

УДК 551

# РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АЛИИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (Забайкальский сектор Монголо-Охотского орогенного пояса): СТРУКТУРНЫЕ СООТНОШЕНИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ЗОНАЛЬНОСТЬ

Н.А. Горячев<sup>1,2</sup>, Г.А. Юргенсон<sup>3</sup>, Т.Н. Никанюк<sup>1,4</sup>, ✉

<sup>1</sup>Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия

<sup>2</sup>Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, 685000, Магадан, ул. Портовая, 16, Россия

<sup>3</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 672014, Чита, ул. Недорезова, 16а, Россия

<sup>4</sup>Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов, 664025, Иркутск, бул. Гагарина, 38, Россия

Поступила в редакцию: 26.12.2024

Принята в печать: 17.02.2025

Опубликована онлайн: 19.02.2025

DOI: [10.15372/GiG2025109](https://doi.org/10.15372/GiG2025109)

EDN: [MTSQLQ](https://www.edn.ru/MTSQLQ)

Ссылка для цитирования:

**Горячев Н.А., Юргенсон Г.А., Никанюк Т.Н. (2025).** Рудная минерализация Алиинского рудного поля (Забайкальский сектор Монголо-Охотского орогенного пояса): структурные соотношения, минералогия, геохимия и зональность // Геология и геофизика, т. 66, № 7, с. 831–843, DOI: [10.15372/GiG2025109](https://doi.org/10.15372/GiG2025109), EDN: [MTSQLQ](https://www.edn.ru/MTSQLQ).

© Н.А. Горячев, Г.А. Юргенсон, Т.Н. Никанюк, 2025

✉ E-mail: [nika\\_tanya83@mail.ru](mailto:nika_tanya83@mail.ru)

## ВВЕДЕНИЕ

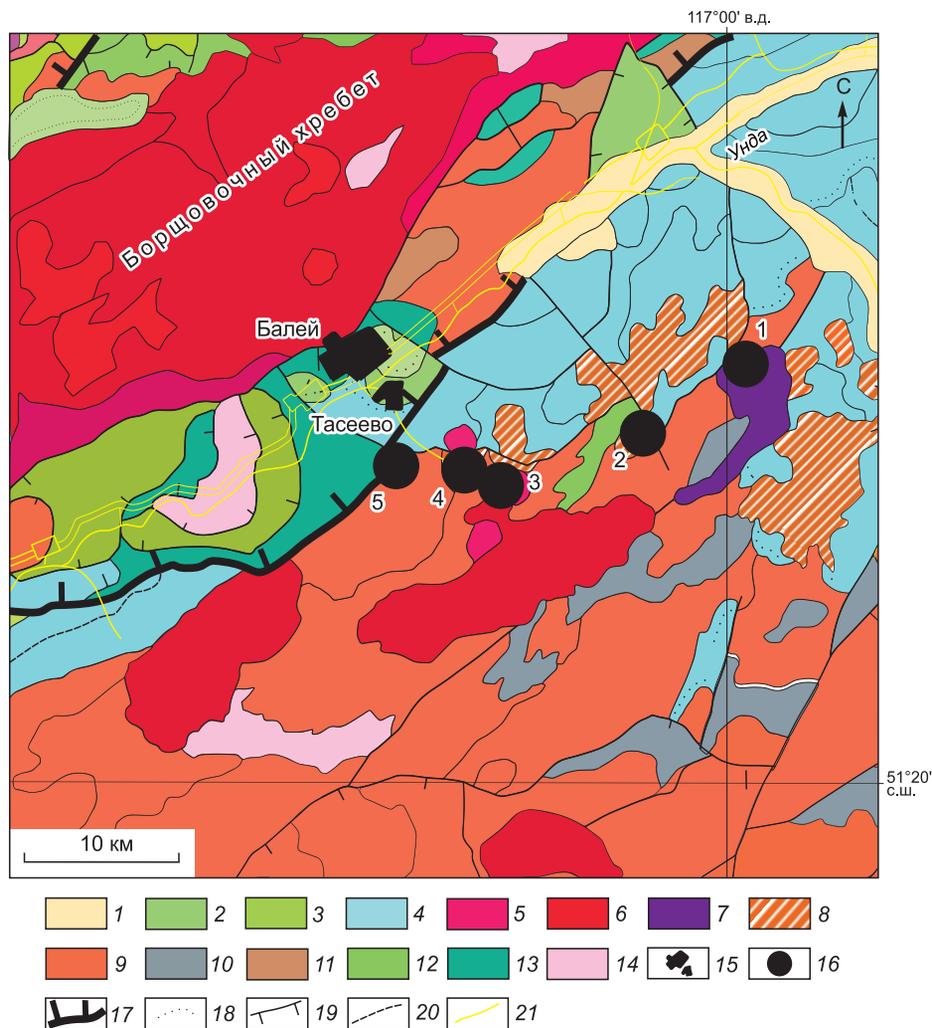
Алиинское рудное поле включает в себя эксплуатируемое Верхне-Алиинское золоторудное месторождение и ряд рудопроявлений (Контактовое, Мунгинское, Новое и др.) и расположено на юго-восточном фланге Балейского рудного района. В настоящее время это один из немногих геологических объектов, где производится добыча рудного золота в Забайкалье. Верхне-Алиинское месторождение введено в эксплуатацию недавно и привлекло меньше внимания исследователей, по сравнению с его знаменитыми соседями (Балейское, Тасеевское, Средне-Голготайское и др.) [Воротынцев и др., 1983; Никанюк, Мальцева, 2008; Абрамов, 2016; Юргенсон, 2024]. В указанных публикациях рассмотрены общая характеристика месторождения и рудного поля, вопросы характеристики магматических комплексов [Абрамов, 2016; Горячев и др., 2022], минералого-технологическая характеристика руд месторождения и его участков [Никанюк, Мальцева, 2008; Никанюк, 2023], а также вертикальная зональность оруденения, зафиксированная в геохимии и минералогии руд

Приведены новые данные по структурной позиции, минералогии и геохимии руд для Алиинского рудного узла и их технологическим особенностям. Охарактеризована минералого-геохимическая зональность Верхне-Алиинского золоторудного месторождения и всего Алиинского рудного узла в целом. Показана соподчиненность локальной и горизонтальной зональности оруденения в пределах узла локализации гранитоидов поздней фазы позднюрского акатуевского комплекса. Сделан вывод о связи оруденения с гранитоидами в рамках единой рудно-магматической системы, существовавшей в нестабильных *P-T-X* условиях малых глубин, переходных к близповерхностным. Это отличие Верхне-Алиинского месторождения от близких по составу Средне-Голготайского и Сосновского месторождений обусловило отчасти технологическую упорность его руд.

*Золоторудные месторождения, минералого-геохимическая и минералого-технологическая характеристика руд, зональность, рудно-магматическая система, Алиинский рудный узел, Забайкалье, Монголо-Охотский орогенный пояс*

[Воротынцев и др., 1983; Юргенсон, 2024]. В 2015 г. и 2020–2024 гг. авторами собран новый материал по жиле Главной, включая глубокие горизонты месторождения, и с рудопроявлений Рябоконт и Новое, а также получены новые данные по минералогии, позволяющие подойти к вопросу зональности оруденения в пределах всего рудного поля. Эти материалы и составили основу предлагаемой статьи, в которой приведены авторские данные по минералогии и геохимии руд Алиинского рудного поля. Целью статьи является минералого-геохимическая характеристика золоторудной минерализации с выявлением зональности оруденения в масштабах как Верхне-Алиинского месторождения, так и Алиинского рудного поля в целом. Важной задачей является также представление новых минералогических данных по генетическим и технологическим особенностям руд.

