DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10013

УДК 553.411
© Т.П.Зубова, А.Н.Краснов, Е.А.Черемисина, 2019

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 enviroments

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 корах 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 переотложенными) 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 штуфных 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, каолинитового, гидрослюдисто-каолинитового состава, часто присутствуют стяжения гидроксидов железа и марганца. Содержания золота в карстовых отложениях колеблются от 92 до 1544 мг/м^3, в редких случаях до 5689 мг/м^3, 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-каолинитового 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, осложнённому 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/м^3.

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 срастании 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 золотинами. 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% золотин покрыты плёнками гидроксидов железа. Пробность золота из КВ несколько ниже, чем в россыпи – 887–898‰, в продуктах её переотложения – 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 гранулометрии, 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-арсенопиритовой (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, гемиидиоморфных выделений, неокатанное, иногда в срастании 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-полевошпатового 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 P_2, 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

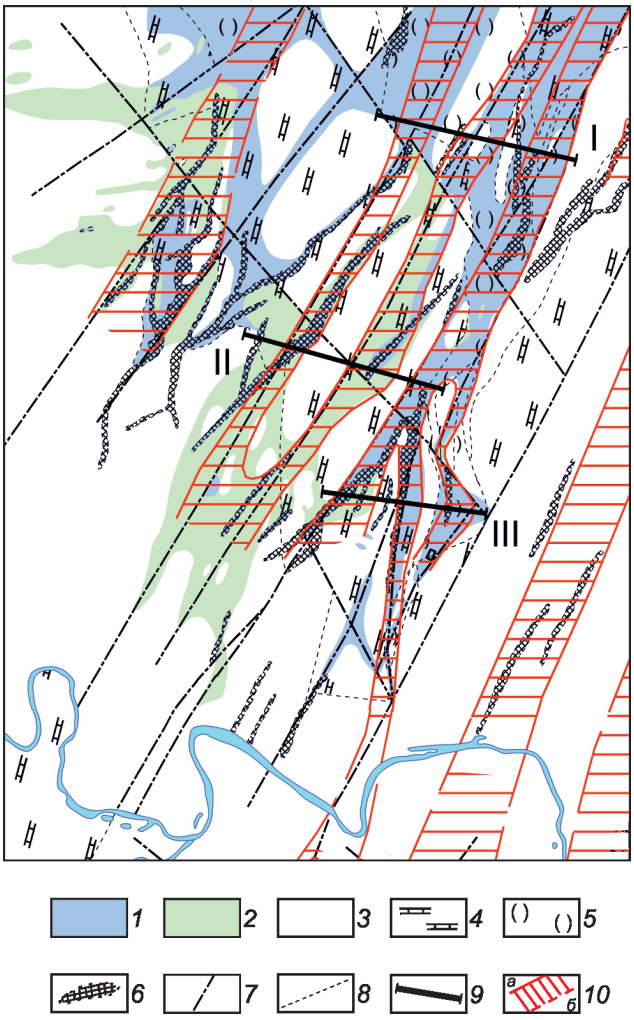


Рис. 1. Схематическая геологическая карта золотоносных кор выветривания одного из участков Ивдельской площади:

1 – остаточная кора выветривания по вулканогенно-осадочным и другим силикатным породам: гидрохлорит-гидрослюдистая, гидрослюдисто-каолинитовая (галлуазитовая), гидрослюдисто-охристая, гидрослюдисто-охристо-каолинитовая (галлуазитовая); *2* – переотложенные коры выветривания контактово-карстового и карстового типов, охристо-каолинит (галлуазит)-гидрослюдистая, гидрослюдисто-каолинитовая; *3* – известняки от светло-серых рифогенных до тёмно-серых, частично битуминозные, мергелистые, иногда окремненные; *4* – известняки с прослоями известковистых туфов, частично хлоритизированные и эпидотизированные, вблизи зон тектонических нарушений смятые в складки; *5* – туфы, туффиты глинистые, известковистые, известково-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	70,4 (12) 1,6–629,3	Не анализ.	52,7 (2) 47,3–58,0	0,3 (4) 0,15–1,4
Гидроксиды железа	1,0 (1)	80,0 (5) 0,5–360,0	1,3 (8) 0,1–3,0	0,12 (1)
Магнетит	Не анализ.	0,4 (4) 0,1–0,8	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	10 (3) 0,2–29,2	7,0 (1)	Не анализ.	Не анализ.
Окварцованные обломки вулканогенных пород	13,1 (2) 11,0–15,2	Не анализ.	Не анализ.	Не анализ.
Алевро-пелитовая фракция	4,6 (6) 0,4–12,5	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, органогенных 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 корреллируют, 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 мартитизированный магнетит, гидроксиды железа с реликтовыми пятнами неокисленных сульфидов, ожелезнённые 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 золотоносны (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 проведёнными 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 золотоносной 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 изменённым карбонатным

породам в экзоконтактовой 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 срастании 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 занизил результаты. По результатам испытаний малой лабораторной технологической пробы на концентраторе 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).

