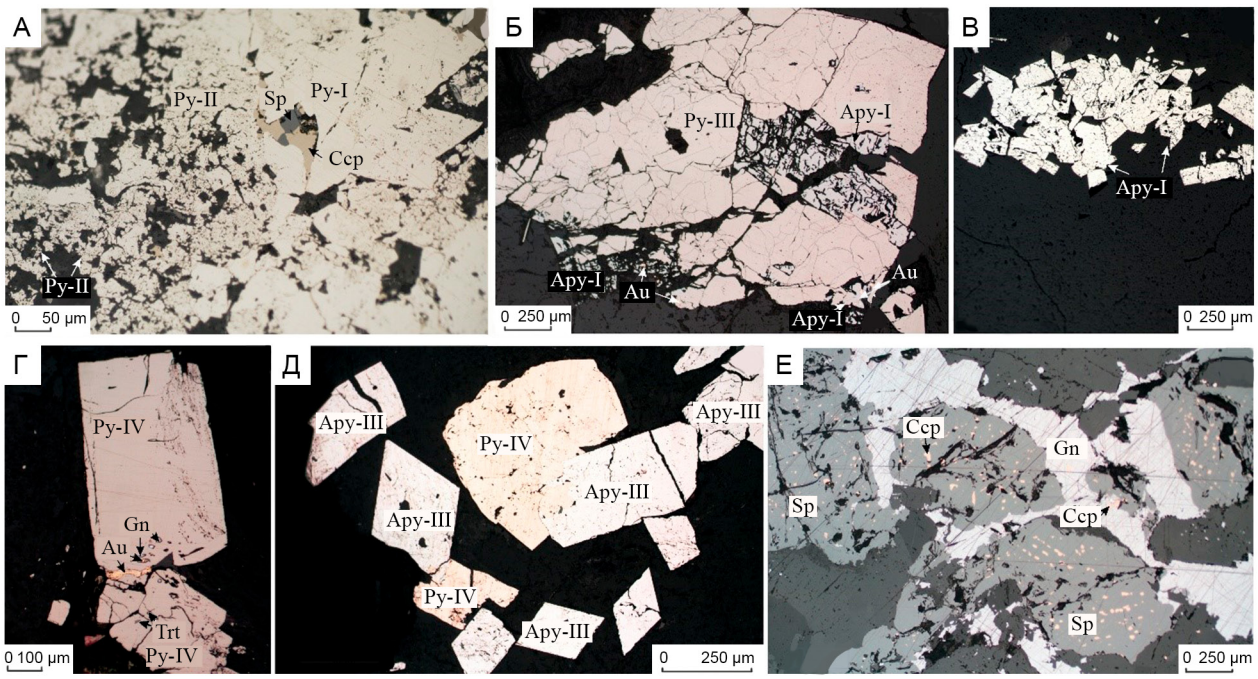


Рис. 2. Микрофотографии сульфидной минерализации рудного поля Упрямое в отражённом свете:

А – контакт метаморфического пирита-I (Py-I) с перекристаллизованным пиритом-II (Py-II); Б – катаклазированный агрегат пирита-III (Py-III) с реликтовыми включениями арсенопирита-I (Apy-I); В – агрегаты арсенопирита-II (Apy-II); Г – кристаллы пирита-IV, соединённые прожилком самородного золота (Au); Д – срастания кристаллов пирита-IV (Py-IV) с арсенопиритом-III (Apy-III); Е – срастание галенита со сфалеритом с эмульсиевидной вкрапленностью халькопирита

вмещающими минералами в обратно-рассеянных электронах. Исследования химического состава рудных минералов выполнены методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) на микроанализаторе JXA-8200 (JEOL, Япония) с пятью волнодисперсионными спектрометрами (ЦКП «ИГЕМ-аналитика»). Параметры анализа: ускоряющее напряжение – 20 кВ, ток на цилиндре Фарадея – 20 нА, диаметр пучка – 1 мкм, время экспозиции – 20 с.

Микроэлементный состав рудных минералов изучен методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерным пробоотбором (LA-ICP-MS) с помощью квадрупольного масс-спектрометра Thermo XSeries 2 (Thermo Fisher Scientific, США) с системой лазерного пробоотбора New Wave UP213 (ЦКП «ИГЕМ-аналитика»). Анализы выполнены как точечно, так и линейными профилями длиной до одного мм. Частота сканирования – 15 Гц, скорость – 5 мкм/с, энергия лазера – 5–7 Дж/см^2, диаметр лазера – 80 мкм. При анализе измерено содержание изотопов Fe^{57}, Co^{59}, Ni^{60}, Cu^{65}, Zn^{66}, Ga^{69}, Ge^{72}, As^{75}, Se^{77}, Ru^{101}, Rh^{103}, Pd^{105}, Ag^{107}, Pd^{108}, Cd^{111}, In^{115}, Sn^{118}, Sb^{121}, Te^{125}, Re^{185}, Os^{189}, Ir^{193}, Pt^{195}, Au^{197}, Hg^{202}, Tl^{205}, Pb^{208}, Bi^{209}. В качестве внутреннего стандарта для коррекции дрейфа приборных параметров использовался S^{33}, внешний калибраторный стандарт – MASS-1C (USSG) и UQAC FeS-1. Обработка данных проводилась с применением программного обеспечения IgorPro и приложения Iolite 2.5 [34].

Также проведены минералогические исследования технологических проб (ОП «ГеоТЦ» АО «Росгео»). Из материала дроблёных проб были отквартованы навески массой 300 г, которые далее подвергались анализу, включающему следующие операции: доизмельчение до класса -0,3 мм, мокрый рассев с получением гранулометрических классов -0,3+0,02 и -0,02 мм; фракционирование в тяжёлой жидкости с выделением тяжёлой

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

и лёгкой фракций; магнитная сепарация тяжёлой фракции; диагностика минералов при помощи рентгенофазового анализа, ИК-Фурье-спектрометрии и сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA, оснащённого EDS детекторами; исследование рудных минералов в монтированных аншлифах в отражённом свете. Для изучения морфологии самородного золота из гравиоконцентратов технологического цикла дополнительно были выделены сверхтяжёлые концентраты.

Результаты минералого-геохимических исследований. *Пирит* является преобладающим минералом и встречается в четырёх генерациях. Пирит-I метаморфического происхождения образует вкрапленность кубических, пентагондодекаэдрических метакристаллов в алевролитах и песчаниках размером от 1 × 1 до 5 × 5 мм. Состав пирита-I имеет весьма выдержанный характер: содержание железа и серы, по данным десяти анализов методом РСМА, изменяется в пределах 45,66–46,47 и 52,67–52,87 мас. % соответственно. Содержание As не превышает 0,2 мас. %, а суммарная концентрация типоморфных элементов-примесей Co, Ni, Cu и Sb составляет 0,1–0,3 мас. %. В результате выщелачивания и перекристаллизации пирита-I образуется пирит-II, представленный бесформенными зернистыми массами с пористым внутренним строением, который встречается в виде агрегатов, линз и прослоев до 0,3 мм, а также прожилков до 2 см в алевролитах. Для пирита-II характерен значительный дефицит в анионной и катионной части при концентрациях Fe 42,4–45,6, S 50,63–52,16 мас. %, (n = 10), что компенсируется повышенными содержаниями Cu до 2,07 мас. %. В составе пирита-IV отмечены низкие концентрации As (до 0,62 мас. %), Au (ниже 0,3 г/т), а содержания других микроэлементов, за исключением Co, Ni, и Zn, также близки к пределам обнаружения.

Ранний гидротермальный пирит-III формирует крупные катаклазированные агрегаты кубического габитуса до 0,5 × 0,5 см, а также мелкие кристаллы пентагондодекаэдрического облика, размер которых не превышает 300 μm по удлинению. Состав пирита однородный и соответствует стехиометрическому. По данным LA-ICP-MS (табл. 1), отмечаются повышенные концентрации следующих элементов (в мас. %): As – до 8,7, Co – до 0,28, Ni – до 0,31, Cu – до 0,21. Наиболее распространёнными примесями, обнаруженными в 75 % анализов, являются (в г/т): Zn – 0,25–614, Se – 19–336, Sb – 0,5–379, Pb – 1–2833, Te – 1–111, Ge – 0,02–0,29. Меньшей частотой встречаемости характеризуются Bi (1–65 г/т), Cd (0,1–0,5 г/т). Высокие концентрации и коэффициенты корреляции для пар Pb–Bi (r = 0,97), Se–Te (r = 0,95), вероятно, свидетельствуют о наличии в пирите-III микровключений минералов этих элементов.

Содержание Au находится в диапазоне от 1,6 до 55 г/т, а в зёрнах с видимым включениями самородного золота достигает 210 г/т. Наблюдается значимая положительная корреляционная связь микропримеси золота с содержаниями мышьяка (r = 0,76), что характерно для золотоносного пирита орогенных месторождений [32, 35]. Концентрация Ag меняется от 1,1 до 18 г/т при широких вариациях значения Au/Ag (0,5–17,1). Примечательно, что пирит-III является главным минералом-концентратором видимых включений самородного золота.

Пирит-IV формирует ксеноморфные зёрна размером 50–100 μm и связан с поздней полиметаллической минерализацией. Для него характерны более низкие содержания As (до 2,3 мас. %), повышенные концентрации Ni и Co (до 0,74 мас. % и 0,25 мас. % соответственно), Sb и Pb до 0,7 мас. %, Zn до 0,3 мас. %, а также умеренные содержания (в г/т): Cu – 3–261, Se – 70–247, Bi – 1–79, Cd – 1–67. Отмечаются низкие концентрации (в г/т) таких примесей, как Te – 0,12–0,56, Pd – 0,17–1,13, Tl – 0,03–0,41. Значимая корреляция отмечена для пар Bi–Ag (r = 0,98), Co–Ni (r = 0,74), Se–Te (r = 0,78), Pb–Bi (r = 0,72).

Примесь Ag достигает 39,5 г/т, Au – до 20 г/т при сильной дисперсии соотношения Au/Ag от 0,2 до 78. Содержание золота демонстрирует высокий уровень корреляционных связей с концентрациями Bi (r = 0,79), Ag (r = 0,88), Sb (r = 0,88), однако корреляция с As находится на границе значимости (r = 0,51). Несмотря на то, что самородное золото нередко выступает в качестве цементирующего минерала обломков пирита-IV, наличие включений золота в зёрнах не установлено.

