

Использование минералого-геохимических методов при поисках золотоносных кор выветривания в различных геолого-геоморфологических обстановках

Т.П.ЗУБОВА, А.Н.КРАСНОВ, Е.А.ЧЕРЕМИСИНА (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Рассматривается комплекс методических подходов геологических исследований при поисках золотоносных кор выветривания; приводятся примеры проведения поисков по вторичным ореолам рассеяния в комплексе с шлихо-геохимическим опробованием. Показаны особенности применения методов в зависимости от различных геолого-геоморфологических обстановок формирования золотоносной коры выветривания.

Ключевые слова: кора выветривания, золото, литохимическая съёмка по вторичным ореолам рассеяния, шлихо-геохимическое опробование.

Зубова Татьяна Петровна

zubova@tsnigri.ru

Краснов Антон Николаевич



krasnov@tsnigri.ru

Черемисина Екатерина Алексеевна

cheremisina@tsnigri.ru

Features of prospecting for gold-bearing crusts of weathering in various geological and geomorphological environments

T.P.ZUBOVA, A.N.KRASNOV, E.A.CHEREMISINA (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

A set of methodological approaches to geological studies in the search for gold-bearing crusts of weathering is considered; examples of the search for secondary scattering halos in combination with the concentrate-geochemical sampling are given. Features of method application depending on various geological and geomorphological formation conditions of gold-bearing crust of weathering are shown.

Key words: crust of weathering, gold, lithochemical survey by secondary scattering halos, concentrate-geochemical sampling.

Месторождения золота в корях выветривания в современных условиях вполне обоснованно рассматриваются как наиболее доступные и более дешёвые для освоения по сравнению с коренными рудами. Занимая своё промежуточное положение в ряду коренной источник–кора выветривания–россыпь, они телескопируют в себе черты рудной минерализации, при этом претерпевая гипергенные изменения, являются, в свою очередь, промежуточным коллектором для россыпей золота. В связи с этим на стадии поисков золотоносных кор выветривания (ЗКВ), особенно остаточных, применяются литохимические поиски по вторичным ореолам. Однако при этом необходимо учитывать особенности геолого-геоморфологического строения района работ, которые определяют степень их образования и сохранности в современных условиях.

Наиболее благоприятная обстановка для формирования и сохранности кор выветривания (КВ) создавалась в пределах площадных региональных морфоструктур длительной стабилизации, к которым относятся пенеплены.

В морфоструктурах, испытавших на неотектоническом этапе умеренные, реже интенсивные поднятия, поверхности выравнивания сохранились фрагментарно и подняты на различную высоту. На пенепленизированных водоразделах коры выветривания сохраняются в седловинах и понижениях, связанных с зонами повышенной трещиноватости и карстом.

В горных районах наибольший интерес для поисков ЗКВ представляют борта межгорных впадин, где мощности аккумулятивных толщ, заполняющих впадины, небольшие – до 10–15,0 м.

Комплексный геолого-геоморфологический анализ поисковых площадей позволяет в пределах крупных рельефоформирующих площадных морфоструктур выделить локальные эрозионно-структурные и денудационно-структурные депрессии, благоприятные для формирования и сохранности кор выветривания различных морфогенетических типов. Как правило, депрессии наследуют древние отрицательные пликативные разрывные структуры (грабен-синклинали, грабены). Особый интерес представляют депрессии, контуры которых совпадают с рудоконтролирующими разломами или участками развития погребённого карста.

Поиски и изучение ЗКВ авторы проводили в разных геолого-геоморфологических обстановках, что накладывало свои особенности на геологоразведочные работы. На их начальной стадии всегда, особенно на закрытых территориях, исследовалась россыпная золотоносность, предполагая пространственную и генетическую связь россыпей золота с корами выветривания. По архивным материалам анализировались данные о строении россыпей: литологический и минералогический составы торфов и песков, степень их глинистости, строение плотика, его состав, наличие в нём зон минерализации, типоморфизм золота и др. Результатом этого анализа является составление макета карты-прогноза исследуемой территории с целью выделения участков, перспективных на ЗКВ. В качестве примера приведены результаты анализа россыпей Ивдельской площади, расположенной в Ауэрбах-Краснотурьинской металлогенической зоне (Северный Урал).

Для *Ивдельской площади* характерно наличие нескольких уровней *пенепленизации* с сохранившимися корами выветривания (остаточными и перетолженными) триас-юрского возраста. Мощность перекрывающих коры выветривания палеоген-четвертичных рыхлых отложений разного генезиса (делювиально-пролювиальных, элювиальных, аллювиальных) составляет в среднем 3 м, а в отдельных впадинах 10 м.

В районе ещё с начала XIX в. отрабатываются мелкозалегающие россыпи золота: делювиально-пролювиальные, аллювиальные. Иногда при эксплуатации россыпей в отработку вовлекались и золотоносные коры выветривания, в отдельных штучных пробах из которых были установлены содержания золота от 0,7–4,2 г/т.

Кварцевые жилы ранее рассматривались как единственный источник золота для россыпей Ивдельского района, являвшихся в свою очередь объектом старательской добычи в 1930-х годах на мелких месторождениях: Травянское, Троицкое, Екатерининское, Грань, Шешинское и др. На водораздельных пенепленизированных поверхностях с широко развитыми корами выветривания отработка проводилась горными выработками: шурфами, неглубокими шахтами с рассечками, из которых извлекали руду, состоящую из дезинтегрированных обохренных глыб, обломков кварца, которые

тут же дробили и промывали. Район считался бесперспективным на поиски рудного золота иного типа, кроме золото-кварцевого. Тем не менее в той же металлогенической зоне находится расположенное южнее Воронцовское месторождение с развитой мощной ЗКВ по прожилково-вкрапленной золото-сульфидной формации [6] с золото-пирит-арсенопиритовой минерализацией.

