

Шлихоминералогический анализ при поисках золоторудных месторождений: опыт, развитие и актуальность

Аннотация. В статье рассматриваются возможности и преимущества метода диагностики минералов в шлиховых пробах – от классических подходов к современной адаптации. Особое внимание уделено его возрождению и успешному применению в практике геологоразведочных работ (ГРП) в различных геолого-структурных и ландшафтно-геохимических условиях. Показана эффективность метода, приведены примеры его практического использования и роль в оптимизации затрат на поисковые и оценочные работы. Статья основана на многолетнем опыте ЦНИГРИ, архивных и современных материалах.

Ключевые слова: экспресс-диагностика, шлиховые пробы, минералы-индикаторы, минералого-геохимический анализ, шлихоминералогический анализ, геологоразведочные работы, кора выветривания, микрохимические реакции.

ПОЗДНЯКОВА НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, natali-silver@bk.ru

ЗУБОВА ТАТЬЯНА ПЕТРОВНА, старший научный сотрудник, zubova@tsnigri.ru

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

Mineralogical analysis of heavy-mineral concentrates in prospecting for gold deposits: Experience, development, and relevance

N. N. POZDNYAKOVA, T. P. ZUBOVA

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

Abstract. This article examines the capabilities and advantages of the method of diagnosis of minerals in heavy-mineral concentrate (HMC) samples, from the classical approaches to the modern adaptation. Particular attention is paid to its revival and successful application in practice of geological exploration under various geological-structural and landscape-geochemical conditions. The effectiveness of the method is demonstrated, examples of its practical use are provided, and its role in optimizing exploration and appraisal costs is highlighted. The article is based on long-lived experience of TSNIGRI, as well as on archival and actual data.

Key words: express diagnostics, heavy-mineral concentrate samples, indicator minerals, mineralogical and geochemical analysis, heavy-mineral concentrate analysis, geological exploration, weathering crust, microchemical reactions.

В условиях возрастающих требований к экономической эффективности и оперативности геологоразведочных работ особую значимость приобретают быстрые и малозатратные методы поисков, позволяющие получать первичную информацию непосредственно в полевых условиях.

Одним из таких методов является минералогический анализ шлиховых проб, обеспечивающий оперативную оценку минерального состава пород и рыхлых отложений без необходимости немед-

ленного обращения к стационарным лабораторным исследованиям. Метод сохраняет устойчивую востребованность благодаря мобильности, низкой себестоимости и высокой информативности, особенно в сложных геологических обстановках – от зон интенсивной глинизации в корах выветривания до перемыва и переотложения материала коренных пород в россыпях.

Методика диагностики минералов представляет собой комплексный подход, основанный на

визуальном анализе физических свойств минералов под биноклем (форма, цвет, блеск, степень окатанности, трещиноватость и др.) в сочетании с качественными микрохимическими реакциями. Эти операции проводятся ограниченным набором реактивов и не требуют сложного оборудования, что позволяет организовать экспресс-лабораторию вблизи объекта работ [2].

Главная ценность минералогического анализа заключается не только в определении отдельных минералов, но и в выявлении их ассоциаций, отражающих рудную специализацию. Изучение минералов-индикаторов, минералов-спутников, акцессорных минералов (кварц, серицит, хлорит, эпидот, гранат, магнетит, сульфиды, самородное золото и др.) позволяет уже на ранних стадиях прогнозировать тип рудной минерализации, характер гидротермально-метасоматических изменений, природу вторичных геохимических аномалий и совместно с другими данными локализовать перспективные участки для постановки детальных, в том числе горно-буровых, работ и в целом оптимизировать комплекс аналитических исследований повысить эффективность поисков [2, 7, 9].

Выявление самородного золота в шлиховых пробах, его размер предопределяют необходимость, помимо традиционных (химико-золото-спектральных, атомно-абсорбционных и пробирных) анализов, использовать методы, учитывающие возможное непопадание золотин в аналитическую навеску [12].

Диагностика минералов в шлихах имеет глубокие методические и практические корни, уходящие к работам XIX–XX вв., проводимые такими исследователями, как В. А. Обручев, А. В. Костерин, А. Г. Бетехтин, М. И. Ицинсон, И. М. Озеров, А. А. Кухаренко, Е. В. Копченова и др.

В 1970 г. В. Ф. Гуреев (ЦНИГРИ) усовершенствовал традиционный минералогический анализ шлихов, применив его в площадном варианте в сочетании с геохимическим анализом самих шлиховых проб. Результаты позволили получить комплексную информацию по распределению основных рудных минералов и элементов в пределах площади работ и локализовать наиболее перспективные участки [2]. На этот подход был получен патент. Методика включала отбор шлиховых проб из копушей по профилям, ориентированным вкрест простирания минерализованных зон, с последующим комплексным изучением их ми-

нерального состава и анализом электромагнитной фракции на содержания Au и сопутствующие элементы методами атомно-абсорбционного, золото-спектрального и спектрального полуколичественного анализов. По полученным аналитическим данным отстраивались мономинеральные и моноэлементные карты, что существенно повышало точность интерпретации выявленных литохимических аномалий.

Методика была успешно апробирована на объектах Колымы, Урала и Средней Азии и оформлена в виде рекомендаций ЦНИГРИ 1986 г. «Поиски золоторудных месторождений шлиховым минералого-геохимическим методом» [7].

В 1990–2000-е гг. интерес к шлиховому методу при поисках рудных объектов снизился из-за его трудоёмкости и общего кризиса в отрасли. Однако с 2010-х гг. наблюдается его возрождение, обусловленное высокой рентабельностью, возможностью применения в труднодоступных районах и результативностью при проведении поисковых работ в сложных геологических условиях, где традиционные методы часто дают размытые или неинформативные результаты.

Ниже приведено несколько примеров эффективного использования минералогического анализа как количественного, так и сокращённого (полуколичественного):

1. На *Травянском участке Ивдельской площади* (Северный Урал, 2008–2011 гг.) проводилась площадная шлиховая съёмка по профилям с отбором проб из копушей, ориентированных вкрест простирания предполагаемых минерализованных зон. Работы выполнялись на продолжении ранее выявленных участков – Шайтанский и Преображенский, связанных с золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой минерализациями.

По результатам сокращённого минералогического анализа были построены ореолы распространения самородного золота, окисленного пирита, гидроксидов железа и обломков кварц-полевошпатовых метасоматитов (рис. 1). Полученные данные хорошо коррелировали с результатами литохимического опробования и позволили выделить новые перспективные зоны северо-восточного простирания, благоприятные для выявления прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-кварцевой минерализации [5, 6].