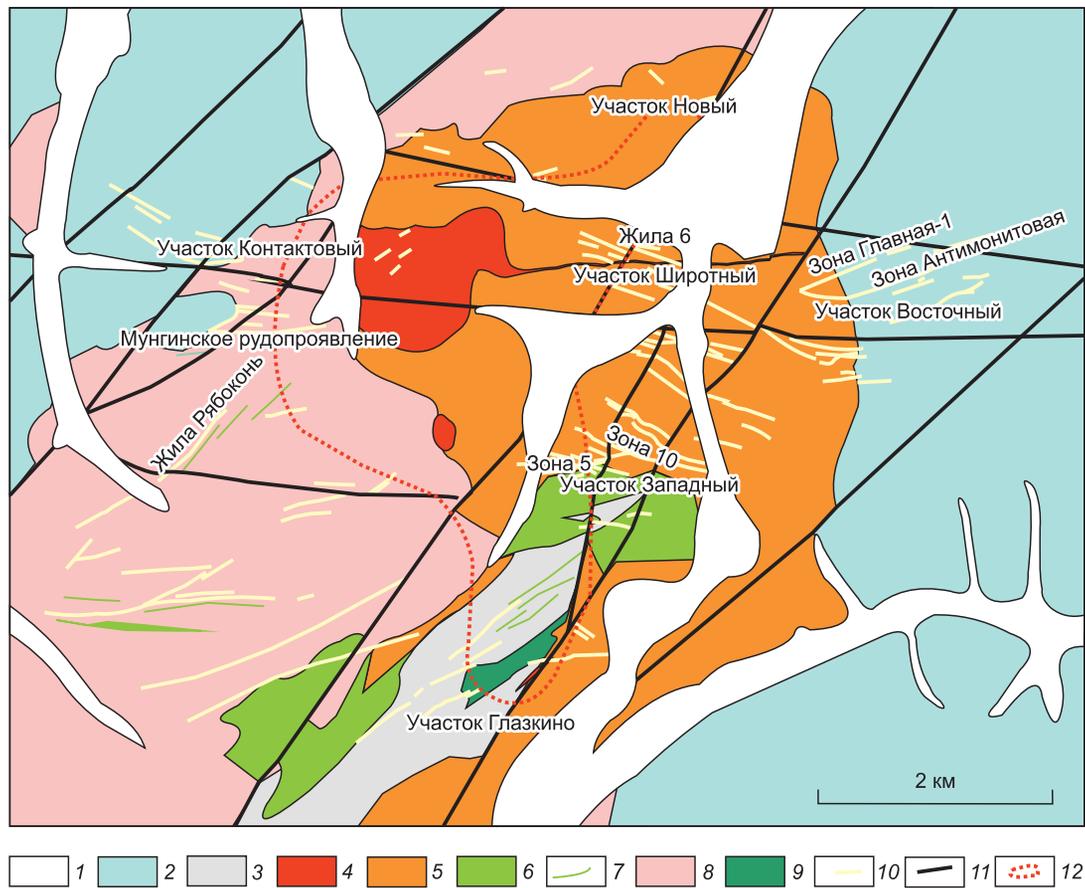
**Региональная геологическая позиция.** Как отмечено выше, Верхне-Алиинское месторождение золота входит в состав Мунгинского рудного узла и расположено на юго-восточном фланге Балейского рудного района Забайкалья [Никанюк, Мальцева, 2008; Абрамов, 2016]. Вместе с месторождениями



**Рис. 1.** Геологическая схема района Мунгинского рудного узла (по [Никанюк, 2023] с дополнениями): 1 – квартал, голоцен: аллювиальные отложения пойм; 2 – поздний мел: ножийская свита; 3 – ранний мел: тургинская свита; 4 – средне-позднеюрские вулканические комплексы; 5 – шахтаминский комплекс монцодиорит-гранодиорит-гранитовый; 6 – борщовочный комплекс гранитовый; 7 – акагуйский комплекс монзонит-сиенитовый; 8 – среднепозднеюрские субвулканические образования; 9 – ундинский пермский гранитовый комплекс; 10 – отложения карбона; 11 – отложения раннего девона: лохковский ярус, макаровская толща; 12 – палеозойские метаморфические породы; 13 – чонгульский комплекс габбровый; 14 – ранний протерозой: урульгинский комплекс метаморфический; 15 – контуры населенных пунктов; 16 – месторождения: 1 – Верхне-Алиинское, 2 – Андриюшкинское, 3 – Средне-Голготайское, 4 – Майское, 5 – Сосновское; 17 – крупные разломы; 18 – россыпи; 19 – мелкие разломы; 20 – переходные породы; 21 – р. Унда и ее притоки.

Сосновским, Майским, Средне-Голготайским и Андриюшкинским оно формирует субширотную полосу рудопроявлений и месторождений мезотермального золотого оруденения на южном фланге Балейского рудного района (рис. 1). На среднемасштабной геологической карте отчетливо видно, что эта полоса золотого оруденения несогласна с основным северо-восточным направлением главных разломов района (Борщовочным, Саранинским и Алиинским) (см. рис. 1) и маркирует южный фланг позднеюрско-раннемелового вулканогенного прогиба, обрамляющего позднемезозойский Борщовочный гранитно-метаморфический вал, наложенный на палеозойские терригенно-карбонатные отложения.

В геологии Алиинского рудного поля (Мунгинский рудный узел) отчетливо выделяется два структурных яруса (рис. 2): палеозойский, представленный терригенно-карбонатными осадками и пермскими гранитоидами ундинского комплекса, и мезозойский, состоящий из среднепозднеюрских вулканогенно-осадочных образований шадоронской серии и интрузивных образований шахтаминского и акагуйского среднепозднеюрских комплексов [Рутштейн и др., 2002; Абрамов, 2016]. Общая характеристика геологической позиции оруденения и истории освоения руд Верхне-Алиинского месторождения приведена в вышеуказанных работах, а также в недавней статье [Юргенсон, 2024], поэтому мы коротко остановимся



**Рис. 2.** Схематическая геологическая карта Алиинского рудного поля (по материалам ЗАО «Омчак», с упрощениями и изменениями авторов). 1 – неоген-четвертичные аллювиальные отложения; 2 – вулканогенно-осадочные и осадочные формации средней юры; 3 – раннекарбонные отложения газимуровской свиты; 4–7 – акаутский монцодиорит-граносиенитовый комплекс: 4 – граносиенит-порфиры III фазы, 5 – монциты II фазы, 6 – габброиды I фазы, 7 – дайки порфиринов I фазы; 8, 9 – ундинский гранит-гранодиоритовый комплекс: 8 – граниты и гранодиориты II фазы, 9 – диориты и габбро-диориты I фазы; 10 – кварц-сульфидные рудные жилы; 11 – главные разломы; 12 – предполагаемый контур массива III фазы.

только на главных деталях, касающихся рудного поля в контексте материалов статьи.

**Структурно-магматические условия локализации.** Алиинское рудное поле локализовано в контуре выходов и экзоконтакте интрузивных пород Алиинского массива трехфазового строения акаутского позднеюрского комплекса [Рутштейн и др., 2002] площадью около 25 км<sup>2</sup> (см. рис. 2). В региональном плане массив и оруденение приурочены к узлу пересечения преобладающей системы северо-восточных разломов с северо-западной системой (см. рис. 1). Однако в локальном плане (см. рис. 2) намечается несколько иная ситуация. Здесь четко выделяются: ранняя субширотная система (главный представитель – Ломихинский разлом), которая контролирует дайку апофизу штока III фазы и распределение основных рудных жил рудного поля и Верхне-Алиинского месторождения, и поздняя зона разломов северо-восточного простирания (зона Алиинского разлома), которые незначительно, но смещают субширотные разломы и рудные тела при их пересечении,

т. е. последние подвижки по нему были пострудными. Важным является и ареал распространения даек и малых тел граносиенит-порфиров III фазы, трассирующих контур нескрытой интрузии в центральной части рудного поля (см. рис. 2).

*Верхне-Алиинское месторождение* расположено в истоках р. Алия и объединяет три рудных участка: Западный, Широкий и Восточный (Северный). Они различаются по морфологии, минеральному составу и геохимическим особенностям составляющих их рудных зон. Протяженность рудоносных зон – от первых сотен метров до пяти километров. Простирание рудных зон Западного и Широкого участков субширотное, север–северо-западное – с крутым падением на юг, Восточного участка – восток–северо-восточное и субширотное (см. рис. 2). В каждом из рудных участков известно до 10 рудных зон и жил.

Западный участок включает в себя серию кварц-сульфидных жил и минерализованных зон субширотного, северо-западного и редко северо-восточного простирания протяженностью 300–750 м и более. Па-

дение зон и жил преимущественно южное и юго-восточное под углами 70–85°. Контакты зон, в большинстве случаев, четкие, ровные, за исключением интервалов прожилково-вкрапленных руд со стороны их висячего бока, где отсутствуют четкие границы.