Коренные породы в пределах Ивдельской площади представлены вулканогенно-терригенными комплексами, аналогичными рудовмещающим на Воронцовском месторождении: андезито-базальтовыми, вулканогенно-карбонатно-терригенными ранне-среднедевонского возраста, которые секутся дайками основного состава. Как и на месторождении, развита система протяжённых субмеридиональных разломов с оперяющими разрывными нарушениями и зонами надвигов, создавая обстановку, благоприятную для локализации золотого оруденения в зонах тектонических контактов карбонатных и силикатных пород и развития по ним коры выветривания, которая проникает до глубины 100–150 м.

Анализ материалов поисково-разведочного бурения россыпей Троицкая, Преображенская, Шапша, Шайтанка позволил установить следующее:

1. Плотиком россыпей являются известняки и кора выветривания по вулканогенно-осадочным породам и дайкам диабазов, с которыми связаны известные кварцевые жилы Екатерининская, Петровская, Шешинская, Грань.

2. Весь комплекс палеозойских пород подвергся выветриванию. Поверхность известняков закарстованная, неровная с выступами и углублениями, заполненными мезо-кайнозойскими глинистыми отложениями, формирующими отдельные изолированные полосы и линзы. Глины жёлтого, красно-бурого цветов, каолинового, гидрослюдисто-каолинового состава, часто присутствуют стяжения гидроксидов железа и марганца. Содержания золота в карстовых отложениях колеблются от 92 до 1544 мг/м³, в редких случаях до 5689 мг/м³, характер распределения золота весьма неравномерный. Мощность золотоносных интервалов достигала 9 и более метров.

3. По вулканогенно-осадочным породам палеозоя, вмещающим кварцевые жилы, развита остаточная структурная глинистая и щебнисто-глинистая пестроцветная кора выветривания гидрослюдисто-каолинового состава, мощность которой более 27 м (разведочные скважины на россыпи не вошли в коренные породы).

4. Наиболее продуктивная часть россыпей приурочена к контакту вулканогенно-осадочных и карбонатных пород среднего девона, осложнённого тектоническими нарушениями меридионального простирания. На этих участках образовалась контактово-карстовая кора выветривания мощностью более 50 м. Протяжённость зон

с КВ составляет несколько километров. Так, в долине р. Шапша она протягивается на 4200 м при ширине 100–300, иногда 700 м.

5. По данным промывки проб при поисково-разведочных работах на россыпи, содержания золота в остаточной и контактово-карстовой коре выветривания составляли по отдельным интервалам 133, 225, 303, 670, 1005 и 3061 мг/м³.

6. Технологические исследования золотых песков, проведённые в ЦНИГРИ в 1968 г., установили, что в россыпях по Ивдельской площади встречается золото трёх видов:

- 1) извлекаемое гравитационным способом (76,5%);
- 2) свободное тонкое, получаемое в результате амальгамации хвостов гравитационной обработки (0,1%);
- 3) связанное; по результатам пробирного анализа его количество составляет 23,4% от общего объёма золота в пробе, по отдельным пробам варьирует от 5,4 до 97,1%. То есть характер распределения золота по классам крупности в песках весьма неравномерный, в отдельных интервалах присутствует много тонкого золота. Высокие содержания «связанного» золота отмечаются в пробах с низким содержанием шлихового золота и в основном приурочены к фракциям –2,5+0,1 мм – 58,5% и –0,1 мм – 34,2%.

Полученное при промывке песков гравитационное золото преимущественно комковидной формы. Его окатанность низкая, встречаются также неокатанные зёрна в сростании с сахаровидным кварцем, окисленным пиритом. На поверхности зёрен в ямчатых углублениях часто отмечаются плёнки гидроксидов железа. В классе –0,25 мм золото представлено пластинчатыми, таблитчатыми, чешуйчатыми, брусковидными, палочковидными, ветвистыми золотиными. До 5% зёрен покрыто плёнками гидроксидов железа. Пробность золота из россыпей колеблется от 890 до 920%.

Морфология золота из коры выветривания аналогична золоту из россыпей, отличием является то, что до 50% золотинок покрыты плёнками гидроксидов железа. Пробность золота из КВ несколько ниже, чем в россыпи – 887–898%, в продуктах её перераспределения – 891–898%.

7. В шлиховых пробах из четвертичных россыпей, кроме основных минералов – ильменита, магнетита, циркона, гидроксидов железа – в отдельных пробах отмечаются примеси пирита разной морфологии и степени окисления, знаки киновари, обломки пород со следами метасоматических изменений в виде серицитизации, окварцевания.

С учётом выявленного комплекса поисковых признаков ЗКВ был составлен макет прогнозной карты Ивдельской площади, на которую с буровых разрезов по россыпям рек Троицкая, Преображенка, Шапша, Шайтанка были вынесены все подсечения коры выветривания. На основании состава пород плотика выделены типы КВ (остаточная и карстовая), локализована

область их распространения, а также по результатам промывки выделены участки россыпей с повышенными содержаниями золота. Большое внимание было уделено морфологии золота, его granulometрии, окатанности, анализировались закономерности распространения мелкого–тонкого золота, его количество, наличие сульфидов, гидроксидов железа, киновари, обломков пород с признаками метасоматических изменений, результаты опробования коренных пород, если таковые были.

На составленном макете прогнозной карты были намечены участки проведения литохимической съёмки по вторичным ореолам рассеяния, места заложения горно-буровых выработок. По результатам проведённых работ выявлены ЗКВ (остаточные, контактово-карстовые, карстовые), развитые не только по золото-кварцевой минерализации, но и по прожилково-вкрапленной золото-кварц-сульфидной пирит-арсени-пиритовой (рис. 1) с содержаниями золота от 0,5 до 3,0 г/т [4]. В монофракциях окисленного пирита (анализ методом ICP-MS) содержания золота составляли 29,2, 56,7 и 67,4 г/т (см. таблицу).