2. На *Укырской площади* (Республика Бурятия, 2021–2023 гг.) минералогический анализ шлихов при опробовании из копушей по отдель-

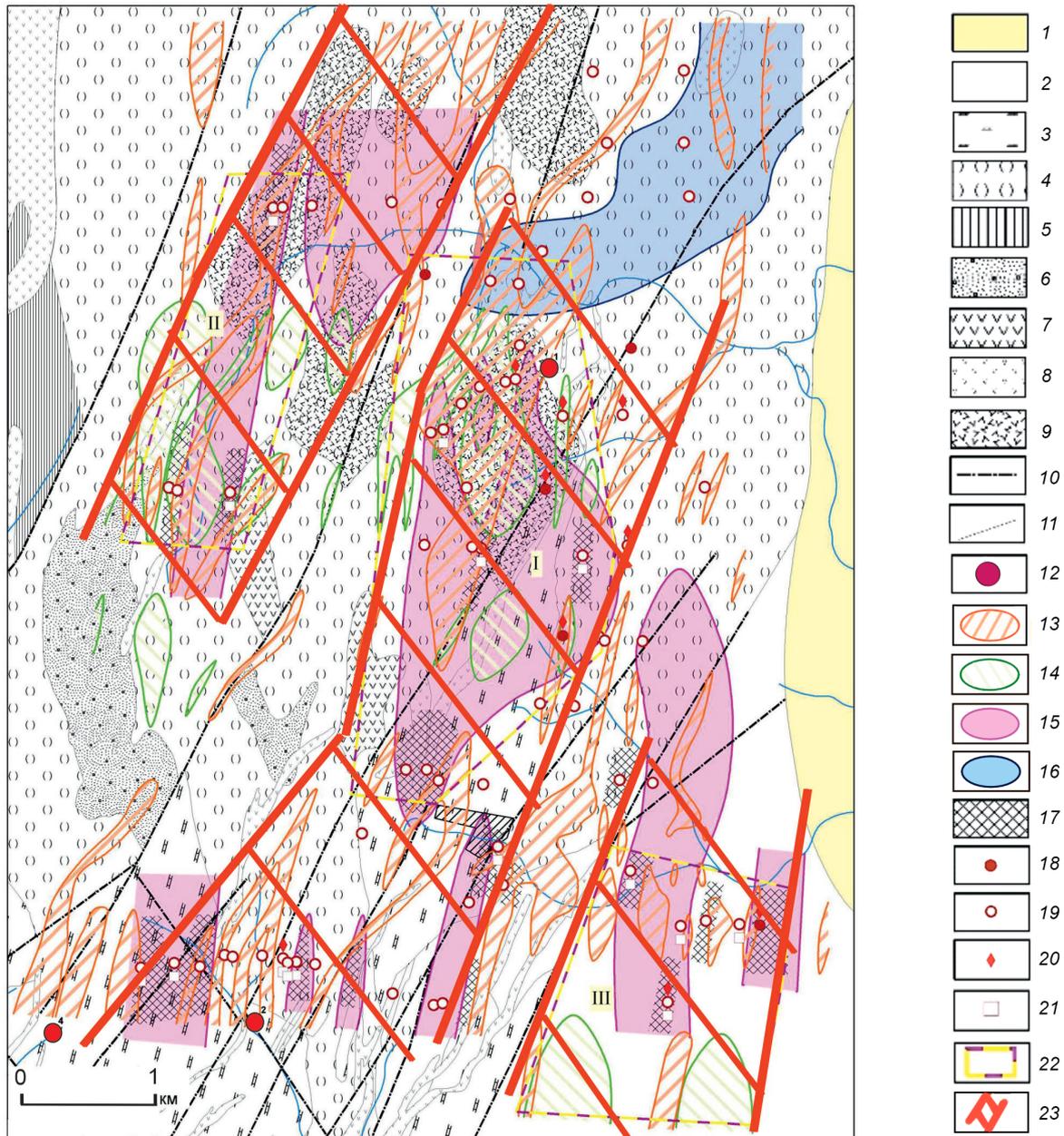


Рис. 1. Перспективный участок Ивдельской площади, выявленный по результатам площадных шлихогеохимических работ, на продолжении детально изученных участков Шайтанский и Преображенский:

рыхлые образования мезо-кайнозойского возраста: 1 – прибрежно-морские, озёрные отложения; 2–8 – породы палеозойского возраста: 2 – известняки, 3 – известняки с прослоями известковистых туфов, 4 – туфы разного состава, 5 – яшмы, кремнисто-глинистые сланцы, 6 – конгломераты, гравелиты, песчаники и алевролиты, переслаивающиеся с известняками, глинистыми сланцами, 7 – андезитовые порфириды, 8 – комплекс субвулканических пород основного состава (дайки, силлы, покровы, штоки); 9 – метасоматиты хлорит-карбонат-кварцевые, пирит-хлорит-карбонат-серицитовые, часто с прожилками кварца; 10 – тектонические нарушения; 11 – границы геологические; 12 – месторождения и рудопроявления золото-кварцевые и золото-сульфидно-кварцевые (жильные): 1 – Травянское, 2 – Петровское, 4 – Троицкое; 13–14 – вторичные геохимические аномалии: 13 – золота, 14 – мышьяка; 15–16 – ореолы распространения по результатам шлихоминералогического анализа: 15 – обломков кварц-полевошпатовых метасоматитов, 16 – минералов магнетит-амфибол-пироксен-эпидотовых скарнов; 17–21 – присутствие в минералогических пробах: 17 – гидроксидов железа > 25 %, 18 – знаков самородного золота > 10 знаков, 19 – единичных знаков золота, 20 – киновари, 21 – пирита окисленного и неокисленного; 22 – площади и их номера, заслуживающие дальнейшей постановки ГРП: I – Травянская, II – Олений; III – Талая; 23 – предполагаемые зоны с золото-сульфидно-кварцевой минерализацией

ным профилям показал, что на участке Сохай золотое оруденение связано не только с магнетитовыми скарнами, как предполагалось ранее, но и развивается за их пределами – в кварцевых прожилках часто с турмалином, расположенных в экзо-эндоконтактовых зонах интрузивного массива (рисунки 2, 3). Пройденные впоследствии горно-буровые выработки вскрыли интервалы с содержаниями золота 0,5–1,5 г/т [1].

Метод оказался особенно эффективен при изучении золотоносности коры выветривания, широко развитой на Укырской площади и представленной кремово-розовым глинистым материалом с прожилками ожелезнения. В условиях интенсивной глинизации визуальное выделение руд-

ных зон затруднено из-за сильного изменения облика пород за счёт выветривания.

Минералогический анализ шлиховых проб, отобранных из керна поисковых скважин (масса проб от 0,5 до 2,0 кг), позволил воссоздать состав коренных пород, подвергшихся выветриванию, и определить типы рудной минерализации (рис. 4): золото-кварцевый и золото-железородный на участке Сохай, пирит-арсенопиритовый на участке Белюты [11].

3. На *Ольгинской площади* (Кузнецкий Ала-тау, 2015–2017 гг.) была апробирована модифицированная методика В. Ф. Гуреева – минералогический анализ «серого» шлиха. Масса навески после промывки пробы составляла 15–20 г.