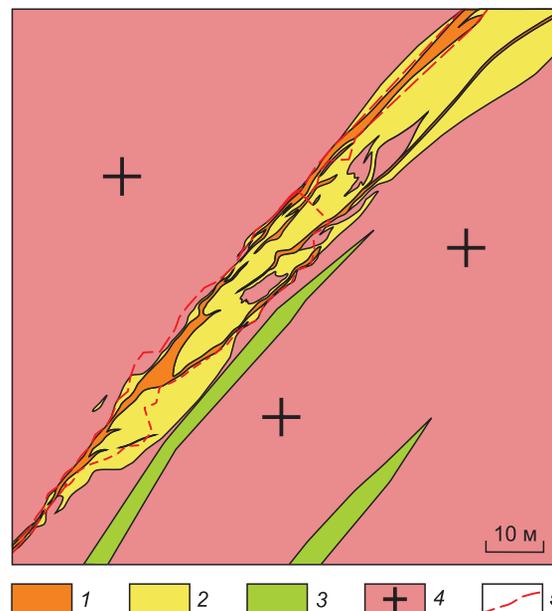
Широтный участок состоит из кварц-сульфидных жил, которые объединены в полосу длиной 5 км и шириной около 1 км. Протяженность отдельных жил варьирует от 100–200 до 1600 м. По падению они прослежены до глубин 100–200 м, редко – 300 м от поверхности.

В состав Восточного участка входят такие рудные тела, как жильные зоны Главная, включающая в себя жилу 2 и жилу 1-бис, и Антимонитовая. Жила 1-бис представлена стержневой кварцевой жилой мощностью 5–20 см с гидротермальными изменениями в зальбандах. Жильная часть сложена тонкозернистым серым кварцем с мелкой вкрапленностью арсенопирита, пирита, реже халькопирита, пирротина, с примазками малахита и азурита по плоскостям трещин. Общее количество сульфидов доходит до 10 %. Мощность жильной минерализованной зоны изменяется от 15 см до 6.8 м. Генеральное простирание жилы 1-бис 110°, падение юго-западное под углом 75–80°.

Зальбанды кварцевых жил и вмещающие рудные зоны интрузивные породы участками претерпели интенсивные гидротермальные изменения. Метасоматиты развиты как в лежачем, так и в висячем боку жильных тел. Породы представлены кварц-карбонат-серицит-каолин-гидрослюдистыми метасоматитами (традиционно называемыми березитами) с вкрапленностью сульфидов и кварц-сульфидными прожилками мощностью от долей мм до 2.5 см. Спецификой околожильных метасоматитов и минералогии рудных жил является присутствие ферримусковитовой разности мусковита-серицита, отличающейся содержанием не только железа, но и магния ( $K_{0.985}(Al_{1.602}Mg_{0.125}Fe_{0.273})\Sigma_{2.00}(Si_{3.149}Al_{0.853})\Sigma_{4.002}O_{10}(OH)_2$ ). Его особенностью является отсутствие фтора и дефицит калия. Сульфиды в виде мелкой вкрапленности и редких гнезд размером до 1 см представлены арсенопиритом, халькопиритом, пиритом, редко сфалеритом и галенитом.

Помимо Верхне-Алиинского месторождения, в состав Алиинского рудного поля входит ряд рудопроявлений (Рябокоть, Контактное, Ново-Мунгинское, Глазковское и Новое). Авторами изучены рудопроявления Рябокоть и Новое.

*Рудопроявление Рябокоть* расположено в 6 км от основных рудных жил Верхне-Алиинского месторождения. Оно представлено единым жильным телом северо-восточного простирания протяженностью около 1 км (см. рис. 2). Промышленная часть жилы образует рудное тело арсенопирит-пирит-турмалин-кварцевого состава, длиной около 160 м при мощности до 15 м (рис. 3). Оно локализовано в гранитах III фазы ундинского комплекса, рассеченных дайками позднемезозойских порфириров, сопровож-

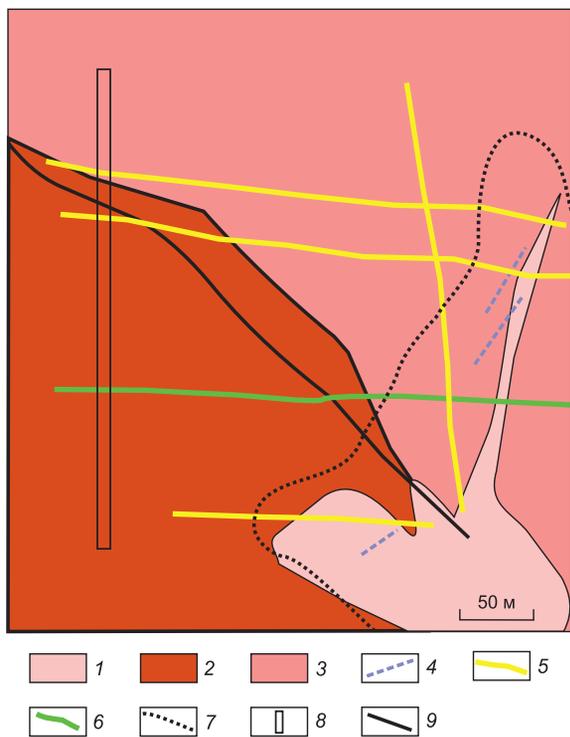


**Рис. 3.** Строение рудной жильной зоны рудопроявления Рябокоть, по [Никанюк, 2023]. 1 – кварц-турмалин сульфидные жилы и прожилки; 2 – метасоматиты серицит-кварцевого состава; 3 – дайки диоритовых порфириров; 4 – граниты ундинского комплекса; 5 – граница повышенного содержания золота.

дающихся ареалами метасоматитов серицит-кварцевого состава, ширина выхода которых колеблется от 2 до 25 м. Промышленное оруденение по результатам бурения прослежено на глубину до 100 м.

В строении рудного тела выделяются три морфологически различные части: юго-восточный фланг в виде стволовой жилы с зоной прожилково-вкрапленной минерализации; центральная – самая продуктивная часть, представляющая собой систему субпараллельных жил линзовидной формы и апофиз от центральной жилы, формирующих линейную штокверкоподобную зону протяженностью до 200 м; северо-восточный фланг представлен двумя субпараллельными жилами с невысокой продуктивностью. Авторами была изучена руда из пробы в траншее 50.19.

*Рудопроявление Новое* располагается на расстоянии в пределах 1.5–2.0 км к северу от группы основных участков месторождения Верхне-Алиинское. В геологическом строении рудопроявления принимают участие интрузивные образования пермского (ундинский комплекс) и юрского возраста (акатуйский комплекс). Ранние продукты гидротермального процесса представлены дорудными жилами, локализованными в гранитах пермского возраста, и имеют северо-восточную ориентировку. Поздние, собственно рудные гидротермальные субширотные, приурочены к контакту интрузивных образований I и III фаз среднепозднеюрского акатуйского комплекса, которые представлены габбро-монцонитами и монцонитами (I фаза) и гранит-порфирами (III фаза) в юго-



**Рис. 4.** Геологическая схема участка Новый. 1 – гранит-порфиры акатуевского комплекса; 2 – габбро-монцитониты акатуевского комплекса; 3 – граниты ундинского комплекса; 4 – дорудные жилы (кварц-турмалиновые жилы); 5 – гидротермальные жилы позднего этапа; 6 – жила Новая; 7 – граница карьера; 8 – канава; 9 – разлом.

восточной части рудопоявления в виде интрузивного тела неправильной формы (рис. 4). Самые поздние пострудные жилы халцедоновидного кварца – субмеридиональные. Рудное тело протяженностью около 300 м вместе с разноориентированными оперяющими жилами локализовано в зоне контакта средне-позднеюрских габбро-монцитонитов и монцитонитов с гранитами ундинского комплекса (см. рис. 4). Оно представляет собой жильно-прожилковую систему сульфидно(пирит-арсенопирит)-кварцевого (халцедоновидный кварц, халцедон) состава мощностью не более 1–2 м. Вокруг рудных жил зафиксирован ореол метасоматитов аргиллизитового профиля.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование состава руд и измененных пород проводилось методами атомно-эмиссионного спектрального количественного анализа (АО «Сосновгео») и рентгенофлуоресцентного анализа (АО «Иргиредмет», методика Испытательного аналитического центра МА ИАЦ-53-2004), а также фазового атомно-абсорбционного и атомно-эмиссионного с индуктивно связанной плазмой ICP-AES анализов (АО «Иргиредмет», МА ИАЦ-70-2010). Массовая доля общего и органического углерода определялась в Центральной

пробирно-аналитической лаборатории АО «Покровский рудник», г. Благовещенск. Измерения велись согласно инструкции Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н.М. Федоровского НСАМ № 446-Х, средством измерений служил анализатор серы и углерода LecoSC-114 DR. Доля карбонатного диоксида углерода устанавливалась по методике Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н.М. Федоровского «Титриметрическое определение диоксида углерода». Содержание золота приводилось по данным пробирной плавки, серебра – по данным атомно-абсорбционного анализа (АО «Иргиредмет», МА ИАЦ-44/01.00057/2012).