Из керновых проб параллельно пробирному анализу отбирались пробы на минералогический анализ; интервалы с содержанием золота, определённые разными методами, не совпадали. В пробах с самородным золотом размером 0,5–3,0 мм результаты пробирного анализа имели значение <0,2 г/т или 0,02–0,08 г/т по химико-золото-спектральному анализу. В интервалах с большим количеством гидроксидов железа и окисленного пирита самородное золото отсутствовало или присутствовало в виде мелких единичных знаков (0,05–0,25 мм), при этом данные пробирного анализа превышали 0,5 г/т. Полученные результаты свидетельствуют о нескольких типах рудной минерализации и необходимости комплексного опробования КВ.

При проведении поисковых работ в пределах Ивдельской площади попутно были опробованы строительные и отработанные на бокситы карьеры, в стенках которых среди выходов трещиноватых мраморизованных известняков встречались многочисленные линейные крутопадающие зоны остаточной коры выветривания, развитые по прослоям туфов и дайкам габбро, долеритов. Практически во всех шлихоминералогических пробах присутствовало самородное золото размером 0,05–0,3 мм от 1 до 15 знаков. Кроме золота, в составе проб отмечались пирит разной степени окисления, халькопирит, киноварь, обломки окварцованных, серицитизированных вулканогенных пород, барит, альбит. По данным ICP-MS, в обломках окварцованных тёмно-зелёных вулканогенных пород содержания золота составили 15,2 и 11,0 г/т, отмечались повышенные значения мышьяка, свинца.

В строительном карьере на участке Талый в линейных крутопадающих зонах, состоящих из глинистого ожелезненного материала, были выявлены содержания

золота от 2,4 до 12,5 г/т, в среднем 6 г/т на вертикальный интервал 11 м. В шлиховых пробах присутствовало самородное золото (>200 знаков) размером 0,05–0,2 мм в виде кристаллов, гемиидiomорфных выделений, неокатанное, иногда в сростании с пиритом. Вместе с золотом в шлиховых пробах встречался пирит разной морфологии и степени окисления с содержанием золота до 629 г/т (по ICP-MS), киноварь.

Проведённые севернее участка детальных работ литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:50 000, сопровождаемые отбором шлиховых проб, подтвердили продолжение выявленных ранее минерализованных зон с золотоносной корой выветривания. На участках геохимические аномалии Au, As пространственно совпадали с минералогическими ореолами самородного золота рудного облика, окисленного пирита разной морфологии, гидроксидов железа (>20%), обломками кварц-полевощпатового состава, киновари. Присутствие гидроксидов железа в больших количествах свидетельствовало о сильных окислительных процессах в зоне гипергенеза.

Таким образом, установленный комплекс минералогических и геохимических признаков золоторудной минерализации и связанной с ней ЗКВ позволил оценить в пределах Ивдельской площади прогнозные ресурсы золота в коре выветривания категории P₂, площадь залицензирована.

В условиях межгорных впадин с широким развитием аккумулятивных толщ мощностью более 10 м использование литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния возможно только на отдельных участках, которые выбираются на основе анализа карты условий проведения поисковых работ.

Характерным примером является **Еравненская площадь** (республика Бурятия), расположенная в Еравненской межгорной впадине, где мощность аккумулятивных толщ местами достигала 20 м. В пределах Еравненской площади известны лишь мелкие россыпи и россыпепроявления, в связи с чем анализ россыпной золотоносности не проводился. Коры выветривания были установлены предшественниками по результатам картировочного бурения при геолого-съёмочных, поисковых работах на редкоземельное сырьё и полиметаллы. Наибольший интерес на ЗКВ представляют денудационные останцы в прибортовых частях Еравненской впадины (рис. 2), в пределах которых мощности рыхлых неоген-четвертичных толщ минимальны (до 10 м), что позволяет на доступных глубинах ожидать выявление ЗКВ [2].

Один из поисковых участков – **Сосновский** – расположен в пределах такого денудационного останца, представляющего собой пологосклонную возвышенность с абсолютной высотой 1047 м; превышение над окружающей аккумулятивной поверхностью Еравнинской депрессии составляет 90 м. Денудационный останец сложен вулканогенно-осадочными породами (андезитовые

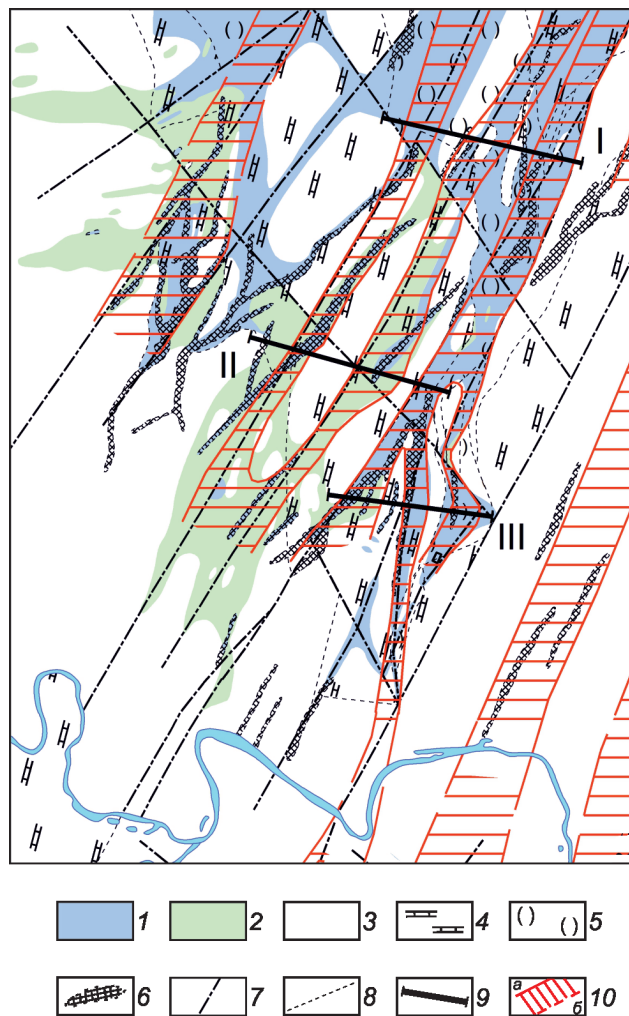


Рис. 1. Схематическая геологическая карта золотоносных кор выветривания одного из участков Ивдельской площади:

1 – остаточная кора выветривания по вулканогенно-осадочным и другим силикатным породам: гидрочлорит-гидрослюдистая, гидрослюдисто-каолининовая (галлуазитовая), гидрослюдисто-охристая, гидрослюдисто-охристо-каолининовая (галлуазитовая); 2 – переотложенные коры выветривания контактово-карстового и карстового типов, охристо-каолининит (галлуазит)-гидрослюдистая, гидрослюдисто-каолининовая; 3 – известняки от светло-серых рифогенных до тёмно-серых, частично битуминозные, мергелистые, иногда кремневые; 4 – известняки с прослоями известковистых туфов, частично хлоритизированные и эпидотизированные, вблизи зон тектонических нарушений смятые в складки; 5 – туфы, туффиты глинистые, известковистые, известковисто-глинистые; 6 – дайки долеритов; 7 – тектонические нарушения; 8 – границы геологические; 9 – профили горно-буровых работ; 10 – золотоносные минерализованные зоны: а – установленные, б – предполагаемые

Содержание золота (г/т) в концентратах, выделенных из шлиховых проб. По результатам анализа ICP-MS

Минералы	Площади			
	Ивдельская (Северный Урал)	Еравненская (Бурятия)		Ольгинская (Кузнецкий Алатау)
		Участки		
		Сосновский	Белюты	
Окисленный пирит	$\frac{70,4}{1,6-629,3}$ (12)	Не анализ.	$\frac{52,7}{47,3-58,0}$ (2)	$\frac{0,3}{0,15-1,4}$ (4)
Гидроксиды железа	1,0 (1)	$\frac{80,0}{0,5-360,0}$ (5)	$\frac{1,3}{0,1-3,0}$ (8)	0,12 (1)
Магнетит	Не анализ.	$\frac{0,4}{0,1-0,8}$ (4)	Не анализ.	Не анализ.
Кварц-полевошпатовые агрегаты с вкрапленностью окисленного пирита	2,0 (1)	Не анализ.	Не анализ.	0,5 (1)
Окварцованные обломки известняка с вкрапленностью пирита	$\frac{10}{0,2-29,2}$ (3)	7,0 (1)	Не анализ.	Не анализ.
Окварцованные обломки вулканогенных пород	$\frac{13,1}{11,0-15,2}$ (2)	Не анализ.	Не анализ.	Не анализ.
Алевро-пелитовая фракция	$\frac{4,6}{0,4-12,5}$ (6)	4,9(1)	0,8(1)	Не анализ.

Примечание. Числитель – среднее содержание, знаменатель – разброс содержаний в пробах, в скобках – число проанализированных проб.

порфириты, с прослоями песчаников, алевролитов, органиогенных известняков) олдындинской свиты (венд-кембрий), прорванными интрузивными массивами гранодиоритового состава бичуркинского комплекса. В пределах возвышенности сохранилась кора выветривания: площадная щебнисто-глинистая (мощность от 5 до 15 м) и линейная, развитая вдоль тектонических зон и контактов карбонатных и силикатных пород (мощность до 25 м и более).

По результатам литохимических поисков по ВОР масштаба 1:50 000 и 1:10 000 были выявлены контрастные комплексные геохимические аномалии Au, As, Pb, Zn, Cu.

В комплексе с геохимическими были проведены геофизические работы масштаба 1:10 000. По результатам электрического зондирования (ВП) в профильном варианте выделены мульдообразные структуры, благоприятные для формирования потенциально рудоносных линейных кор выветривания, мощностью 20–35 м. Методом ВЭЗ-ВП под чехлом рыхлых отложений мощностью 5–10 м откартированы крутопадающие структуры предположительно с сульфидной минерализацией шириной до 50 м.

Геофизические и комплексные геохимические аномалии Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Ba пространственно коррелируют, однако выделяется обособленная группа аномалий золота без элементов-спутников, в пределах которых отмечаются шлиховые пробы с самородным

золотом от одного до 40 знаков размером 0,05–0,2 мм. Вместе с золотом в этих шлиховых пробах присутствовали мартигитизированный магнетит, гидроксиды железа с реликтивными пятнами неокисленных сульфидов, железистые агрегаты серицит-полевошпат-кварцевого, кварц-эпидот-полевошпатового составов, мелкие знаки киновари, обломки кристаллов неокисленного пирита. Магнетит и окисленный пирит, по результатам масспектрометрического анализа (метод ICP-MS), слабо золотосодержащи (0,16–0,2 г/т и менее), в то же время для окисленного пирита характерны высокие содержания Cu, Zn, As, иногда Pb, W, Nb, что указывает на присутствие в зоне окисления полиметаллической минерализации. Исходя из полученной информации, на ранней стадии работ было сделано предположение о присутствии в пределах участка двух типов золоторудной минерализации, по которой формируется кора выветривания: золотосодержащей полиметаллической и золото-кварцевой. Это было подтверждено проведенными в дальнейшем горно-буровыми работами.