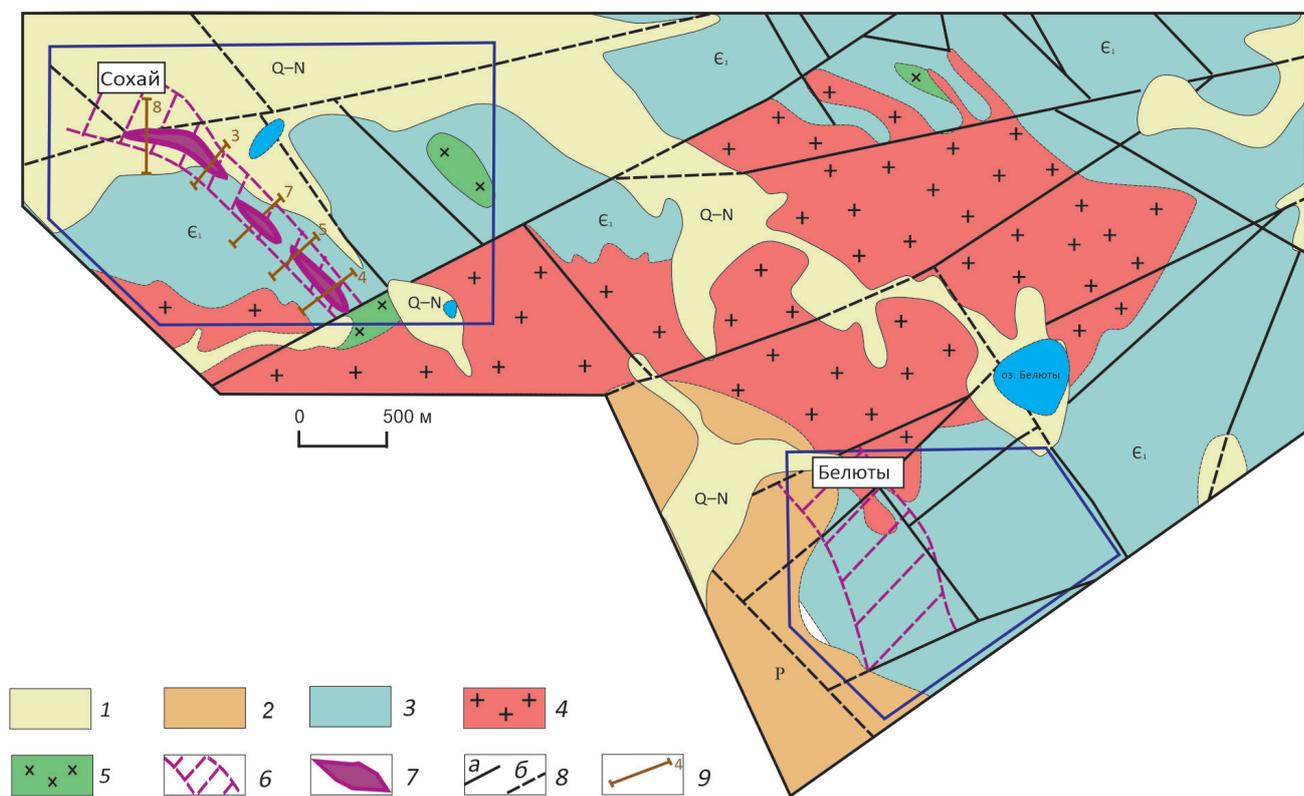


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Укырской площади с участками. По А. Н. Миронову и др., 2008, с упрощениями:

1–2 – отложения: 1 – неоген-четвертичного возраста: пески, галечники, глины, 2 – палеоцен-эоценового возраста: глины пёстроцветные с галькой и дресвой; 3 – вулканогенно-осадочные породы олдындинской свиты нижнего кембрия (известняки, туфы, сланцы); 4–5 – интрузивные породы Витимканского комплекса палеозойского возраста: 4 – порфиroidные биотитовые граниты, 5 – биотитовые и роговообманковые диориты; 6 – минерализованные зоны с золотоносными корами выветривания; 7 – золотосодержащие железородные тела; 8 – разрывные нарушения: а – установленные, б – предполагаемые; 9 – шлихгеохимические профили и их номера

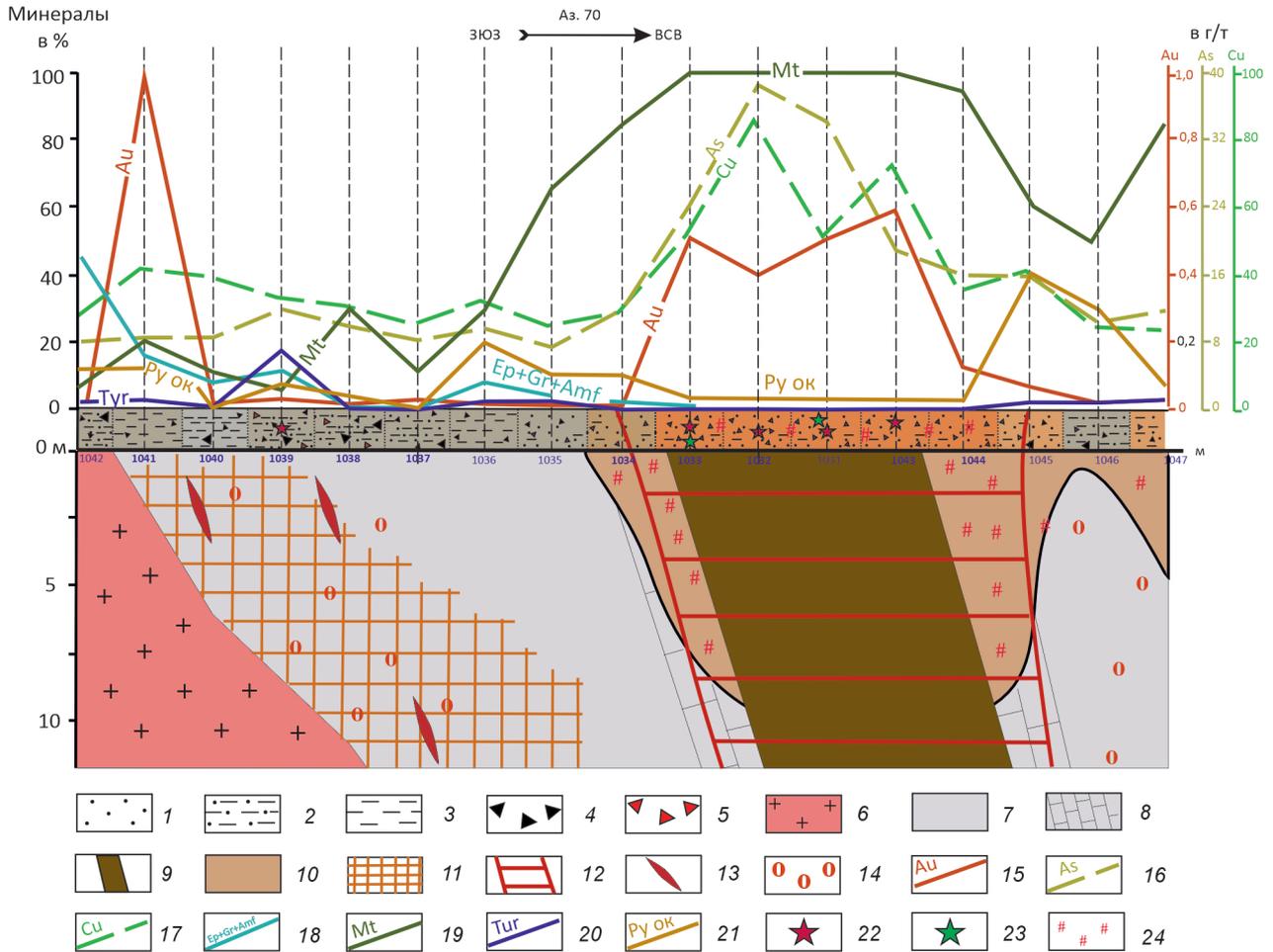


Рис. 3. Обобщённый геологический разрез по участку Сохай (Укырская площадь), составленный по результатам опробования делювиально-пролювиальных отложений и документации керна скважин с результатами минералогического, атомно-абсорбционного и масспектрометрического анализов проб из копушей:

1 – песок; 2 – суглинок; 3 – глина; 4 – щебень; 5 – обломки кварца; 6 – граниты; 7 – вулканогенно-осадочные породы; 8 – прослой известняков; 9 – золотосодержащее железорудное тело; 10 – кора выветривания; 11 – зона скарирования; 12 – золотосодержащая минерализованная зона; 13 – кварцевые жилы; 14 – окварцевание; 15–18 – на графике содержания элементов, в г/т: 15 – Au (атомно-абсорбционный анализ), 16–17 – по ICP AES: 16 – As, 17 – Cu, 18–21 – содержание минералов в шлиховых пробах, в %: 18 – минералов скарновой группы (эпидот (Ep), гранат (Gr), амфиболы (Amf)), 19 – магнетит, 20 – турмалин (Tur), 21 – пирит окисленный (Py ок); 22 – знаки самородного золота; 23 – знаки самородной меди; 24 – участки интенсивного ожелезнения

Исследование пробы включало не только тяжёлый концентрат, масса которого была менее 1 г, но и лёгкой фракции, что значительно расширило информативность полученных данных [12].