Количественный минералогический анализ руд был выполнен на дробленном материале крупностью –2.0 мм по методике, используемой для золотосодержащих руд [Людейщиков, Васильева, 1997]. Также использовался метод селективного растворения вторичных образований железа в щавелевой кислоте и карбонатов в уксусной кислоте. Нерастворимые остатки проб рассчитывали на классы крупности от –1.0 до –0.05 мм и фракционировали в тяжелой жидкости (бромформ, плотность 2.9 г/см<sup>3</sup>).

Петрографические и минераграфические исследования проводились на оптическом микроскопе Olympus BX-51. Минеральный состав пробы руды также оценивался по результатам рентгеноструктурного (дифрактометрического) метода. Количественный минеральный состав изучался на дробленном материале исходной руды крупностью –2 мм с использованием данных микроскопических исследований прозрачных и полированных шлифов на микроскопе Nikon Eclipse LV 100 POL. Содержание гидроксидов железа определялось по разнице в весе после обработки пробы 10 %-м раствором щавелевой кислоты на водяной бане.

Описание форм нахождения рудных минералов и их ассоциаций в пробе руды проводилось на основании изучения гравиконоцентратов, брикетных и полированных шлифов. Составы минералов изучались с помощью электронно-зондового микроанализа на приборах Camebax SX-50 (Аналитический центр Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН) и TesCan (АО «Иргиредмет»), а также на растровом электронном микроскопе LEO 1430 VP (ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, аналитик к.г.-м.н. Е.А. Хромова). Определение степени совершенства кристаллического строения (СКС) жильного кварца выполнено по методике, описанной в работе [Юргенсон, Тумуров, 1980].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Краткая характеристика рудной минерализации.** Морфологически рудные тела – это кварц-сульфидные жилы и жильные зоны с преобладающим крутым падением и субширотным (с вари-



**Рис. 5.** Полосовидные обособления пирита (вверху) и арсенопирита (внизу), фрагмент рудной жилы 1-бис жильной зоны Главная (горизонт 675), Восточный участок.

циями от запад–северо-западного до восток–северо-восточного) простираются (см. рис. 1). В их составе заметную роль играют сульфидные и сульфосолеидные минералы (табл. 1), среди которых преобладают пирит и арсенопирит, образующие продольные полосовидные обособления в теле жил (рис. 5).

К специфике распределения минералов относится заметное увеличение роли антимонита на дальнем фланге Восточной зоны, где в жиле Антимонитовой его концентрация достигает первых процентов, а также в жилах участка Новый.

Главные рудные жилы полисульфидные встречаются двух типов: пирит-арсенопиритовые с кварцем и пирит-халькопирит-полиметаллические, иногда оба типа сочетаются в едином рудном теле. В пределах Алиинского рудного поля авторами выделяется два этапа формирования гидротермальной минерализации: ранний турмалин-мусковит-кварцевый, связанный с ундинскими гранитами, и поздний, собственно рудный, в составе которого иногда отмечается, помимо кварца и сульфидов, вторая генерация турмалина [Горячев и др., 2022]. В пользу этого сви-

детельствуют наблюдения пересечения турмалиновых полос, заметно проявленных в ундинских гранитах, прожилками кварца с сульфидами на проявлении Новом. Это можно также видеть и на участках многократного брекчирования жилы Главной, состоящих из обломков пропилитизированного и окварцованного граносиенита в кварц-турмалиновом цементе с мелкой вкрапленностью пирита, арсенопирита, висмутита и тетрадимита, рассеянной поздними тонкими прожилками тонкозернистого полосчатого кварца или карбонатно-кварцевого состава. По результатам ранее проведенных работ [Никанюк, Мальцева, 2008, 2009; Мальцева, Никанюк, 2011; Никанюк, 2023; Юргенсон, 2024] и наших наблюдений можно наметить такую общую последовательность минерализации в пределах рудного поля: I – дорудные турмалины и жилы нормального гидротермального постмагматического кварца практически без сульфидов, связанные с ундинскими гранитоидами; II – жилы и минерализованные зоны с двумя стадиями: кварца с пиритом, арсенопиритом и сульфидами – первой продуктивной, халцедоновидного кварца с золотополиметаллической, иногда с турмалином, минерализацией – второй продуктивной, они секут дайки гранит-порфиров жильной фации рудовмещающего интрузива; III – субмеридиональные жилы халцедоновидного кварца с пиритом (поздние непродуктивные), известные на северо-восточном фланге Алиинского рудного поля.

Сочетание продуктивных жил разнотипного кварца и широкое распространение жил халцедоновидного кварца среди них может свидетельствовать о меньшей глубине формирования Верхне-Алиинского месторождения, по сравнению с другими месторождениями южного фланга Балецкого рудного района. В пользу такого предположения свидетельствуют и данные по СКС рудоносного кварца Верхне-Алиинского месторождения ([Юргенсон, 2024], табл. 2), согласно которым в пределах месторождения выявляется вертикальная зональность от халцедоновой разновидности кварца с СКС 35 % на восточном фланге до хорошо раскристаллизованного кварца с СКС бо-

**Таблица 1.** Минеральный состав руд Алиинского рудного поля

Относительная распространенность	Рудные минералы	Жильные минералы	Минералы зоны окисления
Главные (более 10 %)	Пирит, арсенопирит	Кварц, кальцит	Гидроксиды железа
Второстепенные (1–10 %)	Галенит, сфалерит, халькопирит, пирротин, буланжерит, антимонит	Анкерит-доломит, мусковит-серицит, турмалин, хлорит, стильпномелан, иллит	Церуссит, англезит, ярозит, скородит
Редкие (менее 1 %)	Блеклая руда, марказит, пентландит, кобальтин, линнеит, шеелит, молибденит, висмутин и сульфовисмутиды свинца, золото, электрум и серебро самородное, висмут самородный, джирит и сульфосоли свинца, в том числе семсейит, андорит, мадокит, плагионит	Каолинит, сфен, эпидот-цоизит, рутил, топаз, монацит	Малахит, азурит, брошантит, бедантит

**Таблица 2.** Степень СКС жильного кварца разноглубинных рудных зон Верхне-Алиинского месторождения

Рудная зона	Структурно-текстурные особенности жильного кварца	Средняя величина СКС, %
Восточная, жила Главная, верхняя часть	Халцедоновидный	35
Жила Главная, средняя часть	Тонкомелкозернистый	48
	Среднезернистый	57
Широтная зона	Среднекрупнозернистый	67
Западная зона, верхняя часть	Мелкозернистый до среднезернистого	63
Западная зона, нижняя часть	Среднекрупнозернистый, участками друзоватый	89

лее 60 % (до 93 %, по [Юргенсон, 2024]) для жил Широтного и Западного участков, максимально приближенных к выходам граносиенит-порфириров III фазы.

Особенностью валовых проб жильного кварца Верхне-Алиинского месторождения является также уменьшение с глубиной содержания рубидия в жиле Главной (г/т): 182 в надрудной, 109 в верхнерудной и 54 в рудной ее части [Юргенсон, 2003]. В этом отношении интересные данные получены при сопоставлении составов арсенопирита (табл. 3), отобранного из разных участков жильной зоны Главной по вертикали – от сурьмянистого, характерного для малоглубинных уровней формирования золотой минерализации, к слабомышьяковистому более глубинных уровней. Аналогично арсенопирит участков Западный и Рябоконт, максимально приближенных к телу поздних граносиенит-порфириров, также наиболее мышьяковистый. Интересно, что пирит глубоких горизонтов не содержит мышьяка и немного более сернистый, равно как и пирит зон Западной и Рябоконт.