По результатам бурения в крест простирания комплексной геофизической и геохимической аномалии Au, Cu, Zn, As, Ba, Pb поисковыми скважинами было вскрыто сечение с золотосодержащей линейно-трещинной КВ. Содержания золота в ней составляли от 0,2 до 22,9 г/т (среднее 4,95 г/т на вертикальный интервал 7,5 м). Было установлено, что ЗКВ сформировалась по гидротермально-метасоматически измененным карбонатным

породам в экзоконтактной части интрузивного диоритового массива, осложнённого тектоническим нарушением. Мощность КВ в линейной зоне достигала 30 м. Золотоносные интервалы представлены интенсивно ожелезненным до чёрно-коричневого цвета глинистым материалом, в составе пелитовой фракции преобладает гетит, тяжёлая фракция шлихо-минералогической пробы состоит преимущественно из магнетита, гидроксидов железа и обломков окварцованных пород. Как было установлено, основными носителями тонкодисперсного золота являются: 1) псевдоморфозы гидроксидов железа по сульфидам с содержаниями золота 0,51–35,0–360 г/т, которые коррелируют с аномально высокими значениями Cu, Zn, Pb, As, Ba, часто элементами редкоземельной группы; 2) глинистая фракция (4,85 г/т), на долю которой (по гранулометрическому анализу) приходится 40–80% от массы пробы; 3) окварцованные породы, агрегаты хлорит-кварцевого, хлорит-эпидот-кварцевого состава, в которых отмечается до 7 г/т золота, совместно с повышенными содержаниями Mo и Ba.

Кроме тонкодисперсного золота, присутствует свободное самородное золото (в отдельных пробах более 100 знаков) мелкое, рудного облика, размером 0,05–0,2 мм (90%). Более крупные зёрна класса –1+0,25 мм составляют 10%. Золото преимущественно интерстициальное с некорродированной поверхностью ярко-жёлтого цвета, редко в сростании с кварцем, много пластинчатых форм с гладкой блестящей поверхностью.

Анализ керновых проб разными методами при преобладании тонкого и тонкодисперсного золота показал, что наиболее полные содержания золота получены пробирным методом с атомно-абсорбционным окончанием, а минералогический анализ занижил результаты. По результатам испытаний малой лабораторной технологической пробы на концентрате ПКЦ-300 «Бегущая волна» было установлено, что 90% золота уходит в хвосты гравитации. Извлечённое из концентрата самородное золото (100 знаков) не имело веса.

Полученные при поисковом бурении результаты подтвердили присутствие ЗКВ (зоны окисления), развитой по минерализованным зонам с золотосодержащей полиметаллической минерализацией.

Более сложная ситуация для проведения поисковых работ сложилась на расположенном южнее участке **Белюты**, находящемся в менее благоприятных геоморфологических условиях, который на стадии подготовительных работ не рассматривался в качестве приоритетного в связи с отсутствием архивных материалов с признаками золотоносности в его пределах. При проведении литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:50 000 были выявлены слабоконтрастные аномалии мышьяка, меди, свинца, серебра, единичные локальные аномалии золота.

Участок Белюты расположен в пределах выровненной аккумулятивно-денудационной равнины (см. рис. 2).

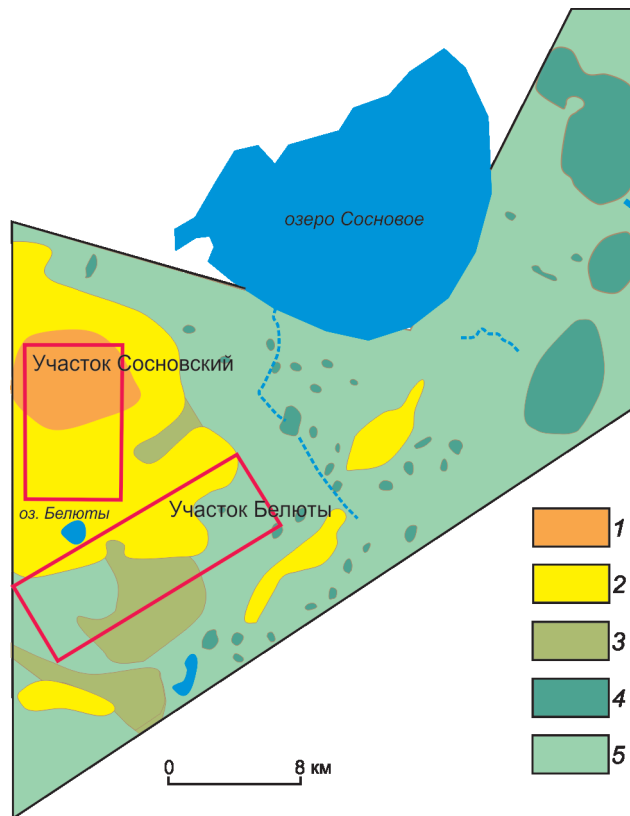


Рис. 2. Фрагмент геоморфологического строения Еравненской площади, Республика Бурятия. По О.А.Агибалову:

1 – денудационные останцы с пологими склонами, плавно переходящие в прилегающие аккумулятивные равнины; 2 – денудационно-аккумулятивный рельеф, выположенные периферийные участки и подножия низкогорных массивов и денудационных останцов, участки с полого холмистым и гривистым рельефом; 3–5 – аккумулятивный и эрозионно-аккумулятивный рельеф; 3 – плоскodonные, слабонаклонные, заболоченные пади и сопряжённые с ними конусы выноса, 4 – блюдцеобразные озёрные котловины, 5 – озёрные, аллювиальные и озёрно-аллювиальные равнины

Современное эрозионное расчленение в его пределах практически отсутствует. Участок представляет собой залесённую и задернованную равнину с пятнистым рисунком озеровидных, часто заболоченных понижений, невысоких (1,0–1,5 м) грив и сухих русел; фрагментарно на поверхности отмечаются отдельные глыбы и скопления лимонитизированных окварцованных пород, экспонированных на дневную поверхность за счёт вымораживания. Мощность перекрывающих рыхлых отложений более 5,0 м, в отдельных местах достигает 10–20 м.