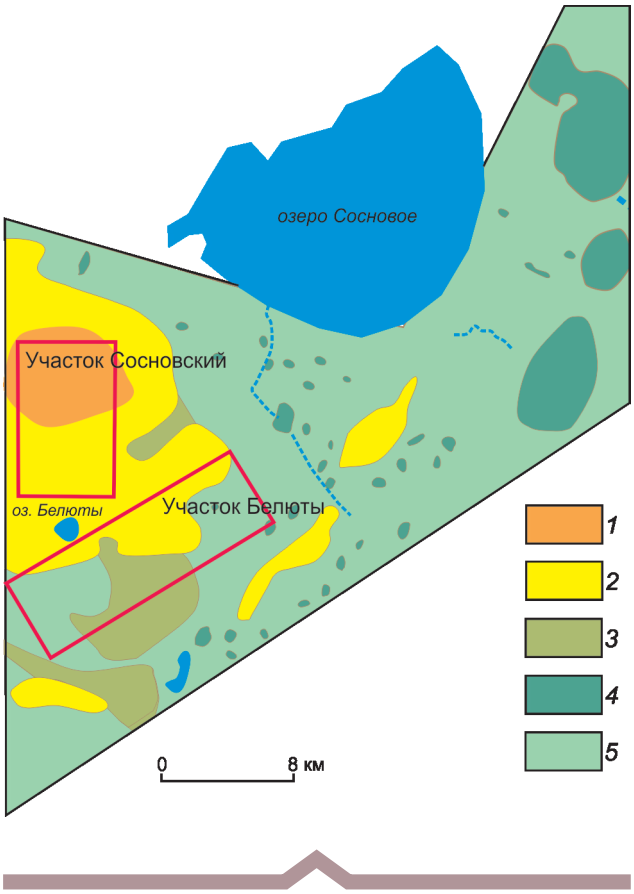


Рис. 2. Фрагмент геоморфологического строения Еравненской площади, Республика Бурятия. *По О.А.Агибалову*:

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* – плоскодонные, 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 золотосодержащей 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 100–600×10^{-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 – 40–400×10^{-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 срастании 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 сопровождались отбором шлихоминералогических проб. В условиях залесённости и плохой обнажённости территории полученные геохимические аномалии часто бывают слабоконтрастными. Для их усиления и получения оперативной информации о возможных минеральных типах золоторудной минерализации при проведении поисковых работ

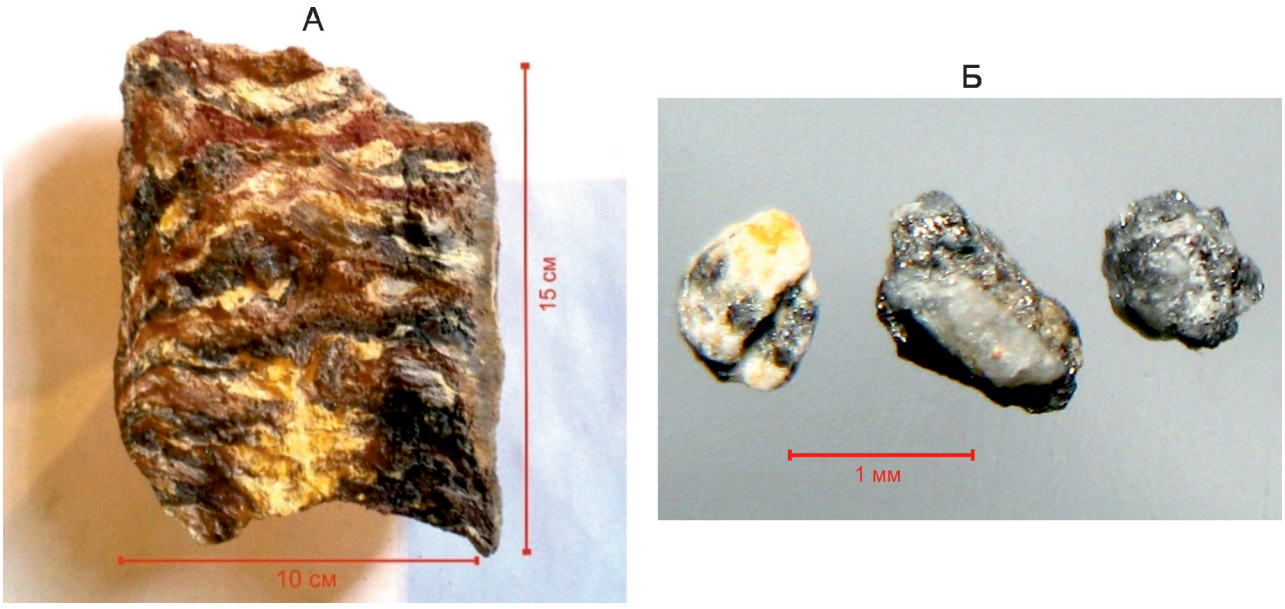


Рис. 3. Пестроцветные бесструктурные глины (А) и пирит в сростках с кварцем из шлиховой пробы (Б) из коры выветривания участка Белюты (Еравненская площадь, Республика Бурятия)