Арсенопирит является вторым по распространённости рудным минералом и представлен тремя генерациями. Все изученные зёрна характеризуются однородным составом и не имеют зональности. Арсенопирит-I встречается в виде сильно катаклазированных, иногда реликтовых кристаллов в срастании с пиритом-III. По составу нестехиометричен, относится к сернистой разновидности

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

Табл. 1. Содержание примесных элементов в золотосодержащих арсенопиритах и пиритах рудного поля Упрямое, *по данным ЛА-ИСП-МС*

Пирит-III (*n* = 27)													
С, г/т	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi
Мин.	0,5	2,7	0,5	0,5	1854,8	19,2	1,1	0,5	0,5	0,5	1,6	0,5	0,5
Макс.	2843,7	3132,3	2191,6	614,7	87128,4	336,8	18,2	1,1	379,5	111,7	55,1	2833,0	65,7
Ср. геом.	146,2	223,8	40,7	30,2	12643,2	162,9	3,3	0,6	18,3	2,9	6,5	20,6	3,4
Пирит-IV (*n* = 16)													
С, г/т	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi
Мин.	4,4	267,3	2,1	0,1	116,0	70,0	0,02	0,03	2,0	0,1	0,1	2,1	0,1
Макс.	3367,5	7430,0	304,7	3100,3	22557,2	247,5	39,6	0,2	7162,7	0,6	19,8	10049,2	79,1
Ср. геом.	229,1	2383,8	27,5	42,7	2759,6	142,1	1,6	0,1	48,8	0,3	2,4	158,7	1,1
Арсенопирит-I (*n* = 17)													
С, г/т	Co	Ni	Cu	Zn	Ge	Se	Ag	Sb	Te	Au	Tl	Pb	Bi
Мин.	1,4	13,8	48,8	10,0	0,1	246,2	3,5	230,0	184,7	6,1	0,2	2,0	0,6
Макс.	4568,5	2363,0	1792,0	181,0	0,4	620,3	11,8	1083,1	1693,5	47,7	2,2	31,5	6,5
Ср. геом.	14,1	202,4	245,2	56,8	0,2	365,2	5,2	647,9	458,2	18,0	0,7	7,7	1,5
Арсенопирит-II (*n* = 23)													
С, г/т	Co	Ni	Cu	Zn	Ge	Se	Ag	Sb	Te	Au	Tl	Pb	Bi
Мин.	0,8	25,8	0,2	0,2	0,0	56,1	0,2	177,0	2,0	1,8	0,2	0,2	0,2
Макс.	582,9	2481,2	175,3	13,2	0,3	307,2	3,0	768,0	39,0	204,8	0,6	728,6	2,8
Ср. геом.	73,1	285,4	10,3	1,7	0,1	133,1	0,7	343,2	14,9	11,5	0,2	20,2	0,4
Арсенопирит-III (*n* = 5)													
С, г/т	Co	Ni	Cu	Zn	Ge	Se	Ag	Sb	Te	Au	Tl	Pb	Bi
Мин.	17,0	97,0	3,5	1,9	0,1	53,8	0,1	7,7	14,0	0,9	0,01	13,4	0,1
Макс.	41,2	964,9	25,0	418,0	0,3	236,0	1,4	129,2	20,2	1,6	1,0	2780,0	5,0
Ср. геом.	21,9	425,6	12,3	131,8	0,1	136,2	0,7	23,9	17,8	1,2	0,3	1072,5	2,2

Примечание. Содержания элементов указаны в г/т; ср. геом. – среднее геометрическое, определяется как корень *n*-й степени из произведения *n* чисел.

с отношением As/S от 0,77 до 0,89. По данным РСМА и LA-ICP-MS (*n* = 17), в арсенопирите-I повсеместно отмечаются примеси Ni (от 13 г/т до 0,2 мас. %), Co (от 1,3 г/т до 0,4 мас. %), Cu (от 48 г/т до 0,1 мас. %) и Sb (0,02–0,25 мас. %), Te (184–1693 г/т), Se (246–620 г/т). В незначительных концентрациях обнаружены Zn, Ge, Tl, Pb, Bi, Hg, Cd. Значимая положительная корреляция в арсенопирите-I установлена для пар Se–Te (*r* = 0,91), As–Ag (*r* = 0,88), Ni–Co (*r* = 0,84), Te–Bi (*r* = 0,83), Pb–Bi (*r* = 0,81), Bi–Ag (*r* = 0,76), As–Bi (*r* = 0,71). Вероятно, эти элементы входят в состав арсенопирита-I в виде микровключений галенита и теллур-висмутовых соединений. Содержание Au составляет 6–47 г/т, концентрация Ag находится в диапазоне 3–11 г/т, Au/Ag = 1,6–11,5.

Арсенопирит-II распределён неравномерно, формирует как рассеянную вкрапленность сильно трещиноватых, призматических, дипирамидальных кристаллов размером 200–500 μm, так и мономинеральные скопления до 5 см. По химическому составу арсенопирит-II нестехиометричен

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

и относится к сернистой разновидности при As/S от 0,74 до 0,86. Наблюдаются широкие вариации содержаний типоморфных элементов-примесей (n = 23): Ni (от 25 г/т до 0,73 мас. %), Co (от 4,3 г/т до 0,25 мас. %), Sb (от 177 до 767 г/т). Концентрации таких халькофильных элементов, как Cu, Zn, Pb, Te, Bi, невысокие. Установлены сильные корреляционные связи для следующих элементных пар: Se–Te (r = 0,84), Ni–Co (r = 0,97), Se–Bi (r = 0,75), Pb–Bi (r = 0,79), Bi–Ag (r = 0,72). Арсенопирит-II обеднён серебром, его содержание не превышает 2,9 г/т. Вместе с тем наблюдаются максимальные концентрации «невидимого» золота, которые достигают 204 г/т при повышенном значении Au/Ag от 11 до 148 (рис. 3). Отмечена сильная положительная корреляция содержаний золота и висмута (r = 0,8), а также селена (r = 0,76).

Арсенопирит-III образует вкрапленность дипирамидальных и короткопризматических кристаллов размером до 0,4 мм, находится в ассоциации с пиритом-IV. Для данного арсенопирита характерны повышенные содержания Pb до 0,28 мас. %, Sb до 0,16 мас. %, Zn до 418 г/т, а также умеренные содержания Ni до 964 г/т (n = 5). В сравнении с другими разновидностями арсенопирита наблюдается обеднение Co (до 19 г/т) и обогащение Cd (до 12 г/т), Bi (до 5 г/т). Как и для более ранних генераций, в арсенопирите-III отмеча-

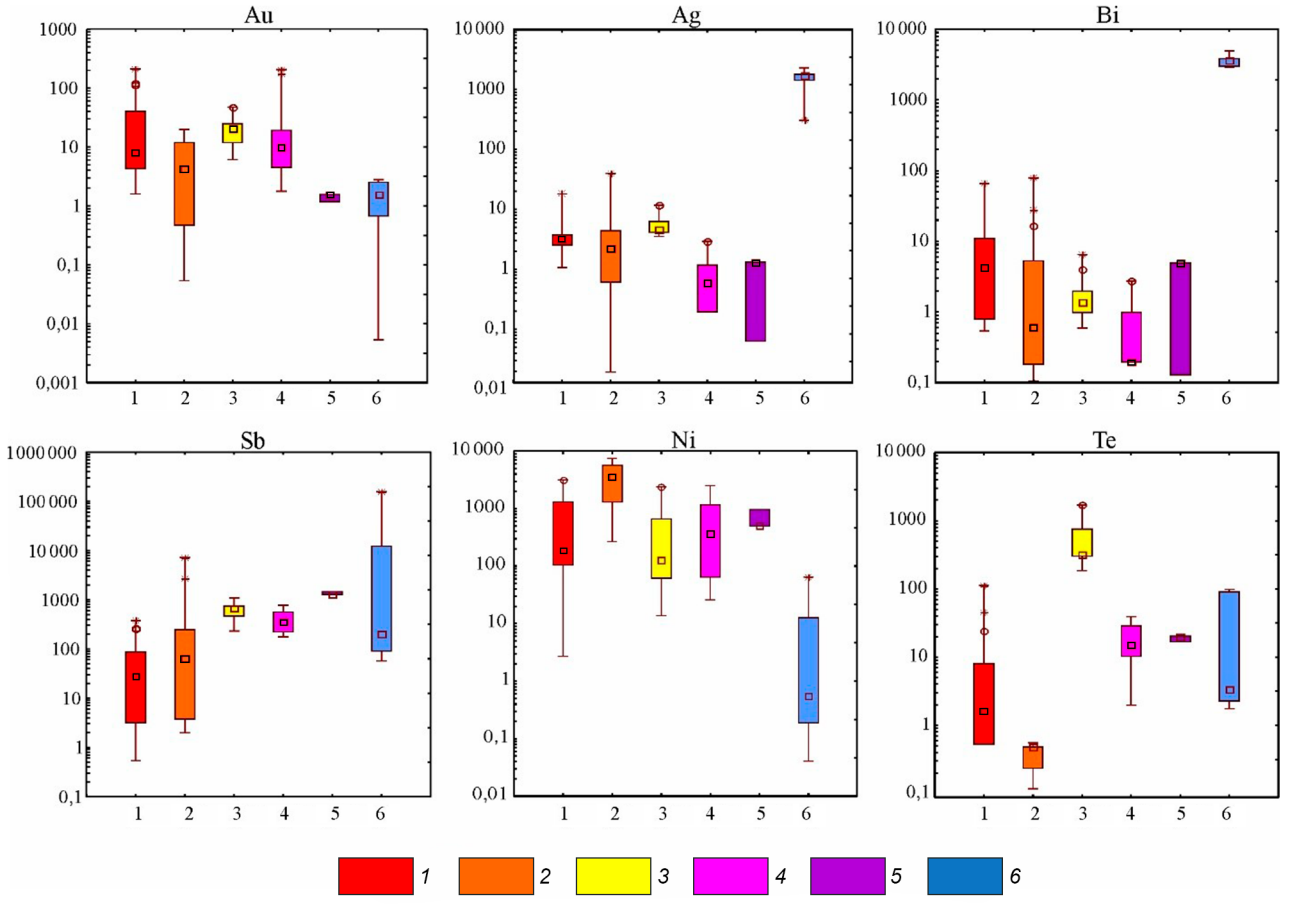


Рис. 3. Диаграммы размаха содержаний элементов-примесей в главных рудных минералах рудного поля Упрямое:

1 – пирит-III (n = 27); *2* – пирит-IV (n = 16); *3* – арсенопирит-I (n = 17); *4* – арсенопирит-II (n = 23); *5* – арсенопирит-III (n = 10); *6* – галенит (n = 10); границы «ящика» – первый и третий квартили, точка в середине «ящика» – медиана; содержания приведены в г/т