Учитывая то, что для Еравненской площади одним из поисковых признаков ЗКВ является присутствие

гидроксидов железа (как результат окисления золото-содержащей полиметаллической минерализации), в местах выхода обломков бурого железняка были пробурены поисковые скважины. Результаты опробования одной из первых скважин химико-золото-спектральным анализом выявили в интенсивно ожелезнённом щебнисто-глинистом материале содержания золота от 0,2 до >2 г/т, пробирным методом получены значения до 3,6 г/т (среднее 0,8 г/т на вертикальный интервал 20 м).

Опробование сопровождалось отбором материала на минералогический анализ из второй половинки керна. Результаты промывки минералогических проб на свободное золото не дали положительных результатов. В наименее выветрелых (слабоглинизированных) обломках пород были видны признаки гидротермально-метасоматических изменений в виде участков серицитизации карбонатных пород с вкрапленностью охр лимонита, в том числе и псевдоморфозы по пириту, сростки пирита с тонкими прожилками кварца (рис. 3, Б). Ещё до получения результатов спектрального анализа при просмотре шлихов было сделано предположение о присутствии в разрезе золоторудной минерализации. Шлихо-минералогические пробы на 90–95% состояли из гидроксидов железа тёмно-коричневого цвета, 5% неокисленного пирита, следов галенита, арсенопирита.

Наиболее высокие содержания золота оказались приурочены к интервалам с интенсивным ожелезнением и серицитизацией (см. рис. 3, А). Золоторудная минерализация сопровождалась ореолами мышьяка $100\text{--}600 \times 10^{-3}\%$. В участках, по которым процессы

серицитизации прошли менее глубоко – в виде отдельных пятен и прожилков, – содержания золота составляли 0,02–0,083 г/т, мышьяка – $40\text{--}400 \times 10^{-3}\%$. Основными концентраторами золота в коре выветривания, по результатам ICP-MS, оказались остаточные сульфиды, гидроксиды железа и алевро-пелитовая фракция, состоящая преимущественно из серицита и гетита. Таким образом, было установлено, что на участке Белюты источником ЗКВ были зоны метасоматически изменённых карбонатных пород с золото-пирит-арсенопиритовой минерализацией.

В отдельных скважинах при проведении сокращённого минералогического анализа встречалось свободное самородное золото иногда до 78 знаков, рудного облика, часто в сростании с кварцем, при этом спектральным анализом присутствие золота практически не фиксировалось. Всё это свидетельствует о том, что даже в пределах одного участка формы нахождения золота в КВ очень разнообразны, что необходимо учитывать при выборе оптимального вида аналитических методов с целью достоверного определения содержаний золота в пробах.

На приводимых выше примерах поисков ЗКВ литохимические поиски по ВОР сопровождалось отбором шлихоминералогических проб. В условиях залесённости и плохой оснащённости территории полученные геохимические аномалии часто бывают слабоконтрастными. Для их усиления и получения оперативной информации о возможных минеральных типах золоторудной минерализации при проведении поисковых работ

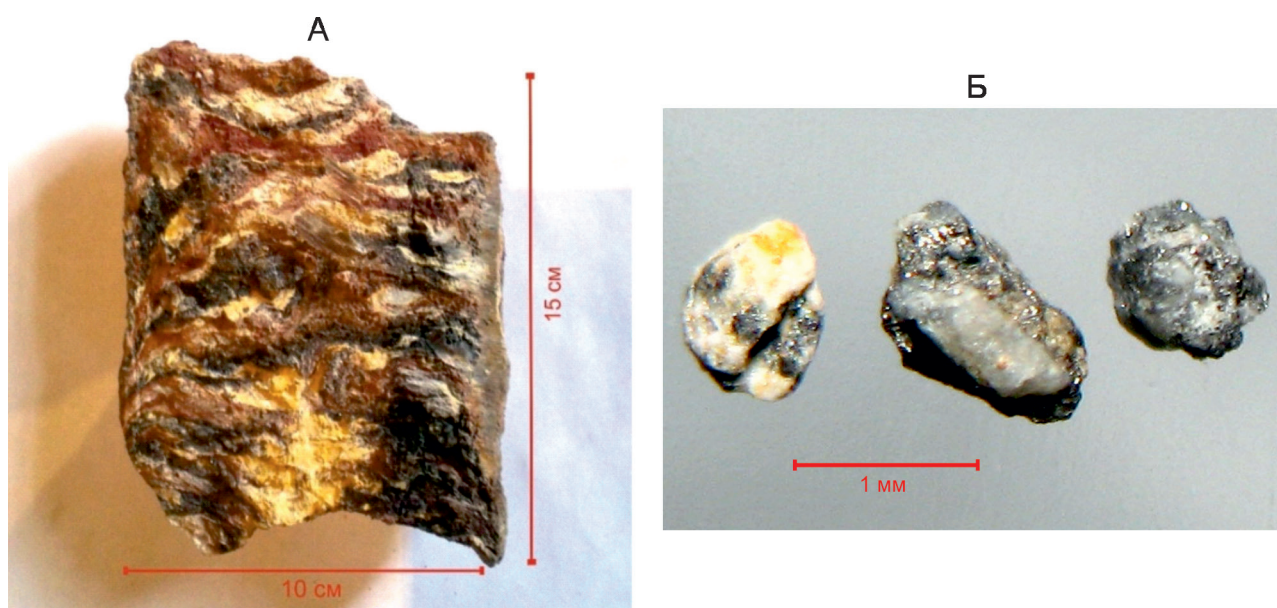


Рис. 3. Пестроцветные бесструктурные глины (А) и пирит в сростках с кварцем из шлиховой пробы (Б) из коры выветривания участка Белюты (Еравненская площадь, Республика Бурятия)