В полевых условиях по всем пробам проводился сокращённый минералогический анализ шлиха с извлечением самородного золота. Далее «серый» шлик анализировался на содержания Au и сопутствующие элементы (As, Cu, Pb, Zn и др.)

атомно-абсорбционным и полуколичественным спектральным анализами. Несмотря на частичное извлечение видимого золота, отстроенные геохимические аномалии по полученным результатам оказались значительно контрастнее данных литохимической съёмки по ВОР (вторичным ореолам рассеивания) и имели более локальный характер распространения. Аномалии Au и элементов-спутников пространственно совпали с орео-

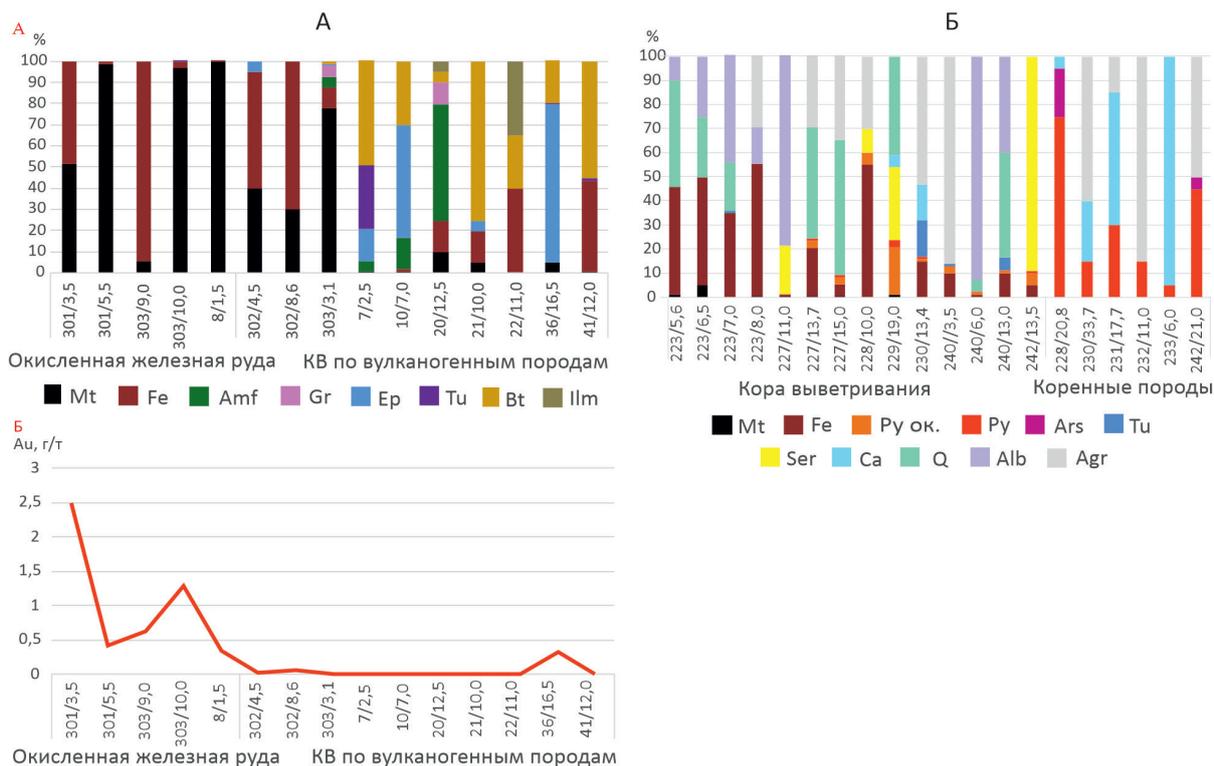


Рис. 4. Результаты полуколичественного сокращённого минералогического анализа шлиховых проб из коры выветривания участков Сохай (А) и Белуты (Б) (Укырская площадь):

Mt – магнетит, Fe – гидроксиды железа, Amf – амфиболы, Gr – гранаты, Ep – эпидот, Tu – турмалин, Bt – биотит, Ilm – ильменит, Py – пирит, Py ок – пирит окисленный, Ars – арсенопирит, Ser – обломки серицитовых сланцев, Ca – карбонаты, Q – кварц, Alb – альбит, Agr – агрегаты

лами самородного золота, окисленного пирита, азурита, кварц-серицитовых агрегатов. Комплексные минералого-геохимические ореолы тяготели к тектоническим контактам вулканогенных и карбонатных пород (рис. 5). Заверка буровыми работами подтвердила золотоносность коры выветривания, развитой по золото-пирит-арсенопиритовой минерализации с содержаниями Au 1–4 г/т.

Этот пример подтверждает, что минералогический анализ дополняет геохимический, обеспечивая более точную интерпретацию аномалий и надёжные прогнозные построения.

4. Примером изучения трансформации минерального состава рудной минерализации в профиле коры выветривания является Июньское рудопроявление (Кемеровская область, Северо-Восточный Салаир, 2004–2006 гг.). В пределах него развиты контактово-карстовые коры выветривания, представленные пёстроцветным глинистым,

щербнисто-глинистым материалом с прослоями интенсивного ожелезнения и остаточными текстурно-структурными признаками материнской породы.

По минералам-индикаторам – самородному золоту, бариту, окисленному пириту и другим окисленным сульфидам, представленным гидроксидами Fe и Mn, – удалось выделить золотосодержащую барит-полиметаллическую зону, приуроченную к контакту вулканогенно-осадочных и карбонатных пород, а также проследить изменение морфологии и пробыности золота при его переотложении [4].

В глинизированной зоне контакта силикатных и карбонатных пород сохранились остаточные минералы, отражающие рудную специализацию коренного субстрата: барит (80–90 %), окисленный пирит (7–86 %), зёрна малахита, обломки известняка и серицитовых сланцев. По мере

удаления от зоны контакта спектр минералов изменяется: начинают преобладать гидроксиды Fe и Mn, а содержание остальных минералов снижается вплоть до исчезновения (рис. 6).

Верхние части рудных тел подверглись интенсивному перемыву, в результате чего сформировалась залежь, которую по генезису можно отнести к делювиально-пролювиальной россыпи. Это подтверждается появлением более широкого спектра минералов разной степени окатанности по сравнению с составом проб из золотоносной контакто-карстовой коры выветривания. В шлихах появились магнетит, рутил, циркон, ко-

рунд, брукит, касситерит, мартитизированный ильменит, хромит, амфибол; пирит частично окислился; барит приобрёл рыхлую агрегатную форму, а основную массу фракции составили гидроксиды железа.

Этот пример показывает, что шлиховой минералогический анализ позволяет реконструировать процессы преобразования рудной минерализации в зоне гипергенеза, уточнить её тип и определить поисковые минералогические признаки.