Авторами выполнен в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН (аналитик Т.А. Веливецкая) анализ изотопного состава серы арсенопирита, пирита, пирротина и халькопирита Верхне-Алиинского месторождения из Западного участка, показавший преобладание ювенильной серы: арсенопирит – +1.5 %, пирит – +2.0 %, пирротин – +0.5 %, халькопирит – +1.4 %.

Имеющиеся в нашем распоряжении материалы по минералогии отдельных рудных тел (участок Восточный, зона Главная и жила Рябоконт), также показывают специфику проявления второстепенных и редких минералов в намечающейся зональности рудной минерализации. Так, зона Главная характеризуется присутствием не только редких джирита и сульфоселей свинца (табл. 4, 5, рис. 6), но и беспримесным галенитом и достаточно высокожелезистым сфалеритом. В то время как в жиле Рябоконт место сульфоселей свинца занимают его сульфовисмутиды, и сам галенит оказался богат висмутом и серебром (см. табл. 4, рис. 6).

**Таблица 3.** Химический состав арсенопирита и пирита верхних и нижних горизонтов жилы Главной, жильной зоны 5 и рудопроявления Рябоконт (пересчет на 100 %)

Положение образцов	Количество анализов	Элемент и его содержание, мас. %			
		Fe	As	S	Sb
<b>Арсенопирит</b>					
Приповерхностная часть зоны Главной	1	36.07	37.05	21.2	5.69
	1	37.8	40.03	21.68	0.49
Верхние горизонты зоны Главной	4	35.78	43.93	20.29	н.о.
Нижние горизонты зоны Главной	5	35.51	44.88	20.01	»
Западный, зона 5	4	34.53	45.63	19.84	»
Рябоконт	4	34.47	45.70	20.33	»
Новая	1	35.10	44.71	20.27	–
<b>Пирит</b>					
Верхние горизонты зоны Главной	4	46.34	1.25	51.96	0.46
	5	46.40	0.98	52.62	–
	4	47.07	–	52.93	–
Нижние горизонты зоны Главной	5	46.07	–	53.93	–
Западный, зона 5	3	46.57	–	53.43	–
Рябоконт	3	46.51	–	53.49	–
Новая	1	47.89	–	52.11	–

Примечание. Здесь и в табл. 4, 5: к 100 % пересчитаны составы минералов с суммами анализа 97.5–102 %, н.о. – не обнаружено, прочерк – не анализировалось.

**Таблица 4.** Химический состав сфалерита, галенита, джирита и сульфовисмутидов свинца (приведено к 100 %)

Минерал	<i>n</i>	Fe	S	Zn	Cu	Pb	Mn	Bi	Ag	Sb
Джирит	2	–	24.54	–	75.76	–	–	–	–	–
Сфалерит	1	6.7	33.22	60.08	–	–	–	–	–	–
	1	9.8	33.03	57.17	–	–	–	–	–	–
	1	8.17	33.49	57.89	–	–	0.45	–	–	–
	1	9.0	32.79	58.21	–	–	–	–	–	–
Галенит	3	–	11.79	–	–	88.21	–	–	–	–
	5	–	12.61	–	–	87.39	–	–	–	–
	1	–	13.30	–	–	74.52	–	9.28	2.91	–
Сульфосоли Bi	1	–	17.48	–	–	28.65	–	45.04	5.17	3.66
	1	–	12.45	–	–	43.68	–	36.81	7.06	–

Следует также отметить наличие своеобразной микроминеральной зональности сульфидно-сульфосольных включений в кварце жильной зоны Главной (см. рис. 6, б), характеризующейся наличием зоны отложения сульфосолей в ассоциации с джиритом вдоль контакта галенита с кварцем. Это явное проявление неустойчивости минеральной системы в процессе рудоотложения, характерной для малых глубин.

**Самородное золото.** Золото в первичных рудах находится в самородном виде, других минеральных форм не обнаружено. При изучении технологических проб установлено, что золото в руде ассоциирует в основном с кварцем, пиритом и арсенопиритом. Крупные золотины в основном имеют удлиненно-неправильную, уплощенную, реже комковидно-неправильную и ажурную формы (рис. 7). В то же время данные электронной микроскопии (рис. 8) показывают, что ультрамелкие частицы золота имеют массивный псевдокристаллический и дендритовидный (листоватый) облик.

По результатам гранулометрического анализа установлено, что основная масса золота (50.6–75.4 %) представлена мелкими и тонкими золотинами класса –0.071 мм. При этом масса более крупного золота (19.8–26.8 %) достаточно равномерно распределена по классам крупности от –0.5 до –0.1 мм. На долю золота, представленного золотинами, размер которых превышает 0.5 мм, приходится от 1.1 до 11.7 %.

**Таблица 5.** Химический состав сульфосолей жильной зоны Главной (приведен к 100 %)

Минерал	Элемент и его содержание, мас. %				Формула
	Pb	Ag	Sb	S	
Мадокит	51.98	–	30.01	18.00	$Pb_{17.5}Sb_{17.31}S_{39.19}$
Плагионит	38.84	–	41.1	20.06	$Pb_{4.89}Sb_{8.8}S_{16.31}$
Семсейит	54.1	–	29.09	16.81	$Pb_{9.69}Sb_{8.86}S_{19.45}$
Буланжерит	56.0	–	26.62	17.38	$Pb_{5.24}Sb_{4.24}S_{10.52}$
Буланжерит, жила 1-бис	58.95	–	24.04	17.01	$Pb_{5.62}Sb_{3.90}S_{10.48}$
Андорит	22.94	12.17	43.84	21.04	$Pb_{0.98}Sb_{3.19}AgS_{5.82}$

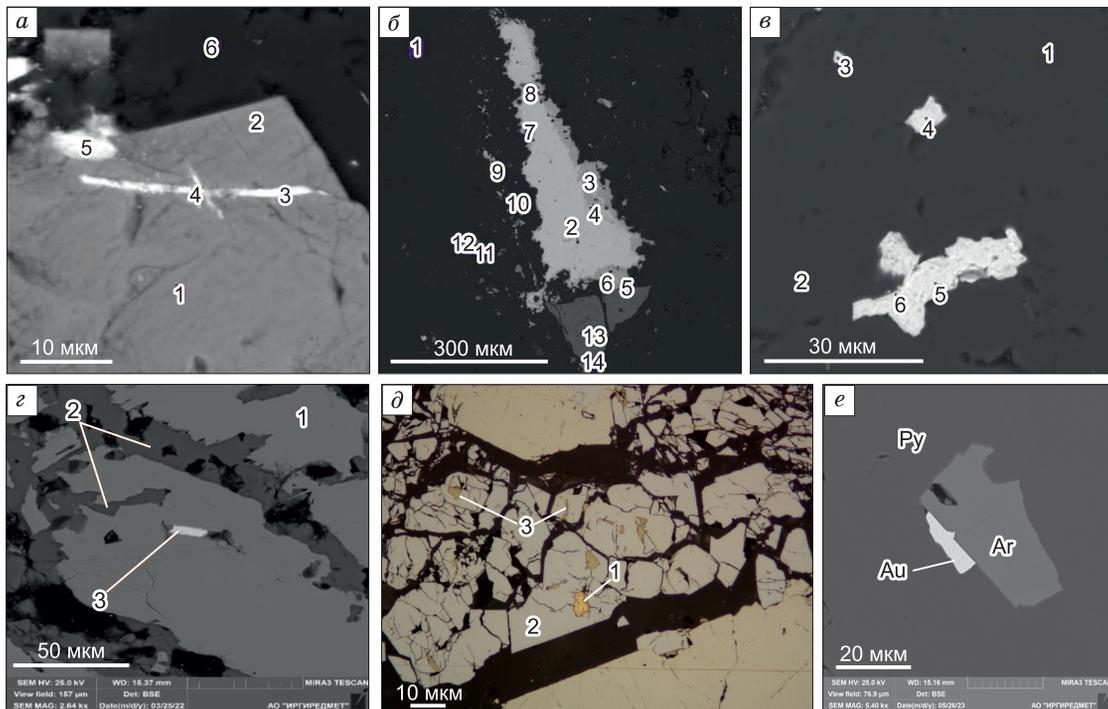
Данные сцинтилляционного анализа показали, что среди мелкого и тонкого золота преобладают золотины крупности от 3 до 25 мкм. Установлено, что содержание золота данной крупности составляет 18.6 % от общего содержания драгоценного металла в пробе руды, притом, что 80 % его относится к классу 25–15 мкм.