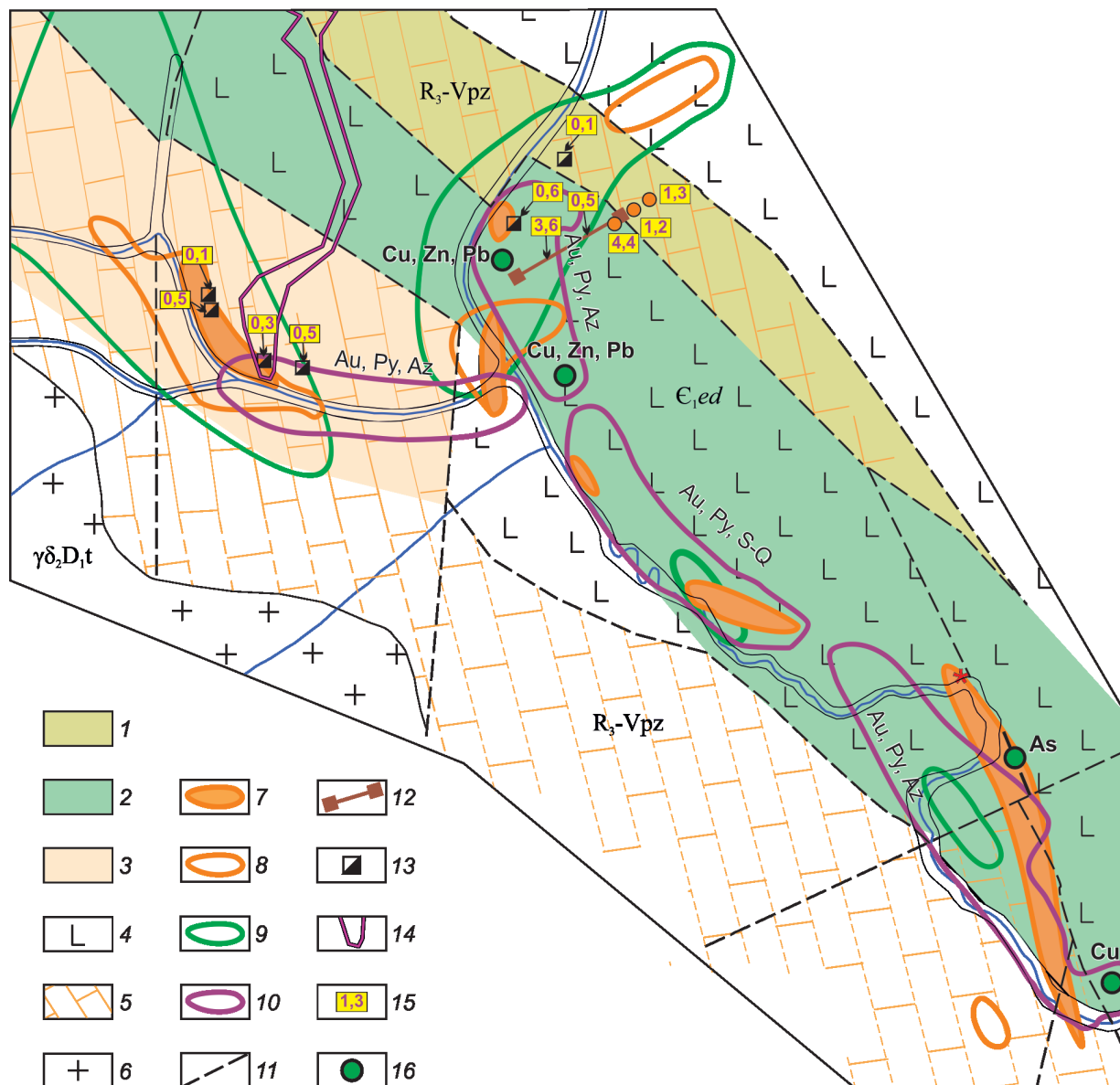


Рис. 4. Результаты минералого-геохимических работ на одном из участков Ольгинской площади Кузнецкого Алатау:

1–3 – золотоносные коры выветривания: 1 – контакто-карстовые, карстовые, образованные по золото-скарновой и золото-кварцевой минерализации, 2 – остаточные линейно-трещинные, образованные по золото-кварц-сульфидной прожилково-вкрапленной минерализации, 3 – карстовые; 4 – кембрийская система, нижний отдел, единисская свита (базальты, андезитобазальты, андезиты, их лавобрекчии, кластолавы, туфы, туффиты, туфопесчаники, редко дациты, прослои известняков), E_{1ed} ; 5 – поздний рифей-венд, пезасская серия (известняки мраморизованные, редко доломиты и мергели мраморизованные, углеродисто-кремнистые сланцы), R_3-Vpz ; 6 – тельбесский (?) монцодиорит-гранодиорит-меланогранитовый комплекс девонского возраста, $\gamma\delta_2 D_1 t$; 7–8 – геохимические аномалии золота, по данным площадных шлихо-геохимических работ ФГБУ «ЦНИГРИ» (в г/т): 7 – >1, 8 – 0,1–0,9; 9 – комплексные геохимические аномалии (As, Ag, Pb, Zn) по шлиховым концентратам; 10 – комплексные минералогические ореолы по результатам площадных шлихо-геохимических работ: золото (Au), пирит (Py), серицит-кварцевые агрегаты (S-Q), азурит (Az); 11 – предполагаемые тектонические нарушения; 12 – поисковые линии скважин колонкового бурения; 13 – шурфы ручной проходки; 14 – контур погребённой россыпи; 15 – содержания золота по результатам пробирного анализа (в г/т); 16 – рудопроявления Cu, Zn, Pb, As

на золотоносные коры выветривания в Кузнецком Алатау было проведено площадное шлихо-геохимическое опробование с использованием метода В.Ф.Гуреева

[1, 3], суть которого заключается в том, что из копушей глубиной 0,4–0,6 м, сечением 0,24 м² отбираются вручную шлиховые пробы (0,02 м³). По всем полученным

пробам делается сокращённый минералогический анализ с попутным извлечением самородного золота. В отличие от методики В.Ф.Гуреева, согласно которой спектральным анализом изучались магнитная и электромагнитная фракции, авторы данной статьи отправляли на истирание всю шлиховую пробу с последующим анализом её на золото и элементы-спутники.