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

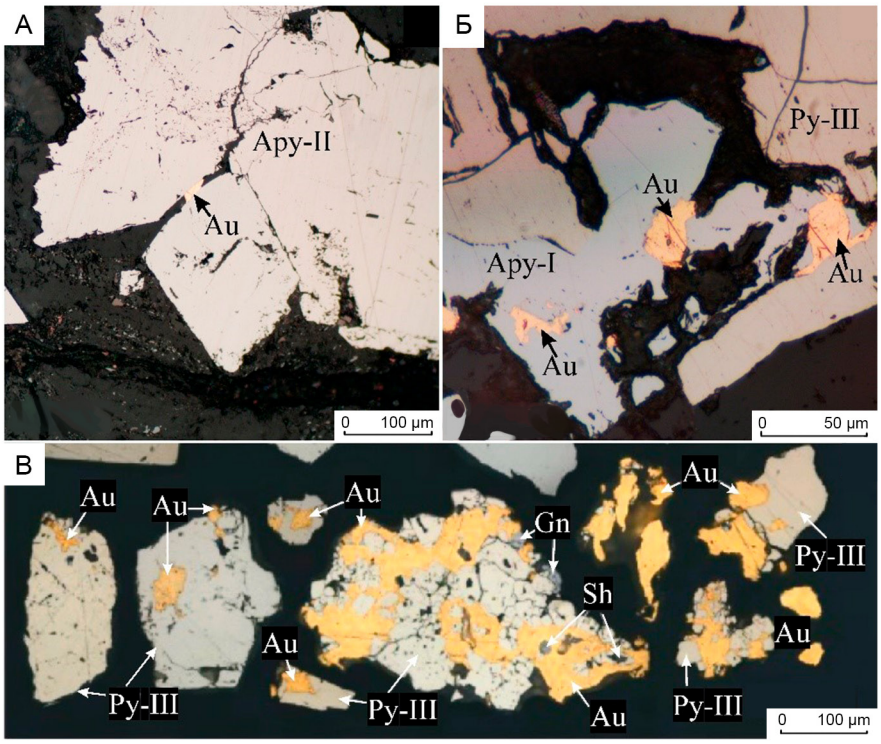


Рис. 4. Морфология выделений самородного золота:

А – мелкий прожилок золота в интерстиции между кристаллами арсенопирита-II (Apy-II); Б – выделения золота в реликтовом зерне арсенопирита-I (Apy-I) внутри пирита-III (Py-III); В – агрегаты пирита-IV (Py-IV), цементированные самородным золотом (технологическая проба)

ются высокие коэффициенты корреляции для пар Se–Te (r = 0,99), Te–Bi (r = 0,97), Bi–Ag (r = 0,97), Se–Bi (r = 0,93), Pb–Te (r = 0,89), Pb–Bi (r = 0,77). В кристаллах редко встречаются включения самородного золота, однако содержания Au и Ag не превышают 1,5 г/т.

Распределение элементов-примесей было также изучено во второстепенных минералах. Галенит формирует ксеноморфные зёрна до 500 μm и крупные агрегаты, прожилки до 2 мм. В составе галенита выявлено высокое содержание Cu (978 г/т – 2,9 мас. %), Sb (56 г/т – 2,1 мас. %), Bi (0,2–0,4 мас. %), Ag (0,03–0,2 мас. %), Cd (до 0,1 мас. %), Tl (1–7 г/т). В незначительных количествах присутствуют примеси Co, Ni, Zn, As, Sn, Te, Tl, Rh, In. Концентрация Au не превышает 2,8 г/т, при этом не наблюдаются значимые корреляционные связи с другими элементами.

Сфалерит образует крупные агрегаты, гнёзда до 2 мм. Халькопирит формирует ксеноморфные выделения до 250 μm в срастании с галенитом, а также присутствует в виде эмульсионной вкрапленности в сфалерите. Тетраэдрит развивается по периферии агрегатов сфалерита и образует ксеноморфные выделения до 200 μm. В данных минералах содержания Au и Ag находятся ниже предела обнаружения.

Самородное золото. По результатам минераграфических исследований аншлифов установлено, что самородное золото образует тонкие, пылевидные и тонкодисперсные включения округлой, каплевидной, неправильной формы и метакристаллы в пирите-III, а также в арсенопирите-I, -III (рис. 4). Размер золотин варьирует от 5 до 50 μm, редко достигает 100 μm. В редких случаях в ассоциации с самородным золотом встречаются мелкие зёрна галенита, что указывает на близкую к одновременной кристаллизацию этих минералов. Кроме этого, присутствует свободное золото, которое нередко заполняет пространство между ин-

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

тенсивно катаклазированными зёрнами сульфидов, а также цементирует обломки кристаллов пирита-IV. Пробность золота высокая и составляет 909–954 ‰, в среднем 925‰ (табл. 2). Основной примесью является серебро, концентрация которого колеблется от 4,42 до 9,23 мас. %. Содержание меди не превышает 0,14 мас. %, в единичных анализах присутствует Hg в количестве до 0,02 мас. %.

Содержание сульфидов в технологической пробе первичных руд составляет 2 %. Арсенопирит преобладает над пиритом, второстепенные минералы представлены галенитом, халькопиритом, сфалеритом, тетраэдритом, бурнонитом. В результате минералогических исследований установлено присутствие самородного золота в двух формах.

1. Крупные свободные частицы размерами от 0,1 до 0,5 мм. Форма золотин комковидная или интерстициальная с многочисленными выступами и углублениями. Поверхность в основном неровная, чешуйчатая.

2. Интерстициальные выделения в сростках с сульфидами. Размеры таких агрегатов составляют 0,1–0,3 мм, размеры отдельных выделений варьируют от 0,1 до 0,01 мм.

Золото обеих разновидностей характеризуется высокой пробностью, которая варьирует от 900 до 960 ‰ (в среднем 930 ‰).

В технологической пробе окисленных руд сульфиды и сульфосоли практически полностью окислены и замещены гидроксидами железа, арсенопирит преимущественно замещён скородитом. Самородное золото присутствует в трёх формах:

1. Тонкая вкрапленность в скородите широко распространена. Размеры микровыделений золота составляют 0,5–5 мкм, преимущественно 1–2 мкм. Золото весьма высокопробное (995–1000 ‰).

2. Свободные частицы размером от 0,05 до 0,2 мм. Форма золотин гемиидиоморфная, поверхность чистая, гладкая. Пробность 900–920 ‰.

3. Сростки с пиритом размерами 0,05–0,2 мм. Золото интерстициальное, пробность составляет 930–950 ‰.

Обсуждение результатов. *Формы нахождения золота.* Анализ структурно-текстурных свойств золото-кварцевой минерализации рудного поля

Табл. 2. Химический состав самородного золота в аншлифах, *по данным РСМА*

Образец	Матрица	Au	Ag	Cu	Hg	Сумма*
С20-117,4	Арсенопирит-III	94,34	5,59	0,07	–	100
С20-117,4	Арсенопирит-III	94,17	5,74	0,08	–	100
С20-117,4	Арсенопирит-III	94,36	5,60	0,04	–	100
К8-398	Пирит-III	94,14	5,80	0,06	–	100
К8-398	Пирит-III	94,10	5,88	0,02	–	100
К8-398	Пирит-III	90,76	9,23	0,01	–	100
К8-398	Пирит-III	91,15	8,85	0,01	–	100
К8-398	Пирит-III	91,30	8,68	–	0,02	100
К8-398	Пирит-III	91,25	8,74	0,01	–	100
К8-398	Арсенопирит-I	91,32	8,67	0,01	–	100
К8-398	Арсенопирит-I	91,34	8,63	0,03	–	100
К8-398	Арсенопирит-I	90,91	9,07	0,03	–	100
К8-398	Пирит-III	91,06	8,89	0,05	–	100
С16-2,5	Пирит-III	93,75	6,12	0,13	–	100
С16-2,5	Пирит-III	95,44	4,42	0,14	–	100
С16-2,5	Пирит-III	92,01	7,98	0,01	–	100

Примечание. Анализы нормированы к 100 мас. % из-за малого размера зёрен; прочерк – содержания ниже предела обнаружения.

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

Упрямое позволяет сделать вывод о наличии нескольких форм нахождения золота. Наиболее ранним является упорное самородное золото, образующее тонкие и тонкодисперсные включения в пирите-III и арсенопирите-I, -II. Кристаллизация данного золота происходила совместно с формированием вмещающих минералов на ранней стадии гидротермального процесса. Данный вывод согласуется с предположением об избирательном осаждении золота на сульфидах и преимущественной его концентрации в ранних сульфидных минералах [4, 12].

Свободное золото в тектонизированных гидротермальных образованиях является результатом высвобождения более раннего упорного золота. Как отмечалось ранее [20, 30, 33, 37], это объяснимо тем, что по ряду тектонических причин осуществлялись катаклаз зёрен сульфидов-концентраторов упорного золота с последующим высвобождением золотин и их переотложение гидротермальными растворами в виде свободных частиц, в интерстициях сульфидов и на границах их зёрен.

Нестехиометричный состав арсенопирита с избытком серы, а также повышенное содержание мышьяка в пирите способствует вхождению золота в их кристаллическую структуру в виде изоморфной примеси Au^{+1} [21, 24, 27, 35]. «Невидимым» золотом наиболее обогащены мышьяковистый пирит-III (до 55 г/т в зёрнах без включений и 210 г/т в зёрнах с видимым включениями самородного золота), а также арсенопирит-II (до 204 г/т). Несмотря на близкие содержания золота в этих сульфидах, более высокие средние концентрации отмечаются в первых двух генерациях арсенопирита (до 18 и 11,5 г/т соответственно). Значительное обогащение арсенопирита золотом относительно пирита также характерно для многих орогенных месторождений и отражает условия равновесности сосуществования этих минералов [20, 22, 33, 36]. Следует отметить, что известны месторождения с существенно более высокими концентрациями золота в сульфидах. Так, содержание золота в арсенопирите Наталкинского месторождения достигает 470 г/т, Майского месторождения – 1100 г/т [4, 15].

Присутствие золота в видимой и структурно связанной формах также подтверждается составом рудных минералов. На графике зависимости содержаний Au от As (рис. 5) в арсенопирите и пирите большинство фигуративных точек расположено ниже линии растворимости золота, что

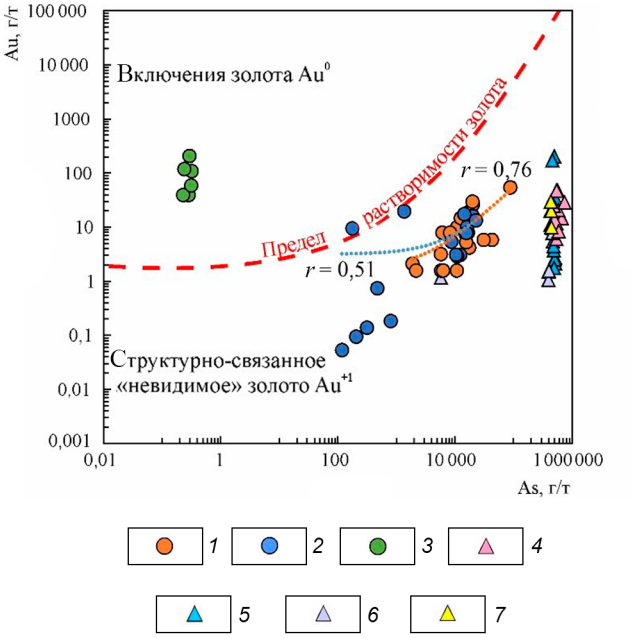


Рис. 5. Диаграмма концентраций Au–As в пирите и арсенопирите рудного поля Упрямое, *по [35]*:

1 – пирит-III; *2* – пирит-IV; *3* – пирит-III с видимым золотом; *4* – арсенопирит-I; *5* – арсенопирит-II; *6* – арсенопирит-III; *7* – арсенопирит-I с видимым золотом

свидетельствует о наличии «невидимого» золота и является характерной особенностью орогенных месторождений золота [23, 26]. Вместе с тем фигуративные точки состава золотонасыщенного пирита-III располагаются выше предела растворимости золота, в поле сульфидов с включениями золота.