Цвет основной массы золота имеет тусклый, грязно-желтый оттенок. Пробность золота, по данным атомно-абсорбционного анализа, составляет 848–870 %, а по результатам 23 микронзондовых анализов (TESCAN TIMA) варьирует в более широких пределах – 680–925 % (участок Западный, жила 5 – 713–925 %, участок Восточный, зона Главная жила 1-бис –

**Таблица 6.** Минеральный состав первичных руд

Минералы, группы минералов	Массовая доля, %
Кварц	22.9–35.8
Полевые шпаты	4.0–39.0
Слюдисто-гидрослюдистые минералы	5.8–43.5
Пироксены	5.0–12.0
Амфиболы	2.0–5.0
Хлориты	1.0–5.0
Карбонаты	0.4–7.5
<b>Сульфиды:</b>	
Пирит	2.6–30.0
Арсенопирит	2.3–25.0
Пирротин	0.5–2.6
Халькопирит	0.3–1.3
Галенит	0.5–1.2
Сфалерит	0.1–1.0
Гидроксиды и сульфаты железа, в том числе	
Лимонит, гетит, гидрогетит	0.5–1.7
Ярозит	1.0
Магнетит	0.1–0.2
Акцессорные минералы: ковеллин, ильменит, сфен, циркон	Ед. зн.
Всего	100.0

Примечание: Ед. зн. – единичные знаки.



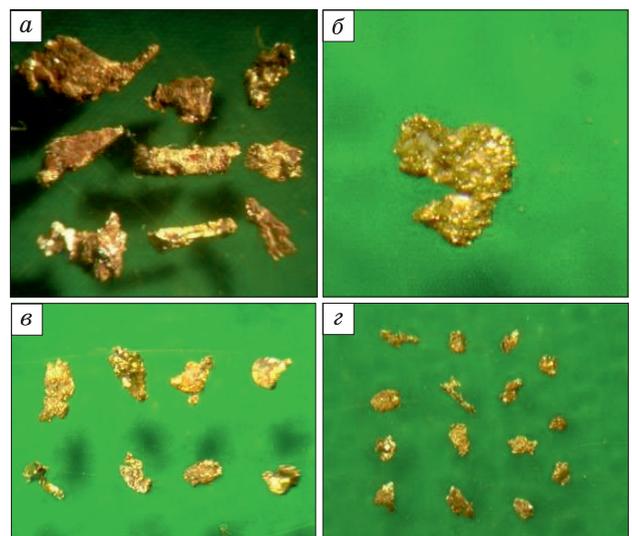
**Рис. 6.** Редкие минералы в рудных жилах Алиинского поля: *а* – буланжерит (5) на контакте кварца (6) и кристалла пирита (1, 2) второй генерации, рассеченного галенитом (3, 4) (зона Главная, электронно-микроскопический снимок); *б* – андорит (3, 6), мадокит (4, 7) и плагионит (5) обрамляют крупное выделение галенита (2) в кварце, содержащем зерна раннего пирита (8, 11, 13, 14) и арсенипирита (10, 12) (зона Главная, электронно-микроскопический снимок); *в* – семсейит (3, 4) в ассоциации с буланжеритом (5) и галенитом (6) (зона Главная, электронно-микроскопический снимок); *г* – включение галеновисмутина (3) в арсенипирите (1), корродированном скородитом (2) (Рябокоть, электронно-микроскопический снимок); *д* – включения золота (1) и халькопирита (2) в арсенипирите (3) (фото в отраженном свете); *е* – срастание золота с арсенипиритом (Ar) в пирите (Py) (электронно-микроскопический снимок).

839–728 %, рудопроявление Рябокоть – 680 %), очень редко отмечены выделения электрума в зоне Главной [Юргенсон, 2024].

Анализ монофракций пирита и арсенипирита из состава технологических проб показал близкие концентрации золота в них (г/т): пирит – 18.1–35.5, арсенипирит – 15.6–35.5.

**Минералого-технологическая специфика руд.** Результаты минералогических исследований, скорректированные с данными химического анализа, представлены в табл. 6. Как видно из табл. 6, в составе первичных руд преобладают кварц, силикаты и пирит с арсенипиритом. Большое значение для извлечения играют такие показатели, как степень окисления руд, степень сульфидности и упорность руд. Данные табл. 7 показывают, что первичные руды по степени сульфидности занимают большой диапазон от слабосульфидных до сульфидных, в основном являясь умеренно-сульфидными и относительно слабоокисленными. При этом уровень содержания полезного компонента в них близок и варьирует в пределах 6.0–13.6 г/т при относительном обогащении окисленных руд (9.7–48.2 г/т) вследствие высвобождения и концентрирования в них свободного золота. Частиц золота с чистой поверхностью, не задетых окисными

пленками, практически нет, все они в разной степени ассоциируют с гидроксидами железа. Важным аспектом является то, что окисленные руды характеризуются более крупным золотом (50 % более 0.07 мм), в отличие от первичных (75 % менее 0.07 мм).



**Рис. 7.** Морфология золотин (*а*) разной крупности: –1.0... +0.5 мм (*б*); –0.5... +0.25 мм (*в*); –0.16...+0.1 мм (*г*).

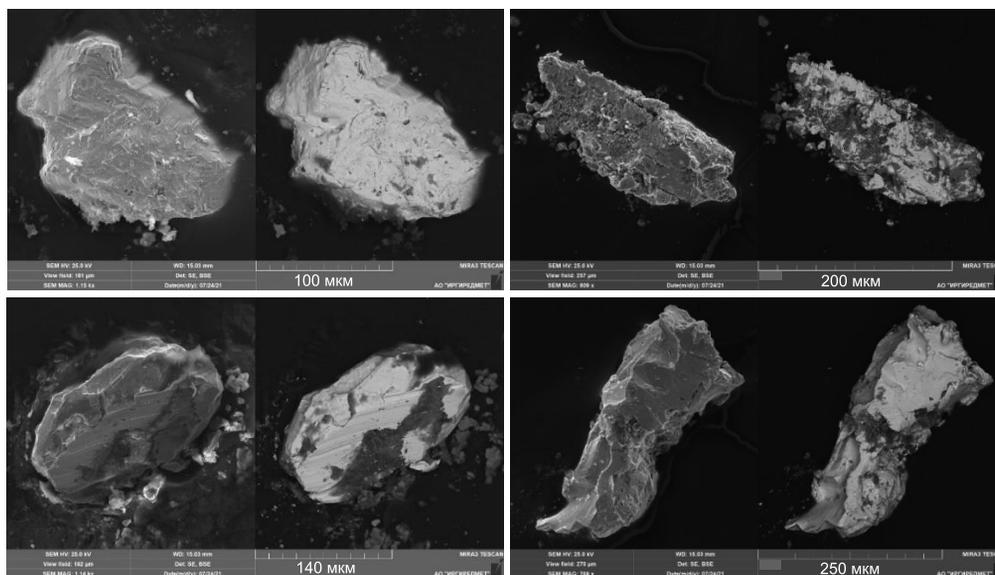


Рис. 8. Морфология микрокристаллов самородного золота Верхне-Алиинского месторождения.

Первичные руды месторождения являются упорным в технологическом отношении сырьем, поскольку в рудах преобладает очень мелкое и тонкое золото, и часть его в тонкодисперсной форме содержится в сульфидах. Кроме того, в рудах присутствует значительная доля вредных примесей, находящихся в виде сульфидных, карбонатных и сульфатных минералов цветных металлов и железа. Поэтому извлечение из руды золота цианистым процессом составило 70.3–78.4 %.