Несмотря на эффективность метода, его широкое внедрение, особенно в полевых условиях, затруднено рядом факторов. Один из них – от-

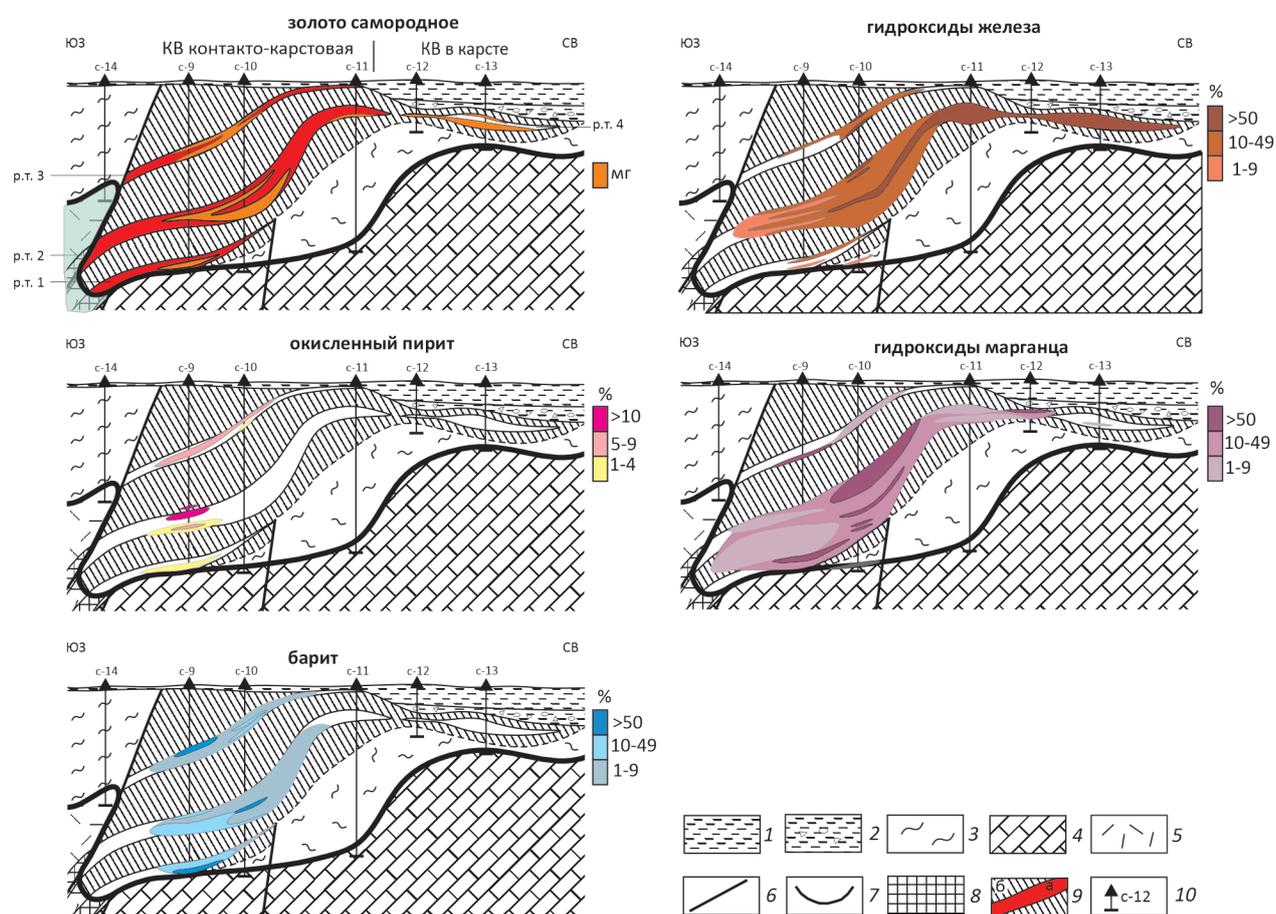


Рис. 6. Геологический разрез Июньского рудопроявления с результатами полуколичественного минералогического анализа шлиховых проб (в %), золото самородное (в мг):

1 – сероцветные и бурые глины и суглинки; 2 – красноцветные щебнисто-песчано-глинистые отложения с галькой, представленные продуктами разрушения и ближнего переотложения кор выветривания; 3 – нерасчленённые глинистые, охристо-глинистые и щебнисто-глинистые пёстроцветные коры выветривания мел-палеогенового возраста; породы: 4 – карбонатные и 5 – вулканогенно-терригенные; 6 – зоны тектонических нарушений; 7 – граница подошвы коры выветривания; 8 – тела прожилково-вкрапленных до сливных золотосодержащих сульфидных руд; 9 – рудные тела в коре выветривания: при бортовом содержании золота 0,5 г/т (а) и > 0,1 г/т (б); 10 – поисковые скважины и их номера

существование современного, компактного иллюстрированного пособия, в котором были бы актуализированы диагностические признаки минералов с учётом их изменений в экзогенных условиях. Также в образовательных программах геологических вузов недостаточно освещена методика микрохимических реакций для полевой диагностики.

Для восполнения пробела в ЦНИГРИ в 2024 г. начата работа над практическим пособием «Методические рекомендации по экспресс-диагностике минералов в шлиховых пробах в фотографиях».

В его основу легли обширные коллекции шлиховых проб, включающие примеры с фото минералов из разных типов рудных объектов и россыпей, а также собранные сотрудниками института при работе в различных регионах России и зарубежья – от Чукотки и Урала до Центральной Азии и Кавказа.

Разрабатываемое пособие будет иметь комплексный и практико-ориентированный характер и включать: подробный алгоритм проведения минералогического анализа шлихов (от отмучивания и магнитной сепарации до микроскопического изучения и микрохимических тестов); качественные фотографии 92 шлиховых минералов, демонстрирующие возможные их разновидности по морфологии, окраске, изменениям признаков в

коре выветривания и россыпях; описание диагностических признаков каждого минерала с фото-материалами результатов типовых реакций для наглядного и удобного применения. Материал книги будет построен как пошаговый справочник-определитель, позволяющий геологу быстро провести диагностику по принципу: увидел – сравнил – проверил – уточнил.

В работе показана классическая схема минералогического анализа шлихов, проверенная десятилетиями практики, с последовательными операциями, каждая из которых влияет на достоверность получаемых данных (рис. 7) [3, 8].

1. Подготовительный этап: отбор пробы, взвешивание и подробная документация исходного материала; промывка до чёрного или «серого» шлиха, с отмучиванием шламовой фракции (< 0,01 мм).

2. Классификация по крупности: разделение на ситах; взвешивание фракций.

3. Магнитная сепарация: выделение магнитной фракции «ручным» магнитом с фиксацией её массы.

4. Разделение в тяжёлой жидкости ($\rho \approx 2,9 \text{ г/см}^3$), например, бромформе или концентрированном водном растворе гетерополивольфрамата натрия (ГПС-В) на тяжёлую и лёгкую фракции.