Результаты изучения вещественного состава руд позволяют предложить разные технологии обогащения. Наиболее рациональной схемой обогащения для первичных руд является комбинированная гравитационно-цианистая схема с цианированием предварительно обожжённого и измельчённого гравитационного концентрата и цианированием хвостов гравитации исходной крупности. Оптимальной схемой для окисленных руд является цианистая схема с предварительной щелочной обработкой при крупности измельчения 95 % классом -0,04 мм. Описанный комплекс работ обеспечивает технологическое извлечение золота около 89 % для первичных руд и около 84 %

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

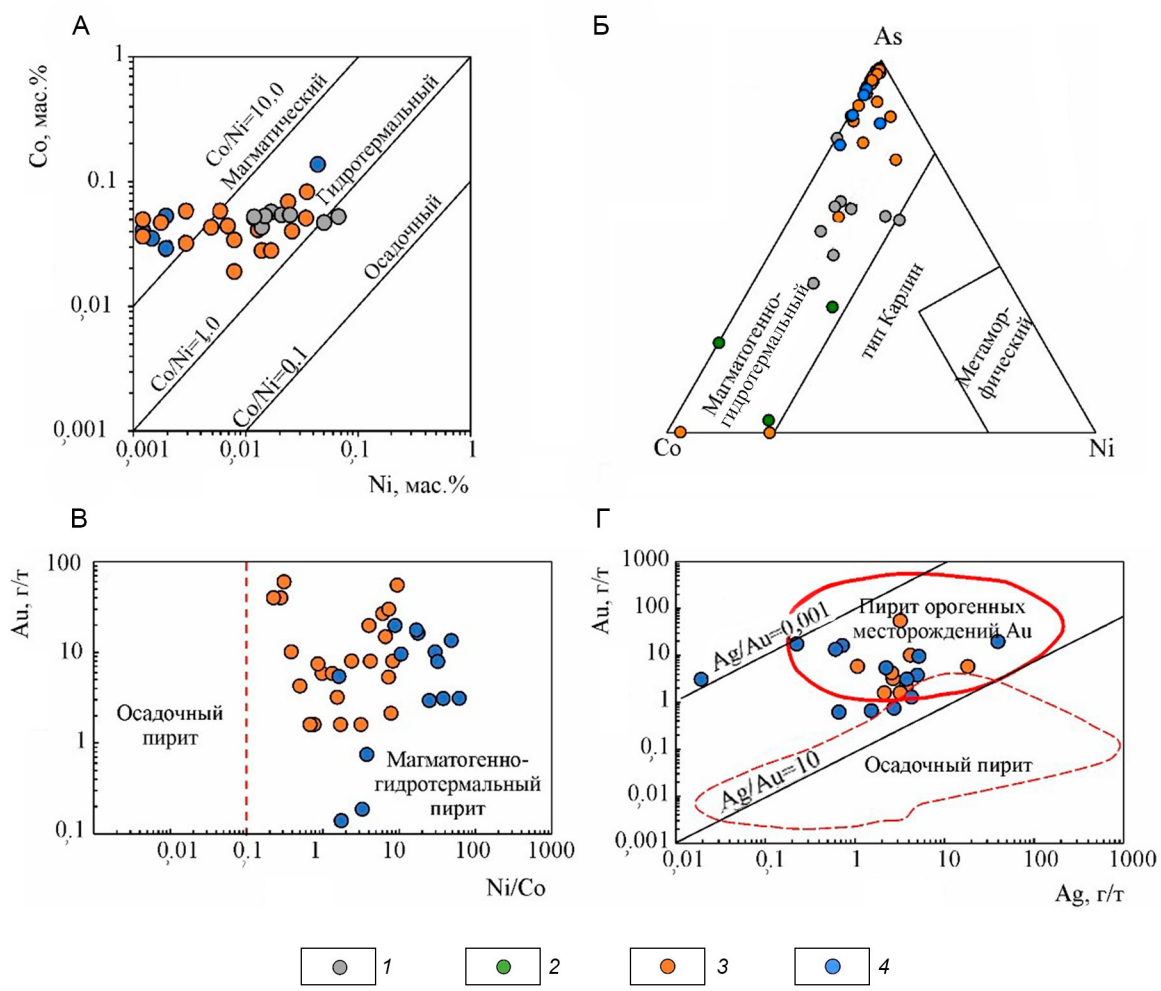


Рис. 6. Диаграммы состава пирита: А – Co–Ni, *по [18]*, **Б – As–Co–Ni,** *по [38]*, **В – Au–Ni/Co,** *по [32]*, **Г – Au–Ag,** *по [25]*:

1 – пирит-I; *2* – пирит-II; *3* – пирит-III; *4* – пирит-IV

для окисленных руд. Данные по технологическим исследованиям руд месторождений Павлик и Наталка подтверждают высокую эффективность схожих комбинированных схем, позволяющих извлечь 82–83 и 86–87 % золота соответственно [1].

Условия формирования оруденения. Золото-кварцевая минерализация рудного поля Упрямое демонстрирует сходства со многими золоторудными объектами Северо-Востока России. Однако в изученных рудах отсутствует характерная химическая зональность, а также блочность кристаллов пирита и арсенопирита, выявленная на месторождениях Нежданинское, Кючус, Олимпиадинское, Майское, Бадран и др. [4, 14, 15, 17]. Исследование сульфидов методами оптической и сканирующей электронной микроскопии позволило сделать вывод об их гомогенном строении.

Геохимические особенности пирита широко применяются для определения генезиса и условий рудообразования. Большая часть полученных нами анализов всех генераций пирита лежит в пределах значения Co/Ni = 10–0,1, значительно меньшая часть находится в диапазоне Co/Ni > 10, что позволяет предположить формирование золотоносного пирита рудного поля Упрямое в магматогенно-гидротермальных условиях (рис. 6, А). Это

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

также подтверждается содержаниями As, Co, Ni, Au в пирите согласно диаграммам [18, 25, 32, 38] (см. рис. 6). На диаграмме соотношения Ag/Au изученный пирит попадает в поле пиритов орогенных золоторудных месторождений (см. рис. 6, Г). Ранее изученный изотопный состав осмия золотоносного пирита позволил предположить участие в рудообразовании главным образом источников из субконтинентальной литосферной мантии и в меньшей мере – коровых резервуаров [19].

Различия в составе разных генераций пирита и арсенопирита указывают на их кристаллизацию при изменяющихся физико-химических параметрах и составе гидротермальных растворов [10, 32]. Вариации содержаний селена в пирите обычно связывают с изменением температуры флюида. На основании содержания Se по геотермометру [28] нами оценены температуры образования золотосодержащего пирита рудного поля Упрямое. Для пирита-III получен широкий диапазон температуры кристаллизации от 173 до 376 °С (среднее 238 °С), для пирита-IV – 222–287 °С при среднем значении 224 °С.

Оценка температур кристаллизации арсенопирита, проведённая по геотермометру [29], также показала узкий температурный интервал. По результатам измерений арсенопирит-I кристаллизовался при 390–400 °С, арсенопирит-II – 348–355 °С, арсенопирит-III – 364–379 °С. Сопоставление полученных данных по составу и температурам образования указывает на то, что образование разных генераций сульфидных минералов может быть следствием многоимпульсного внедрения рудоносного флюида. Результаты наших исследований свидетельствуют о формировании минерализации рудного поля Упрямое в средне-низкотемпературных условиях, что подтверждает данные предшественников [2].

Заключение. В результате исследований золоторудной минерализации рудного поля Упрямое методами РСМА и LA-ICP-MS получены новые данные о генезисе и технологических свойствах руд. Сравнение состава рудных минералов выявило ряд различий в геохимических свойствах разных генераций пирита и арсенопирита. Установленные особенности распределения элементов-примесей в сульфидах рудного поля Упрямое обусловлены эволюцией рудообразующего флюида и многоимпульсным внедрением, что подчёркивает многостадийный характер рудогенеза. Оценка температур кристаллизации пирита и арсенопирита подтверждает формирование рудоносных жил в средне-низкотемпературных условиях, типичных для мезотермальных золото-кварцевых месторождений в терригенных толщах. Микроэлементный состав пирита свидетельствует о смешанном магматогенно-гидротермальном источнике рудного вещества.

В рудах рудного поля Упрямое установлены три формы нахождения золота: а) ранее золото в виде тонких включений в пирите и арсенопирите; б) позднее свободное золото, цементирующее обломки сульфидных минералов; в) структурно связанное «невидимое» золото в пирите и арсенопирите. Основными концентраторами «невидимого» золота являются пирит-III и арсенопирит-II, образованные на ранней гидротермальной стадии рудогенеза. Выявленный характер распределения золота имеет большое значение в разработке комплексных схем обогащения руд.