**Геохимические особенности руд.** Геохимия рудных тел верхних горизонтов участка Восточный была изучена одним из авторов [Юргенсон, 2024], показавшим, с одной стороны, общий уровень концентраций элементов в верхней части рудных тел, где оказались высокие содержания Zn, Pb, Cu, Sb, Bi, As, с тенденцией к их уменьшению к нижним горизонтам, которые характеризуются также низкими концентрациями Co, Ni, Mo. В то же время новые данные, полученные нами при опробовании руд на горизонте 675 и 775 м (более чем в 100 м ниже), достаточно контрастно отличаются существенно большей концентрацией

As, Co, Ni, Bi, Mo и весьма низкой концентрацией Sb, Zn (табл. 8). В целом, на горизонте 675 м рудная жила оказалась обогащена типоморфными элементами As, Bi, Co, Cu, Mo, S, а также Cd, Ni, Sn. Для околожильных метасоматитов характерно обогащение породобразующими элементами Al, Ca, K, Mg, Mn, Na, P при относительно повышенных концентрациях As, Cu, Ni, S, т. е. геохимическая зональность, выявленная ранее, получила дополнительное подтверждение нашими новыми данными.

Таким образом, характеризуя геохимические особенности рудной минерализации Алиинского рудного поля, отметим, что, несмотря на разную представительность данных (табл. 9), можно утверждать, что руды Верхне-Алиинского месторождения характеризуются постоянно высокими концентрациями As, S, Bi, иногда высокими Cu, Co, Sb, Pb и Zn относительно фоновых концентраций и концентраций в околорудных березитах. При этом следует отметить неравномерность распределения Sb, Co, Ni, Cu, Pb и Zn, что, вероятнее всего, связано с геохимической и минеральной зональностью минерализации [Юргенсон,

Таблица 7. Основные показатели технологических проб руды Верхне-Алиинского месторождения

Тип руд по степени окисления (количество проб)	Вариации степени окисления, %	Содержание Au, г/т	Место отбора и характер пробы	Вариации руд по сульфидности, %
Первичный (10)	6.0–13.0	6.00–13.65	Смешанная по месторождению (2)	11.0–13.5
	2.3–18.0		Зона Главная (4)	9.7–45.0
	3.0–9.0		Зона 10 (4)	5.0–18.0
Смешанный (3)	29.0–41.0	8.00–13.52	Смешанная по месторождению (2)	6.7–10.0
	28.0		Зона Главная	5.3
Окисленный (2)	98.0	9.7–48.2	Жила 2	0.2
	88.7		Зона Владимирская	0.8

**Таблица 8.** Средние концентрации элементов в рудных жилах и метасоматитах горизонта 675 рудной зоны Главная Верхне-Алиинского месторождения

Элемент	Рудная жила (11 проб)	Околорудные метасоматиты (11 проб)
As, %	11.8 (0.9)	0.093 (0.09)
Bi, г/т	280 (167)	5 (3)
Co	2860/540 (46)	40 (11)
Cu	10550/1380 (1108)	270 (66)
Mo	30 (2)	2 (2)
Ni	480/210 (28)	76 (41)
S, %	11.2	1.33
Sb, г/т	140 (793)	75 (198)
Sn	40	15
Zn	270 (1997)	92 (580)
B	н.о.	н.о.
Ag	(76.5)	(19)
Au	(8.2)	(0.6)

Примечание: Co, Cu, Ni в рудной жиле: среднее по всей выборке/среднее без аномальных концентраций. Se, Te, В, Ве не обнаружены, W – только в одной пробе. В скобках – средние концентрации в верхних горизонтах, по [Юргенсон, 2024].

2024]. Околорудные метасоматиты содержат разное количество сульфидной вкрапленности, что находит отражение в неравномерном распределении в них серы, меди, свинца и цинка.

Если же рассматривать вариации микроэлементного состава в масштабах рудного поля, то можно отметить дополнительное подтверждение нашими новыми данными вывода [Юргенсон, 2024] о наличии минералого-геохимической зональности не только в

пределах месторождения, но и всего рудного поля в целом (табл. 10).

Так, отчетливее проявляется обогащенность руд флангов рудного поля Sb, Pb и Zn, а для центральных частей, максимально приближенных к ареалу выходов граносиенит-порфиров третьей фазы, характерны повышенные концентрации Co, Ni, Cu и появление высоких содержаний бора.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По нашим наблюдениям, рудная минерализация Верхне-Алиинского месторождения и рудопроявлений Алиинского рудного поля отличается от таковой типичных мезотермальных месторождений (Средне-Голготайского [Гвоздев и др., 2020], Сосновского, Майского и Андрюшкинского) высокой сульфидностью продуктивных руд, малыми размерами частиц самородного золота, относительной редкостью находок турмалина и минералов висмута и заметно меньшей ролью кварца в составе продуктивных ассоциаций. Типоморфные свойства кварца (низкая степень его кристаллического строения, халцедоновидный облик, особенно наименее эродированной зоны Восточной [Юргенсон, 2003]), повышенная сульфидность руд и локализация свинцовых и висмутовых сульфосолей в виде тонких микровключений в пирите и арсенопирите с элементами зонального отложения сульфосолей и галенита в кварце (см. рис. 6), высокая доля частиц самородного золота (менее 0.07 мм более 50–70 %) – все это свидетельствует о малых глубинах минералообразования: переходных от среднеглубинных, характерных для вышеуказанных месторождений, к приповерхностным, типоморф-

**Таблица 9.** Геохимическая характеристика руд и околорудных метасоматитов

Элемент	Западная				Восточная, жильная зона Главная				Новая		Фон
	Зона 5		Зона 10		Горизонт 675, рудная жила	Горизонт 675, метасоматиты	Горизонт 775, руда	Горизонт 775, березиты	Руда	Березиты	
	Руда	Березиты	Руда	Березиты							
As, %	<b>18.10</b>	<b>0.0255</b>	<b>3.23</b>	<b>0.056</b>	<b>18.45</b>	<b>0.099</b>	<b>14.45</b>	<b>0.13</b>	<b>4.87</b>	<b>0.167</b>	0.0033
S	<b>8.38</b>	0.457	<b>10.18</b>	<b>10.80</b>	<b>15.98</b>	0.507	<b>25.25</b>	<b>4.96</b>	1.20	0.387	0.528
Sb, г/т	78	3	120	91	<b>5830</b>	61	<b>310</b>	112	<b>3250</b>	<b>1060</b>	31
Bi	<b>323</b>	< 5	<b>296</b>	< 5	<b>422</b>	< 5	<b>280</b>	< 5	<b>444</b>	< 5	< 5
Co	<b>6178</b>	44.5	64	34	23	17	126	6.5	43	8	13
Ni	<b>793</b>	<b>115</b>	<b>390</b>	82	21	47	39.5	12	11	16	34
Cu	<b>876</b>	<b>141</b>	<b>35 533</b>	<b>1385</b>	<b>1961</b>	47	<b>1535</b>	44	<b>570</b>	<b>119</b>	13
Pb	<b>208</b>	22	<b>332</b>	24	<b>13 026</b>	<b>335</b>	<b>1950</b>	<b>310</b>	<b>5100</b>	<b>714</b>	39
Zn	83	86	<b>754</b>	74	<b>11 560</b>	255	88.5	137	270	193	69
B	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Mo	<b>24</b>	< 2	6	< 2	<b>31</b>	2.2	< 2	< 2	6	3.5	2.4
n	5	2	3	2	8	8	2	2	8	12	3

Примечание. Фон – пробы слабоизмененных монзонитов района зоны Главной на горизонте 675. Полужирным шрифтом выделены элементы, концентрации которых превышают фоновые в пять раз. n – количество проб.

Таблица 10. Микроэлементный состав руд золотого оруденения Алиинского рудного поля

Элемент	Рябокось	Верхне-Алиинское месторождение						Новый
		Западный участок		Широтный участок	Восточный участок			
	Руда, технологическая проба	Зоны 5 и 10, руда горизонты 825–775	[Юргенсон, 2024]	[Юргенсон, 2024]	Главная, горизонты 675–775	Главная, горизонт +825 [Юргенсон, 2024]	Антимонитовая [Юргенсон, 2024]	Руда
As, %	6.61	12.52	0.8696	1.0698	17.65	1.1285	1.2389	4.87
S	2.65	9.06	н.о.	н.о.	17.83	н.о.	н.о.	1.20
Sb, г/т	130	94	113	175	4726	1140	15 763	3250
Bi	360	314	758	528	394	279	58	444
Co	27	3885	751	53	44	6	12	43
Ni	18	642	155	18	25	14	11	11
Cu	460	13 622	3250	727	1876	167	1600	570
Pb	380	254	278	769	10 811	4820	9876	5100
Zn	58	334	198	1590	9266	2870	10 239	270
B	10 000	< 5	н.о.	н.о.	< 5	н.о.	н.о.	< 5
Mo	< 2	17	3	3	25	3	3	6
Au	10.3	–	–	–	–	–	–	–
Ag	51.1	–	85	49	–	106	448	–
<i>n</i>	1	8	23	26	10	9	16	8

Примечание: *n* – количество проб, прочерк – нет данных, н.о. – не обнаружено.