Работы проводились на *Ольгинской* площади, в пределах которой развиты пенепленизированные поверхности со склонами разной крутизны и эрозионно-структурная депрессия, заполненная аккумулятивной толщей мощностью до 20 м. Вдоль депрессии заложена долина р. Ольгинка. С учётом геолого-геоморфологического строения территории шлихо-геохимическое опробование было проведено на экспонированных участках по отдельным профилям. При проведении сокращённого минералогического анализа особо отмечались пробы, в которых присутствовали окисленные сульфиды, обломки пород с признаками гидротермально-метасоматических изменений. После визуального изучения шлиховых концентратов они были истёрты и проанализированы на золото и элементы-спутники золото-спектральным и спектральным полуколичественным анализом на 17 элементов (As, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, Bi, Ti, Mn, Cr, Ni, Co, V, Mo, W, Ba, P). Результаты минералогического и спектрального анализов отображены на фрагменте карты Ольгинской площади (рис. 4). Минералогические и контрастные геохимические аномалии Au, As, Ag, Pb, Zn пространственно совпадают. Наиболее отчётливо они проявились в приподнятых блоках с небольшой мощностью рыхлых отложений (1–6 м). На участках, где мощность рыхлых отложений превышала 10 м, аномалии не выявлены. Проведённые горно-буровые работы АО «Запсибгеолсъёмка» вскрыли на основе полученных результатов ЗКВ. По одной из траншей выявлены остаточные структурные коры выветривания, развитые по субвулканическим породам среднего состава (андезит-порфирам, их туфам). В шлихоминералогических пробах, отобранных из них, встречаются обломки серицитизированных пород с прожилками и вкрапленностью окисленного пирита размером 0,05–0,2 мм. Содержания золота в этих участках составляли 0,3–0,5 г/т, сопровождалась контрастными ореолами мышьяка. Золото гравитационных классов крупности выявлено не было. Содержания золота в окисленном пирите оказались низкими – 0,15–1,44 г/т, но отношения в нём $Co/Ni > 2$, а $Ce/La < 2$ показывают его соответствие пириту из гидротермальных, золоторудных месторождений [5, 7]. Проведённое в дальнейшем бурение подтвердило правильность этих выводов. Была вскрыта остаточная линейно-трещинная в сочетании с контактово-карстовой КВ с содержаниями золота от 0,5 до 4,5 г/т, образованная по золото-пирит-арсенипиритовой прожилково-вкрапленной минерализации.

Таким образом, геохимическое опробование, сопровождаемое отбором минералогических проб как при

проведении площадных, так и горно-буровых работ, позволяет уже на первых этапах уточнить тип рудной минерализации, сопровождающие её гидротермально-метасоматические изменения, предположить возможные формы нахождения золота, что в свою очередь определяет выбор видов аналитических методов для определения содержаний золота.

В заключение следует отметить, что окислительные процессы, проходящие в зоне гипергенеза, существенно нивелируют визуальные признаки рудной минерализации. Как правило, в ЗКВ источниками золота являются несколько минеральных типов. Золото может концентрироваться в гидроксидах железа, алевро-пелитовой фракции, остаточных сульфидах, обломках пород, а также присутствовать в свободной самородной форме разных классов крупности, в сростках с кварцем, карбонатом. Для получения достоверных содержаний золота из бороздовых и керновых проб необходимо параллельно проводить минералогический и пробирный с атомно-абсорбционным окончанием анализы или более современный пробирный анализ с мокрым отсевом крупного золота. При использовании минералогического анализа, как показано выше, можно оперативно оценить присутствие золота в коре выветривания, а по остаточным минералам, обломкам пород – тип рудной минерализации и сопровождающие её гидротермально-метасоматические изменения, анализируя монофракции – минералы-концентраты золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуреев В.Ф., Гребенчиков А.М. Методические указания по применению минерало-геохимического шлихового метода при поисках золоторудных месторождений. – М.: ЦНИГРИ, 1979.
2. Перспективы золотоносности коры выветривания Еравнинской депрессии (Республика Бурятия) / О.А.Агибалов, Т.П.Зубова, Н.М.Иванов и др. // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов – состояние и перспективы: сб. докладов научно-практической конференции. – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2016. С. 114.
3. Поиски золоторудных месторождений шлиховым минерало-геохимическим методом // Методические рекомендации. – М.: ЦНИГРИ, 1986.
4. Строение и вещественный состав золотоносных кор химического выветривания Кедровско-Ивдельского рудно-россыпного узла, восточный склон Северного Урала / Т.П.Зубова, О.А.Агибалов, Н.М.Иванов и др. // Руды и металлы. 2013. № 4. С. 37–47.
5. Типоморфизм минералов. Справочник / Под ред. Л.В.Чернышевой. – М.: Недра, 1989.
6. Черемисин А.А., Злотник-Хоткевич А.Г. Воронцовское золоторудное месторождение // Руды и металлы. № 1. 1997. С. 59–70.
7. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудные формации. – Новосибирск: Наука, 2003.