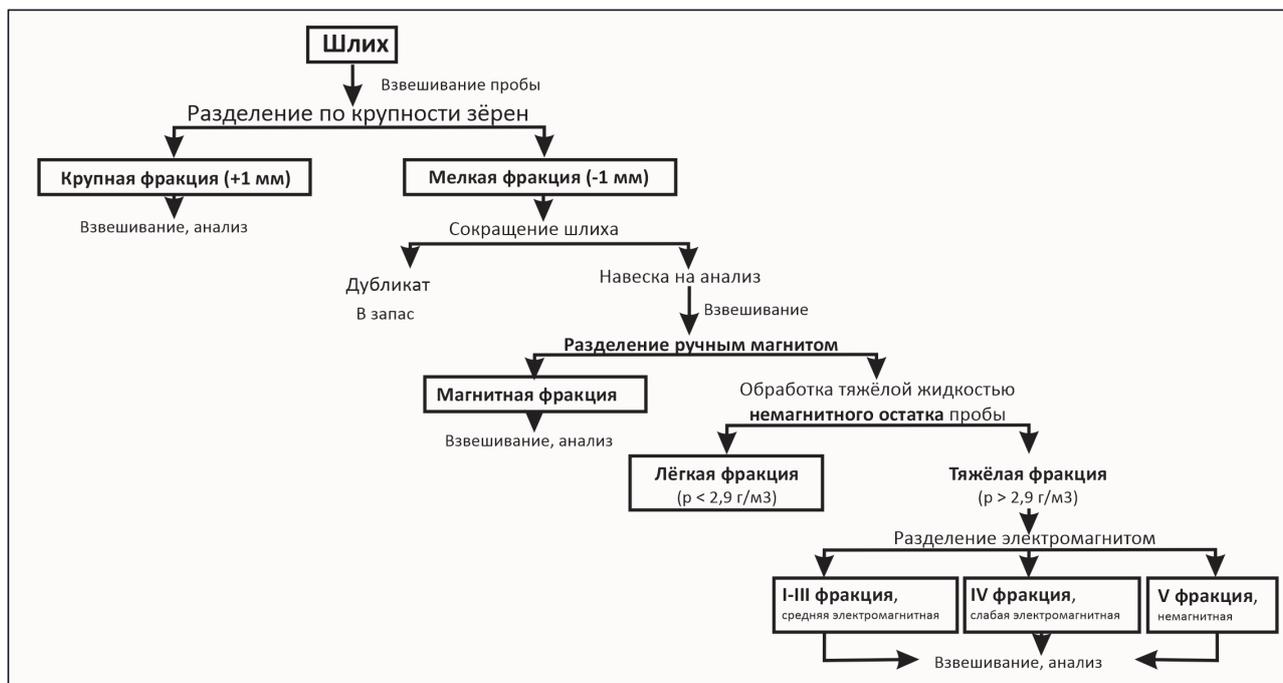


Рис. 7. Общая схема обработки шлиха для подготовки к минералогическому анализу. По [3]

5. Электромагнитная сепарация тяжёлой фракции на минералы по их магнитной восприимчивости: среднюю (I–III), слабую (IV) и немагнитную (V) фракции.

6. Микроскопическое исследование под бинокляром.

7. Микрохимический анализ для подтверждения состава минералов.

8. В завершение анализа оцениваются количественные содержания диагностируемых минералов в пробе, а результаты рекомендуется вносить в полевой журнал или электронную базу данных с автоматическим формированием минералогического паспорта пробы [2].

Минералы в пособии будут собраны в подразделы, отражающие поэтапную минералогическую сепарацию, а внутри них представлены в виде карточек с иллюстрированной характеристикой (рис. 8–9).

При работе с мелкими и тонкими фракциями шлихов и руд надёжным методом диагностики являются качественные микрохимические реакции. Подобраны простые, воспроизводимые реакции, требующие минимального количества материала (1–3 зерна минерала размером 0,3–0,5 мм и менее), малого объёма реактива и обеспечивающие высокую скорость исполнения.

Реакции не требуют сложной лабораторной установки – достаточно спиртовки, предметных стёкол, микропипеток, цинковой пластинки или дробинки, оловянной проволоки или шариков, а также простейший набор химических реактивов (соляная, азотная, серная кислоты; молибденовокислый аммоний, хиализарин, едкий калий и др.) (рис. 10). Это делает метод идеальным для экспресс-полевых лабораторий.

Примеры микрохимических реакций [8, 10, 13]:

- для *касситерита* (SnO_2): плёночная реакция касситерита на олово с соляной кислотой на цинковой пластинке с образованием «оловянного зеркала» (рис. 11);

- для *монацита* ($(\text{Ce}, \text{La} \dots) \text{PO}_4$) и *апатита* ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$): реакция с молибденовокислым аммонием в присутствии азотной кислоты с образованием жёлтого осадка (рис. 12);

- для *шеелита* (CaWO_4) с металлическим Sn в соляной кислоте с появлением синей плёнки (рис. 13).

Метод экспресс-диагностики минералов в шлихах представляет собой современный, эффективный инструмент поисковой геологии, обеспечивающий оперативное получение достоверных данных о минеральном составе рудной минерализации, коренных пород и рыхлых отложений.



Рис. 8. Характеристика ортита – минерала тяжёлой электромагнитной фракции шлиха

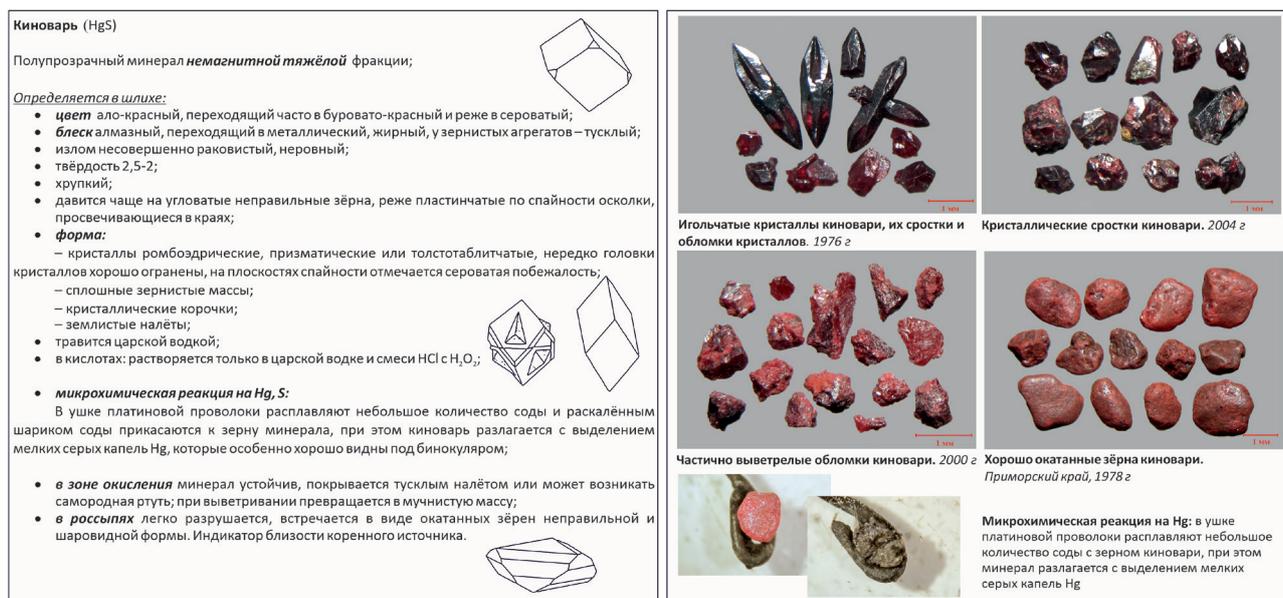


Рис. 9. Характеристика киновари – минерала тяжёлой немагнитной фракции шлиха

Метод результативен при работах в районах с развитыми кора́ми выветривания. Его применение позволяет сокращать объёмы трудоёмких и дорогостоящих анализов и целенаправленно использовать их по отобраным пробам.

Разработка методических рекомендаций ЦНИГРИ создаёт основу для широкого внедрения шлихоминералогического анализа в практику геологоразведочных работ на всех стадиях.

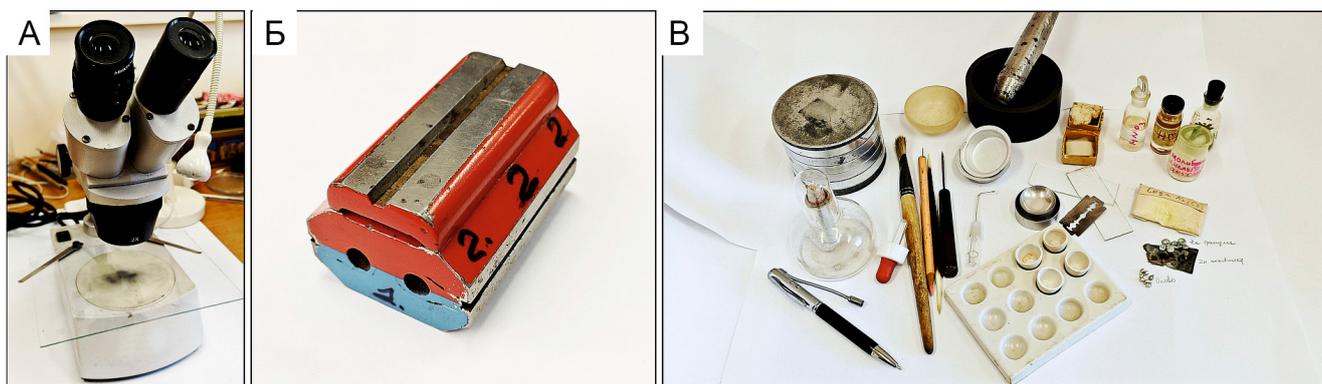


Рис. 10. Оборудование, необходимое для экспресс-лаборатории при минералогическом анализе: бинокляр (А), магнит Сочнева, тип С-5 (Б), полевой набор (В) со спиртовкой, ситами, агатовой ступкой, кисточками, предметными стёклами, пипетками, иглами, цинковой пластинкой, оловянными и цинковыми шариками, простейшими химическими реактивами и др.