Работа выполнена в рамках государственного задания ГИН РАН по теме №FMMG-2024-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристов В. В., Григорьева А. В, Савчук Ю. С., Сидорова Н. В., Сидоров В. А.* Формы нахождения золота и некоторые типоморфные характеристики самородного золота орогенного месторождения Павлик (Магаданская область) // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 63, № 1. – С. 3–39. – DOI: 10.31857/S0016777021010020.
2. *Баранов М. А., Журавлев Г. Ф., Казьмин С. С., Малахов В. А., Шебеста Я. А.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Анюйско-Чаунская, лист R-59-XXXI, XXXII. Объяснительная записка. – М.–СПб. : Министерство природных ресурсов РФ; ВСЕГЕИ; Чукотприродресурсы; ЗАО Чаунское ГГП, 2000. – 103 с.
3. *Ватрушкина Е. В., Тучкова М. И.* Литология верхнеюрско-нижнемеловых отложений восточной ча-

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

сти Мырговаамской и Раучуанской впадин, Западная Чукотка // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2020. – Т. 65, № 4. – С. 717–739.
4. *Волков А. В., Генкин А. Д., Гончаров В. И.* О формах нахождения золота в рудах месторождений Наталкинское и Майское (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология. – 2006. – Т. 25, № 6. – С. 18–29.
5. *Волков А. В., Сидоров А. А.* Невидимое золото // Вестник РАН. – 2017. – Т. 87, № 1. – С. 40–49. – DOI: 10.7868/S0869587317010121.
6. *Горячев Н. А., Викентьева О. В., Бортников Н. С., Прокофьев В. Ю., Алпатов В. А., Голуб В. В.* Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50, № 5. – С. 414–444.
7. *Канимбуе Л. С., Ватрушкина Е. В.* Стадийность минералообразования в золоторудном поле Упрямое (Западная Чукотка) // Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : Сборник тезисов докладов XIV Международной научно-практической конференции, Москва, 15–18 апреля 2025 г. – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2025. – С. 182–184.
8. *Комогорцев Б. В., Вареничев А. А.* Проблемы переработки бедных и упорных золотосодержащих руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 2. – С. 204–218.
9. *Кудрин М. В., Фридовский В. Ю., Полуфунтикова Л. И., Кряжев С. Г., Колова Е. Е., Тарасов Я. А.* Орогенное золоторудное месторождение Хангалас, Яно-Колымский металлогенический пояс (Северо-Восток России) : структура, минеральный и изотопный (O, S, Re, Os, Pb, Ar, He) состав руд, флюидный режим и условия рудообразования // Геология рудных месторождений. – 2024. – Т. 66, № 5. – С. 432–463. – DOI: 10.31857/S0016777024050025.
10. *Максаров Р. А., Прокопьев И. Р., Дорошкевич А. Г., Редин Ю. О., Малютина А. В.* Новые данные по минералогии золото-сульфидного типа руд месторождения Каральвеем, Чукотка // Руды и металлы. – 2022. – № 1. – С. 24–43. – DOI: 10.47765/0869-5997-2022-10002.
11. *Новожилов Ю. И., Гаврилов А. М.* Золото-сульфидные месторождения в терригенных углеродистых толщах. – М. : ЦНИГРИ, 1999. – 220 с.
12. *Петровская Н. В.* Самородное золото. Общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. – М. : Наука, 1973. – 347 с.
13. *Савчук Ю. С., Волков А. В.* Крупные и суперкрупные орогенные золотые месторождения: геодинамика, структура, генетические следствия // Литосфера. – 2019. – Т. 19, № 6. – С. 813–833. – DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-6-813-833.
14. *Сидорова Н. В., Волков А. В., Ковальчук Е. В., Минервина Е. А., Левицкая Л. А.* «Невидимое» золото и другие элементы-примеси в пирите и арсенопирите вкрапленных руд месторождения Кючус (Республика Саха-Якутия) // Геология рудных месторождений. – 2022. – Т. 64, № 5. – С. 451–461. – DOI: 10.31857/S0016777022040062.
15. *Сидорова Н. В., Волков А. В., Тюкова Е. Э., Кайгородова Е. Н., Ковальчук Е. В., Минервина Е. А.* «Невидимое» золото и другие элементы-примеси в пирите и арсенопирите вкрапленных руд золоторудного месторождения Майское (Чукотка) // Геология рудных месторождений. – 2025. – Т. 67, № 2. – С. 144–160. – DOI: 10.31857/S0016777025020025.
16. *Тарасенко А. А.* Интерференционная складчатость Гремучинской площади и ее роль в формировании рудоносных зон Упрямого золоторудного поля // Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : Сборник тезисов докладов XIV Международной научно-практической конференции, Москва, 15–18 апреля 2025 г. – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2025. – С. 405–407.
17. *Фридовский В. Ю., Полуфунтикова Л. И., Кудрин М. В., Горячев Н. А.* Изотопный состав серы и геохимические характеристики золотоносных сульфидов орогенного месторождения Бадран, Яно-Колымский металлогенический пояс (северо-восток Азии) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 2022. – Т. 502, № 1. – С. 3–9. – DOI: 10.31857/S2686739722010030.
18. *Baijwah Z. U., Seccombe P., Offler R.* Trace element distribution, Co: Ni ratios and genesis of the Big Cadia iron-copper deposit, New South Wales, Australia // Mineralium Deposita, 1987. – V. 22, № 4. – P. 292–300. – DOI: 10.1007/BF00204522.
19. *Canhimbue L. S., Tarasenko A., Vatrushkina E., Latysheva I., Telnov A.* Genesis and Timing of Low-Sulphide Gold–Quartz Mineralization of the Upryamoye Ore Field, Western Chukotka // Minerals. – 2025. – V. 15. – P. 1130. – DOI: 10.3390/min15111130.
20. *Cook N. J., Ciobanu C. L., Meria D., Silcock D., Wade B.* Arsenopyrite-pyrite association in an orogenic gold ore: Tracing mineralization history from textures and trace elements // Economic Geology. – 2013. – V. 108, № 6. – P. 1273–1283. – DOI: 10.2113/econgeo.108.6.1273.
21. *Deditius A. P., Reich M., Kesler S. E., Utsunomiya S., Chryssoulis S. L., Walshe J., Ewing R. C.* The coupled geochemistry of Au and As in pyrite from hydrothermal ore deposits // Geochimica et Cosmochimica

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

Acta. – 2014. – V. 140. – P. 644–670. – DOI: 10.1016/j.gca.2014.05.045.
22. *Genkin A. D., Bortnikov N. S., Cabri L. J., Wagner F. E., Stanley C. J., Safonov Y. G., McMahon G., Friedl J., Kerzin A. L., Gamyanin G. N.* A Multidisciplinany study of invisible gold in arsenopyrite from four mesothermal gold deposits in Siberia, Russian Federation // Economic Geology. – 1998. – V. 93. – P. 463–487.
23. *Goldfarb R. J., Groves D. I.* Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time // Lithos. – 2015. – V. 233. – P. 2–26.
24. *Goldfarb R. J., Hagemann S. G., Stanton R. L.* The role of pyrite in gold deposits // Economic Geology. – 1991. – V. 86, № 6. – P. 1318–1331.
25. *Gregory D. D., Large R. R., Halpin J. A., Baturina E. L., Wu S., Danyushevsky L., Bull S. W., Lyons T. W., Sack P. J., Chappaz A., Maslennikov V. V.* Trace element content of sedimentary pyrite in black shales // Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists. – 2015. – V. 110, № 6. – P. 1389–1410. – DOI: 10.2113/econgeo.110.6.1389.
26. *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. – P. 7–27.
27. *Junussov M., Kembayev M. K., Mekenbek G., Mukhamediyarova N., Kokkuzova M., Assambayeva A., Abirov R.* Four decades of trends in invisible gold research: A web of science-based bibliometric analysis (1985–2024) // Earth Science Informatics. – 2025. – V. 18, № 3. – P. 484. – DOI: 10.1007/ s12145-025-01982-y.
28. *Keith M., Smith D. J., Jenkin G. R., Holwell D. A., Dye M. D.* A review of Te and Se systematics in hydrothermal pyrite from precious metal deposits: Insights into ore-forming processes // Ore Geology Reviews. – 2018. – V. 96. – P. 269–282. – DOI: 10.1016/j.oregeorev.2017.07.023.
29. *Kretschmer U., Scott S. D.* Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application // The Canadian Mineralogist. – 1976. – V. 14. – P. 364–386.
30. *Large R. R., Bull S. W., Maslennikov V. V.* A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits // Economic Geology. – 2011. – V. 106, № 3. – P. 331–358. – DOI: 10.2113/econgeo.106.3.331.
31. *Large R. R., Danyushevsky L. V., Hollit C., Maslennikov V., Meffre S., Gilbert S. E., Bull S., Scott R. J., Emsbo P., Thomas H., Singh B., Foster J.* Gold and trace element zonation in pyrite using a laser imaging technique: implications for the timing of gold in orogenic and Carlin-style sediment hosted deposits // Economic Geology. – 2009. – V. 104, № 5. – P. 635–668. – DOI: 10.2113/gsecongeo.104.5.635.
32. *Large R. R., Maslennikov V. V.* Invisible gold paragenesis and geochemistry in pyrite from orogenic and sediment-hosted gold deposits // Minerals. – 2020. – V. 10, № 4. – P. 339. – DOI: 10.3390/min10040339.
33. *Morey A. A., Tomkins A. G., Bierlein F. G., Weinberg R. F., Davidson G. J.* Bimodal distribution of gold in pyrite and arsenopyrite: Example from the Archean Boorara and Bardoc shear zones, Yilgarn craton, Wes-tern Australia // Economic Geology. – 2008. – V. 103. – P. 599–614. – DOI: 10.2113/gsecongeo.103.3.599.
34. *Paton C., Hellstrom J., Paul B., Woodhead J., Hergt J.* Iolite: freeware for the visualisation and processing of massspectrometric data // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 2011. – V. 26. – P. 2508–2518. – DOI: 10.1039/C1JA10172B.
35. *Reich M., Kesler S. E., Utsunomiya S., Palenik C. S., Chryssoulis S. L., Ewing R. C.* Solubility of gold in arsenian pyrite // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2005. – V. 69. – № 11. – P. 2781–2796. – DOI: 10.1016/j.gca.2005.01.011.
36. *Sung Y.-H., Brugger J., Ciobanu C. L., Pring A., Skinner W., Nugus M.* Invisible gold in arsenian pyrite and arsenopyrite from a multistage Archean gold deposit: Sunrise Dam, Eastern Goldfields Province, Western Australia // Mineralium Deposita. –2009. – V. 44. – № 7. – P. 765–791. – DOI: 10.1007/s00126-009-0244-4.
37. *Tauson V. L., Kravtsova R. G., Smagunov N. V., Spiridonov A. M., Grebenshchikova V. I., Budyak A. E.* Structurally and Superficially Bound Gold in Pyrite from Deposits of Different Genetic Types // Russian Geology and Geophysics. – 2014. – V. 55. – № 2. – P. 273–289. – DOI: 10.1016/j.rgg.2014.01.011.
38. *Yan Y. T., Li S. R., Jia B. J., Zhang N., Jiang L., Yan L. N.* Composition typomorphic characteristics of pyrite in various genetic type gold deposits // Advanced Materials Research. – 2012. – V. 463. – P. 25–29. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.463-464.25.

REFERENCES

1. *Aristov V. V., Grigor'yeva A. V, Savchuk YU. S., Sidorova N. V., Sidorov V. A.* Formy nakhozhdeniya zolota i nekotoryye tipomorfnyye kharakteristiki samorodnogo zolota orogennogo mestorozhdeniya Pavlik (Magadanskaya oblast') [Forms of gold occurrence and some typomorphic characteristics of native gold of the Pavlik orogenic deposit (Magadan region)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2021, V. 63, No. 1, pp. 3–39, DOI: 10.31857/S0016777021010020. (In Russ.)