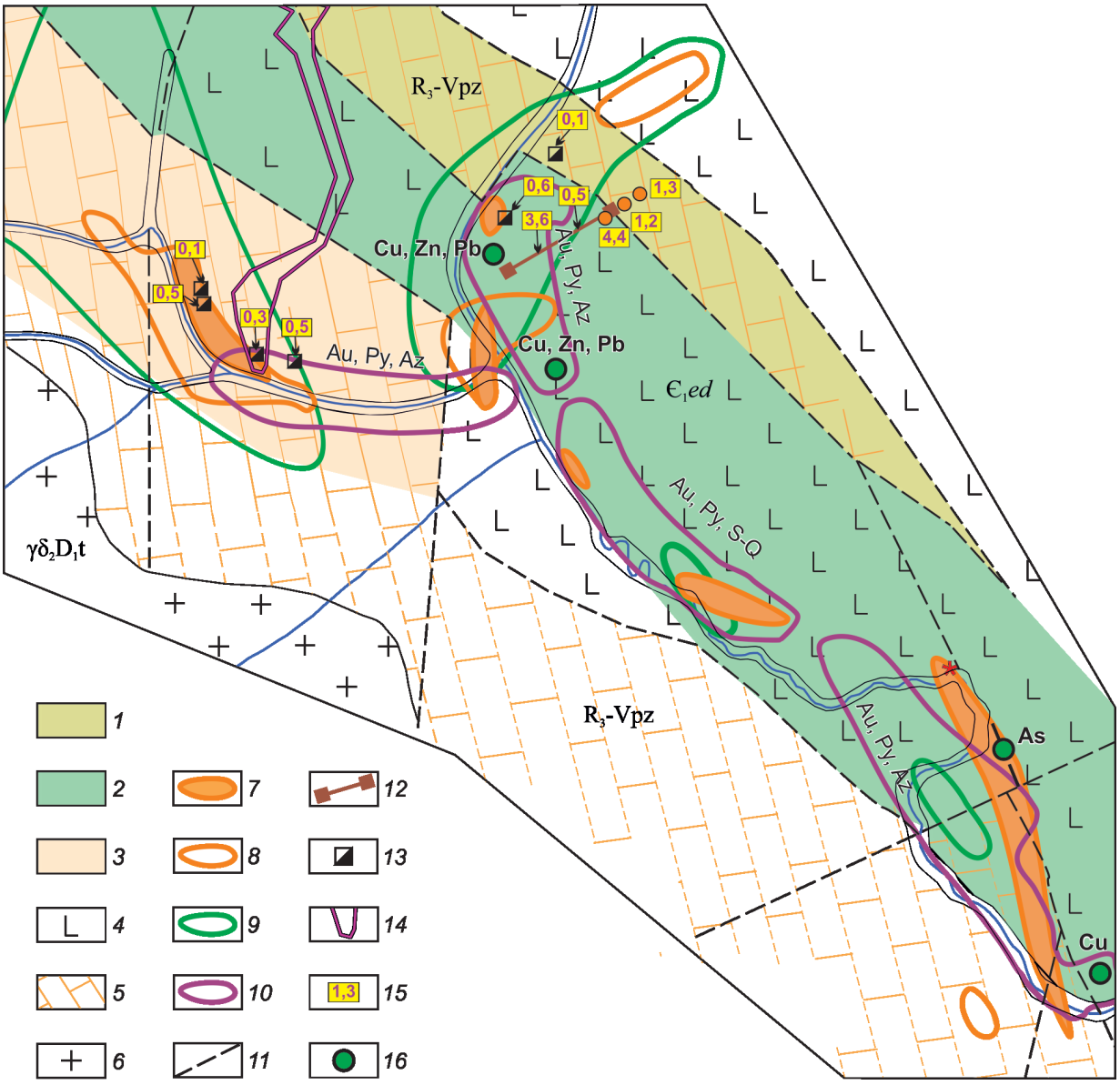


Рис. 4. Результаты минералого-геохимических работ на одном из участков Ольгинской площади Кузнецкого Алатау:

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), $Є_1ed$; *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, $γδ_2D_1t$; *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 м^2 отбираются вручную шлиховые пробы (0,02 м^3). 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 анализами 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, сопровождались 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-арсенопиритовой 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-концентраторы золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гуреев В.Ф., Гребенчиков А.М.* Методические указания по применению минералого-геохимического шлихового метода при поисках золоторудных месторождений. – М.: ЦНИГРИ, 1979.
2. *Перспективы* золотоносности коры выветривания Ерванинской 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 минералого-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.