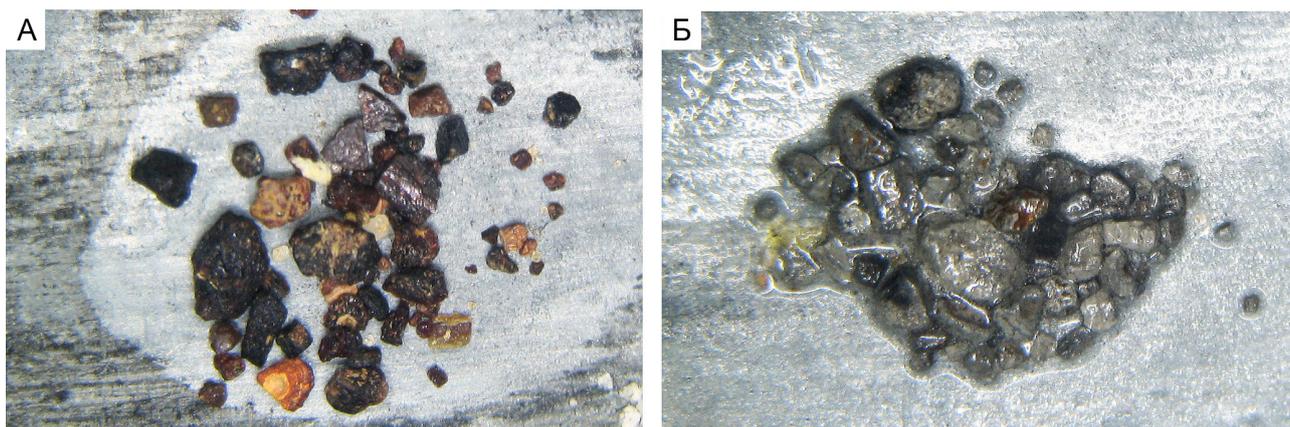


Рис. 11. Микрохимическая плёночная реакция: зёрна касситерита помещают на цинковую пластинку (А) и прибавляют несколько капель соляной кислоты, вследствие восстановительной реакции на поверхности минералов образуется блестящий металлический налёт Sn «оловянное зеркало» (Б)

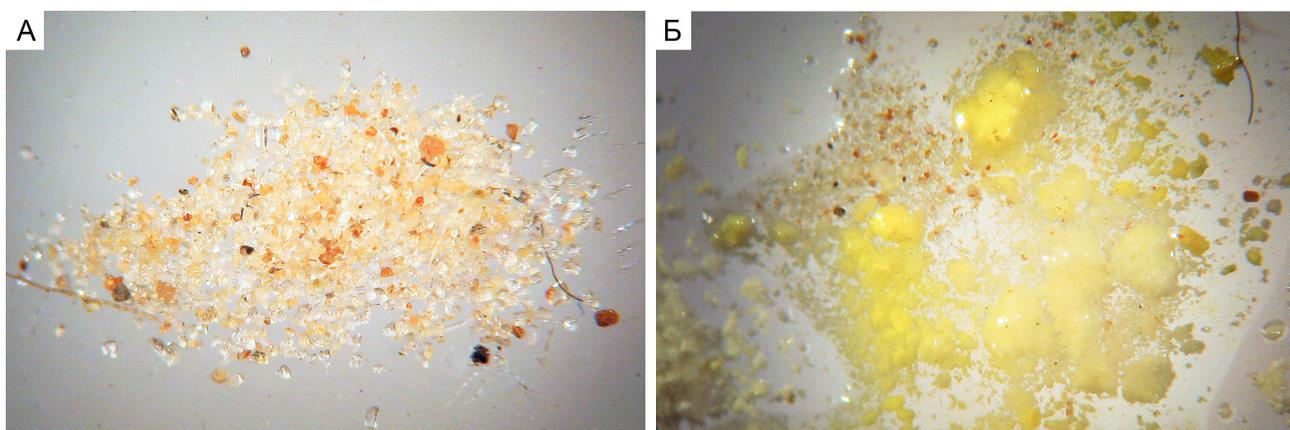


Рис. 12. Микрохимическая реакция апатита (А) на фосфор с молибденовокислым аммонием в присутствии азотной кислоты (А); при нагревании образуется жёлтый осадок фосфомолибдата аммония, подтверждающий наличие фосфатов (Б)