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

2. *Baranov M. A., Zhuravlev G. F., Kaz'min S. S., Malakhov V. A., Shebesta YA. A.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 200 000. Seriya Anyuysko-Chaunskaya, list R-59-KHKHKHI, KHKHKHII. Ob"yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. Anyui-Chaun Series, sheet R-59-XXXI, XXXII. Explanatory note], Moscow, St. Petersburg, Ministerstvo prirodnykh resursov RF publ.; VSEGEI; Chukotprirodresursy; ZAO Chaunskoye GGP, 2000, 103 p. (In Russ.)
3. *Vatrushkina Ye. V., Tuchkova M. I.* Litologiya verkhneyursko-nizhnemelovykh otlozheniy vostochnoy chasti Myrgovaamskoy i Rauchuanskoy vpadin, Zapadnaya Chukotka [Lithology of Upper Jurassic-Lower Cretaceous deposits of the eastern part of the Myrgovaam and Rauchuan depressions, Wes-tern Chukotka], Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle, 2020, V. 65, No. 4, C. 717–739. (In Russ.)
4. *Volkov A. V., Genkin A. D., Goncharov V. I.* O formakh nakhozhdeniya zolota v rudakh mestorozhdeniy Natalkinskoye i Mayskoye (Severo-Vostok Rossii) [On the forms of gold occurrence in ores of the Natalkinskoye and Mayskoye deposits (North-East of Russia)], Tikhookeanskaya geologiya, 2006, V. 25, No. 6, pp. 18–29. (In Russ.)
5. *Volkov A. V., Sidorov A. A.* Nevidimoye zoloto [Invisible gold], Vestnik RAN, 2017, V. 87, No. 1, pp. 40–49, DOI: 10.7868/S0869587317010121. (In Russ.)
6. *Goryachev N. A., Vikent'yeva O. V., Bortnikov N. S., Prokof'yev V. YU., Alpatov V. A., Golub V. V.* Natalkinskoye zolotorudnoye mestorozhdeniye mirovogo klassa: raspredeleniye RZE, flyuidnyye vklyucheniya, stabil'nyye izotopy kisloroda i usloviya formirovaniya rud (Severo-Vostok Rossii) [The world-class Natalka gold deposit: REE distribution, fluid inclusions, stable oxygen isotopes, and ore formation conditions (Northeast Russia)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2008, V. 50, No. 5, pp. 414–444. (In Russ.)
7. *Kanimbuye L. S., Vatrushkina Ye. V.* Stadiynost' mineraloobrazovaniya v zolotorudnom pole Upryamoye (Zapadnaya Chukotka) [Stages of mineral formation in the Upryamoe gold ore field (Western Chukotka)], Moscow, TSNIGRI publ., 2025, pp. 182–184. (In Russ.)
8. *Komogortsev B. V., Varenichev A. A.* Problemy pererabotki bednykh i upornykh zolotosoderzhashchikh rud [Problems of processing poor and refractory gold-bearing ores], Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal), 2016, No. 2, pp. 204–218. (In Russ.)
9. *Kudrin M. V., Fridovskiy V. YU., Polufuntikova L. I., Kryazhev S. G., Kolova Ye. Ye., Tarasov Ya. A.* Orogennoye zolotorudnoye mestorozhdeniye Khangalas, Yano-Kolymskiy metallogenicheskiy poyas (Severo-Vostok Rossii) : struktura, mineral'nyy i izotopnyy (O, S, Re, Os, Pb, Ar, He) sostav rud, flyuidnyy rezhim i usloviya rudoobrazovaniya [Orogenic gold deposit Khangalas, Yana-Kolyma metallogenic belt (Northeast of Russia): structure, mineral and isotopic (O, S, Re, Os, Pb, Ar, He) composition of ores, fluid regime and conditions of ore formation], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2024, V. 66, No. 5, pp. 432–463, DOI: 10.31857/S0016777024050025. (In Russ.)
10. *Maksarov R. A., Prokop'yev I. R., Doroshkevich A. G., Redin YU. O., Malyutina A. V.* Novyye dannyye po mineralogii zoloto-sul'fidnogo tipa rud mestorozhdeniya Karal'veyem, Chukotka [New data on the mineralogy of gold-sulfide ores of the Karalveem deposit, Chukotka], Rudy i metally, 2022, No. 1, pp. 24–43, DOI: 10.47765/0869-5997-2022-10002. (In Russ.)
11. *Novozhilov YU. I., Gavrilov A. M.* Zoloto-sul'fidnyye mestorozhdeniya v terrigennykh uglerodistykh tolshchakh [Gold-sulfide deposits in terrigenous carbonaceous strata], Moscow, TSNIGRI publ., 1999, 220 p. (In Russ.)
12. *Petrovskaya N. V.* Samorodnoye zoloto. Obshchaya kharakteristika, tipomorfizm, voprosy genezisa [General characteristics, typomorphism, questions of genesis], Moscow, Nauka publ., 1973, 347 p. (In Russ.)
13. *Savchuk YU. S., Volkov A. V.* Krupnyye i superkrupnyye orogennyye zolotyye mestorozhdeniya: geodinamika, struktura, geneticheskiye sledstviya [Large and super-large orogenic gold deposits: geodynamics, structure, genetic consequences], Litosfera, 2019, V. 19, No. 6, pp. 813–833, DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-6-813-833. (In Russ.)
14. *Sidorova N. V., Volkov A. V., Koval'chuk Ye. V., Minervina Ye. A., Levitskaya L. A.* "Nevidimoye" zoloto i drugiye elementy-primesi v pirite i arsenopirite vkraplennykh rud mestorozhdeniya Kyuchus (Respublika Sakha-Yakutiya) ["Invisible" gold and other impurity elements in pyrite and arsenopyrite of disseminated ores of the Kyuchus deposit (Sakha-Yakutia Republic)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2022, V. 64, No. 5, pp. 451–461, DOI: 10.31857/S0016777022040062. (In Russ.)
15. *Sidorova N. V., Volkov A. V., Tyukova Ye. E., Kaygorodova Ye. N., Koval'chuk Ye. V., Minervina Ye. A.* "Nevidimoye" zoloto i drugiye elementy-primesi v pirite i arsenopirite vkraplennykh rud zolotorudnogo mestorozhdeniya Mayskoye (Chukotka) ["Invisible" gold and other trace elements in pyrite and arsenopyrite of disseminated ores of the Mayskoye gold deposit (Chukotka)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2025, V. 67, No. 2, pp. 144–160, DOI: 10.31857/S0016777025020025. (In Russ.)
16. *Tarasenko A. A.* Interferentsionnaya skladchatost' Gremuchinskoy ploshchadi i yeye rol' v formirovanii rudonosnykh zon Upryamogo zolotorudnogo polya

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

[Interference folding of the Gremuchinskaya area and its role in the formation of ore-bearing zones of the Upryamoye gold ore field], Moscow, TSNIGRI publ., 2025, pp. 405–407. (In Russ.)
17. *Fridovsky V. Yu., Polufuntikova L. I., Kudrin M. V., Goryachev N. A.* Izotopnyy sostav sery i geokhimicheskiye kharakteristiki zolotonosnykh sul'fidov orogennogo mestorozhdeniya Badran, Yano-Kolymskiy metallogenicheskiy poyas (severo-vostok Azii) [Sulfur isotope composition and geochemical characteristics of gold-bearing sulfides of the Badran orogenic deposit, Yana-Kolyma metallogenic belt (northeast Asia)], Doklady Rossiyskoy akademii nauk. Nauki o Zemle, 2022, V. 502, No. 1, pp. 3–9, DOI: 10.31857/S2686739722010030. (In Russ.)
18. *Baijwah Z. U., Seccombe P., Offler R.* Trace element distribution, Co: Ni ratios and genesis of the Big Cadia iron-copper deposit, New South Wales, Australia, Mineralium Deposita, 1987, V. 22, No. 4, pp. 292–300, DOI: 10.1007/BF00204522.
19. *Canhimbue L. S., Tarasenko A., Vatrushkina E., Latysheva I., Telnov A.* Genesis and Timing of Low-Sulphide Gold–Quartz Mineralization of the Upryamoye Ore Field, Western Chukotka, Minerals, 2025, V. 15, pp. 1130, DOI: 10.3390/min15111130.
20. *Cook N. J., Ciobanu C. L., Meria D., Silcock D., Wade B.* Arsenopyrite-pyrite association in an orogenic gold ore: Tracing mineralization history from textures and trace elements, Economic Geology, 2013, V. 108, No. 6, pp. 1273–1283, DOI: 10.2113/econgeo.108.6.1273.
21. *Deditius A. P., Reich M., Kesler S. E., Utsunomiya S., Chryssoulis S. L., Walshe J., Ewing R. C.* The coupled geochemistry of Au and As in pyrite from hydrothermal ore deposits, Geochimica et Cosmochimica Acta, 2014, V. 140, pp. 644–670, DOI: 10.1016/j.gca.2014.05.045.
22. *Genkin A. D., Bortnikov N. S., Cabri L. J., Wagner F. E., Stanley C. J., Safonov Y. G., McMahon G., Friedl J., Kerzin A. L., Gamyanin G. N.* A Multidisciplinany study of invisible gold in arsenopyrite from four mesothermal gold deposits in Siberia, Russian Federation, Economic Geology, 1998, V. 93, pp. 463–487.
23. *Goldfarb R. J., Groves D. I.* Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time, Lithos, 2015, V. 233, pp. 2–26.
24. *Goldfarb R. J., Hagemann S. G., Stanton R. L.* The role of pyrite in gold deposits, Economic Geology, 1991, V. 86, No. 6, pp. 1318–1331.
25. *Gregory D. D., Large R. R., Halpin J. A., Baturina E. L., Wu S., Danyushevsky L., Bull S. W., Lyons T. W., Sack P. J., Chappaz A., Maslennikov V. V.* Trace element content of sedimentary pyrite in black shales, Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, 2015, V. 110, No. 6, pp. 1389–1410, DOI: 10.2113/econgeo.110.6.1389.
26. *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, pp. 7–27.
27. *Junussov M., Kembayev M. K., Mekenbek G., Mukhamediyarova N., Kokkuzova M., Assambayeva A., Abirov R.* Four decades of trends in invisible gold research: A web of science-based bibliometric analysis (1985–2024), Earth Science Informatics, 2025, V. 18, No. 3, pp. 484, DOI: 10.1007/ s12145-025-01982-y.
28. *Keith M., Smith D. J., Jenkin G. R., Holwell D. A., Dye M. D.* A review of Te and Se systematics in hydrothermal pyrite from precious metal deposits: Insights into ore-forming processes, Ore Geology Reviews, 2018, V. 96, pp. 269–282, DOI: 10.1016/j.oregeorev.2017.07.023.
29. *Kretschmer U., Scott S. D.* Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application, The Canadian Mineralogist, 1976, V. 14, pp. 364–386.
30. *Large R. R., Bull S. W., Maslennikov V. V.* A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits, Economic Geology, 2011, V. 106, No. 3, pp. 331–358, DOI: 10.2113/econgeo.106.3.331.
31. *Large R. R., Danyushevsky L. V., Hollit C., Maslennikov V., Meffre S., Gilbert S. E., Bull S., Scott R. J., Emsbo P., Thomas H., Singh B., Foster J.* Gold and trace element zonation in pyrite using a laser imaging technique: implications for the timing of gold in orogenic and Carlin-style sediment hosted deposits, Economic Geology, 2009, V. 104, No. 5, pp. 635–668, DOI: 10.2113/gsecongeo.104.5.635.
32. *Large R. R., Maslennikov V. V.* Invisible gold paragenesis and geochemistry in pyrite from orogenic and sediment-hosted gold deposits, Minerals, 2020, V. 10, No. 4, pp. 339, DOI: 10.3390/min10040339.
33. *Morey A. A., Tomkins A. G., Bierlein F. G., Weinberg R. F., Davidson G. J.* Bimodal distribution of gold in pyrite and arsenopyrite: Example from the Archean Boorara and Bardoc shear zones, Yilgarn cra-ton, Western Australia, Economic Geology, 2008, V. 103, pp. 599–614, DOI: 10.2113/gsecongeo.103.3.599.
34. *Paton C., Hellstrom J., Paul B., Woodhead J., Hergt J.* Iolite: freeware for the visualisation and processing of massspectrometric data, Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2011, V. 26, pp. 2508–2518, DOI: 10.1039/C1JA10172B.
35. *Reich M., Kesler S. E., Utsunomiya S., Palenik C. S., Chryssoulis S. L., Ewing R. C.* Solubility of gold in arsenian pyrite, Geochimica et Cosmochimica Acta, 2005, V. 69, No. 11, pp. 2781–2796, DOI: 10.1016/j.gca.2005.01.011.
36. *Sung Y.-H., Brugger J., Ciobanu C. L., Pring A., Skinner W., Nugus M.* Invisible gold in arsenian pyri-