ным для основного оруденения Балейского рудного района. Узкий диапазон изотопного состава серы рудных минералов (+0.5...+2.0 ‰ – 4 пробы) свидетельствует о ювенильном, магматогенном источнике серы. Составы сосуществующих пирита и арсенопирита, арсенопирита и сфалерита указывают на среднетемпературные условия их кристаллизации (350–300 °C). В то же время текстурные характеристики руд, наличие микровключений золота и сульфосолей Pb и Bi в арсенопирите и пирите свидетельствуют о нестабильности *P-T-X* условий во время рудоотложения, быстрой эволюции состава рудообразующих флюидов с угнетенной сульфосолевой ассоциацией и широком распространении антимонитовой минерализации в конце процесса. Это также отличает Алиинское рудное поле от мезотермального оруденения Средне-Голготайского, Майского, Казаковского и Сосновского месторождений. Данное отличие, на наш взгляд, связано с выявленной в пределах рудного поля и месторождения минералого-геохимической зональностью относительно выходов на поверхность интрузивных пород III фазы акатуйского комплекса. Степень СКС кварца Западного и Широтного участков, максимально приближенных к интрузивному телу этой фазы, устойчиво выше, чем в рудах восточного участка Верхне-Алиинского месторождения, максимально удаленного от плутона.

Геохимические данные показывают, что, если брать за индикаторы Co, Ni и Cu, то максимальные их концентрации характерны для жильной зоны 5 Западного участка Верхне-Алиинского месторожде-

ния, которая, с одной стороны, максимально приближена к гребню слабоскрытого массива граносиенит-порфиоров III фазы акатуйского комплекса, трассируемого по штокообразным и дайковым выходам северо–северо-западном направлении (см. рис. 2), а с другой – локализована частично в габбро-монцонитах I фазы этого комплекса, возможно, обеспечивших их высокие концентрации [Юргенсон, 2024]. Косвенно о возможном влиянии основных пород на содержание Co и Ni свидетельствуют их низкие концентрации в жиле Рябокось, находящейся также недалеко от выхода поздних граносиенит-порфиоров. Тем не менее это следствие их максимальной близости к магматитам заключительной фазы, под воздействием флюидной системы которых произошло извлечение этих элементов из пород ранней фазы. Можно отметить также и роль Bi, повышенные концентрации которого и его минералы также тяготеют к выходам граносиенит-порфиоров заключительной фазы (зоны Западная и Широтная). Вместе с тем в рудопроявлении Новое индикаторность удаленности от основного магматического тела проявляется в аномально высокой концентрации Sb не только в рудных жилах, но и в околорудных метасоматитах (см. табл. 9). Здесь уместно отметить высокую концентрацию B и Bi при невысоких содержаниях Cu, Pb, Zn, Sb в жиле Рябокось, расположенной также недалеко от этого гребня. Последние, судя по нашим данным, можно рассматривать как индикаторы удаленности рудной минерализации от магматического ядра рудного поля.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геологическая ассоциация рудных тел с поздними монцитонитовидными производными акаутуйского комплекса среднепозднеюрского возраста и выявление элементов вертикальной и горизонтальной зональности в пределах месторождения и рудного поля по свойствам рудного кварца, по нашим данным, а ранее и сульфидов [Воротынцев и др., 1983] и по распределению редких минералов группы сульфосолей Pb и Bi предполагают как минимум парагенетическую связь рудной минерализации с магматическими телами этого комплекса как продуктов единой рудно-магматической системы. Результаты минералогического исследования технологических проб руд тем не менее показывают, что оруденение сформировалось в условиях малых глубин, переходных к близкоповерхностным, что подтверждает относительно ранние предположения [Юргенсон, 2003]. Они свидетельствуют о нестабильности *P-T-X* условий во время рудоотложения и быстрой эволюции состава рудообразующих флюидов при формировании рудных жил, что при всем общем минералого-геохимическом сходстве с другими месторождениями золота рудного района отличает Верхне-Алиинское месторождение от них, а также обусловило отчасти технологическую упорность его руд.

## БЛАГОДАРНОСТИ И ФИНАНСИРОВАНИЕ

Авторы выражают искреннюю благодарность к.г.-м.н. Е.А. Хромовой и А.В. Николаеву (АО «Иргиредмет») за выполнение электронно-микроскопических анализов сульфидов и сульфосолей, а также Д.Б. Власову за выполнение рентгеноструктурного фазового (дифрактометрического) анализа.

Работа выполнена в рамках госзадания по темам FWEG-2021-0001 и FUFR-2021-0005.

## ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов Б.Н. (2016).** Верхне-Алиинское золоторудное месторождение: условия формирования, петрогеохимические особенности пород и руд (Мунгинский рудный узел, Восточное Забайкалье) // Литосфера, № 4, с. 92–101.
- Воротынцев А.А., Красников В.И., Ланда В.Е. Суматохин В.А., Рогов А.В., Ванин Н.И. (1983).** Типоморфные свойства рудных минералов и зональность одного золото-сульфидного месторождения // Типоморфизм минералов и его прикладное значение. Чита, ОНТИ ЗабНИИ, с. 42–44.
- Гвоздев В.И., Гребенникова А.А., Вах А.С., Горячев Н.А., Федосеев Д.Г. (2020).** Эволюция процессов минералообразования при формировании золото-редкометалльных руд Средне-Голготайского месторождения (Восточное Забайкалье) // Тихоокеанская геология, т. 39, № 1, с. 70–91.
- Горячев Н.А., Никанюк Т.С., Будяк А.Е. (2022).** О рудной минерализации Верхне-Алиинского месторождения (Забайкальский край, Россия) // Современные направления развития геохимии: материалы Всероссийской конференции с участием зарубежных ученых, посвященной 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.И. Таусона (21–25 ноября 2022 г.). Иркутск, Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, т. 1, с. 147–148.
- Лодейщиков В.В., Васильева А.В. (1997).** Методические рекомендации по типизации руд, технологическому опробованию и картированию коренных месторождений золота. Иркутск, ИрГиредмет, 164 с.
- Мальцева Г.Д., Никанюк Т.С. (2011).** Условия формирования оруденения некоторых гидротермальных месторождений золота // Изв. Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН, № 2 (39), с. 25–30.
- Никанюк Т.С. (2023).** Состав руд и характеристика самородного золота одного из рудопроявлений Восточного Забайкалья // Науки о Земле и недропользование, т. 46, № 1, с. 36–50.
- Никанюк Т.С., Мальцева Г.Д. (2008).** Вещественный состав руд Верхне-Алиинского месторождения // Изв. Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Иркутск, Изд-во ИрГТУ, № 6 (32), с. 50–59.
- Никанюк Т.С., Мальцева Г.Д. (2009).** Вещественный состав – основа для технологической оценки золотосодержащих руд Верхне-Алиинского месторождения // Изв. Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН, № 1 (34), с. 69–76.
- Рутштейн И.Г., Богач Г.И., Виниченко Е.Л., Карасев В.В., Негода В.М., Шивохин Е.А., Абдукаримова Т.Ф., Надеждина Т.Н., Пинаева Т.А. (2002).** Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1:200 000. Серия Приаргунская. Лист М-50-IV – Шелопугино. Объяснительная записка. СПб., Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 120 с.
- Юргенсон Г.А. (2003).** Типоморфизм и рудные формации. Новосибирск, Наука, 369 с.
- Юргенсон Г.А. (2024).** О геохимической зональности Верхне-Алиинского месторождения золота в Забайкалье (Россия) // Вестник Забайкальского государственного университета, т. 30, № 1, с. 50–61, DOI: [10.2109/2227-9245-2024-30-1-50-61](https://doi.org/10.2109/2227-9245-2024-30-1-50-61).
- Юргенсон Г.А., Тумуров Г.Т. (1980).** О совершенстве кристаллического строения жильного кварца // Известия вузов. Сер. геология и разведка, № 6, с. 50–59.