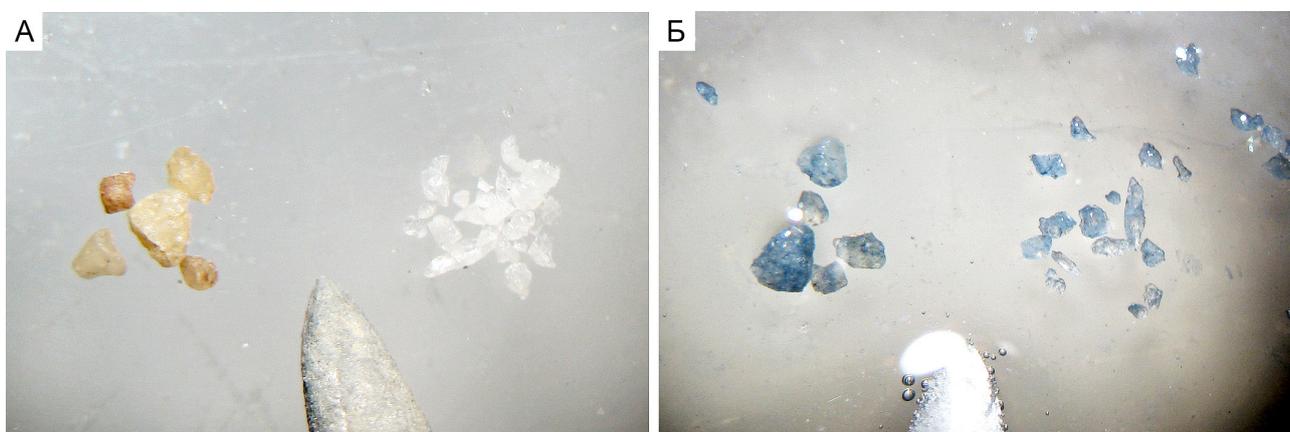


Рис. 13. Микрохимическая реакция шеелита: при нагревании с металлическим Sn в капле соляной кислоты (А) появляется интенсивно-синяя плёнка оксида вольфрама (Б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агибалов О. А., Зубова Т. П., Позднякова Н. Н.* Отражение особенностей вещественного состава золотоносной коры выветривания в минералогических ореолах и геохимических аномалиях на примере отдельных участков Еравненской перспективной площади (Республика Бурятия) // Отечественная геология. – 2023. – № 1. – С. 34–45.
2. *Гуреев В. Ф.* Методические рекомендации по поискам золоторудных месторождений минералого-геохимическим методом. – М. : ЦНИГРИ, 1970. – 9 с.
3. *Захарова Е. М.* Атлас минералов россыпей. – М. : ГЕОС, 2006. – 276 с.
4. *Зубова Т. П.* Закономерности изменения вещественного состава в ряду: кора выветривания-россыпь на примере Июньского месторождения Северо-Восточного Салаира // Руды и металлы. – 2011. – № 2. – С. 46–51.
5. *Зубова Т. П., Агибалов О. А., Иванов Н. М.* [и др.] Строение и вещественный состав золотоносных кор химического выветривания Кедровско-Ивдельского рудно-россыпного узла, восточный склон Северного Урала // Руды и металлы. – 2013. – № 4. – С. 37–47.
6. *Зубова Т. П., Краснов А. Н., Черемисина Е. А.* Использование минералого-геохимических методов при поисках золотоносных кор выветривания в различных геолого-геоморфологических обстановках // Отечественная геология. – 2019. – № 2. – С. 39–47.
7. *Константинов М. М., Болдова Л. П., Гасанов С. Н.* [и др.] Поиск золоторудных месторождений шлиховым минералого-геохимическим методом. Методические рекомендации. – М. : ЦНИГРИ, 1986. – 81 с.
8. *Копчёнова Е. В.* Минералогический анализ шлихов и рудных концентратов. – М. : Недра, 1979. – 247 с.
9. *Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н.* [и др.] Изучение самородного золота при геолого-разведочных работах. – М. : ЦНИГРИ, 2023. – 74 с.
10. *Новиков В. А., Сочнева Э. Г., Коновалова М. С.* Использование химических реакций для диагностики минералов при минералогических анализах // Методические указания. – М. : ЦНИГРИ, 1985. – 31 с.
11. *Позднякова Н. Н., Зубова Т. П.* Типоморфизм самородного золота как критерий определения типа золоторудной минерализации в корях выветривания Еравнинского рудного района (Республика Бурятия) // Отечественная геология. – 2024. – № 1. – С. 43–52.
12. *Риндзюнская Н. М., Зубова Т. П., Голенев В. Б.* [и др.] Геолого-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений золота в корях выветривания. – М. : ЦНИГРИ, 2023. – 162 с.
13. *Трушкова Н. Н., Кухаренко А. А.* Атлас минералов россыпей. – М. : ВСЕГЕИ, 1961. – 436 с.

REFERENCES

1. *Agibalov O. A., Zubova T. P., Pozdnyakova N. N.* Otrazheniye osobennostey veshchestvennogo sostava zolotonosnoy kory vyvetrivaniya v mineralogicheskikh oreolakh i geokhimicheskikh anomal'yakh na primere otdelnykh uchastkov Yeravnenskoj perspektivnoy ploshchadi (Respublika Buryatiya) [Reflection of the features of the material composition of the gold-bearing weathering crust in mineralogical halos and geochemical anomalies using the example of individual sections of the Eravnskaya prospective area (Republic of Buryatia)], *Otechestvennaya geologiya*, 2023, No. 1 pp. 34–45 (In Russ.)
2. *Gureyev V. F.* Metodicheskiye rekomendatsii po poiskam zolotorudnykh mestorozhdeniy mineralogo-geokhimicheskim metodom [Methodological recommendations for prospecting for gold ore deposits using the mineralogical and geochemical method], Moscow, TSNIGRI publ., 1970, 9 p. (In Russ.)
3. *Zakharova Ye. M.* Atlas mineralov rossypey [Atlas of placer minerals], Moscow, GEOS publ., 2006, 276 p. (In Russ.)
4. *Zubova T. P.* Zakonomernosti izmeneniya veshchestvennogo sostava v ryadu: kora vyvetrivaniyarossyp na primere Iyun'skogo mestorozhdeniya Severo-Vostochnogo Salaira [Patterns of change in material composition in the series: weathering crust-placer on the example of the June deposit of North-East Salair], *Rudy i metally*, 2011, No. 2, pp. 46–51. (In Russ.)
5. *Zubova T. P., Agibalov O. A., Ivanov N. M.* [et al.] Stroyeniye i veshchestvennyy sostav zolotonosnykh kor khimicheskogo vyvetrivaniya Kedrovsko-Ivdelskogo rudno-rossypnogo uzla, vostochnyy sklon Severnogo Urala [Structure and material composition

- of gold-bearing crusts of chemical weathering of the Kedrovsk-Ivdel ore-placer cluster, eastern slope of the Northern Urals], *Rudy i metally*, 2013, No. 4, pp. 37–47. (In Russ.)
6. *Zubova T. P., Krasnov A. N., Cheremisina Ye. A.* Ispolzovaniye mineralogo-geokhimicheskikh metodov pri poiskakh zolotonosnykh kor vyvetrivaniya v razlichnykh geologo-geomorfologicheskikh obstanovkakh [Use of mineralogical and geochemical methods in the search for gold-bearing weathering crusts in various geological and geomorphological settings], *Otechestvennaya geologiya*, 2019, No. 2, pp. 39–47. (In Russ.)
 7. *Konstantinov M. M., Boldova L. P., Gasanov S. N.* [et al.] Poisk zolotorudnykh mestorozhdeniy shlikhovym mineralogo-geokhimicheskim metodom. Metodicheskiye rekomendatsii [Prospecting for gold ore deposits using the panning mineralogical-geochemical method. Methodological recommendations], Moscow, TSNIGRI publ., 1986, 81 p. (In Russ.)
 8. *Kopchonova Ye. V.* Mineralogicheskiy analiz shlikhov i rudnykh kontsentratsiy [Mineralogical analysis of concentrates and ore concentrates], Moscow, Nedra publ., 1979, 247 p. (In Russ.)
 9. *Nikolayeva L. A., Gavrilov A. M., Nekrasova A. N.* [et al.] Izucheniye samorodnogo zolota pri geologorazvedochnykh rabotakh [Study of native gold in geological exploration], Moscow, TSNIGRI publ., 2023, 74 p. (In Russ.)
 10. *Novikov V. A., Sochneva E. G., Konovalova M. S.* Ispolzovaniye khimicheskikh reaktsiy dlya diagnostiki mineralov pri mineralogicheskikh analizakh [Use of chemical reactions for diagnostics of minerals in mineralogical analyses], *Metodicheskiye ukazaniya*, Moscow, TSNIGRI publ., 1985, 31 p. (In Russ.)
 11. *Pozdnyakova N. N., Zubova T. P.* Tipomorfizm samorodnogo zolota kak kriteriy opredeleniya tipa zolotorudnoy mineralizatsii v korakh vyvetrivaniya Yeravninskogo rudnogo rayona (Respublika Buryatiya) [Typomorphism of native gold as a criterion for determining the type of gold ore mineralization in the weathering crusts of the Eravninsky ore region (Republic of Buryatia)], *Otechestvennaya geologiya*, 2024, No. 1, pp. 43–52.
 12. *Rindzyunskaya N. M., Zubova T. P., Golenev V. B.* [et al.] Geologo-metodicheskiye osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdeniy zolota v korakh vyvetrivaniya [Geological and methodological foundations for forecasting, prospecting and evaluating gold deposits in weathering crusts], Moscow, TSNIGRI publ., 2023, 162 p. (In Russ.)
 13. *Trushkova N. N., Kukharenko A. A.* Atlas mineralov rossypey [Atlas of placer minerals], Moscow, VSEGEI publ., 1961, 436 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 27.10.25; одобрена после рецензирования 14.11.25; принята к публикации 14.11.25.
The article was submitted 27.10.25; approved after reviewing 14.11.25; accepted for publication 14.11.25.