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

te and arsenopyrite from a multistage Archean gold deposit: Sunrise Dam, Eastern Goldfields Province, Western Australia, Mineralium Deposita,2009, V. 44, No. 7, pp. 765–791, DOI: 10.1007/s00126-009-0244-4.

37. *Tauson V. L., Kravtsova R. G., Smagunov N. V., Spiridonov A. M., Grebenshchikova V. I., Budyak A. E.* Structurally and Superficially Bound Gold in Pyrite from Deposits of Different Genetic Types, Russian Geology and Geophysics, 2014, V. 55, No. 2, pp. 273–289, DOI: 10.1016/j.rgg.2014.01.011.
38. *Yan Y. T., Li S. R., Jia B. J., Zhang N., Jiang L., Yan L. N.* Composition typomorphic characteristics of pyrite in various genetic type gold deposits, Advanced Materials Research, 2012, V. 463, pp. 25–29, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.463-464.25.

Статья поступила в редакцию 06.08.26; одобрена после рецензирования 31.08.26; принята к публикации 31.08.26.
The article was submitted 06.08.26; approved after reviewing 31.08.26; accepted for publication 31.08.26.

По всем вопросам, связанным со статьями, следует обращаться в редакцию
по тел. +7 (495)315-43-65 доб. 227
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1

© Л. С. Канимбуе, А. А. Тарасенко, Е. В. Ватрушкина, А. Е. Тельнов, 2026
© L. S. Canhimbue, A. A. Tarasenko, E. V. Vatrushkina, A. E. Telnov, 2026

85-летие Леонида Павловича Антоновича



Леониду Павловичу Антоновичу, Председателю Президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик», Заслуженному геологу Российской Федерации, крупному специалисту в сфере проведения геологоразведочных работ и прекрасному организатору, обладающему богатым опытом работы с людьми, 10 октября 2026 г. исполняется 85 лет.

За плечами юбиляра яркая, полная замечательных событий жизнь. Леонид Павлович Антонович принадлежит к тому поколению людей, на долю которых выпали тяжелые испытания в детские годы. Его отец имел бронь как многодетный родитель (Леонид Павлович восьмой ребенок в семье), однако ушёл добровольцем на фронт в 1941 г. и погиб, защищая Ленинград от налёта фашистских бомбардировщиков. Мама в условиях крайнего севера вырастила детей, из которых шестеро получили высшее и среднее специальное образование. Памяти папы Павла Григорьевича и мамы Прасковьи Семеновны Леонид Павлович посвятил свой очерк в книге «Геологи – дети войны». Желая как можно быстрее начать помогать семье, он в 15 лет поступил в Алданский горный техникум. Так начался путь Леонида Павловича в геологии.

Целеустремлённость юного студента горного техникума, профессионализм преподавателей, три сложные производственные практики в шахтах Западной Сибири помогли Леониду Антоновичу к окончанию техникума (1960 г.) получить хорошие знания и навыки практической работы. Первый этап обучения он завершил с удостоверениями бурильщика, проходчика подземных горных выработок, машиниста электровоза и породопогрузочной машины, что очень пригодилось молодому специалисту в последующей работе.

После окончания Алданского горного техникума он распределился в Аллах-Юньскую экспедицию Якутского геологического управления. Туда он направился вместе с женой Валентиной. На разведке Буларского золоторудного месторождения Л. П. Антонович сначала трудился проходчиком, а через три месяца стал горным мастером. Во время работы на слюдяном руднике Эмельджак Леонид Павлович проявил себя как прекрасный специалист и организатор и через пять лет был уже начальником участка эксплуатационной разведки со штатом 460 человек.

В 1965 г. Леонид Павлович Антонович поступил на заочное отделение Якутского государственного университета и почти одновременно начал работать в ПГО «Якутскгеология» – самом крупном в стране не только по территории (3,1 млн км^2) и численности работников (около 30 тыс. чел.), но и по выполняемым ежегодно физическим объёмам геологоразведочных работ. Леонид Павлович принимал активное участие в поисках и разведке месторождений алмазов, золота, угля, железных руд, полиметаллов и апатитов. Присущие ему трудолюбие, ответственность и высокий профессионализм позволили пройти путь от проходчика подземных горных выработок до заместителя генерального директора ПГО «Якутскгеология».

В 1992 г., в период смены общественных формаций в нашей стране, Л. П. Антонович создал и возглавил государственное предприятие Республики Саха (Якутия) «Якутгеолснаб», в последующем – ОАО «Геотекс», администрация которого ежеквартально индексировала и своевременно выплачивала работникам зарплату.

В 1996–1998 гг. Л. П. Антонович возглавлял Управление экономики и инвестиций Министерства промышленности Республики Саха (Якутия). Затем он занял должность заместителя Генерального директора по производству ЗАО «Якут-

стройматериалы» и, в дополнение к основной продукции, организовал выпуск изделий из камнесамоцветного сырья, которые в 2001 г. в Париже были удостоены международного приза Европы «За качество». Леониду Павловичу Антоновичу вручили почётный золотой нагрудный знак.

С 2003 г. Леонид Павлович начал работать в Москве. Вплоть до 2012 г. он был руководителем проекта, главным инженером и заместителем генерального директора ОАО «Первая горнорудная компания». Как опытный специалист Л. П. Антонович участвовал в разведке месторождений Сардана в Якутии и Павловское на архипелаге Новая Земля, а затем (2012–2015 гг.) работал советником генерального директора ОАО «Росгеология», занимаясь анализом геологоразведочного производства.

Еще в начале 2000-х гг. в Москве Леонид Павлович стал деятельным участником ветеранского движения геологов России. Активная жизненная позиция, профессиональные и человеческие качества, высокий авторитет в кругах геологической общественности обусловили его избрание в 2004 г. председателем Совета ветеранов региональной общественной организации ПГО «Якутскгеология» и заместителем председателя Президиума Общероссийской общественной организации (ООО) «Ветеран-геологоразведчик».

В 2010 г. Леонид Павлович Антонович был избран Председателем Президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик», в составе которой в то время работали межрегиональные организации (Московская, Санкт-Петербургская и Ярославская) и 56 региональных отделений, объединяющих в краях, областях и Республиках Российской Федерации свыше 40 тысяч ветеранов (пенсионеров) геологоразведчиков в первичных ячейках на предприятиях геологического профиля. Леонид Павлович принял ответственный пост от видного геолога и общественного деятеля Владимира Борисовича Мазура.

За время работы Леонида Павловича Антоновича Председателем Президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик» успешно реализованы три пятилетние программы организации, одобренные Федеральным агентством «Роснедра», и выполняется четвёртая – на 2026–2030 гг.

Президиум ООО «Ветеран-геологоразведчик» и лично Леонид Павлович Антонович осуществляют важную деятельность, выпуская книги серии «Жизнь замечательных людей. Геологи». Изданные под эгидой ООО «Росгеология» 25 томов сборника «Геология – жизнь моя» на 90 % написаны ветеранами-геологоразведчиками.

Особое направление работы Президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик» и объект большой заботы Леонида Павловича Антоновича – детско-юношеское геологическое движение. Совместно с активистами Советов ветеранов межрегиональных, региональных и первичных геологических организаций Леонид Павлович и члены Президиума участвуют в подготовке команд и проведении полевых олимпиад ДЮГД, составляют минералогические коллекции и передают их в школы и геологические кружки, проводят с ребятами занятия.

И, конечно, сын героя Великой Отечественной войны Леонид Павлович Антонович вместе с членами Президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик, председателями и ветеранами региональных организаций и геологических предприятий участвует в создании и пополнении галереи Бессмертного полка, обновлении и открытии мемориалов, аллей памяти, делает всё возможное для патриотического воспитания новых поколений.

Особого уважения заслуживает организация Всероссийского конкурса имени Б. М. Зубарева[1] к 80-летию Победы в Великой Отечественной войне.

Учитывая большой успех и масштаб прошедшего мероприятия, этот конкурс решено проводить ежегодно ко Дню Победы, согласно мартовскому Постановлению Роснедр накануне Дня геолога 2026 г.

Плодотворная деятельность Леонида Павловича заслуженно отмечена высокими государственными и ведомственными наградами и званиями, среди которых: звания «Заслуженный работник народного хозяйства Республики Саха (Якутия)», «Заслуженный геолог Российской Федерации», орден «Знак Почета», медали «Ветеран труда», «За строительство БАМ», «100 лет геологической службы», медали «ВДНХ СССР серебряная и бронзовая», нагрудные знаки «Отличник разведки недр», «Почетный разведчик недр», «300 лет геологической службы России».

[1] Зубарев Борис Матвеевич – участник Великой Отечественной войны (лётчик-истребитель), геолог, первооткрыватель ряда месторождений, бывший на протяжении четырнадцати лет первым заместителем министра геологии РСФСР и такой же период – первым заместителем министра геологии СССР.



Леонид Павлович Антонович – Председатель президиума Общероссийской общественной организации (ООО) «Ветеран-геологоразведчик» вручил Конышеву Вилли Оттовичу (справа) знаки лауреата Всероссийского конкурса имени Зубарева Бориса Матвеевича по Постановлению Федерального агентства по недропользованию от 19 мая 2026 г. как автору-составителю очерка «Демидович Александр Александрович – боец СВО мой племянник» за подготовку к публикации материалов, представленных Советом ветеранов (СВ) Московской межрегиональной организации от СВ ФГБУ «ЦНИГРИ»

Сердечно поздравляем Леонида Павловича с замечательной датой и желаем крепкого здоровья, счастья, успеха в благородной деятельности!

Коллеги по производственной и общественной работе
Члены Совета ветеранов Московской межрегиональной организации, региональных отделений, президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик»
Редколлегия журнала «Отечественная геология»

Памяти Данилы Алексеевича Куликова



1972–2026

9 октября 2026 года ушёл из жизни **Данила Алексеевич Куликов**, известный исследователь рудных месторождений, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора ФГБУ «ЦНИГРИ», руководитель важнейшего направления работы института – анализа и мониторинга состояния минерально-сырьевой базы алмазов, золота, серебра, металлов платиновой группы, меди, свинца, цинка, никеля и кобальта.

Данила Алексеевич Куликов – выпускник Московского геологоразведочного института имени Серго Орджоникидзе по специальности «Геологическая съёмка, поиски и разведка». Он принадлежит к немногочисленному поколению, пришедшему в геологию в трудные 1990-е годы и сохранившему верность профессии.

Судьба Данилы Алексеевича тесно связана с ЦНИГРИ – в этом институте он начинал работать как молодой специалист. В 1996 г. Д. А. Куликов поступил в аспирантуру Бурятского геологического института СО РАН, за три года подготовил и успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Неоднородность и неравномерность распределения золота по крупности его частиц и их влияние на оценку золотоносности золоторудных объектов». Параллельно с обучением в аспирантуре он начал работать в ОАО «Бурятгеология» ГРЭ «Бурятзолоторазведка», был ведущим геологом, исполнял обязанности начальника тематической группы. Проведённые им детальные исследования руд Ирокиндинского и Зун-Холбинского месторождений стали заметным вкладом в развитие методов оценки золотоносных месторождений.

В 2001 г. Данила Алексеевич Куликов вернулся в ЦНИГРИ опытным геологом-рудником и приступил к работе в секторе технико-экономической оценки месторождений, рудных узлов и районов, возглавляемом кандидатом геолого-минералогических наук Игорем Алексеевичем Карпенко. В этот период Д. А. Куликов являлся ответственным исполнителем работ по подсчёту запасов месторождений цветных металлов Холоднинское, Озёрное, Песчанка, Бозанг, Вуручуайвенч, месторождения алмазов трубка им. В. Гриба. Самым крупным проектом стала переоценка в 2006–2007 гг. запасов крупнейшего в России месторождения благородных металлов мирового класса Сухой Лог. При реализации вышеназванных проектов Д. А. Куликов с коллегами применили инновационные технологии – разработали компьютерное программно-методическое обеспечение обработки и интерпретации базы данных и подсчёта запасов. При комплексной технологической и геолого-экономической переоценке золоторудного месторождения Сухой Лог И. А. Карпенко, Д. А. Куликов, Н. Г. Петраш доказали, что его запасы в 2,8 раз превышают первоначальные оценки. И роль Данилы Алексеевича Куликова в этой работе очень значительна.

Эрудированность Данилы Алексеевича Куликова, свойственный ему нетривиальный подход к работам по геолого-эконмической оценке месторождений алмазов, благородных и цветных

металлов были оценены профессиональным сообществом. Он стал экспертом Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых.

В 2020-е годы Данила Алексеевич Куликов возглавил в ЦНИГРИ масштабную аналитическую работу, направленную на реалистичный прогноз развития минерально-сырьевой базы, отечественной и мировой. Это был огромный труд во имя укрепления минерально-сырьевой безопасности России.

За свои заслуги Данила Алексеевич награждён почётными знаками «Отличник разведки недр», «Почётный разведчик недр».

Светлая память о Даниле Алексеевиче Куликове навсегда останется в сердцах всех, кто его знал и кому посчастливилось работать вместе с ним.

Учёный совет ЦНИГРИ,
редколлегия журнала,
коллеги

Памяти Виктора Васильевича Авдонина



1934–2026

2 августа 2026 года ушёл из жизни **Виктор Васильевич Авдонин** – знаменитый исследователь рудных месторождений, крупный специалист в области металлогении и вулканогенного рудообразования, Заслуженный профессор Московского университета, воспитавший несколько поколений геологов-рудников.

Виктор Васильевич Авдонин родился в 1934 году в Москве, принадлежит к поколению, чьё детство пришлось на военные годы. В первый класс его московские сверстники пошли на год позже – в 1942 году, так как в 1941-м учебный год был отменён. Ещё школьником он решил, что хочет стать геологом и в 1952 году после окончания школы с серебряной медалью поступил на геологический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова. Заниматься Виктор Авдонин хотел проблематикой твёрдых полезных ископаемых, самой востребованной в период послевоенной разрухи.

Именно в 1952 году будущий академик В. И. Смирнов организовал на Геологической факультете МГУ кафедру геологии и геохимии полезных ископаемых. В её учебных планах все геологические предметы («Структурная геология», «Геокартирование» и пр.) преподавались в объёме, необходимом геологам-съёмщикам, а предмет «Минералогия» был ориентирован на геохимиков. Сам В. И. Смирнов читал лекционный курс «Геология полезных ископаемых». В числе студентов, избравших новую кафедру, был В. В. Авдонин. В 1957 году он успешно закончил геологический факультет и по распределению уехал работать в Северную Осетию.

В. В. Авдонин работал начальником партии треста «Севкавцветметразведка» и занимался детальным изучением рудных полей свинцово-цинковых месторождений. В 1961 году он вернулся в Москву и начал работать на кафедре геологии и геохимии полезных ископаемых геологического факультета МГУ, исследовал колчеданные месторождения Южного Урала. В 1962 году на кафедре была организована Оренбургская рудная экспедиция и Виктор Васильевич возглавил Ащебутакскую партию. В 1968 году состоялась защита кандидатской диссертации В. В. Авдонина на тему «Геологические условия образования и размещения медноколчеданных и полиметаллических руд в Ащебутакском районе (Южный Урал)».

Следующим этапом в судьбе геолога Виктора Васильевича Авдонина стали работы Алтайской рудной партии, которой он руководил с 1968 по 1975 гг. По результатам Алтайских работ в 1982 году В. В. Авдонин защитил докторскую диссертацию на тему «Девонский вулканизм и колчеданно-полиметаллические месторождения центральной части Рудного Алтая». Для современных геологов Виктор Васильевич Авдонин – один из корифеев в вопросах металлогении Рудного Алтая.

На рубеже XX и XXI веков ещё одним направлением исследований Виктора Васильевича Авдонина, проводившихся им в тесном контакте с АО «Южморгеология», стало изучение современного экзогенного образования оксидных руд на дне Мирового океана. Ему удалось обосновать выделение двух формаций оксидных руд: формации железомарганцевых конкреций (ЖМК) абиссальных котловин и формации кобальтоносных железомарганцевых корок подводных гор (гайотов).

Профессор Московского университета Виктор Васильевич Авдонин – автор фундаментальных лекционных курсов «Геолого-промышленные типы месторождений металлических полезных ис-

копаемых», «Геология полезных ископаемых. Металлические полезные ископаемые», «Разведка месторождений полезных ископаемых», «Полезные ископаемые Мирового океана». Студенты любили его занятия. Виктор Васильевич написал несколько учебников, ряд монографий, под его научным руководством подготовлены кандидатские диссертации, он был научным консультантом коллег, работавших над доторскими диссертациями. И все, кто с ним соприкасался, отмечают его интеллигентность, прекрасное чувство юмора, доброжелательность, отзывчивость. При этом он всегда был твёрд в дискуссиях по принципиальным вопросам геологии, отстаивая свою точку зрения.

Виктор Васильевич Авдонин посвятил свою жизнь геологии и оставил богатое научное наследие, он внёс огромный вклад в развитие минерально-сырьевой базы России, его ученики трудятся по всему миру. Память о Викторе Васильевиче Авдонине будут беречь в Московском государственном университете, которому он отдал 64 года жизни. Его труды, представляющие большую ценность для профессионального сообщества, остаются в золотом фонде научной геологической литературы.

Редакционная коллегия журнала
«Отечественная геология»

Правила оформления и рецензирования статей, представляемых в журнал «Отечественная геология»

1. Статья должна соответствовать тематике журнала. Рукопись представляется с установленными сопровождающими документами: письмом (разрешением на опубликование) руководителя учреждения и экспертным заключением о возможности публикации в открытой печати. В конце статьи ставятся подписи всех авторов. В том случае, если автор не один, надо указать фамилию автора, с которым будет вестись переписка.
2. К материалам, направляемым в редакцию, должна быть приложена справка об авторе (авторах) с указанием: фамилии, имя, отчества, учёной степени, звания, должности, места работы, адреса для переписки (почтового), телефона, e-mail каждого автора.
3. В журнале не публикуются статьи, излагающие обобщения и предположения, не вытекающие из публикуемого оригинального фактического материала; серийные и излагающие отдельные этапы исследований.
4. Объём статьи не должен превышать 25 страниц, включая таблицы и список литературы. Следует выставлять поля: сверху (2 см), снизу (2 см), справа (1 см) и слева (3 см). Все страницы рукописи нумеруются. Текст предоставляется в формате MS Word (*.doc) с использованием шрифта Times New Roman (размер 12, полуторный межстрочный интервал). В отдельные файлы помещаются статья, таблицы, рисунки.
5. Для набора математических формул и символов рекомендуется использовать MS Equation 3.0. Физические величины и единицы измерения должны соответствовать принятым в Международной системе единиц СИ. Все сокращения и аббревиатуры, за исключением общеупотребительных, расшифровываются при первом упоминании. Десятичный символ – запятая (0,47); между цифрами – тире без пробелов (5–10); кавычки – «елочки».
6. Рисунки и другие графические материалы (не более 15) представляются в цветном или черно-белом варианте. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170 × 237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF, PDF, диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице (текстовый файл, после списка литературы). Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.
7. Таблицы должны иметь названия, набираться без сокращения слов (размер шрифта 10, межстрочный интервал 1,0). Максимальный размер таблицы 23 × 16 см.
8. Список литературы даётся сквозной нумерацией в алфавитном порядке. Иностранная литература помещается после отечественной. Ссылки в тексте на источник из списка литературы приводятся соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. В список не включаются неопубликованные работы.
9. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать название статьи, текст, рисунки.
10. Статьи, превышающие установленный объём или не отвечающие данным правилам, возвращаются автору.
11. Авторы, в соответствии со статьей 9 Федерального закона от 27.07.2006 № 152-ФЗ "О персональных данных", направляя материалы в редакцию, дают согласие на обработку и использование персональных данных (ФИО, адрес электронной почты, место работы), необходимых для подготовки статей к публикации, для выпуска журнала и размещения его в открытом доступе в сети Интернет. Плата за публикацию с авторов (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается. Автор, подписывая статью и направляя её в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет». Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или же намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.